

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

А. И. Голембиевский

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

для студентов специальности 1-36 01 04 «Оборудование и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов» по специализации 1-36 01 04 01 «Оборудование и технологии повышения износостойкости и восстановления деталей машин и приборов»

Новополоцк 2007

УДК 621.9.06(075)

ББК 34.63-5я73

Г 60

Рекомендован к изданию методической комиссией
машиностроительного факультета

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Л. В. ПЕТРОВ, директор ОАО «Технолит Полоцк»;

В. А. ДАНИЛОВ, д-р техн. наук, профессор

Голембиевский, А. И.

Г 60 Технологическое оборудование : учеб. - метод. комплекс. – Новополоцк :
ПГУ, 2007. – 352 с.
ISBN 978-985-418-523-1

Включает основное программное, методическое обеспечение и лекционный курс. Приведены сведения о развитии станковедения (науки о технологическом оборудовании, основанном на резании), станкостроения как отрасли промышленности и о роли технологического оборудования – парка металлорежущих станков – в современном машиностроении. Содержит фундаментальные начала станковедения: теоретические основы формообразования поверхностей, основные понятия кинематической структуры станков и их настройки. Рассмотрены на конкретных примерах общие принципы изучения кинематической структуры станков. Приведен список учебной литературы, словарь специфических терминов, индивидуальные задания, контрольные и экзаменационные вопросы.

Предназначен для студентов машиностроительного факультета. Может быть полезен магистрантам и слушателям факультетов повышения квалификации соответствующих специальностей.

УДК 621.9.06(075.8)

ББК 34.63-5я73

ISBN 978-985-418-523-1

© Голембиевский А. И., 2007
© Оформление. УО «ПГУ», 2007

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА.....	9
ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ.....	15
МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ.....	16
КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ.....	27
1. ВВЕДЕНИЕ В СТАНКОВЕДЕНИЕ.....	27
1.1. Краткий экскурс развития станкостроения.....	27
1.2. Замечательные изобретения и пионерные научные решения.....	31
1.2.1. Замечательные изобретения средневековья.....	32
1.2.2. Пионерные научные решения.....	35
1.3. Классификация металлорежущих станков.....	40
1.3.1. По технологическому признаку.....	40
1.3.2. По степени точности.....	40
1.3.3. По универсальности.....	41
1.3.4. Система обозначения станков.....	43
1.4. Техничко-экономические показатели современных станков.....	44
1.4.1. Эффективность.....	44
1.4.2. Производительность.....	44
1.4.3. Надежность.....	47
1.4.4. Гибкость.....	50
1.4.5. Точность.....	52
2. ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ.....	55
2.1. Формообразование поверхностей.....	56
2.1.1. Методы воспроизведения производящих линий.....	57
2.1.2. Образование поверхностей.....	59
2.1.3. Классификация движений в станках.....	62
2.2. Понятие о кинематической группе.....	66
2.3. Кинематическая структура станка.....	73
2.4. Теоретические основы настройки станков.....	79
2.5. Механические органы кинематической настройки.....	84
2.5.1. Шестеренные коробки скоростей.....	85
2.5.2. Гитары сменных зубчатых колес.....	90
2.5.3. Механизмы для бесступенчатого изменения скорости.....	93
2.5.4. Реверсивные механизмы.....	94
2.5.5. Суммирующие механизмы.....	96
2.5.6. Механизмы обгона.....	103
2.5.7. Механизмы периодического движения.....	105
3. ИЗУЧЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ.....	109
3.1. Группа токарных станков.....	109
3.1.1. Токарно-винторезные станки.....	110
3.1.2. Токарно-револьверные станки.....	122
3.1.3. Токарно-карусельные станки.....	128
3.2. Станки сверлильно-расточной группы.....	134
3.2.1. Сверлильные станки.....	135
3.2.2. Расточные станки.....	143
3.3. Станки фрезерной группы.....	152

3.4. Шлифовальные и доводочные станки.....	160
3.4.1. Круглошлифовальные станки.....	161
3.4.2. Внутришлифовальные станки.....	165
3.4.3. Плоскошлифовальные станки.....	170
3.4.4. Бесцентрово-шлифовальные станки.....	174
3.4.5. Доводочные станки.....	180
3.5. Станки строгально-протяжной группы.....	191
3.5.1. Строгальные станки.....	192
3.5.2. Протяжные станки.....	198
3.6. Группа станков для обработки зубчатых колес.....	203
3.6.1. Фасонное зубофрезерование зубчатых колес.....	204
3.6.2. Обкатное зубофрезерование.....	212
3.6.3. Зубодолбежные станки.....	226
3.6.4. Станки для зуботочения цилиндрических зубчатых колес.....	232
3.7. Станки для чистовой обработки зубчатых колес.....	233
3.7.1. Зубошевинговальные станки.....	233
3.7.2. Зубошлифовальные станки.....	238
3.8. Станки для обработки конических зубчатых колес.....	247
3.9. Станки для обработки резьбы.....	261
3.9.1. Резьбофрезерные станки.....	263
3.9.2. Резьбонакатные станки.....	270
3.9.3. Резьбошлифовальные станки.....	273
3.10. Токарные автоматы и полуавтоматы.....	278
3.10.1. Классификация станков – автоматов и полуавтоматов.....	279
3.10.2. Многорезцовые полуавтоматы.....	282
3.11. Станки с числовым программным управлением.....	284
3.11.1. Поколения станков с ЧПУ.....	285
3.11.2. Технологические особенности станков с ЧПУ.....	287
3.11.3. Конструктивные особенности станков с ЧПУ.....	293
3.11.4. Станки с ЧПУ первого поколения.....	297
3.11.5. Многооперационные станки с ЧПУ.....	302
3.12. Промышленные роботы.....	311
3.12.1. Поколения промышленных роботов.....	312
3.12.2. Роботизированные технологические комплексы.....	317
3.13. Агрегатные станки.....	321
3.13.1. Типовые унифицированные компоновки.....	322
3.13.2. Силовые узлы.....	324
3.13.3. Гидропанели.....	327
3.13.4. Шпиндельные узлы.....	329
3.14. Станки для электрофизической и электрохимической обработки.....	330
3.14.1. Электроэрозионные станки.....	330
3.14.2. Комбинированные схемы обработки.....	334
3.14.3. Лазерное оборудование.....	337
3.14.4. Раскрой листового материала струей жидкости.....	340
ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ.....	341
ОРГАНИЗАЦИЯ РЕЙТИНГОВОГО КОНТРОЛЯ.....	346
СЛОВАРЬ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ.....	347
ЛИТЕРАТУРА.....	350

ВВЕДЕНИЕ

Учебный процесс в вузе, как и в системе образования в целом, не может успешно осуществляться без научно обоснованного методического обеспечения. Современная тенденция в методическом обеспечении – создание и использование учебно-методических комплексов (УМК) по дисциплинам учебного плана.

Использование УМК в учебном процессе актуализируется в связи с реформированием образования, так как является необходимым компонентом системно-методического обеспечения учебного процесса в высшей школе, а также условием введения образовательных стандартов. Принципиальное значение имеет УМК и для обеспечения управляемой самостоятельной работы студентов, на которую предполагается отводить не менее 20 % от общего количества часов, выделяемых учебным планом на изучаемую дисциплину. Для реализации современных тенденций образования, базирующихся на принципе «учить учиться», необходим УМК нового поколения, отличающийся от использовавшихся ранее, представляющих, по существу, набор составляющих его частей. Курс «Технологическое оборудование» не является исключением из общего правила. Динамика современного образовательного процесса, ведущая к уменьшению времени на изучение дисциплины, насыщение дисциплины фундаментальными основами станковедения, рост объема информации, связанный с изменениями, происходящими в станкостроительной отрасли промышленности, выпускающей как традиционные станки с механическими связями, так и станки с числовым программным управлением, в том числе обрабатывающие центры, робототехнические комплексы, гибкие производственные модули, гибкие производственные системы, требует иного, более гибкого подхода при подготовке инженера-механика.

Пионерная целевая функция УМК нового поколения – быть инструментом системно-методического обеспечения учебного процесса по данной дисциплине, его предварительного проектирования.

Производные целевые функции:

- объединять в единое целое различные дидактические средства обучения, подчиняя их целям обучения и воспитания;
- раскрывать требования к содержанию изучаемой дисциплины, к знаниям, умениям и навыкам выпускников, содержащимся в образовательном стандарте, и тем самым способствовать его реализации;

- служить накоплению новых знаний, новаторских технических идей и разработок, стимулировать развитие творческого потенциала;
- показать особенности патентной защиты станочного оборудования посредством составления заявки на изобретение в форме описания кинематической структуры станка.

Создание УМК нового поколения, базирующегося на принципах дидактики, – сложная, многовариантная задача, решение которой должно способствовать формированию модели современного специалиста.

Преимущества УМК – возможность изменения количества и состава разделов, направленности и содержательной части учебного процесса – позволяют гибко адекватно реагировать на изменяющиеся требования реальной промышленности и образования в целом.

В УМК приведена рабочая программа дисциплины, разработанная на основе типовой программы, утвержденной УМО вузов Республики Беларусь по образованию в области машиностроительного оборудования и технологий (Рег. номер ТД УМО МОиТ-37/тип от 16 июня 2004 г.). Кратко изложена методика изучения основных разделов дисциплины. Приведены вопросы для самопроверки, словарь специфических терминов, экзаменационные вопросы, минимальный список необходимой учебной литературы.

В историческом аспекте в УМК рассмотрена роль станочного оборудования в машиностроительном производстве. Приведены наиболее значимые на различных этапах развития станкостроительной отрасли производства пионерные изобретения и научные разработки.

Рассмотрены фундаментальные положения науки о станках: теоретические основы формообразования поверхностей, основные понятия кинематической структуры станков и их настройки. На конкретных примерах показано, что фундаментальные положения станковедения, разработанные в период развития станочного оборудования с механическими связями, также полностью раскрывают физическую сущность функционирования интенсивно развивающегося многообразия станков с числовым программным управлением.

Показана роль отечественных изобретателей и ученых в создании теории и практики станкостроения.

Изложены общие принципы анализа (изучения) кинематической структуры станков, как с механическими связями, так и станков с числовым программным управлением. Проведен кинематический анализ наиболее сложных моделей станков.

Приведены сведения о промышленных роботах, используемых совместно со станочным оборудованием, гибких производственных модулях на основе станков с числовым программным управлением, гибких производственных системах.

Изучение станков осуществляется как по полным кинематическим схемам конкретных моделей, так и по типовым частным структурным схемам.

Цели и задачи дисциплины

Цель преподавания дисциплины

Основной технологической машиной в металлообработке всех типов производств является металлорежущий станок. Широкое распространение станков объясняется, прежде всего, универсальностью процессов обработки резанием, большой точностью и наименьшей шероховатостью получаемых на станках поверхностей обрабатываемых деталей, минимальной по сравнению с другими процессами обработки энергоемкостью, приходящейся на единицу объема удаляемого материала. Современная тенденция в области развития станкостроения как ведущей отрасли машиностроения – это увеличение в общем парке станочного оборудования станков-автоматов, станков с числовым программным управлением, гибких производственных модулей, робототехнических комплексов, гибких производственных систем.

Инженер-механик специальности 1-36 01 04 «Оборудование и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов» по специализации 1-36 01 04 01 «Оборудование и технологии повышения износостойкости и восстановления деталей машин и приборов» в практической работе связан с вопросами выбора технологического (станочного) оборудования и режимов его эксплуатации. От оптимального выбора этого оборудования в условиях конкретного типа производства зависит производительность труда и качество получаемых изделий. Оптимальное решение этой многовариантной задачи определяет уровень развития машиностроительного, в том числе ремонтного производства. Таким образом, дисциплину «Технологическое оборудование» следует рассматривать в качестве базовой для названной специальности.

Цель преподавания дисциплины – это формирование материалистического мировоззрения в области станковедения – науки о станках, связей этой науки с другими областями знаний, изучение фундаментальных основ станковедения и технологического (станочного) оборудования различных

типов, как с механическими связями, так и числовым программным управлением, развитие практических навыков его эксплуатации и обслуживания.

Задачи изучения дисциплины

В соответствии с квалификационной характеристикой специалиста при изучении дисциплины решаются следующие задачи:

- развитие мышления категориями науки о станках на основе теории технических систем;

- изучение фундаментальных основ станковедения: теории формообразования поверхностей, теории анализа кинематической структуры станков, теории настройки станков;

- освоение системного подхода при синтезе обрабатывающих станочных комплексов и агрегатно-модульного принципа их компоновки;

- освоение практических навыков исследования и производственного обслуживания станков различных групп и комплексов из них.

Изучение дисциплины строится в преемственности с рядом предшествующих общеинженерных дисциплин – начертательной геометрии, теоретической механики, теории механизмов, машин и роботов, деталей машин, теории обработки материалов, обрабатывающего инструмента, гидро- и электрооборудования станков.

С использованием материала дисциплины изучаются специальные дисциплины – технология машиностроения, автоматизация производственных процессов, проектирование технологических процессов.

В итоге изучения дисциплины студенты должны знать теоретические основы станковедения, уметь пользоваться этими знаниями в практической деятельности при исполнении должностей исследователя, конструктора, технолога.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Составлена на основе типовой программы по дисциплине «Технологическое оборудование», утвержденной УМО вузов Республики Беларусь по образованию в области машиностроительного оборудования и технологий (Рег. номер ТД УМО МОиТ-37/тип от 16 июня 2004 г.).

Лекционный курс

Введение (2 часа)

Исторический экскурс развития технологического оборудования (металлорежущих станков и станочных комплексов). Русский механик А. К. Нартов – основоположник отечественного станкостроения. Замечательные изобретения в станкостроении и их оценка. Станковедение – наука о металлорежущих станках. Рукопись А. К. Нартова «Театрум махинарум или ясное зрелище машин» – первая монография, посвященная станковедению. Роль станковедения в развитии станкостроения. Диалектическое взаимодействие станкостроения с другими отраслями. Влияние технического прогресса на развитие отрасли станкостроения.

Современное состояние мирового и отечественного станкостроения и перспективы дальнейшего развития. Станкостроение Республики Беларусь.

Периодические издания, освещающие проблемы станковедения и практику станкостроения.

Классификация металлорежущих станков, системы обозначения станков, выпускаемых серийно и по индивидуальным заказам. Техно-экономические показатели: эффективность, производительность, надежность, гибкость, точность.

Основы кинематики станков (8 часов)

Кинематика станков – частное научное направление станковедения. Диалектика развития кинематики станков. Роль отечественных ученых в ее развитии.

Классификация движений в станках по функциональному признаку. Рабочие и вспомогательные движения, их размерность. Движения формообразования и управления, деления, врезания, позиционирования, их определения и параметры.

Поверхность изделия как пересечение воспроизводящих линий. Понятие о вспомогательном элементе. Образование поверхностей на станках.

Связь между формой вспомогательного элемента, способом образования поверхности и количеством движений формообразования.

Понятие о кинематической группе. Кинематическая структура станка как совокупность кинематических групп. Способы соединения кинематических групп в структуре станка. Классификация станков по кинематической структуре.

Основы теории настройки станков. Структурные и расчетные кинематические цепи. Расчетное перемещение (РП). Уравнение кинематической цепи (УКЦ). Формула настройки (ФН).

Механизмы станков (8 часов)

Виды передач вращательного движения, применяемые в станках. Понятие о передаточном отношении. Передаточные отношения отдельных передач и совокупности нескольких последовательно расположенных передач.

Расчеты кинематических цепей, связывающих вращающиеся с поступательно-возвратно перемещающимися звеньями. Механизмы-построители: кривошипно-ползунный, кулисный, кулачковый.

Расчеты кинематических цепей, связывающих вращающиеся с поступательно перемещающимися звеньями. Понятие о тяговом вале. Шаг тягового вала. Виды передач и механизмов, преобразующие вращательное движение тягового вала в поступательное перемещение ведомого звена.

Особенности расчета кинематических цепей, содержащих суммирующие механизмы, формула Виллиса и ее использование при кинематических расчетах цепей с планетарными суммирующими механизмами. Передаточное отношение суммирующего механизма при одном остановленном звене.

Механизмы для ступенчатого изменения скорости движения исполнительного органа: разновидности и область применения.

Бесступенчатое изменение скорости. Виды устройств (вариаторов) для бесступенчатого изменения скорости: механические, электрические, гидравлические.

Реверсивные механизмы: разновидности и область применения. Потеря количества движения на исполнительном звене при реверсировании. Специальные реверсивные механизмы.

Обгонные механизмы: храповые, планетарные, роликовые обгонные муфты. Механизмы прерывистых движений: храповые, кулачковые, мальтийские. Суммирующие механизмы: планетарные и непланетарные, замкнутые и незамкнутые. Формула Виллиса для подсчета передаточных от-

ношений планетарных суммирующих механизмов. Паразитные суммирующие механизмы, образующиеся в станках при нерациональной разработке кинематической структуры. Предохранительные устройства.

Станки общего назначения (20 часов)

Токарно-винторезные станки общего назначения. Размерный ряд выпускаемых станков. Типовая кинематическая структура токарно-винторезного станка как совокупность токарной и винторезной структур. Станки модели 1К62 и 16К20: частные структуры, методика настройки.

Токарно-револьверные станки. Особенности станков с вертикальной и горизонтальной револьверной головкой. Кинематическая структура. Размерный ряд станков.

Карусельные станки: размерный ряд, область использования, кинематическая структура.

Лобовые станки: область использования, кинематическая структура.

Область использования и классификация сверлильных станков. Основные направления развития станков сверлильной группы.

Вертикально- и радиально-сверлильные станки: размерный ряд, область использования, кинематическая структура.

Горизонтально- и координатно-расточные станки: размерный ряд станков, область использования, кинематическая структура.

Фрезерные станки: размерный ряд, область использования. Горизонтальные, вертикальные, широкоуниверсальные, карусельные фрезерные станки: кинематическая структура, особенности компоновки каждого вида.

Протяжные станки: область использования, кинематическая структура, особенности настройки.

Строгальные и долбежные станки: область использования, типовые кинематические структуры, особенности настройки и компоновки различных станков группы.

Шлифовальные станки: область использования, виды станков, кинематическая структура и настройка станков различного вида.

Доводочные станки: хонинговальные, суперфинишные, притирочные. Область применения, кинематическая структура, особенности компоновки и систем управления.

Станки-автоматы и полуавтоматы токарной группы: область использования, классификация по виду заготовки, по расположению и количеству шпинделей. Размерный ряд станков. Типовая кинематическая структура

автоматов различного вида. Базовые модели 1Б140, 1И10П, 1А265-6. Проектирование рабочего цикла и программносителей (кулачков).

Токарно-копировальные полуавтоматы: кинематическая структура, компоновка. Принципы однокоординатного и двухкоординатного гидрокопирования. Копирование с задающей и зависимой подачами. Приспособления, применяемые на токарно-копировальных станках.

Агрегатные станки: назначение, выполняемые операции. Преимущества принципа агрегатирования, компоновки агрегатных станков. Основные стандартизованные и нормализованные агрегаты и узлы: станины, стойки, силовые столы, шпиндельные коробки, силовые головки, гидрпанели. Устройства для смены инструмента, для смены инструментальных блоков.

Зубо- и резьбообрабатывающие станки (8 часов)

Классификация станков зубообрабатывающей группы по функционально-технологическому признаку. Методы образования профиля зуба и линии зуба по длине. Способы нарезания цилиндрических зубчатых колес с прямым и круговым зубом.

Обработка зубьев колес с образованием профиля зуба копированием: фасонное фрезерование и шлифование, область использования, достоинства и недостатки, применяемый инструмент. Лимбовые и безлимбовые универсальные делительные головки (УДГ): конструкции, кинематические схемы и настройка. Кинематическая структура фрезерного станка общего назначения, используемого совместно с УДГ.

Зубодолбление цилиндрических колес с образованием профиля зуба обкатом: область использования, достоинства и недостатки. Зубодолбежные станки: размерный ряд, типовая кинематическая структура. Станки моделей 5122, 5А122, 5А122Ф3. Особенности кинематической структуры зубодолбежного станка для обработки зубчатых колес с винтовым зубом.

Зубофрезерование зубчатых и червячных колес с образованием профиля зуба обкатом: область использования, достоинства, недостатки. Зубофрезерные станки: размерный ряд, обобщенная кинематическая структура. Частные типовые кинематические структуры, реализующие различные способы обкатного зубофрезерования, методика настройки. Универсальный зубофрезерный станок модели 5К324.

Обработка конических колес с образованием профиля зуба методом обкатки: зубострогание, зубофрезерование. Обобщенная структурная схема зуборезного станка. Зубострогальные станки: частная типовая кинематическая структура, методика настройки. Станки моделей 5П23БП и 5А26.

Зуборезные станки для нарезания конических колес с дуговым зубом резцовой головкой: кинематическая структура, методика настройки. Нарезание полуобкатных передач. Станки моделей 525 и 528.

Чистовая обработка цилиндрических зубчатых колес: зубошевингование, зубохонингование, зубошлифование. Зубошевинговальные станки: типовая кинематическая структура, настройка.

Зубошлифовальные станки, работающие однокругом и абразивным червяком: типовые кинематические структуры, настройка. Станок модели 5831.

Способы резьбошлифования и применяемый инструмент. Типовые кинематические структуры резьбошлифовальных станков и их настройка.

Станки с ЧПУ (8 часов)

Область рационального использования. Поколения станков с ЧПУ. Технологические и конструктивные особенности. Программирование обработки на станках с ЧПУ.

Станки первого и второго поколения: кинематическая структура, компоновка, особенности конструкции.

Многооперационные станки с ЧПУ: назначение, типы, выполняемые операции, кинематическая структура. Компоновка многооперационных станков токарной и сверлильно-фрезерно-расточной групп. Инструментальные магазины. Устройства для смены инструментов: кантователи, транспортирующие механизмы, механические руки.

Автоматические линии: назначение, область применения. Классификация: по типу оборудования, по типу потоков, по расположению транспорта, по расположению оборудования, по характеру связи.

Автоматизированные участки на базе станков с ЧПУ: понятие о гибком автоматизированном производстве (ГАП). Назначение, классификации ГАП. Автоматизированные участки для обработки тел вращения и для обработки корпусных деталей. Схемы участков АУ-1 и АП-1.

Промышленные роботы и роботизированные технологические комплексы (4 часа)

Общие сведения о роботах. Промышленные роботы и манипуляторы. Поколения промышленных роботов. Промышленный робот как трехмерная машина. Системы координат промышленных роботов. Рабочая зона промышленного робота в различных системах координат. Структурные кинематические схемы. Роботы-манипуляторы, встроенные в станки.

Роботизированные технологические комплексы. Понятие о гибком производственном модуле (ГПМ), как основной ячейке гибкого автоматизированного участка. Структура ГПМ: станок с ЧПУ, промышленный робот, магазины, транспортеры. Структура обрабатывающей системы из нескольких ГПМ. Понятие о гибкой производственной системе (ГПС). Принципы построения ГПС.

Станки для электрофизической и электрохимической обработки (4 часа)

Общие сведения о физических явлениях, выполняющих функцию режущего инструмента. Способы электроискровой и электроимпульсной обработки, основанные на явлении электроэрозионного разрушения. Электроэрозионные станки.

Комбинированные схемы обработки: анодно-механическое разрезание заготовок, алмазно-электроэрозионное шлифование, электролитическое сверление.

Лазерное резание труднообрабатываемых материалов. Типовая структура лазерной технологической установки. Газоплазменное лазерное напыление и наплавка.

Раскрой листового материала струей жидкости: особенности процесса резания, технологические присадки, режимы раскроя.

Лабораторные занятия

№ п/п	Тема работы	Время, час	Оборудование	Форма контроля
1	2	3	4	5
1	Анализ кинематической структуры двух-трех станков по индивидуальному заданию	8	Кинематические схемы	Письменный отчет
2	Изучение конструкции сверлильного станка модели 2Н125. Настройка.	4	Станок мод. 2Н125	Письменный отчет
3	Изучение конструкции токарно-винторезных станков моделей 1К62, 16К20. Настройка.	4	Станки мод. 1К62, 16К20	Письменный отчет
4	Изучение конструкции гидрокопировального полуавтомата модели 1722. Настройка.	4	Станок мод. 1722	Письменный отчет
5	Изучение конструкции зубофрезерного станка модели 5К324. Настройка.	4	Станок мод. 5К324	Письменный отчет
6	Изучение конструкции плоскошлифовального станка модели 371	4	Станок мод. 371	Письменный отчет
7	Изучение конструкции зубодолбежного станка модели 5122. Настройка на обработку прямозубого колеса	4	Станок мод. 5122	Письменный отчет
8	Изучение конструкции зубострогального станка модели 5Б23БП. Настройка.	4	Станок мод. 5Б23БП	Письменный отчет
9	Изучение конструкции универсальной делительной головки (УДГ). Наладка на обработку прямозубого колеса станков.	4	УДГ, станок мод. 6Р81	Письменный отчет
10	Изучение конструкции промышленного робота модели «Универсал».	4	ПР «Универсал»	Письменный отчет
11	Изучение конструкции промышленного робота модели «Циклон».	4	ПР «Циклон»	Письменный отчет

МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Введение в станковедение

Станкостроение называют колыбелью техники. И это не случайно. Атомный ледокол и зерноуборочный комбайн, космический корабль и микрозонд – все это создано с использованием станочного оборудования.

Историческое значение станочного оборудования во всех сферах производственной деятельности от кустарного до современного автоматизированного производства весьма велико, так как именно это оборудование и соответствующие им режущие инструменты определяют качество обрабатываемых деталей, а в ряде случаев – и возможность их изготовления (зубчатые и червячные колеса, резьбы, шлицевые валы и т.п.) Поэтому при изучении данного раздела необходимо:

- обратить особое внимание на исторические этапы развития станочного оборудования от создания на интуитивном уровне станков для художественной обработки дерева до современных станков и станочных комплексов с числовым программным управлением;
- понять диалектику качественного изменения станочного оборудования на различных этапах его развития;
- уяснить значение пионерных изобретений средневековья и начального периода промышленной революции для развития станков;
- понять объективную необходимость появления оригинальных научных решений и их значение для создания современной науки о станках, называемой станковедением;
- оценить по известным историческим примерам возрастающую роль станковедения – науки о металлорежущих станках для развития станочного оборудования;
- проследить логику принятой современной системы классификации станочного оборудования;
- понять сущность технико-экономических показателей современных станков.

Вопросы для самопроверки:

1. Значение изобретения лука, зубчатой передачи, паровой машины, электродвигателя для совершенствования приводов станочного оборудования.
2. Оценка изобретения самоходного держателя резца, крестового суппорта, гитары сменных зубчатых колес.

3. Обоснование геометрического ряда круговых частот привода вращения шпинделя (по А. Гадалину).

4. Уравнение кинематического баланса на основе принципа возможных перемещений на примере станочного зацепления долбяк – заготовка нарезаемого колеса или на примере червячная фреза – заготовка нарезаемого колеса (по Г. Головину).

5. Структура системы классификации станочного оборудования, выпускаемого серийно и по индивидуальным заказам.

6. Характеристика технико-экономических требований к современным станкам: эффективность, производительность, надежность, гибкость, точность.

Основы кинематики металлорежущих станков

Данный раздел является основополагающим, так как в нем рассматриваются фундаментальные основы станковедения. К этим основам в логической последовательности относятся:

– теоретические основы формообразования поверхностей в машиностроении в приложении к станковедению;

– понятия о кинематической группе, воспроизводящей конкретное формообразующее или вспомогательное движение;

– понятие о кинематической структуре станка как об объединении кинематических групп;

– теоретические основы настройки расчетных цепей станков.

В разделе в качестве приложения рассматриваются также специфические механизмы, на основе которых синтезируется кинематическая структура станков. Как правило, эти механизмы не изучаются в предшествующих общеинженерных дисциплинах.

При изучении теоретических основ формообразования поверхностей необходимо принятое в данном разделе понятие геометрической поверхности, как следа образующей при ее перемещении по направляющей (по Монжу), рассмотреть на примерах получения простейших поверхностей на основе пространственного представления. Затем уяснить возможность получения воспроизводящих линий (образующей и направляющей) посредством режущего инструмента. Для этого необходимо предварительно понять сущность определения понятия «вспомогательный элемент, или характеристический образ инструмента», посредством которого при резании воспроизводятся образующая и направляющая реальной поверхности. На следующем этапе необходимо рассмотреть возможные методы получения воспроизводящих линий вспомогательным элементом, выполненным в ви-

де точки и в виде линии, совпадающей и несовпадающей по форме и протяженности с воспроизводимой линией. Рассматривая сочетания возможных 4-х методов получения воспроизводящих линий по 2, определить 16 возможных классов получения поверхностей. Исключить из полученных классов теоретически неосуществимые. На конкретных примерах из практики обработки резанием рассмотреть ряд схем резания с точки зрения классов воспроизведения поверхностей.

В заключение основ формообразования необходимо рассмотреть параметры настройки исполнительных движений, воспроизводящих образующую и направляющую, и их влияние на темп воспроизведения поверхности и правильность ее геометрической формы.

Основы формообразования на более высоком теоретическом уровне, чем это изложено в данном УМК, можно изучить по монографии [8].

Изучать понятие о кинематической группе наиболее рационально на примере воспроизведения винтовой поверхности профильным (фасонным) резцом. При изучении этого понятия необходимо осознать физический смысл понятий «внутренняя связь», «внешняя связь», «звено соединения связей», отображающих физическую сущность функционирования кинематической группы. В данном примере внутренняя связь кинематической группы – это кинематическая (структурная) цепь, связывающая два исполнительных органа: шпиндель, несущий заготовку, и суппорт, несущий резцовой резец. Эта связь воспроизводит траекторию сложного винтового движения, подчиняющегося известному в физике правилу буравчика. Затем на реальных примерах следует рассмотреть это же понятие при воспроизведении элементарных круговой и прямолинейной траекторий исполнительного движения, воспроизводимых элементарными вращательной и поступательной исполнительными кинематическими парами. При этом следует обратить внимание на то обстоятельство, что переход от внутренней связи, воспроизводящей траекторию сложного движения, к внутренней связи, воспроизводящей траекторию элементарного (простого) движения, равнозначен переходу количества в качество. Внутренняя связь, воспроизводящая вращательную или прямолинейную траекторию, не обеспечивает изменение формы траектории, а внутренняя связь, воспроизводящая траекторию сложного движения, обеспечивает такую возможность за счет введения в ее структуру соответствующего органа настройки.

При изучении понятия «кинематическая структура станка» необходимо обратить внимание на то, что каждое формообразующее и вспомогательное движение воспроизводится отдельной кинематической группой, а объединение групп в структуру станка может осуществляться через общий

двигатель, через общую часть внутренней и внешней связи, через общую исполнительную пару, через общий корпус в различном сочетании этих конструктивных элементов. Следует также учесть, что в современных станках с числовым программным управлением каждая кинематическая группа, как формообразующая, так и вспомогательная, имеет отдельный электродвигатель. Причем отдельные группы формообразования и деления могут быть соединены между собой через электронные связи.

В кинематической структуре станка основными кинематическими группами являются группы формообразования, деления и врезания. Именно эти группы определяют качественные характеристики любого станка. В тоже время в учебной литературе при классификации станков по кинематическому признаку учитывают только формообразующие группы. По этому признаку различают станки с элементарной структурой, содержащей только простые кинематические группы, станки со сложной структурой, содержащей только сложные кинематические группы, и станки с комбинированной структурой, содержащей как простые, так и сложные кинематические группы. Вероятно при изучении станков с позиций кинематической структуры целесообразно в классификационные индексы структуры вводить также информацию о группах деления и врезания.

При изучении основ настройки (по Г. Головину) расчетных цепей необходимо обратить внимание на то, что в основу теоретической концепции положен известный в механике принцип возможных перемещений. Из этого принципа следует, что, намечая расчетную цепь, можно любой из ее конечных звеньев считать ведущим, кроме случаев когда один из них является источником энергии движения.

Конечной целью основ настройки является вывод формул настройки для органов настройки исполнительных движений на траекторию, скорость и путь. При этом следует иметь в виду, что формула настройки для параметра «путь» характерна только для движения деления, осуществляемого отдельной группой деления. Поэтому при изучении этой составляющей раздела необходимо рассмотреть все возможные варианты задания расчетных перемещений конечных звеньев расчетных цепей и написания уравнений кинематических цепей (по Г. Головину уравнений кинематического баланса), по которым выводятся формулы настройки.

Параметр настройки «исходное положение (исходная точка)», а также параметр «путь» для движений формообразования, врезания и вспомогательных движений устанавливаются упорами систем управления.

Вопросы для самопроверки:

1. Приведите определение поверхности, принятое в станковедении. Пояснить принципиальное различие между геометрической (теоретической) и реальной поверхностью, получаемой при обработке на станках.
2. Приведите определение понятия вспомогательного элемента (характеристического образа инструмента). На конкретных примерах различных инструментов охарактеризовать их вспомогательные элементы.
3. Охарактеризуйте возможные методы образования воспроизводящих линий (образующей и направляющей).
4. Охарактеризуйте возможные при обработке резанием классы воспроизведения поверхностей. Привести конкретные примеры. Дать сравнительную оценку различных классов воспроизведения поверхностей по производительности и точности.
5. Приведите классификацию движений на металлорежущих станках по функциональному признаку. Охарактеризуйте влияние движений на качество получаемых поверхностей и на производительность обработки.
6. Сформулируйте понятие о кинематической группе на конкретном примере.
7. Приведите определения понятий внутренней и внешней связей, звена соединения связей.
8. Назовите параметры настройки исполнительных движений и охарактеризуйте их влияние на качество воспроизводимых поверхностей и производительность формообразования.
9. Сформулируйте понятие о кинематической структуре станка. Приведите 3 – 4 примера кинематических структур станков различной сложности.
10. Приведите систему классификации станков по их кинематической структуре. Проиллюстрируйте систему конкретными примерами.
11. Дайте определение понятия расчетной кинематической цепи. Поясните методику назначения такой цепи. Раскройте принципиальную разницу между структурной и расчетной цепями. Приведите примеры.
12. Охарактеризуйте методику задания расчетных перемещений для расчетных цепей различного вида.
13. Опишите на конкретных примерах методику составления уравнения кинематической цепи (кинематического баланса).
14. Назовите механизмы для ступенчатого изменения скорости. Для каждого вида механизмов укажите предпочтительную область использования.
15. Опишите конструктивную схему 2-х колесной гитары сменных зубчатых колес. Изложите методику подбора колес для этой гитары.

16. Опишите конструктивную схему 4-х колесной гитары сменных зубчатых колес. Изложите методику подбора сменных зубчатых колес.

17. Опишите конструктивную схему 6-ти колесной гитары сменных зубчатых колес. Охарактеризуйте особенности подбора зубчатых колес для этой гитары.

18. Охарактеризуйте реверсивные механизмы, используемые в станках. Для каждого вида механизмов прокомментируйте достоинства и недостатки.

19. Опишите конструктивные схемы планетарных и непланетарных суммирующих механизмов. Назовите их назначение в кинематической структуре станков.

20. Изложите методику определения передаточных отношений планетарных суммирующих механизмов на основе формулы Виллиса.

21. На примерах непланетарных суммирующих механизмов проиллюстрируйте сложение (вычитание) движений на выходном звене.

Изучение кинематической структуры металлорежущих станков

Кинематическую (структурную) схему любого металлорежущего станка можно проанализировать, пользуясь общими теоретическими положениями, изложенными в разделе 2. Примерный план анализа:

1. Кинематическую схему анализируют по частям, а не целиком, и, прежде всего, рассматривают кинематические группы, создающие движения формообразования, деления и врезания. В заключение рассматривают группы управления и вспомогательных движений.

2. Анализ схемы начинают не с источников движения (двигателей), а с поиска исполнительных звеньев и внутренних связей, обеспечивающих траектории исполнительных движений.

3. При структурном анализе рассматривают структурные цепи, а при кинематической настройке станка – расчетные кинематические цепи. Структурные и расчетные цепи – это не одно и то же. Структурные цепи – это реальные цепи, обеспечивающие кинематические связи, необходимые для получения заданных параметров создаваемого исполнительного движения, а расчетные кинематические цепи состояются искусственно, с целью определения неизвестных параметров органов настройки. Поэтому расчетные цепи могут отличаться от структурных цепей, как по своему составу, так и по количеству.

В общем случае анализ кинематической схемы станка выполняется в такой последовательности:

А. Исходя из формы образуемой поверхности и режущего инструмента, а также из схемы формообразования, определяют количество и характер

кинематических групп для движений формообразования, деления и врезания. После этого кинематическую схему разделяют на столько же частей.

Б. Зная характер исполнительных движений, анализируют структуру каждой кинематической группы в отдельности. В группе находят внутреннюю и внешнюю кинематические связи и органы настройки для регулируемых параметров исполнительного движения.

В. Рассматривают остальную часть кинематической схемы, состоящую обычно из групп управления и вспомогательных движений.

Г. Выводят формулы настройки (ФН) гитар и некоторых других настраиваемых органов.

Для вывода ФН по кинематической схеме намечают расчетную кинематическую цепь, связывающую исполнительные звенья или между собой, или с источником движения. По этой цепи определяют расчетные перемещения (РП) ее конечных звеньев. Согласно РП составляют уравнение кинематической цепи (УКЦ), устанавливающее кинематическую связь между перемещениями исполнительных звеньев рассматриваемой цепи. Решая УКЦ относительно передаточного отношения органа настройки, получают ФН.

Проиллюстрируем данную методику на примере анализа типовой структурной схемы шлицефрезерного станка (см. рис. 1).

Боковая поверхность винтового шлица очерчена по профилю эвольвентной окружности (прямобочного шлица) отрезком прямой, а по длине винтовой линией.

Червячная фреза представляет собой совокупность исходных режущих реек, расположенных на цилиндре и смещенных одна относительно другой по винтовой линии. Режущий контур зубьев, каждый из которых имеет правую и левую режущие кромки в виде материальных линий, очерчен отрезками прямых (для прямобочного шлица по эвольвенте). Размеры режущих зубьев обычно соответствуют размерам впадин между нарезаемыми зубьями, а их геометрическое взаимное положение обусловлено необходимостью выполнения делительного процесса и определяется окружным шагом нарезаемого зубчатого (шлицевого) вала. Форма режущей кромки червячной фрезы и форма профиля зуба или шлица нарезаемого вала различаются между собой, поэтому профили шлицев можно получить только методом обката. Воспроизводящая винтовая линия по длине шлица образуется методом касания, так как образуемая винтовая линия является касательной к ряду дополнительных окружностей, создаваемых вращающимися материальными точками воспроизводящего режущего контура.

Таким образом, образование боковой поверхности винтового шлица будет осуществляться сочетанием обката (профиль шлица) и касания (линия шлица по длине). По методу образования поверхности устанавливаем количество движений формообразования. Для воспроизведения профиля обкатом требуется одно сложное движение формообразования, а для воспроизведения линии по длине касанием – два простых движения формообразования.

При фрезеровании червячными фрезами процессы деления и резания осуществляются попутно в процессе формообразования. Следовательно, основная часть структуры станка должна состоять только из формообразующих групп.

По форме производящих геометрических линий образуемой поверхности и форме режущей кромки инструмента определяем состав каждого исполнительного движения и составляем условную запись этих движений.

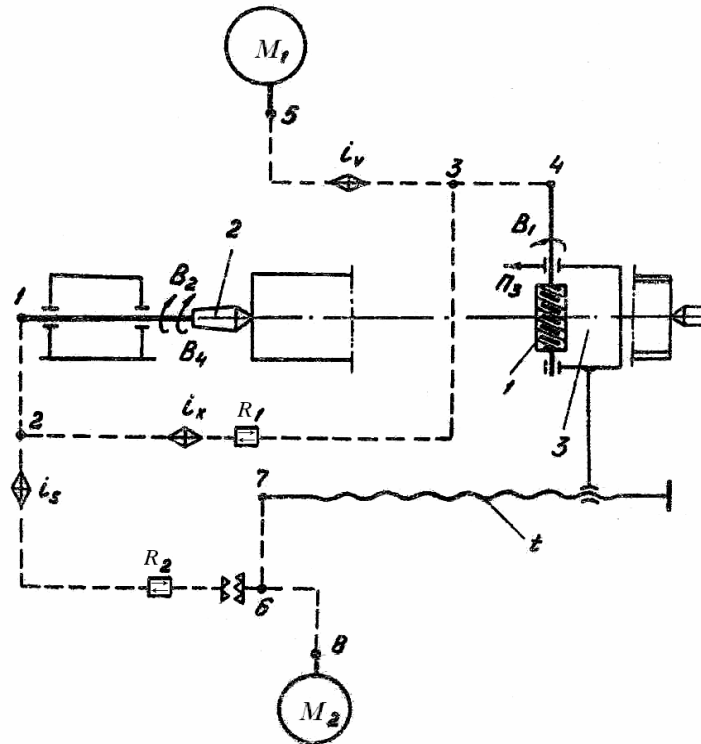


Рис. 1. Типовая кинематическая структура шлицефрезерного станка

При формообразовании винтового шлица червячной фрезой кинематическая структура станка должна воспроизводить два сложных движения формообразования: движение обката (скорости резания) $\Phi_v(B_1 B_2)$ и винто-резное движение (подачи) $\Phi_s(\Pi_3 B_4)$.

По условной записи исполнительных движений находим исполнительные звенья, совершающие соответствующие элементарные движения. В анализируемом станке такими звеньями являются шпиндель фрезы 1,

шпиндель заготовки 2 и фрезерная головка 3. Таким образом, четыре элементарных движения осуществляют только три подвижных звена. Следовательно, общему исполнительному звену (шпинделю 2) приходится совершать два элементарных движения B_2 и B_4 .

Два элементарных движения на одном звене физически складываются с помощью дифференциала. Однако в кинематике станка он отсутствует. Слагаемые движения имеют одинаковую скоростную характеристику, продолжительность их одинакова и создаются они одним источником движения. Следовательно, эти движения складываются математически без дифференциала. В этом случае запись исполнительных движений будет иной – $\Phi_v(B_1B_2 \pm B_4)$ и $\Phi_s(\Pi_3)$. При этом между кинематическими группами обязательно должна быть кинематическая связь.

Анализируем состав кинематических групп. Группа формообразования, создающая движение обката $\Phi_v(B_1B_2 \pm B_4)$. Движение сложное, двух-элементарное, замкнутое, воспроизводит зацепление червячной передачи. Внутренняя связь группы:

$$B_1 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow R_1 \rightarrow i_x \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow B_2.$$

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow 5 \rightarrow i_v \rightarrow 3.$$

Группа настраивается по двум параметрам: на траекторию и скорость резания органами настройки соответственно i_x и i_v .

Группа формообразования, создающая движение подачи, $\Phi_s(\Pi_3)$. Движение Φ_s простое, незамкнутое. Внутренняя связь группы – поступательная пара:

суппорт фрезерной головки 3 → направляющие станины.

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \rightarrow P_1 \rightarrow i_x \rightarrow 2 \rightarrow i_s \rightarrow R_2 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow TB_r \rightarrow \Pi_3.$$

Группа настраивается на скорость (подачу) органом настройки i_s , на путь и исходную точку упорами системы управления, на направление реверсом R_2 .

В схеме предусмотрена ненастраиваемая вспомогательная группа $Vc(\Pi_4)$ для ускоренного перемещения фрезерной головки при наладке станка с приводом от отдельного электродвигателя M_2 . Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы Φ_s , а внешняя связь $M_2 \rightarrow 8 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow TB_r$.

Формообразующие группы связаны между собой общим электродвигателем, а часть внутренней связи группы Φ_v является также частью внешней связи группы Φ_s .

Вывод ФН для органов настройки i_x , i_v , i_s .

Орган настройки i_x . Внутренняя связь группы Φ_v содержит один орган настройки. Поэтому расчетная цепь для этого органа настройки совпадает с внутренней связью.

При нарезании прямых шлицев за один оборот заготовки (движение B_2) фреза делает z/k оборотов (движение B_1) и перемещается по образующей цилиндра на величину s мм. Для получения винтовых шлицев при перемещении фрезы на величину s заготовка должна дополнительно повернуться на s/T оборота (движение B_4), что соответствует дополнительному повороту фрезы на $\pm (z/k) \cdot (s/T)$. Следовательно, РП:

$$1 \text{ об. заготовки } (B_2 \pm B_4) \rightarrow z/k(1 \pm s/T), \text{ об. фрезы } (B_1),$$

где k – число заходов фрезы;

z – число нарезаемых шлицев;

T – шаг винтовой линии шлицев;

s – подача, мм/мин.

УКЦ:

$$z/k \cdot (1 \pm s/T) = 1 \cdot i_{01} \cdot (1/i_x).$$

ФН:

$$i_x = \frac{c_1}{T \pm s},$$

где $c_1 = i_{01}$ – константа конкретной модели станка, равная произведению передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

Орган настройки i_v . Согласно нормативам резания при фрезеровании скорость резания принимается по круговой частоте фрезы. Поэтому, расчетная цепь для i_v – это кинематическая цепь, связывающая электродвигатель с фрезой. Следовательно, РП:

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{fp} \text{ мин}^{-1} (B_1).$$

Тогда, УКЦ:

$$n_{fp} = n_{M1} \cdot i_{02} \cdot i_v.$$

ФН:

$$i_v = n_{fp}/c_2,$$

где i_{02} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

$c_2 = n_{M1} \cdot i_{02}$ – константа.

Орган настройки i_s . Расчетная цепь – это кинематическая цепь, связывающая шпиндель заготовки с тяговым валом фрезерной головки. Поэтому, РП:

$$1 \text{ об. заготовки} \rightarrow s \text{ мм продольного перемещения фрезы.}$$

УКЦ:

$$s = 1 \cdot i_{03} \cdot i_s \cdot t_{TB}.$$

ФН:

$$i_s = s/c_3,$$

где i_{03} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

$t_{ТВ}$ – шаг тягового вала;

$$c_3 = i_{03} \cdot t_{ТВ}.$$

Задания для самостоятельной управляемой работы

На основе изучения разделов 2 и 3 самостоятельно проведите анализ следующих станков различного уровня сложности по их кинематическим схемам.

- токарно-винторезный станок модели 1К62 [6, с. 26];
- токарно-револьверный станок модели 1П325 [6, с. 40];
- токарно-карусельный станок модели 1508 [6, с. 46 – 47];
- токарный вертикальный полуавтомат модели 1К282 [2, с. 202];
- вертикально-сверлильный станок модели 2А150 [6, с. 49];
- горизонтально-расточной станок модели 2625 [6, с. 54 – 55];
- координатно-расточной станок модели 2А45 [6, с. 57];
- горизонтально-фрезерный станок модели 6М82 [6, с. 62];
- внутришлифовальный станок модели 3А228 [6, с. 95];
- токарно-револьверный автомат модели 1Б140 [5, с. 18];
- радиально-сверлильный станок модели 2А55 [5, с. 32];
- координатно-расточной станок модели 2А450 [5, с. 37];
- токарный многорезцовый полуавтомат модели 1А730 [5, с. 22];
- токарно-револьверный станок модели 1341 [5, с. 14];
- зубофрезерный полуавтомат модели 5К32А [5, с. 69];
- универсальный заточной станок модели 3В642 [7, с. 278];
- зубодолбежный полуавтомат модели 5140 [5, с. 71];
- зубофрезерный станок модели 53А50 [7, с. 232];
- зубодолбежный полуавтомат модели 5140 [5, с. 71];
- зубодолбежный станок модели 5122 [7, с. 227];
- полуавтомат для фрезерования сверл модели 6793 [7, с. 193];
- резьбофрезерный полуавтомат модели 5Б63Г [7, с. 202];
- резьбошлифовальный станок модели 5К822В [7, с. 271];
- резьбошлифовальный полуавтомат модели МВ-13 [7, с. 275];
- зубошлифовальный полуавтомат модели 5А893С [7, с. 291].
- зубошлифовальный полуавтомат модели 5Д833 [2, с. 378];
- зубохонинговальный станок модели 5В913 [2, с. 373].

При выполнении самостоятельной управляемой работы возможно также использование схем новейших металлорежущих станков, описание которых, как правило, приводится в текущих периодических изданиях.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. ВВЕДЕНИЕ В СТАНКОВЕДЕНИЕ

1.1. Краткий экскурс развития станкостроения

Первые сведения о металлорежущем станке относятся к 3-му веку до нашей эры. Так Архимед, знаменитый ученый древнего мира, в описании прибора для астрономических измерений упоминает «...небольшой цилиндр, обточенный на токарном станке». С тех пор техника обработки резанием прошла длинный и сложный путь развития – от примитивной ручной до сложнейшей автоматизированной механической обработки, уровень которой определяется общим уровнем техники и характеризуется точностью получаемых изделий и производительностью.

Станкостроение, как отрасль промышленности, является основой машиностроения, так как металлорежущие станки – это орудия производства, посредством которых изготавливается абсолютное большинство деталей различных машин и приборов. Станкостроение, вероятно, и самая многообразная отрасль техники. Здесь можно встретить станки-гиганты, рабочие столы которых сравнимы с театральной сценой, и станки-малютки, всю сменную выработку которых можно разместить на ладони. Например, на Краматорском машиностроительном заводе (Украина) был создан токарный станок для обработки деталей длиной более 30 метров, а на Коломенском заводе тяжелого станкостроения (Российская Федерация) – карусельный станок для обработки деталей диаметром до 16 метров и зубообрабатывающий станок для нарезания зубчатых колес диаметром до 8 метров и модулем до 50 миллиметров. Известны продольно-фрезерные станки для обработки базовых корпусных деталей различных машин, длиной 12 метров и шириной 4 метра. Практически в каждой часовой мастерской можно встретить переносной токарный станок, помещающийся в небольшом чемодане.

В архиве Тульского оружейного завода сохранились старинные, относящиеся к 1677 г. чертежи и описание «анбара сверлишного» с конным приводом – установки для рассверливания стволов пушек. Вероятно, это наиболее старый рабочий проект металлорежущего станка. До сих пор сохраняются два токарных станка, созданные около 1700 г. русским токарем А. Нартовым. Один из них является экспонатом Эрмитажа в Санкт-Петербурге (Россия), а другой – экспонатом Парижского музея (Франция). Построенный А. Нартовым в 1712 г. токарный станок с суппортом – дер-

жателем инструмента, по существу, был первым станком, который можно было выпускать серийно. Однако в тот период Российская империя, как и другие развитые страны, не была готова к созданию станкостроительной отрасли машиностроения.

М. Сидоров, современник А. Нартова, в 1714 г. изготовил многопозиционный станок для одновременного сверления 24 ружейных стволов. А через год Я. Батищев создал первую хонинговальную, как тогда говорили, машину для одновременной чистовой обработки 12 стволов. Эта машина осуществляла возвратно-поступательное и вращательное движение инструмента с помощью храпового механизма. Оба станка оказались весьма удачными и проработали более 100 лет.

Русский механик И. Ползунов на 20 лет опередил англичанина Д. Уайта, построив еще в 1765 г. в Барнауле первую паровую машину. Вместе со своими учениками он изготовил инструмент и создал станки для токарной обработки паровых цилиндров длиной 3 метра.

Станкостроение как отрасль промышленного производства появилось в конце 18-го века в Англии в результате промышленной революции. Родоначальником отрасли считается английский кузнец Г. Модсли, изготовивший в 1794 г. свой первый токарный станок с крестовым суппортом, повторив, как это часто бывает, изобретенный в начале века суппорт. Организовав свое дело и получив патенты на токарно-винторезный станок со сменными ходовыми винтами (1798 г.) и гитару сменных зубчатых колес (1800 г.), он приступил к производству на промышленной основе металлорезающих станков (МРС), называвшихся тогда обрабатывающими машинами. Он выпускал токарно-винторезные, отрезные с маятниковой пилой, сверлильные, долбежные, поперечно-строгальные, расточные, зубострогальные и ряд модификаций фрезерных станков. Выпущенные Г. Мондсли станки использовались в производстве до конца 19-го века.

В Российской империи вся незначительная потребность в МРС удовлетворялась главным образом за счет импорта. Первым заводом, начавшим производство станков, был завод Берда в Санкт-Петербурге, построенный еще в 1790 г. К 1913 г. (год промышленного подъема) вся машиностроительная промышленность империи располагала парком в 75 тыс. МРС, преимущественно простейших. К этому времени было всего 3 станкостроительных завода, выпустивших за весь 1913 г. всего 1,5 тыс. МРС 3-х моделей.

До конца 19-го века в механических цехах приводы станков осуществлялись от групповых трансмиссий, получавших энергию вращательного

движения от паровой машины. Развитие электромашиностроения вытеснило паровую машину из механических цехов. А в начале 20-го века станки стали оснащать индивидуальными электродвигателями.

В Советском Союзе решение об организации станкостроения как специализированной отрасли было принято в 1934 г. Это решение положило начало станкостроению и в Беларуси. И уже в 1937 г. на одном из перефилированных машиностроительных заводов был выпущен первый белорусский станок – токарно-револьверный для прутковых работ. Первенец станкостроения Беларуси стал называться Минским станкостроительным заводом имени Октябрьской Революции. Его современные продольно-фрезерные станки пользуются стабильным спросом в странах с развитым машиностроением.

Интенсивный рост серийности и разнообразия выпускаемых машин и агрегатов в ряде отраслей машиностроения создал объективные предпосылки для создания станков с автоматическим циклом обработки. В итоге в конце первой половины 20-го века был начат выпуск станков-автоматов токарной группы для обработки деталей типа тел вращения из прутковых заготовок, а затем и полуавтоматов для обработки деталей из отдельных заготовок. Этот тип станков оснащен автоматической системой управления, выполненной в виде распределительного вала, несущего кулачки, управляющие исполнительными органами станков.

В этот же период для автотракторной промышленности, характеризующейся крупносерийным и массовым производством, начинается разработка и производство специализированных агрегатных станков для обработки корпусных деталей. Создание таких станков стало возможным благодаря развитию принципа модульного проектирования и на этой основе производство станков из унифицированных узлов и деталей. Автоматический цикл обработки на агрегатных станках обеспечивается разработанной для них цикловой системой управления. Эти станки благодаря концентрации операций и совмещению переходов обеспечивают в массовом производстве существенный рост производительности по сравнению с универсальными станками.

В 1947 г. профессор Б. Балакшин (Московский станкоинструментальный институт) первым в мировой практике сформулировал общие принципы адаптивного управления станками на примере токарной обработки, минимизирующие влияние случайных внешних факторов – неоднородности припуска заготовки и микротвердости ее поверхности при точении на точность обработки. Проведенные им и его учениками исследова-

ния в этом направлении стали фундаментом для создания саморегулирующихся станочных систем.

Развитие кибернетики и создание вычислительных машин на базе больших интегральных схем привело к созданию систем числового программного управления (ЧПУ) и на этой основе нового класса станков – многооперационных станков, или обрабатывающих центров. Первые поиски в этом направлении были начаты в 1943 г. в США, когда по заданию авиационной промышленности ряд фирм приступил к проектированию многооперационного станка с ЧПУ и инструментальным магазином для обработки корпусных деталей. Первый станок был изготовлен в 1947 г. Одновременно была разработана система подготовки управляющих программ. Позже к работам в этой области станкостроения приступили и другие страны, имеющие развитую станкостроительную промышленность.

На основе начального опыта производства станков с ЧПУ утверждалось, что их выпуск из-за высокой стоимости экономически нецелесообразен. Однако впоследствии опыт использования станков этого класса показал ошибочность этого утверждения. Многооперационные станки с ЧПУ позволяют за одну установку производить столько операций и переходов, сколько ранее их выполнялось на всех позициях автоматических линий из универсальных станков. Современное многономенклатурное производство характеризуется быстрой сменой продукции машиностроения. Поэтому для ее изготовления необходим новый тип автоматических линий – гибкие быстропереналаживаемые производственные системы (ГПС), управляемые от ЭВМ. Основой таких систем являются гибкие производственные модули (ГПМ) на базе многооперационных станков с ЧПУ.

Обработка резанием, несмотря на наличие существенных отходов металла в виде стружки, сохраняет доминирующее положение среди всех известных методов обработки. При некотором уменьшении ее удельного веса за счет замены режущего инструмента физическими явлениями, абсолютный объем формообразующей обработки резанием со снятием стружки будет увеличиваться. Объясняется это тем, что обработка резанием является наименее энергоемким и наиболее экономичным процессом получения изделий требуемого качества. Данное положение в еще большей степени относится к станкам. Так, открытие электроэрозионного явления, защищенного в СССР в 1947 г. соответствующим дипломом под № 1, привело к созданию очередного нового направления в станкостроении – производству электроэрозионных станков, используемых для обработки труднообрабатываемых материалов, в том числе неметаллических.

В странах с развитым машиностроением в технологическом парке обрабатывающих машин в 5,5 – 7 раз больше металлорежущих станков, чем кузнечнопрессовых машин, занимающих второе место по общему количеству. Прогнозируется, что в обозримом будущем это соотношение не будет менее 5.

Беларусь относится к странам с развитой станкостроительной отраслью промышленности. Заводы этой отрасли расположены во всех регионах республики. Здесь выпускаются зубообрабатывающие, фрезерные, шлифовальные, сверлильные и агрегатные станки, многооперационные станки с ЧПУ, станки инструментального производства, специализированные станки для подшипниковой промышленности, станки для обработки оптических материалов, деревообрабатывающие станки. Ряд заводов выпускает режущие и мерительные инструменты, технологическую оснастку для отрасли.

Заметный вклад в науку о металлорежущих станках и развитие отечественного станкостроения вносят соответствующие кафедры университетов Беларуси, в том числе кафедра металлорежущих станков и инструментов Полоцкого государственного университета.

Различные вопросы проектирования и исследования станков, обзоры достижений в мировом станкостроении освещаются в монографиях и периодических журналах «Станки и инструмент» (Россия), «Известия вузов, серия Машиностроение» (Россия), «Машиностроитель» (Россия), «Техника машиностроения» (Россия), «Теория и практика машиностроения» (Беларусь), в научных трудах университетов, в том числе в журнале «Вестник Полоцкого государственного университета, серия В, Прикладные науки», в журналах, издаваемых в дальнем зарубежье.

1.2. Замечательные изобретения и пионерные научные решения

В средние века, а также на заре промышленной революции создателями станков было сделано несколько замечательных изобретений. Имя авторов некоторых таких изобретений осталось неизвестным. Ряд изобретений, например лучковый привод, остались в истории станкостроения, а привод с использованием мускульной силы валов можно встретить и в настоящее время в развивающихся странах в качестве движителя вертикального перемещения ковшовых транспортеров для подъема воды из колодцев. Отдельные изобретения того времени, например гитара сменных зубчатых колес, будут использоваться до тех пор, пока будут выпускаться станки с механическими связями.

В конце XIX и первой половине XX вв. исследователями было предложено несколько эпохальных научных решений, получивших всемирное признание. В настоящее время и в отдаленной перспективе эти решения сохраняют свою актуальность как при изучении станков, так и при их проектировании и эксплуатации.

1.2.1. Замечательные изобретения средневековья

Первый автомат – лук для стрельбы стрелами, использовавшийся для охоты и войны, стал основой для изобретения лучкового привода станков. На рис. 1.1 приведен токарный станок раннего средневековья с таким приводом. На колонне цеха крепится огромный лук. От его дуги спускался канат, который обматывал шпиндель и соединялся с педалью. Ремесленник, нажимая на педаль, оттягивал дугу лука, и канат, наматываясь на шпиндель, приводил его во вращение. Одновременно он подводил резец к заготовке и обтачивал ее. Когда педаль отпускалась, дуга лука распрямлялась и, возвращая канат в исходное положение, раскручивала шпиндель в обратном направлении. В этот момент резец отводился от детали, так как резать тыльной стороной невозможно. Станок совершал холостой ход. Затем ремесленник опять нажимал на педаль и процесс резания повторялся. Такой привод можно было использовать только при художественной обработке дерева.

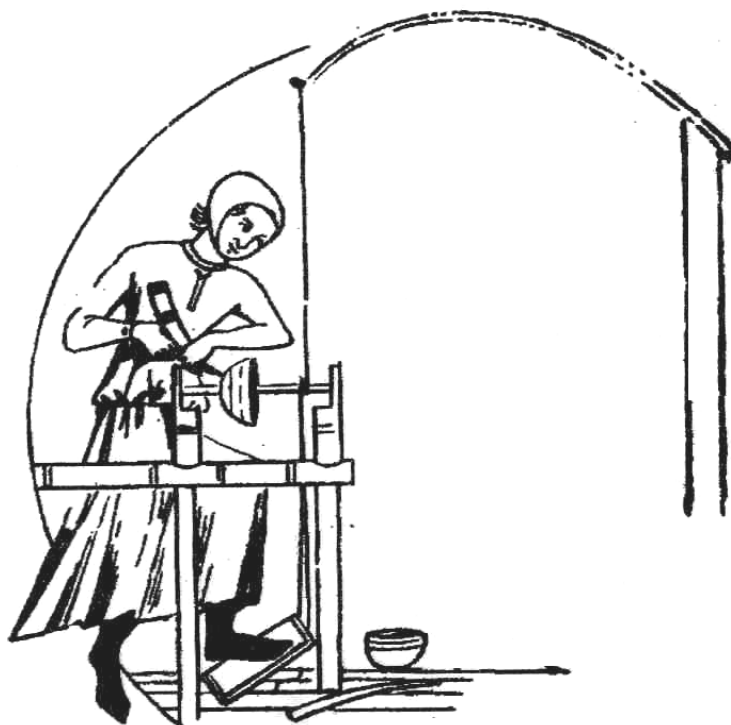


Рис. 1.1. Токарный станок XIII в.: французская миниатюра

Изобретение прообраза современного зубчатого колеса позволило привод вращения шпинделя осуществлять посредством зубчатой передачи. При этом непрерывное вращение ведущего зубчатого колеса обеспечивало непрерывное вращение шпинделя. Использование крупногабаритных зубчатых колес создало условия для изготовления тяжелых станков с использованием конной тяги. В частности, названный выше «анбар сверлильный» был оснащен таким приводом.

Таким образом, изобретение прообраза современной зубчатой передачи уже в раннем средневековье частично избавило человека от тяжелого физического труда – приложения мускульной силы для вращения шпинделя станка. Однако вторая составляющая привода станка – привод подачи инструмента еще несколько веков не был механизирован, а подача осуществлялась с использованием мускульной силы. Токарь перемещал резец вручную, опирая его как рычаг, на опору, параллельную оси заготовки.

Задача механической подачи резца была решена в период технической революции с изобретением суппорта – держателя инструмента. «Это механическое приспособление заменяет не какое-либо особенное орудие, а саму человеческую руку»: так оценил изобретение суппорта К. Маркс в «Капитале». Историки развития естествознания и техники считают, что суппорт в середине 17-го века был предложен несколькими изобретателями независимо друг от друга. Известны по литературным и патентным источникам того периода суппорты Даламбера, А. Нартова, Г. Мондсли и др.

Появление механического суппорта инициировало решение задачи нарезания винтов с различными шагами резьбы. Для ее решения Г. Мондсли предложил в 1798 г. винторезный станок со сменными ходовыми винтами, а через два года – с парой сменных зубчатых колес (рис. 1.2).

По Г. Мондсли, если A и B числа зубьев соответственно ведущего 1 и ведомого 2 колес, то можно записать:

$$A + B = C; \quad i_{cm} = \frac{A}{B},$$

где i_{cm} – известное по расчету передаточное отношение кинематической цепи.

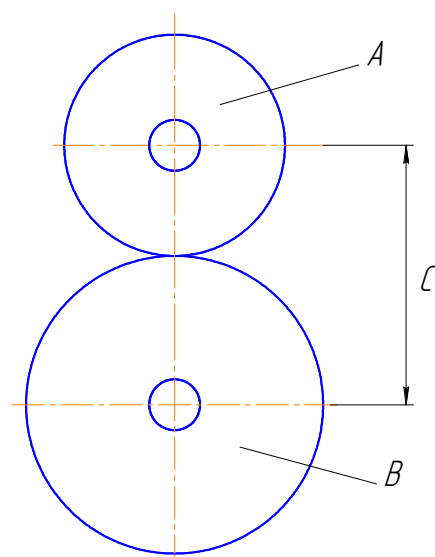


Рис. 1.2. Гитара сменных зубчатых колес

Решая полученную систему уравнений, получим:

$$A = B i; \quad B i + B = C; \quad B = \frac{C}{i+1}; \quad A = C - B.$$

По полученным значениям A и B подбираются зубчатые колеса из имеющегося набора.

В современном станкостроении рассмотренный зубчатый механизм называется двухколесной гитарой сменных зубчатых колес. Эта гитара используется в основном в редко перестраиваемых кинематических цепях выпускаемых в настоящее время станков с механическими связями.

На пороге 19-го века был сделан ряд изобретений, совершивших революционный переворот в технологии производства зубчатых колес, шлицевых валов, звездочек и подобных им деталей. Практически одновременно независимо друг от друга фирмы «Феллоу» (США) и «Пфаутер» (Германия) приступили к производству соответственно зубодолбежных и зубофрезерных станков для обработки цилиндрических зубчаток при их профилировании обкатом.

Автор первого направления, Феллоу Гир-Шепер, в качестве режущего инструмента, названного зуборезным долбяком, предложил использовать коническое зубчатое колесо, заточенное по большему основанию. В современном представлении зуборезный долбяк в различных сечениях является, по существу, корригированным зубчатым колесом с определенным смещением исходного контура. На рис. 1.3 движением Π_1 долбяка воспроизводится линия зуба (образующая), а согласованными движениями B_2 и B_3 , воспроизводящими при формообразовании необходимое последовательное положение долбяка и нарезаемого колеса, соответствующее зацеплению зубчатой передачи, – профиль его зубьев (направляющая). Функцию зубчатой передачи на рис. 1.4 выполняет кинематическая связь

$$B_2 \leftrightarrow 3 \leftrightarrow B_3,$$

включающая ряд последовательно расположенных передач и гитару сменных зубчатых колес 3 между долбяком 1 и заготовкой колеса 2.

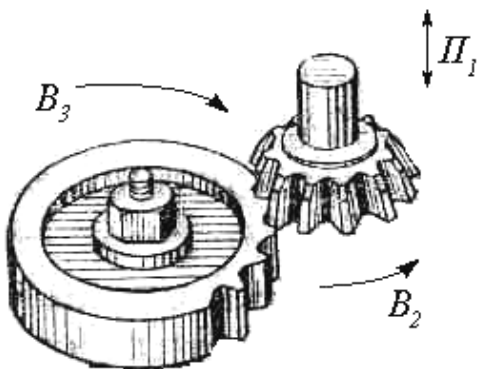


Рис. 1.3. Схема взаимодействия долбяка и заготовки при зубодолблении

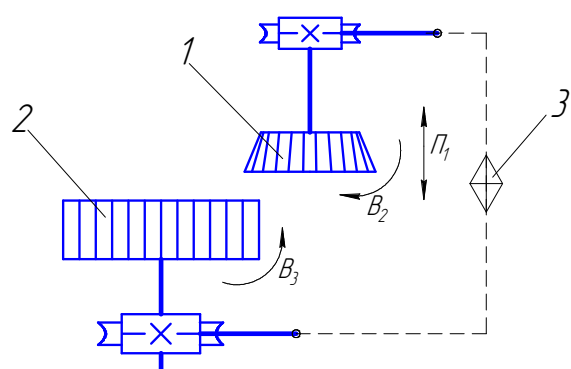


Рис. 1.4. Станочное зацепление долбяк – заготовка

Автор второго направления предложил новый тип режущего инструмента – червячную фрезу. Для этого вдоль оси червяка, изготовленного из инструментальной стали, было выполнено несколько равномерно расположенных продольных канавок. Затем зубья, полученные на винтовой поверхности червяка, были заточены по профилю (передняя поверхность) и прозатылованы по линии зуба (задняя поверхность). Таким образом, впервые была изготовлена червячная фреза. На рис. 1.5 профиль зубьев (образующая) колеса воспроизводится согласованными движениями B_1 и B_2 , воспроизводящими необходимое последовательное положение зубьев червячной фрезы и зубьев нарезаемого колеса, соответствующее зацеплению червяк – червячное колесо, а движениями B_1 и Π_3 – линия зуба (направляющая). В станочном зацеплении (рис. 1.6) последовательное положение зубьев фрезы 1 и колеса 2 выполняет кинематическая связь

$$B_1 \leftrightarrow 3 \leftrightarrow B_2,$$

включающая гитару сменных зубчатых колес 3.

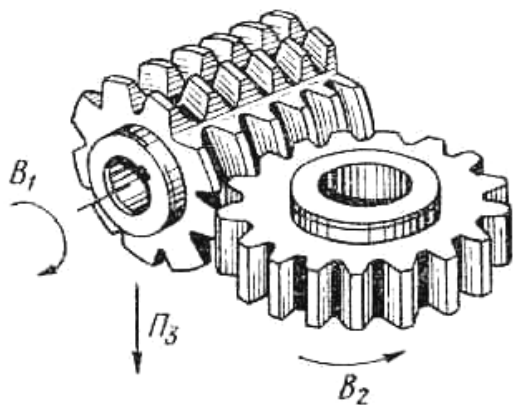


Рис. 1.5. Схема взаимодействия червячной фрезы и заготовки

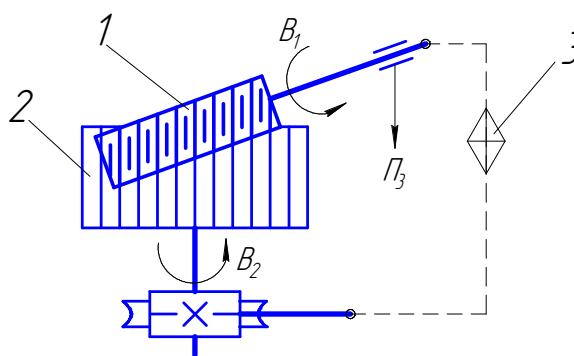


Рис. 1.6. Станочное зацепление червячная фреза – заготовка

1.2.2. Пионерные научные решения

Развитию теории и практики станкостроения в 17-ом и начале 18-го столетия во многом способствовали труды выдающегося русского станкостроителя А. Нартова. Начав свою деятельность в «токарне» Петра первого в качестве токаря-художника, он стал крупным инженером, изобретателем, ученым своего времени, и многое, изобретенное для художественного точения, применил в промышленности. А. Нартов строил станки, снабженные сложными передачами, с широким использованием зубчатых колес и червяков, винтов и кривошипов. В 20-х годах 18-го столетия он демонстрировал подручник резца с винтовым приводом. Последовательно развивая идею самоподачи суппорта, А. Нартов реализовал ее в 1729 г., создав токарно-копировальный станок, ныне находящийся в Эрмитаже.

Итоги многолетней научной работы А. Нартов изложил в рукописи «Театрум махинарум, или ясное зрелище машин», относящейся по мнению историков естествознания к 1747 г. По существу это была первая научная монография в области станковедения. Эту рукопись с дарственной надписью он подарил императрице России, вероятно, в надежде на ее издание. Однако рукопись на долгие годы оказалась в архиве. И только в середине 20-го столетия была найдена историками. В этой рукописи, содержащей большое количество рисунков и гравюр, много внимания уделяется токарным, фрезерным и сверлильным станкам. В частности, в конструкции токарно-винторезного станка, представленной в форме пространственной гравюры, использован механизированный крестовый суппорт и двухколесная гитара сменных зубчатых колес. Этот факт подтверждает авторский приоритет А. Нартова в создании обоих механизмов. В рукописи описан также прообраз современной универсальной делительной головки, используемой в единичном и ремонтном производствах совместно с фрезерными станками.

В 1870 г. профессор И. Тиме положил начало науке об обработке металлов резанием. Он раскрыл сущность процесса резания, объяснил характер образования, строения и усадки стружки, предложил формулу для расчета сил резания. Спустя шесть лет в 1876 г. его соотечественник профессор Петербургской артиллерийской академии А. Гадолин успешно решил задачу о наиболее выгодном распределении числа ступеней круговых частот вращения шпинделя для станков со ступенчатым приводом главного движения. Он следующим образом доказал, исходя из оптимальной скорости резания, что ряд круговых частот вращения шпинделя должен быть построен по закону геометрической прогрессии.

Пусть есть ряд чисел круговых частот вращения шпинделя

$$n_1, n_2, n_3, \dots, n_i, n_{i+1}, \dots, n_z,$$

где $n_1 = n_{\min}$; $n_z = n_{\max}$; z – число ступеней

Обозначим v – наиболее выгодная скорость резания. Следовательно, наиболее выгодная круговая частота вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 v}{\pi d}.$$

Допустим значения n нет в рассматриваемом ряду. Тогда:

$$n_i = \frac{1000 v_i}{\pi d}; \quad n_{i+1} = \frac{1000 v_{i+1}}{\pi d},$$

где $n_i < n < n_{i+1}$.

Обозначим: Δv – абсолютная потеря скорости, A – относительная потеря скорости. Тогда:

$$\Delta v = v - v_i; \quad A = \frac{v - v_i}{v};$$

$$\Delta v_{\max} \rightarrow v_{i+1} - v_i; \quad A_{\max} \rightarrow \frac{v_{i+1} - v_i}{v_{i+1}}.$$

Выразим относительную потерю скорости через производительность формообразования Q :

для токарных станков

$$Q = \pi d S n, \text{ мм}^2/\text{мин (при } S - \text{ мм/об);}$$

для фрезерных станков

$$Q = B S n, \text{ мм}^2/\text{мин (при } S - \text{ мм/об).}$$

При постоянных dS и BS :

$$Q = c_1 n = c_2 v,$$

где c_1 и c_2 – постоянные коэффициенты.

Следовательно, A_{\max} можно представить в виде:

$$A_{\max} = \frac{v_{i+1} - v_i}{v_{i+1}} = \frac{Q_{i+1} - Q_i}{Q_{i+1}} = \frac{n_{i+1} - n_i}{n_{i+1}} = 1 - \frac{n_i}{n_{i+1}}.$$

Отсюда следует вывод (по А. Гадолину) – станки будут работать в равноценных эксплуатационных условиях на всем диапазоне регулирования, если максимальная относительная потеря производительности формообразования, а следовательно, и скорости будет величиной постоянной, т.е. $A_{\max} = \text{const}$.

Для выполнения этого условия необходимо, чтобы:

$$A_{\max} = 1 - \frac{n_i}{n_{i+1}}.$$

Следовательно,

$$\frac{n_i}{n_{i+1}} = \frac{1}{\Phi} = \text{const}.$$

Тогда, можно записать:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{n_2}{n_3} = \frac{n_3}{n_4} = \dots = \frac{n_i}{n_{i+1}} \dots = \frac{n_{z-1}}{n_z} = \frac{1}{\Phi}.$$

Или, определяя каждый последующий член ряда:

$$\begin{aligned} n_2 &= n_1 \Phi. \\ n_3 &= n_2 \Phi = n_1 \Phi^2. \\ n_4 &= n_3 \Phi = n_1 \Phi^3. \\ &\dots\dots\dots \\ n_z &= n_1 \Phi^{z-1}. \end{aligned}$$

Таким образом, рассматриваемый ряд круговых частот является геометрической прогрессией. В настоящее время геометрический ряд для коробок скоростей принят в мировой практике станкостроения.

В первой четверти 20-го столетия в науке о станках начало складываться новое направление, называемое кинематической структурой, или кинематикой станков. Ее основоположником является профессор Московского высшего технического училища Г. Головин. Используя известный в механике принцип возможных перемещений, он разработал единую теорию настройки станков. По этой теории с целью определения неизвестных параметров органов настройки – гитар сменных зубчатых колес по кинематической схеме станка намечаются расчетные кинематические цепи. Под расчетной кинематической цепью понимается ряд последовательно расположенных передач, включая орган настройки, связывающих конечные исполнительные звенья. Для этой цепи задаются расчетные перемещения, под которыми понимается исходное перемещение ведущего звена цепи в совокупности с результирующим перемещением ведомого звена. Затем по этим перемещениям составляется уравнение кинематического баланса (уравнение кинематической цепи), по которому выводится формула настройки. Например, для станочного зацепления (цепь обката) долбяк – заготовка нарезаемого колеса по рис. 1.4 следует:

– расчетные перемещения

$$\frac{1}{Z_\partial} \text{ поворота долбяка} \rightarrow \frac{1}{Z} \text{ поворота заготовки};$$

– уравнение кинематического баланса

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_\partial} \prod_{j=1}^n i_j i_x;$$

– формула настройки

$$i_x = \frac{z_d}{z \prod_{j=1}^n i_j},$$

где z и z_d – числа зубьев нарезаемого колеса и долбяка соответственно;

i_x – передаточное отношение гитары сменных зубчатых колес (орган настройки станочного зацепления);

$\prod_{j=1}^n i_j$ – произведение передаточных отношений постоянных передач

станочного зацепления.

Теория настройки станков рассматривает кинематику станка как совокупность составляющих ее расчетных цепей. Ее основное назначение – вывод формул настройки для органов настройки станков (гитар сменных зубчатых колес, сменных шкивов и т.д.). Наряду с этим она длительное время использовалась для объяснения физической сущности работы станков. Определенные сомнения в корректности такого использования теории настройки высказывал ее автор. Описывая работу станка для точения резьбы чашечным резцом, типа долбяка, он отмечает: «Достоинством внимания здесь оказывается и то обстоятельство, что при выполнении резьбовых работ шаг (nt) изготавливаемой резьбы оказывается получающимся независимо от подачи (s), при которой производится обработка. Это парадоксальное явление может быть объяснено тем обстоятельством, что возникающий при этом процесс распадается на составляющие его части, одной из которых является копирование инструментом и заготовкой в каждый отдельный момент, независимо от участия в процессе движения подачи, работы червячной передачи, а второй – процесс резания, обеспечиваемый подачей независимо от того участвует ли инструмент и заготовка в копировании работы червячной передачи или же нет» (см. Г. Головин. Кинематика станков. М.: Изд. МВТУ, 1946. – с. 206). Аспирант Г. Головина, а затем профессор Московского станкоинструментального института А. Федотенко, продолжая дело учителя, разработал, на основе принципа разветвления энергии движения в механических цепях, теорию кинематической структуры станков. По этой теории кинематика станка – это объединение кинематических групп, каждая из которых воспроизводит конкретное рабочее или вспомогательное движение. При этом теория настройки станков без изменений входит в теорию кинематической структуры как ее составная часть.

Теория кинематической структуры станков совместно с теорией формообразования поверхностей, по существу, является фундаментальной основой инженерной дисциплины «Технологическое (станочное) оборудование», в университетах.

1.3. Классификация металлорежущих станков

1.3.1. По технологическому признаку

В зависимости от характера выполняемых работ все многообразие станков разделено на группы. В каждую из групп включены станки по признаку общности метода обработки независимо от схемы компоновки, степени и уровня автоматизации и т.п. (таблица 1.1). Станки каждого типа с подобными параметрами и размерами объединены размерным рядом. Конкретное конструктивное исполнение станка определенной группы и типоразмера, предназначенного для заданных условий обработки, определяется моделью станка.

1.3.2. По степени точности

По этому признаку различают пять классов точности станков.

Класс Н – станки нормальной точности. Этот класс станков изготавливается общепринятыми методами, при этом их сборка осуществляется, как правило, на основе полной взаимозаменяемости.

Класс П – станки повышенной точности. Повышенная точность обеспечивается посредством повышения требований к качеству изготовления наиболее ответственных деталей и сборки узлов станка. Конструктивно станки этого класса не отличаются от аналогичных станков класса Н.

Класс В – станки высокой точности. Высокая точность обеспечивается:

- специальной конструкцией ответственных деталей и узлов;
- высокими требованиями к качеству изготовления ответственных деталей и селективной сборкой в термоконстантных цехах.

Класс А – станки особо высокой точности. Требования к их изготовлению еще более жесткие, чем для класса В.

Класс С – мастер-станки. Эти станки предназначены для изготовления деталей станков классов В и А.

Соотношение между величинами допусков при переходе от класса точности к следующему классу выражается знаменателем 1,6.

Класс точности станка, кроме нормального, указывают после шифра его модели, например, модель 16К20В – токарно-винторезный станок высокой точности.

Станки классов А, В, С для обеспечения высокой точности должны эксплуатироваться в специальных термоконстантных помещениях, в которых необходимо поддерживать постоянными температуру и влажность. По

массе станки делят на легкие (до 1 т), средние (до 10 т) и тяжелые (свыше 10 т). Тяжелые бывают крупные (до 30 т), собственно тяжелые (до 100 т) и особо тяжелые или уникальные (свыше 100 т).

1.3.3. По универсальности

По этому признаку различают станки универсальные, специализированные и специальные. Универсальные станки общего назначения применяют для выполнения различных операций при обработке деталей широкой номенклатуры. Они имеют широкий диапазон регулирования скоростей резания и подачи, снабжены быстродействующими механизмами управления и быстрых перемещений для установки столов, суппортов, бабок в заданное положение. К универсальным станкам относят токарные, токарно-винторезные, токарно-револьверные, фрезерные, сверлильные и др. Универсальные станки, как правило, применяют в мелкосерийном и серийном производствах. Для них характерна частая смена обрабатываемых деталей и переналадка инструмента.

Специализированные станки предназначены для обработки однотипных деталей, сходных по конфигурации, но имеющих различные размеры. К ним относят токарно-затыловочные станки, станки для обработки коленчатых валов, зубообрабатывающие, резьбообрабатывающие и др. Для них характерна быстрая переналадка и настройка сменных устройств и приспособлений на обработку детали того же наименования, но с другими размерами. Применяются в серийном и крупносерийном производствах.

Специальные станки предназначены для обработки одной или нескольких подобных деталей одного типоразмера или даже для выполнения отдельных операций, например, для фрезерования лопаток турбин, для растачивания отверстий блока цилиндров и т.п. Применение специальных станков позволяет сократить до минимума вспомогательное и основное технологическое время за счет автоматизации обработки и применения оптимальных режимов резания и конструкций инструмента, быстросменной многоинструментальной оснастки с автоматической подналадкой. Такие станки используют в крупносерийном и массовом производствах.

Таблица 1.1

Классификация металлорежущих станков

Станки	Гр.	Типы								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Токарная	1	Автоматы и полуавтоматы Одно- шпиндельные	Много- шпиндельные	Револьверные	Сверлильно- отрезные	Карусельные	Токарные и лобовые	Много- резцовые	Специализиро- ванные	Разные токарные
Сверлильные и расточные	2	Вертикально- сверлильные	Полуавтоматы одношпин- дельные	Расточные	Координатно- расточные	Радиально- сверлильные	Расточные	Алмазно- расточные	Горизон- тально- сверлильные	Разные свер- лильные
Шлифоваль- ные, доводоч- ные	3	Кругло- шлифоваль- ные	Внутришли- фовальные	Обдирочно- шлифо- вальные	Специали- зированные шлифо- вальные	–	Заточные	Плоскошли- фовальные	Притирочные и поли- ровальные	Разные стан- ки работаю- щие абрази- вом
Комбини- рованные, электро- физико- химические	4	Универ- сальные	Полуавто- маты	Автоматы	Электрохи- мические	Электро- искровые	–	Электро- эрозийные, ультра- звуковые	Анодно- механические	–
Зубо- и резь- бо-обраба- тывающие	5	Зубостро- гальные для цилиндриче- ских колес	Зуборезные для кониче- ских колес	Зубофрезерные для цилин- дрических колес и шли- фовальных валов	Для обра- ботки торцев зубьев колес	–	Резьбо- фрезерные	Зубо- отделочные	Зубо- и резьбо- шлифо- вальные	Разные зубо- и резьбообра- батывающие
Фрезерные	6	Вертикально- фрезерные консольные	Фрезерные непрерыв- ного дейст- вия	–	Копиро- вальные и гравиро- вальные	Вертикаль- ные бес- консольные	Продольные	Широко- универ- сальные	Горизон- тальные кон- сольные	Разные фрезерные
Строгальные, долбежные и протяжные	7	Продольные одностоеч- ные	Продольные двухстоеч- ные	Поперечно- строгальные	Долбежные	Протяжные горизонталь- ные	–	Протяжные вертикаль- ные	–	Разные стро- гальные
Разрезные	8	Отрезные, работающие абразивным диском, кругом	–	Правильно- отрезные	Ленточные	Дисковые пилы	–	Ножовочные	–	–
Разные	9	Муфто- и трубообраба- тывающие	Пилонасека- тельные	Правильно- и бесцентрово- обдирочные	–	Для испыта- ния инстру- ментов	Делительные машины	Балансиро- вочные	–	–

1.3.4. Система обозначения станков

Серийные станки. Каждому станку присваивается шифр из нескольких цифр и букв, определяющих его группу, тип и типоразмер. Первая цифра определяет группу станка, вторая – его тип, третья или третья и четвертая характеризует один из важнейших параметров станка (высота центров, максимальный диаметр обрабатываемого прутка, размеры стола и т.п.). Первая буква в шифре обозначает однозначную модернизацию базовой модели, вторая и последующие буквы – принципиальную особенность данной модели станка. Например, шифр 2Н118 обозначает: 2 – сверлильный, 1 – вертикальный, 18 – наибольший условный диаметр сверления, буква Н указывает на модернизацию станка базовой модели 2118. Иногда, для некоторых типов станков, например многошпиндельных токарных автоматов, через тире добавляется еще одна цифра, характеризующая конструктивную особенность (количество шпинделей).

В моделях станков с ЧПУ для обозначения степени автоматизации в конце шифра добавляется буква Ф с цифрой:

Ф1 – станок оснащен системой ЧПУ с цифровой индикацией и предварительным набором координат;

Ф2 – станок оснащен позиционной и/или прямоугольной системой ЧПУ;

Ф3 – станок оснащен контурной системой ЧПУ;

Ф4 – станок оснащен универсальной системой ЧПУ, объединяющей системы Ф2 и Ф3.

В моделях станков с цикловым программным управлением (ЦПУ) в конце шифра добавляется буква Ц.

Например, шифр 16К20Ф3 обозначает токарно-винторезный станок с высотой центров 200 мм и контурной системой ЧПУ, шифр 6С12Ц – вертикально-фрезерный станок с габаритом стола № 2 и системой ЦПУ.

Станки индивидуального производства. Для обозначения станков индивидуального производства, к которым, как правило, относятся специализированные и специальные станки, каждому станкостроительному заводу присвоен индекс из двух букв, после которого ставится порядковый номер модели. Например, ВС – Витебский станкостроительный завод «Вистан», ВЗ – Витебский станкостроительный завод «Визас» и т.п.

Шифр ВС-122 обозначает только завод-изготовитель, не расшифровывая модель станка. По его паспорту это зубодолбежный станок для обработки цилиндрических зубчатых колес с модулем до 5 мм зуборезным долбяком.

1.4. Техничко-экономические показатели современных станков

Для сравнительной оценки технического уровня МРС и комплектов станочного оборудования, а также для выбора станков в соответствии с решением конкретной производственной задачи используют набор показателей, характеризующих качество как отдельных станков, так и набора станочного оборудования.

1.4.1. Эффективность

Эффективность – комплексный (интегральный) показатель, который наиболее полно отражает главное назначение станочного оборудования – повышать производительность труда и соответственно снижать затраты труда при обработке деталей. Эффективность МРС, шт./руб.:

$$A = N / \sum c, \quad (1.1)$$

где N – годовой выпуск деталей;

$\sum c$ – сумма годовых затрат на их изготовление.

При проектировании или подборе станочного оборудования всегда следует стремиться к максимальной эффективности, а показатель (1.1) при этом следует рассматривать как целевую функцию:

$$A = N / \sum c \rightarrow \max. \quad (1.2)$$

Если задана годовая программа выпуска, то условие (1.2) приводится к минимуму приведенных затрат:

$$\sum c \rightarrow \min. \quad (1.3)$$

Сравнение эффективности двух вариантов станочного оборудования при заданной программе выпуска ведут по разности приведенных затрат:

$$P = (\sum c)_1 - (\sum c)_2, \quad (1.4)$$

где индекс «2» относится к более совершенному варианту станочного оборудования при сравнении с базовым (индекс «1»).

1.4.2. Производительность

Производительность станка определяет его способность обеспечивать обработку определенного числа деталей в единицу времени.

Штучная производительность (шт./год или шт./час) выражается числом деталей, изготовленных в единицу времени, при непрерывной безотказной работе.

$$Q = T_0 / T, \quad (1.5)$$

где T_0 – годовой фонд времени;

T – полное время всего цикла изготовления детали.

При изготовлении на универсальном станке разных деталей его штучную производительность определяют по условной, так называемой представительной детали, форму и размеры которой берут усредненными по всему рассматриваемому множеству деталей. Все исходные параметры представительной детали (масса, размеры, допуски и т.д.) определяют для всей группы рассматриваемых деталей как средневзвешенные величины:

$$\bar{x} = \sum x \delta_{cx} / \delta_c,$$

где x – величина данного параметра внутри каждого интервала;

δ_{cx} – частота по интервалам изменения величины x ;

δ_c – общая частота (весомость) деталей рассматриваемой группы.

Для станков широкой универсальности рассматривают набор представительных деталей, каждая из которых соответствует семейству однотипных деталей, сходных по форме и технологии обработки. Производительность определяют по среднему значению времени цикла обработки, которое без учета потерь выражается как:

$$T = t_p + t_g, \quad (1.6)$$

где t_p – время обработки резанием;

t_g – время на все виды вспомогательных операций, не совмещенных по времени с обработкой.

Если процесс обработки осуществляют непрерывно и дополнительное время на вспомогательные операции не затрачивается, т.е. если $t_g = 0$, а $T = t_p$, то штучная производительность совпадает с понятием технологической производительности:

$$Q_T = 1/t_p, \quad (1.7)$$

определяемой только по машинному времени. Штучная производительность связана с годовым выпуском деталей коэффициентом использования η , учитывающим потери годового фонда времени по организационным и техническим причинам:

$$N = Q\eta. \quad (1.8)$$

Кроме штучной производительности иногда используют для сравнительной оценки различного по характеру оборудования и разных методов обработки другие условные показатели.

Производительность формообразования измеряют площадью поверхности, обработанной на станке в единицу времени:

$$Q_\phi = \frac{v_p t_p}{L T}, \quad (1.9)$$

где v_p, L – скорость и полный путь перемещения инструмента по обрабатываемой поверхности.

Производительность резания определяют объемом материала, снятого с заготовки в единицу времени. Этот показатель применяют иногда для оценки возможностей станков для предварительной обработки или для сравнения различных технологических методов размерной обработки (табл. 1.2). В таблице приведены также данные по затратам мощности при удалении 1 см³ металла за одну минуту.

Основные пути повышения производительности станков и станочных систем связаны со следующими тенденциями: увеличением технологической производительности; совмещением разных операций во времени; сокращением времени на вспомогательные движения; сокращением всех видов внецикловых потерь.

Технологическая производительность увеличивается с повышением скорости обработки и с увеличением суммарной длины режущих кромок инструмента, участвующих в процессе формообразования. Повышение скорости обработки ограничивается свойствами материала режущего инструмента. Резкое повышение скорости возможно при переходе на новые инструментальные материалы. При замене режущего инструмента из быстрорежущей стали и твердого сплава инструментом из порошкового твердого сплава и алмазным инструментом можно ожидать существенное повышение скорости резания и соответственно подачи. Значительное повышение производительности достигается применением эффективных смазочно-охлаждающих жидкостей. Увеличение суммарной длины режущих кромок приводит к усложнению и удорожанию режущего инструмента, что оправдывает себя, как правило, при соответствующем увеличении масштаба производства.

Таблица 1.2

Производительность размерной обработки

Вид обработки	Производительность, см ³ /мин	Мощность, кВт	Вид обработки	Производительность, см ³ /мин	Мощность, кВт
Точение	1500	0,06	Электрохимическая	151	10
Шлифование	800	0,6	Ультразвуковая	0,01	25
Электроискровая	15	1,0	Лазерная		4000

Большим резервом повышения производительности является совмещение во времени различных операций, как основных, так и вспомогательных. Одновременное выполнение нескольких рабочих операций осуществляется на многопозиционных станках и автоматических линиях, используемых в крупносерийном и массовом производстве. Совмещение рабочих операций с вспомогательными всегда целесообразно, если это не связано с излишним усложнением и удорожанием станка. Применение не-

прерывных методов обработки (бесцентрового шлифования, накатки резьбы непрерывным способом, непрерывного протягивания и др.) дает возможность полностью совместить все вспомогательные операции с рабочими и обеспечить наибольшую производительность станка.

Сокращение времени на вспомогательные движения (холостые ходы) для повышения производительности станка обеспечивается совершенствованием привода и системы управления. Ограничения по скорости вспомогательных движений связаны с возникающими при этом инерционными нагрузками и их отрицательным влиянием по различным критериям работоспособности деталей и механизмов станка. Все виды внецикловых потерь сокращаются при комплексной автоматизации и совершенствовании системы управления как отдельным станком, так и всем автоматизированным производством на базе вычислительной техники.

Автоматизация смены инструмента и совмещение операций смены затупленного инструмента на станке с рабочими операциями сокращают потери времени на замену инструмента. Повышение надежности станков и автоматических систем снижает число отказов и общие затраты на устранение этих отказов.

1.4.3. Надежность

Надежность станка – свойство станка обеспечивать бесперебойный выпуск годной продукции в заданном количестве в течение определенного срока службы и в условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Нарушение работоспособности станка называют *отказом*. При отказе продукция либо не выдается, либо является бракованной. В автоматизированных станках и автоматических линиях отказы могут быть связаны с нестабильностью условий работы под влиянием отдельных случайных факторов и сочетания этих случайных факторов – разброса параметров заготовок, переменности сил резания и трения, отказов элементов систем управления и т.д. Кроме того, причинами отказов может быть потеря первоначальной точности станка из-за изнашивания его частей и ограниченной долговечности важнейших его деталей и механизмов (направляющих, опор, шпинделей, передач винт-гайка, фиксирующих устройств и т.п.).

Безотказность станка – свойство станка непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени. Безотказность может быть оценена следующими показателями.

Вероятность отказа по результатам испытаний N_0 элементов, из которых отказали $N_{OT} = N_0 - N_{И}$, а $N_{И}$ оказались исправными, определяют по формуле:

$$Q(t) = N_{OT} / N_0. \quad (1.10)$$

Вероятность безотказной работы:

$$P(t) = 1 - Q(t) = N_{II} / N_O. \quad (1.11)$$

Интенсивность отказов – условная плотность вероятности возникновения отказа в единицу времени:

$$\lambda(t) = \frac{1}{N_{II}} \frac{dN_{OT}}{dt}. \quad (1.12)$$

Вероятность безотказной работы может быть представлена в зависимости от интенсивности отказов. Производную по времени выражения (1.11) приводят к виду:

$$\frac{dP(t)}{dt} = -\frac{1}{N_O} \frac{dN_{OT}}{dt} = -\frac{N_{II}}{N_O} \lambda(t) = -P(t)\lambda(t).$$

Откуда следует:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (1.13)$$

Вероятность безотказной работы станка как сложной системы, состоящей из n элементов, соединенных последовательно, при условии их независимости по критерию надежности представляют в виде:

$$P_{cm}(t) = \prod_1^n P_i(t), \quad (1.14)$$

где $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i -того элемента.

Отказы, имеющие постоянную интенсивность:

$$\lambda(t) = \frac{1}{t_{cp}} = \text{const},$$

где t_{cp} – средняя наработка между отказами дает вероятность безотказной работы в виде:

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-t/t_{cp}}. \quad (1.15)$$

Отказы, связанные с изнашиванием элементов станка, обычно подчиняются законам нормального распределения или логарифмически-нормального распределения. В первом случае известны две характеристики распределения – средняя наработка на отказ и среднеквадратичное отклонение:

$$t_{cp} = \frac{1}{N_o} \sum t_i; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (t_i - t_{cp})^2}{N_o - 1}}.$$

Комплексным показателем надежности станков является коэффициент технического использования:

$$\eta = \frac{1}{\left(1 + \sum_{i=1}^n \lambda_i t_{cp i}\right)}, \quad (1.16)$$

где n – число независимых элементов, подверженных отказам;
 λ_i – интенсивность отказов i -того элемента;
 $t_{cp i}$ – среднее время на устранение отказа (на восстановление).

Коэффициент технического использования η дает возможность оценить фактическую производительность Q_f по сравнению с номинальным значением производительности Q (при абсолютной надежности): $Q_f = Q_\eta$.

Долговечность станка – свойство станка сохранять работоспособность в течение некоторого времени с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта до наступления предельного состояния. Долговечность отдельных механизмов и деталей станка связана главным образом с изнашиванием подвижных соединений, усталостью при действии переменных напряжений и старением.

Изнашивание подвижных соединений в станке (направляющих, опор шпинделя, передач винт-гайка и др.) является важнейшей причиной ограничений долговечности по критерию сохранения первоначальной точности.

Ремонтпригодность – свойство, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов. Этот критерий является особенно важным для станков с высокой степенью автоматизации и автоматических станочных систем, так как определяет стоимость затрат на устранение отказов и связанные с этим простои дорогостоящего оборудования.

Технический ресурс – наработка от начала эксплуатации или ее возобновления после среднего и капитального ремонта до перехода в предельное состояние. Для определения долговечности отдельных элементов (деталей и механизмов станка) используют средний ресурс (математическое ожидание).

Современные станки и станочные системы (автоматические линии, участки и производства) являются сложной системой из большого числа разнородных элементов (механических, электрических и радиоэлектронных). Оценка надежности сложной системы должна осуществляться на основе учета и анализа всех действующих факторов. В соответствии с общей формулой (1.14) вероятность безотказной работы станка:

$$P_{cp}(t) = P_1(t)P_2(t)P_3(t),$$

где $P_1(t)$ – надежность по внезапным отказам механических узлов;
 $P_2(t)$ – надежность радиоэлектронной аппаратуры;
 $P_3(t)$ – надежность, обусловленная отказами по изнашиванию.

Технологическая надежность станков и станочных систем, как свойство сохранять во времени первоначальную точность оборудования и соответствующее качество обработки, имеет важное значение в условиях длительной и интенсивной эксплуатации. В основе аналитических методов оценки технологической надежности станков лежит разработка математической модели, отражающей характер изменения точности обработки или точности систем станка во времени.

Для повышения надежности станков и автоматических станочных систем целесообразно: оптимизировать сроки службы наиболее дорогостоящих механизмов и деталей станков на основе статистических данных и тщательного анализа с использованием средств вычислительной техники; обеспечивать гарантированную точностную надежность станка и соответствующую долговечность ответственных подвижных соединений (опор и направляющих); применять материалы и различные виды термической обработки, обеспечивающие высокую стабильность базовых деталей несущей системы на весь срок службы станка; устранять в ответственных соединениях трение скольжения, применяя опоры и направляющие с жидкостной и газовой смазкой; применять в наиболее ответственных случаях при использовании сложных систем автоматического станочного оборудования принцип резервирования, резко повышающий безотказность системы; распространять в станках профилактические устройства обнаружения и предупреждения возможных отказов по наиболее вероятным причинам.

1.4.4. Гибкость

Гибкость станочного оборудования – способность к быстрому переналаживанию при изготовлении других, новых деталей. Чем чаще происходит смена обрабатываемых деталей и чем большее число разных деталей требует обработки, тем большей гибкостью должен обладать станок или соответствующий набор станочного оборудования. Гибкость характеризуют двумя показателями – универсальностью и переналаживаемостью.

Универсальность определяется числом разных деталей, подлежащих обработке на данном станке, т.е. номенклатурой I обрабатываемых деталей. При этом следует иметь в виду, что отношение годового выпуска N к номенклатуре I определяет серийность изготовления:

$$s = N / I . \quad (1.17)$$

Целесообразная гибкость оборудования связана с номенклатурой обрабатываемых деталей (рис. 1.7).

Переналаживаемость определяется потерями времени и средств на переналадку станочного оборудования, при переходе от одной партии заготовок к другой партии. Таким образом, переналаживаемость является показателем гибкости оборудования и зависит от числа P партий деталей, обрабатываемых на данном оборудовании в течение года. При этом средний размер партии:

$$p = N / P \quad (1.18)$$

связан с характером производства и с переналаживаемостью оборудования.

Для каждого вида станочного оборудования существуют вполне определенные затраты на каждую переналадку. С увеличением числа деталей в партии общие затраты на переналадку снижаются, но при этом увеличиваются затраты на хранение деталей, которые не сразу идут в дальнейшую работу, например, на сборку, а создают незавершенное производство. Таким образом, для каждого вида станочного оборудования с его переналаживаемостью существует оптимальный размер партии обрабатываемых деталей. Чем меньше оптимальный размер партии, тем большей гибкостью обладает станочное оборудование. Применение средств вычислительной техники для управления станками, оснащение их манипуляторами и устройствами ЧПУ позволили существенно повысить гибкость оборудования при высокой степени автоматизации.

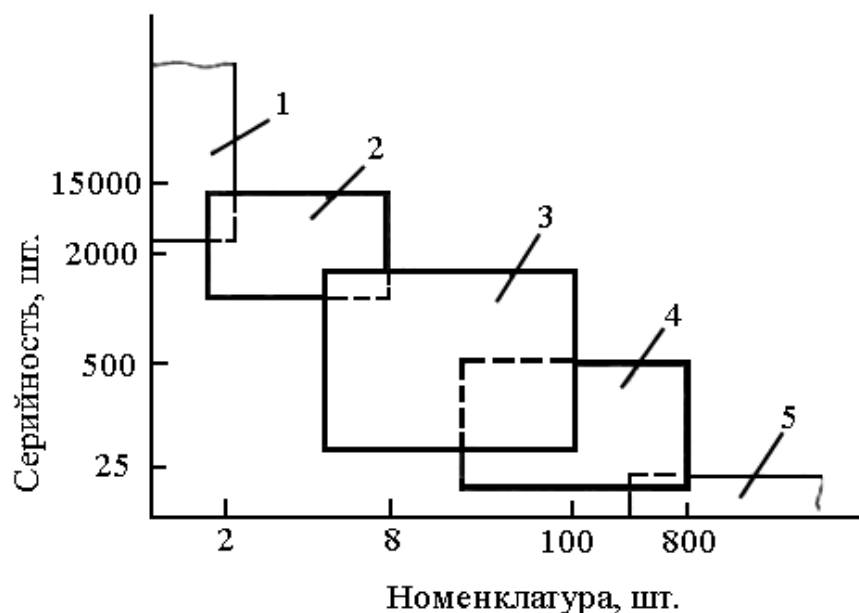


Рис. 1.7. Примерные области использования станочного оборудования:
 1 – автоматические линии; 2 – переналаживаемые автоматические линии;
 3 – гибкие станочные системы; 4 – станочные модули и станки с ЧПУ;
 5 – станки с ручным управлением

1.4.5. Точность

Точность станка в основном предопределяет точность обработанных на нем изделий. По характеру и источникам возникновения все ошибки станка, влияющие на погрешности обработанной детали, условно разделяют на несколько групп.

Геометрическая точность зависит от ошибок соединений и влияет на точность взаимного расположения узлов станка при отсутствии внешних воздействий. Геометрическая точность зависит главным образом от точности изготовления соединений базовых деталей и от качества сборки станка. На погрешности в расположении основных узлов станка существуют нормы; соответствие этим нормам проверяют для нового станка и периодически при его эксплуатации. Нормы на допустимые для данного станка геометрические погрешности зависят от требуемой точности изготовления на нем деталей.

Кинематическая точность необходима для станков, в которых сложные движения требуют согласования скоростей нескольких элементарных движений. Нарушение согласованных движений нарушает правильность заданной траектории движения инструмента относительно заготовки и искажает тем самым форму обрабатываемой поверхности. Особое значение кинематическая точность имеет для зубообрабатывающих, резьбонарезных и других станков для сложной контурной обработки.

Жесткость станков характеризует их свойство противостоять появлению упругих перемещений под действием постоянных или медленно изменяющихся во времени силовых воздействий. Жесткость – отношение силы к соответствующей упругой деформации δ в том же направлении:

$$j = F / \delta. \quad (1.19)$$

Величину, обратную жесткости, называют податливостью:

$$c = 1 / j = \delta / F. \quad (1.20)$$

Податливость сложной системы из набора упругих элементов, работающих последовательно, равна сумме податливостей этих элементов:

$$c_o = \sum_{i=1}^n c_i. \quad (1.21)$$

Жесткость станка, его несущей системы должна обеспечить упругое перемещение между инструментом и заготовкой в заданных пределах, зависящих от требуемой точности обработки. Жесткость и соответственно податливость базовых деталей станка из чугуна или стали подчиняются закону Гука и для каждой детали есть величина постоянная. Жесткость большинства соединений, таких, как неподвижные стыки, направляющие, подшипники качения и скольжения, не является постоянной величиной

вследствие отсутствия прямой пропорциональности между силой и упругим перемещением. В этом случае жесткость следует понимать как отношение приращения силы к соответствующему приращению перемещения:

$$j = \frac{dF}{d\delta}. \quad (1.22)$$

Жесткость несущих систем станков при большом числе упругих деталей и соединений между ними обычно близка к постоянному значению. Жесткость же отдельных соединений, предварительно не затянутых и имеющих зазоры, существенно нелинейна и зависит от характера приложения силы. Кроме того, жесткость соединений зависит от случайных изменений рельефа контактирующих поверхностей, в первую очередь, от шероховатости и волнистости. В связи с этим жесткость соединений и жесткость сложных деталей, изменяющаяся из-за изменения, например, толщины стенок, могут влиять на разброс значений жесткости даже одинаковых станков. На общую жесткость станков большое влияние оказывают соединения инструмента и заготовки с соответствующими узлами станка, поскольку эти соединения типа конусов, кулачков патрона, центровых отверстий имеют небольшую жесткость. Для повышения общей жесткости станка целесообразно выявлять элементы с пониженной жесткостью и затем принимать меры к ее повышению до уровня жесткости других последовательно нагруженных упругих звеньев.

Виброустойчивость станка или динамическое его качество определяет его способность противодействовать возникновению колебаний, снижающих точность и производительность станка. Наиболее опасны колебания инструмента относительно заготовки. Вынужденные 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. Особую опасность при вынужденных колебаниях представляют резонансные колебания, возникающие при совпадении частоты внешних воздействий с частотой собственных колебаний одного из упругих звеньев станка. Автоколебания или самовозбуждающиеся колебания связаны с характером протекания процессов резания и трения в подвижных соединениях. В условиях потери устойчивости возникают колебания, которые поддерживаются внешним источником энергии от привода станка.

Параметрические колебания имеют место при периодически изменяющейся жесткости, например, при наличии шпоночной канавки на вращающемся валу. Возникающие при этом колебания сходны с вынужденными колебаниями.

Низкочастотные фрикционные колебания наблюдаются при перемещении узлов станка недостаточно жестким приводом в условиях трения скольжения. В этих случаях непрерывное движение узла может при определенных условиях превратиться в прерывистое с периодически чередующимися скачками и остановками.

Колебания в упругой системе станка возникают также во время переходных процессов, обусловленных пуском, остановкой, резким изменением режима работы.

Основные пути повышения виброустойчивости станков: устранение источников периодических возмущений; подбор параметров упругой системы для обеспечения устойчивости; повышение демпфирующих свойств; применение систем автоматического управления уровнем колебаний.

Теплостойкость станка характеризует его сопротивляемость возникновению недопустимых температурных деформаций при действии тех или иных источников теплоты. К основным источникам теплоты относятся процесс резания, двигатели, подвижные соединения, особенно при значительных скоростях относительного движения. При постоянно действующем источнике теплоты нагрев и температурное смещение изменяются с течением времени по экспоненте

$$\delta_t = \delta_0(1 - e^{-\alpha t}), \quad (1.23)$$

где t – время;

α – коэффициент, зависящий от материала и конструкции;

$\delta_0 = \delta_t$ при $t \rightarrow \infty$.

При чередующихся с паузами периодах работы изменения температурных смещений носят случайный характер, что усложняет применение различных методов компенсации температурных погрешностей.

Точность позиционирования характеризуется ошибкой вывода узла станка в заданную позицию по одной или нескольким координатам. На точность позиционирования влияет большое число систематических и случайных погрешностей. Стабильность позиционирования определяют зоной рассеяния (дисперсией) положений узла станка при его подводе к определенному положению с одного и того же направления. Ошибку перемещения характеризуют систематической составляющей при фиксированном направлении подвода. Зоной нечувствительности называют разность ошибок положения узла при подводе его к заданной точке с разных сторон.

Точность позиционирования является важной характеристикой качества всех станков с ЧПУ. Если известна характеристика точности позиционирования для данного конкретного станка, то ее можно уточнить при отработке управляющей программы.

2. ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Металлорежущий станок как техническая система представляет собой объединение трех подсистем: кинематической структуры, системы управления и компоновки (несущей системы). При этом первоначальной базой любого станка является его кинематическая структура, выражаемая кинематической схемой, в дальнейшем для краткости называемой кинематикой станка, так как функция станка – создание относительных движений инструмента и заготовки для получения в процессе обработки заданных поверхностей. Следовательно, и при конструировании, и при эксплуатации необходимо, прежде всего, знать кинематическую структуру станка. Именно поэтому в дисциплине «Технологическое оборудование» основное внимание уделяется изучению кинематической структуры станков. Две другие подсистемы изучаются в соответствующих дисциплинах по учебному плану специальности 1-36 01 03.

Для кинематической схемы конкретной конструкции станка свойственен подробный показ элементов и механизмов, в том числе типовых, составляющих структуру кинематических цепей общей кинематической схемы станка. Однако на начальном этапе разработки кинематической структуры и при изучении конкретной группы станков, объединенных общей первообразной целевой функцией, целесообразно заменить кинематическую схему структурной. Для этого достаточно последовательности типовых механизмов, например зубчатых и других передач, гитар сменных зубчатых колес и т.п., без ущерба для раскрытия сущности станка обобщить простейшими конструктивными признаками. При этом на первом начальном уровне обсуждения как при конструировании, так и при изучении кинематическая структура относительно выделена из общей структуры станка, т.е. целесообразно организованной технической системы. Это объясняется также тем, что при одной и той же кинематической структуре возможно использование различных систем управления.

Несмотря на большое разнообразие станков, предназначенных для выполнения не только различных, но и однотипных технологических операций, кинематическая структура станка базируется на ряде достаточно общих фундаментальных закономерностей, присущих всем станкам. Знание этих закономерностей позволяет быстрее осваивать, рациональнее эксплуатировать и проектировать станки, наиболее полно отвечающие требованиям современного промышленного производства.

2.1. Формообразование поверхностей

Форма любой детали есть замкнутое пространство, ограниченное реальными геометрическими поверхностями, которые образованы в результате обработки тем или иным способом (резанием, штамповкой, литьем и т.д.). При этом какой бы способ обработки не был применен, реальные поверхности детали всегда отличаются от идеальных геометрических поверхностей, которыми мы мысленно оперируем при конструировании. Поверхности, полученные на металлорежущих станках резанием, отличаются от идеальных формой, размерами и шероховатостью. Теоретически процесс формирования реальных поверхностей на станках аналогичен процессу образования идеальных поверхностей в геометрии, т.е. базируется на идеальных геометрических представлениях.

Любую геометрическую поверхность можно представить как след движения одной линии (образующей) по другой (направляющей). Обе эти линии называют производящими. Например, круговая цилиндрическая поверхность может быть представлена как след движения прямой линии по окружности (рис. 2.1, а) или след движения окружности по прямой (рис. 2.1, б). Боковую поверхность зуба прямозубого цилиндрического колеса можно рассматривать как след движения эвольвенты вдоль прямой линии (рис. 2.1, в) или след движения прямой по эвольвенте (рис. 2.1, г). Таким образом, с геометрической точки зрения процесс образования поверхности сводится к осуществлению движения одной производящей линии по другой.

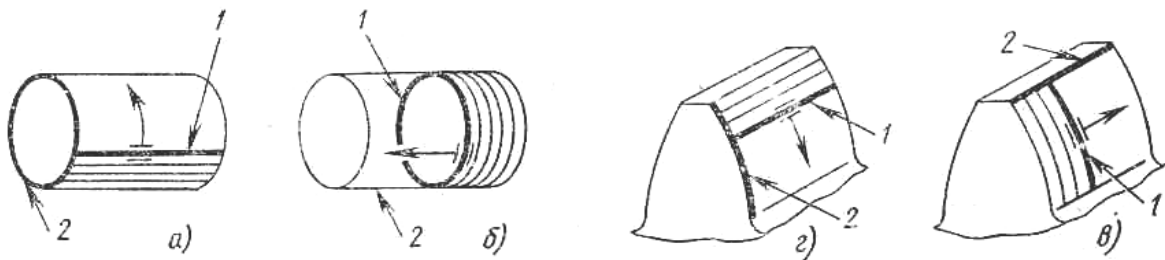


Рис. 2.1. Образование поверхностей: 1 – образующая производящая линия;
2 – направляющая производящая линия

Производящие линии на станках образуются посредством вспомогательных элементов (характеристических образов инструментов) в виде материальной точки или линии на режущей кромке инструмента за счет согласованных относительных движений заготовки и инструмента. Причем следует подчеркнуть, что почти все производящие линии на станках образуются (имитируются) непрерывно в течение всего времени формообразования поверхности. В процессе непрерывной имитации обеих производящих линий и образуется с помощью резания требуемая поверхность.

Согласованные относительные движения заготовки и режущего инструмента, которые непрерывно создают производящие линии, и, следовательно, поверхность заданной формы в целом, называют *формообразующими* (рабочими) и обозначают буквой Φ . В зависимости от формы производящей линии и метода ее образования движения формообразования могут быть простыми и сложными. К простым движениям формообразования относят вращательное, которое обозначают $\Phi(B)$, и прямолинейное – $\Phi(\Pi)$.

Сложными формообразующими движениями являются те, траектории которых образуются в результате согласованности взаимозависимых (функционально связанных) двух и более вращательных или прямолинейных движений, а также их сочетаний. Примеры условной записи сложных формообразующих движений: $\Phi(B_1B_2)$, $\Phi(B_1\Pi_2)$, $\Phi(B_1\Pi_2\Pi_3)$ и т.п.

Запись двух и более простых движений в одних общих скобках говорит о том, что они зависят друг от друга и тем самым создают единое сложное движение.

2.1.1. Методы воспроизведения производящих линий

При обработке поверхностей резанием в зависимости от вида режущего инструмента и формы его режущей кромки используют четыре метода образования производящих линий: копирование, обкат, след и касание. Сущность этих методов рассмотрим на примере образования дуги окружности и выявим число и характер формообразующих движений для осуществления каждого метода.

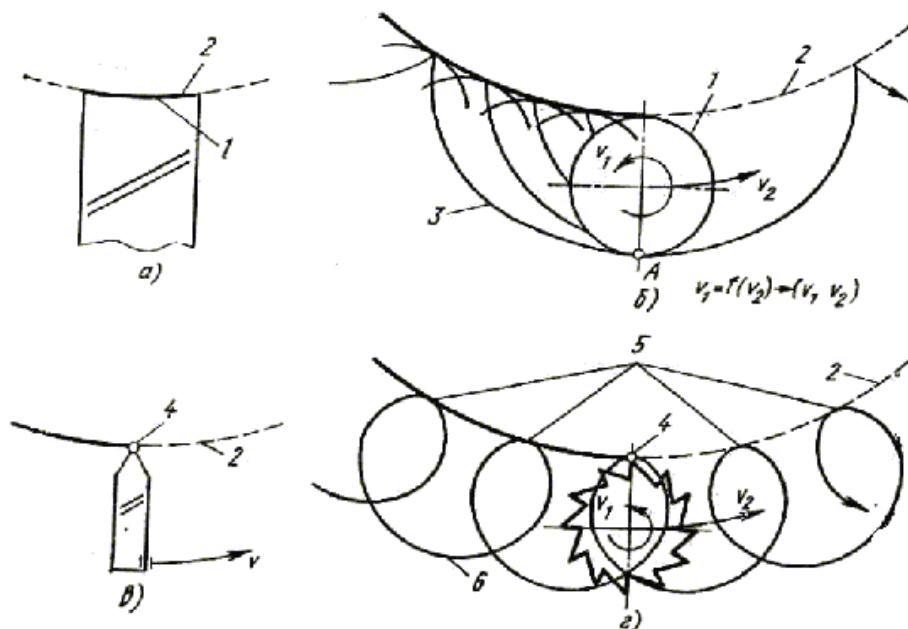


Рис. 2.2. Методы образования производящих линий:

- 1 – линия режущей кромки инструмента; 2 – образуемые производящие линии;
- 3 – траектория движения точки A режущей кромки инструмента; 4 – режущая точка инструмента; 5 – точки касания образуемой производящей линии режущей точкой 4 инструмента;
- 6 – траектория режущей точки 4 инструмента; v_1, v_2 – относительные скорости

Метод копирования (рис. 2.2, а) состоит в том, что форма производящей линии получается в виде копии (зеркального отображения) формы режущей кромки инструмента или его профиля. Другими словами, формы образуемой производящей линии и режущей кромки инструмента совпадают (идентичны). Этот метод применяют в тех случаях, когда для получения производящих линий используют фасонный режущий инструмент. В связи с тем, что форма образуемой производящей линии уже заложена непосредственно в режущем инструменте, для получения производящей линии методом копирования не требуется никакого формообразующего движения.

Метод обката (рис. 2.2, б) заключается в том, что форма образуемой производящей линии возникает в виде огибающей ряда последовательных положений, занимаемых режущей кромкой инструмента при обкатывании ею без скольжения образуемой линии. В процессе получения производящей линии либо режущая кромка инструмента катится по образуемой ею же линии, либо они взаимно обкатываются. Другими словами, образуемая производящая линия и линия режущей кромки инструмента должны быть взаимоогibaемыми. Для получения производящей линии методом обката требуется одно, но всегда сложное формообразующее движение – движение обката (качения).

Метод следа (рис. 2.2, в) состоит в том, что форма производящей линии получается в виде следа режущей точки (практически это весьма короткий отрезок линии) кромки инструмента при относительном движении заготовки и инструмента. Поэтому для получения производящей линии методом следа необходимо одно простое или сложное формообразующее движение (в зависимости от формы образуемой линии).

Метод касания (рис. 2.2, г) заключается в том, что форма производящей линии возникает в виде огибающей мест касания множества режущих точек вращающегося инструмента в результате относительных движений оси вращения инструмента (шпинделя) и заготовки. Этот метод характерен при образовании производящих линий с участием таких инструментов, как фрезы и шлифовальные круги, имеющих множество режущих точек, а следовательно, точек касания, формирующих траекторию образуемой производящей линии. Для получения производящей линии методом касания требуется два, реже три формообразующих движения, не связанных функционально между собой.

2.1.2. Образование поверхностей

Процесс образования поверхностей резанием состоит в том, что за счет согласованных относительных движений заготовки и инструмента непрерывно образуются обе производящие линии при одновременном относительном их перемещении. Каждая производящая линия образуется одним из указанных выше четырех методов, поэтому образование поверхностей характеризуется сочетанием двух из четырех методов образования производящих линий. Следовательно, сочетая каждый из четырех методов возникновения образующей с каждым из тех же методов возникновения направляющей, получим 16 теоретически возможных классов образования поверхностей.

В практике формообразующей обработки осуществимы лишь 13 из 16 теоретически возможных геометрических класса образования поверхности. Выше было показано, что для получения воспроизводящей линии копированием не требуется движение формообразования. Поэтому неосуществимы следующие классы воспроизведения поверхностей: обкат + копирование, след + копирование, касание + копирование.

Направляющая производящая линия при воспроизведении поверхности может быть воспроизведена копированием только в том случае, когда образующая производящая линия также воспроизводится копированием, т.е. данный класс воспроизведения поверхности соответствует двойному копированию. На рис. 2.3 приведены примеры, иллюстрирующие наиболее распространенные осуществимые классы образования поверхностей.

Так, при шлифовании дисковым однониточным кругом с прямолинейным профилем цилиндрического прямозубого колеса (рис. 2.3, в) образующая (линия зуба по длине) воспроизводится вращением B_1 шлифовального круга и его поступательным перемещением $П_2$ вдоль образующей, а направляющая (эвольвента) – методом обката двумя согласованными движениями: вращением B_3 заготовки и ее поступательным перемещением $П_4$. Класс образования поверхности: касание + обкат.

На рис. 2.3, е – ж показаны классы образования поверхностей, когда образующая линия воспроизводится методом следа.

При точении цилиндрической детали (рис. 2.3, е) образующая – окружность воспроизводится вращением B_1 заготовки, а направляющая – прямая линия, параллельная оси заготовки, – движением $П_2$ резца вдоль оси заготовки. Класс образования поверхности: след + след (двойной след).

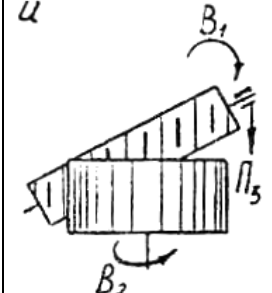
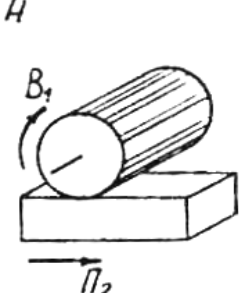
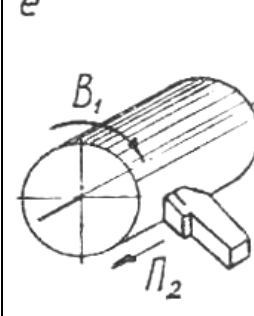
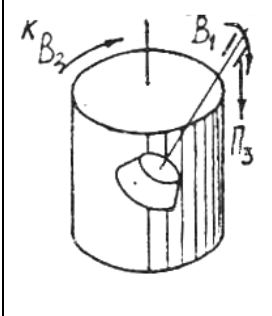
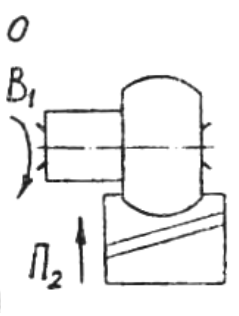
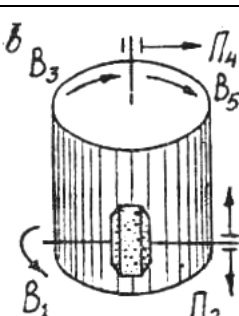
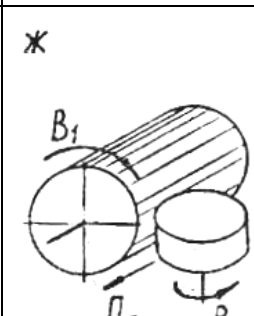
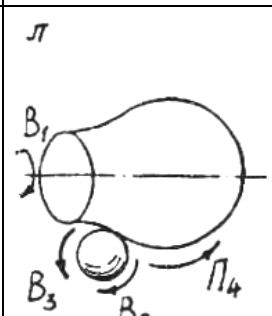
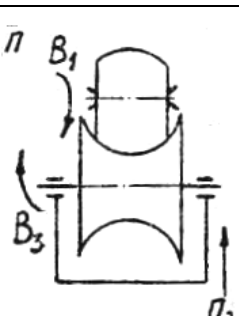
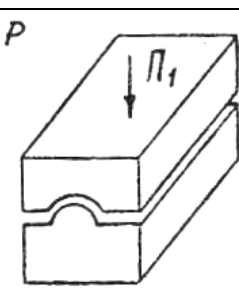
		Методы воспроизведения образующей			
		касание	след	обкат	копирование
Методы воспроизведения направляющих	касание	<i>a</i>	<i>д</i>	<i>ц</i> 	<i>н</i> 
	след	<i>б</i>	<i>е</i> 	<i>к</i> 	<i>о</i> 
	обкат	<i>в</i> 	<i>ж</i> 	<i>л</i> 	<i>п</i> 
	копирование	Неосуществим	Неосуществим	Неосуществим	<i>р</i> 

Рис. 2.3. Классы геометрического образования поверхностей

При точении цилиндрической поверхности детали чашечным вращающимся резцом (рис. 2.3, *ж*) образующая, как и в предыдущем примере, воспроизводится вращением B_1 заготовки, а направляющая – качением (обкатом) чашечного резца вдоль заготовки, осуществляемым его вращением B_2 и поступательным перемещением P_3 . Класс образования поверхности: след + обкат.

На рис. 2.3, *и – л* приведены примеры классов образования поверхностей, когда образующая линия воспроизводится обкатом.

Так, при нарезании цилиндрического прямозубого колеса червячной фрезой (рис. 2.3, *и*) образующая – линия, состоящая из упорядоченно расположенных дуг эвольвенты и окружности, – воспроизводится обкатом, из двух согласованных движений: вращения B_1 фрезы и вращения B_2 заготовки, а направляющая – прямая линия, параллельная оси заготовки, – вращением B_1 фрезы и ее поступательным перемещением $П_3$. Класс образования поверхности: обкат + касание.

При зуботочении цилиндрического зубчатого колеса (рис. 2.3, *к*) обкаточным резцом (инструмент типа долбяка) образующая – линия, состоящая из упорядоченно расположенных дуг эвольвенты и окружности, – воспроизводится, как в предыдущем примере, согласованными движениями: вращением B_1 инструмента и вращением B_2 заготовки, а направляющая – прямая линия – движением $П_3$ инструмента вдоль оси заготовки. Класс образования поверхности: обкат + след.

При обкатывании фасонной детали шариком (рис. 2.3, *л*) образующая – окружность воспроизводится качением шарика по этой окружности движением B_1 заготовки и B_2 шарика, а направляющая – кривая линия – качением шарика движениями B_3 вращения шарика и $П_4$ его перемещения вдоль кривой, эквидистантной к направляющей. Класс образования поверхности: обкат + обкат (двойной обкат).

Последняя группа примеров (рис. 2.3, *н – р*) иллюстрирует классы образования поверхностей, когда образующая линия воспроизводится копированием как зеркальное отображение характеристического образа инструмента. Этой группе образования поверхностей воспроизведение образующей движение не требуется.

При фрезеровании плоскости цилиндрической фрезой (рис. 2.3, *н*) направляющая – прямая линия воспроизводится методом касания вращением фрезы B_1 и поступательным перемещением $П_2$ заготовки. Класс образования поверхности: копирование + касание.

При точении фасонным резцом (рис. 2.3, *о*) направляющая – окружность воспроизводится вращением B_1 заготовки. Класс образования поверхности: копирование + след. В данном примере движение $П_2$ не является формообразующим.

При обкатывании полноконтактным роликом фасонной поверхности (рис. 2.3, *п*) направляющая – окружность воспроизводится методом обката (согласованными вращениями B_1 заготовки и B_2 ролика). Класс образования поверхности: копирование + обкат.

При объемной штамповке (рис. 2.3, *p*) направляющая, так же как и образующая, воспроизводится копированием. Следовательно, для образования поверхности движений формообразования не требуется. Класс образования поверхности: копирование + копирование (двойное копирование). Отметим, что в данном примере движение Π_1 закрывания штампа не является формообразующим, оно только подготавливает формообразование. Аналогом этого движения при обработке резанием является движение врезания.

Так как в металлорежущих станках образование поверхностей осуществляется резанием, то все формообразующие движения станка одновременно являются движениями резания. Причем если в станке имеется одно движение формообразования, то оно является движением скорости резания (обозначается Φ_v). Если в станке есть два движения формообразования, то одно из них, имеющее большую скорость, является движением скорости резания Φ_v , а второе, имеющее меньшую скорость, является движением подачи (обозначается Φ_s). Из трех движений формообразования в станке одно будет движением скорости резания Φ_v , имеющим наибольшую скорость, а два других – движениями подачи Φ_{s1} и Φ_{s2} .

В монографии [8] автором данного УМК изложена концепция формообразования поверхностей на основе интуитивной теории множеств, по существу являющаяся продолжением изложенных здесь теоретических основ формообразования.

2.1.3. Классификация движений в станках

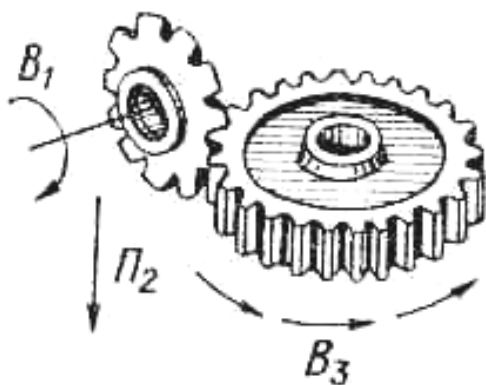


Рис. 2.4. Схема способа зубофрезерования модульной (фасонной) фрезой

Все движения в станках, в том числе формообразующие, называются исполнительными. По целевому признаку их можно разделить на движения: формообразования Φ , врезания V_r , деления D , позиционирования Π_z , управления $U_{пр}$, вспомогательные V_c . Определение формообразующих движений приведено выше (см. рис. 2.1).

Врезание V_r – движение инструмента или заготовки, устанавливающие их в процессе резания в исходное для процесса формообразования положение. Примером движения врезания является движение Π_2 при точении сферической поверхности (см. рис. 2.3, *o*).

Деление D – движение, перемещающее траекторию движения формообразования на определенную, в большинстве случаев постоянную, величину для образования нескольких одинаковых по форме поверхностей. Например, при обработке цилиндрического зубчатого колеса модульной фрезой (рис. 2.4) после фрезерования очередной впадины движениями B_1 и P_2 фрезы обрабатываемую заготовку поворачивают на угловой шаг зубьев движением деления B_3 .

Движения деления могут быть периодическими или непрерывными, что зависит в основном от конструкции режущего инструмента. В приведенном примере это движение периодическое. Непрерывные движения деления по своей структуре совпадают с одним из формообразующих движений, которое выполняет одновременно процессы формообразования.

Позиционирование P_3 – движение, обеспечивающее перемещение траектории движений формообразования и врезания в новое геометрическое положение.

К движениям управления относят те, которые совершают органы управления, регулирования и координации всех других исполнительных движений станка. К таким органам относятся муфты, реверсивные механизмы, кулачки, ограничители хода и др.

К вспомогательным движениям относятся движения, обеспечивающие установку, зажим, освобождение, транспортирование, быстрое перемещение заготовки и режущего инструмента в зону резания, охлаждение, смазывание, удаление стружки, правку инструмента и т.п.

Определяющую роль в формировании кинематической структуры станка играют движения формообразования, врезания и деления.

Любое исполнительное движение в станке характеризуется пятью параметрами пространства и времени: траекторией, скоростью, направлением, путем и исходной точкой. Наиболее важными параметрами любого движения являются траектория и скорость.

В зависимости от характера исполнительного движения, формы его траектории, схемы резания, вида и конструкции инструмента теоретически движение можно настраивать по двум, трем, четырем или пяти параметрам. Наибольшее число параметров настройки может потребоваться лишь сложному движению с незамкнутой траекторией. По четырем параметрам (за исключением настройки на траекторию) осуществляется настройка простого движения с незамкнутой траекторией, по трем параметрам (на траекторию, скорость и направление) – сложное движение с замкнутой траекторией.

Движения формообразования и врезания являются движениями резания. Формообразующее движение, происходящее с наибольшей скоростью, называется главным движением резания или просто главным движением. Остальные движения принято называть движениями подачи.

Главное движение может быть вращательным и поступательным. На это движение затрачивается большая часть мощности привода станка. При вращательном движении оно характеризуется частотой вращения. Например, у станков токарной группы главным движением является вращение заготовки (рис. 2.5, а – в), частота вращения которой, мин^{-1} :

$$n = 1000v/(\pi d),$$

где v – скорость резания, м/мин;

d – диаметр заготовки, мм.

У сверлильных, фрезерных и шлифовальных станков главное движение совершает инструмент (рис. 2.5, г – е), частота вращения которого определяется по приведенной формуле для токарных станков. У долбежных, протяжных и строгальных станков главным движением является поступательно-возвратное (рис. 2.5, ж), частота двойных ходов которого:

$$n_{2x} = 1000v/(2L),$$

где $L = l + l_1 + l_2$ – длина хода, мм;

l – длина заготовки, мм;

l_1 и l_2 – вход и выход инструмента, мм.

Иногда главное движение на станках получают в результате сложения движений. Например, при сверлении отверстий малого диаметра на токарных автоматах главное движение является результатом сложения разнонаправленных вращений детали и сверла (рис. 2.5, з). Это объясняется тем, что для получения заданной скорости резания необходимо вращать сверло с большой частотой. В данном случае скорость резания определяется суммой частот вращения сверла n и детали n_d , т.е. $v = \pi d_{св}(n_{св} + n_d)/1000$. При нарезании резьб на токарных автоматах методом обгона плашка вращается в том же направлении, что и деталь, при этом $n_n \gg n_d$ (рис. 2.5, и). Тогда относительная частота вращения, которая определяет скорость нарезания резьбы, $n = n_{пл} - n_d$. Главное движение может быть получено и при двух разнородных движениях. Например, при вращении детали со скоростью резания v и поступательном движении резца со скоростью резания v_p (рис. 2.5, к). В этом случае одновременно происходит точение и строгание, т.е. токарное строгание.

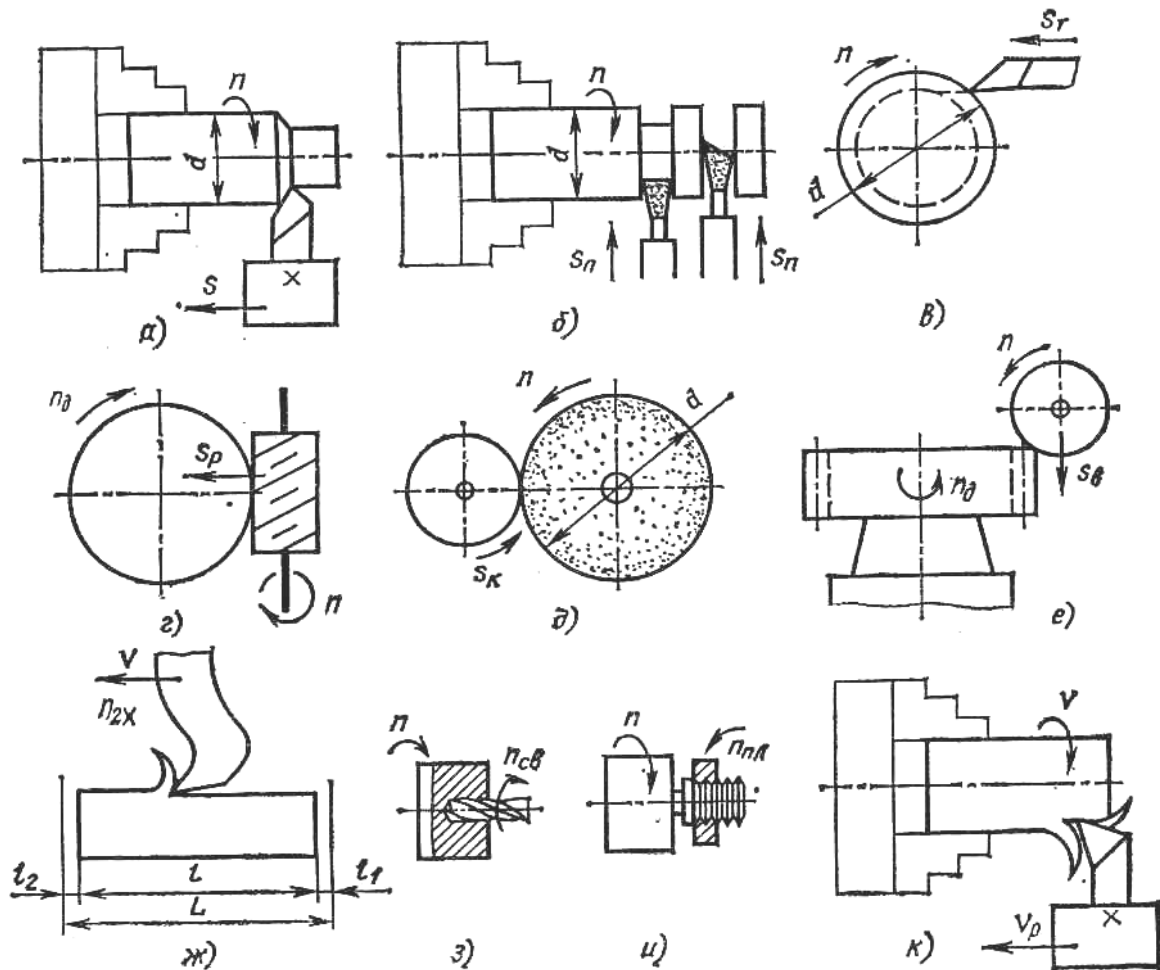


Рис. 2.5. Виды главного движения и подачи

Движение подачи – это относительное движение инструмента вдоль обрабатываемой поверхности со скоростью, меньшей скорости резания, обеспечивающее совместно с главным движением формообразование детали. Подачу определяют как величину перемещения инструмента относительно детали при обработке за один оборот (двойной ход) детали или инструмента (относительные подачи на токарных, сверлильных и строгальных станках) или в единицу времени (абсолютные подачи на фрезерных и шлифовальных станках). В последнем случае подача может быть выполнена от индивидуального привода.

В зависимости от направления движения инструмента по отношению к детали подачи делят на продольную s (рис. 2.5, а), поперечную s_n (рис. 2.5, б), касательную s_r (рис. 2.5, в), радиальную s_p (рис. 2.5, г), круговую s_k (рис. 2.4, д). Кроме того, подачи могут быть осевыми (рис. 2.5, з) в сверлильных станках, вертикальными s_e (рис. 2.5, е) в зубофрезерных станках.

2.2. Понятие о кинематической группе

Каждое исполнительное движение в станках осуществляется кинематической группой. Структура кинематической группы может быть различной и зависит от характера осуществляемого движения, числа исполнительных органов, необходимости регулирования параметров движения.

Под исполнительными органами понимают подвижные конечные звенья кинематической группы, непосредственно участвующие в образовании траектории исполнительного движения. Исполнительные органы, осуществляющие абсолютное или относительное движение заготовки или режущего инструмента в процессе формообразования, называют рабочими. Например, рабочими органами являются такие звенья станка, как стол, шпиндель, суппорт, ползун и т.п.

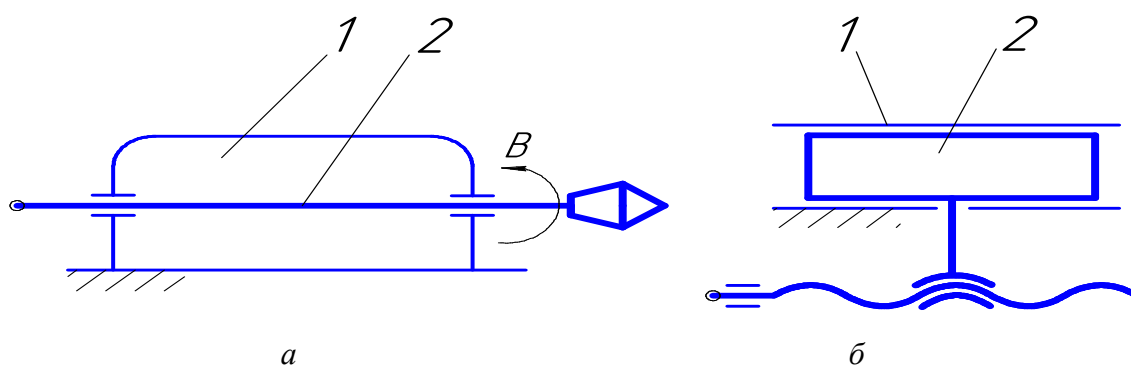


Рис. 2.6. Исполнительные кинематические пары:

a – вращательная: корпус передней бабки 1 – шпиндель 2;

б – поступательная: направляющие станины 1 – суппорт 2

В большинстве случаев исполнительные органы совершают вращательное или прямолинейное движение, т.е. являются подвижными звеньями вращательной или поступательной исполнительной кинематической пары (рис. 2.6).

В зависимости от числа исполнительных органов кинематические группы делятся на простые и сложные. Простые группы имеют один исполнительный орган, а сложные – два и более исполнительных органов.

Рассмотрим сложное двухэлементарное винтовое исполнительное движение формообразования, оно же – движение скорости резания $\Phi_v(B_1P_2)$, необходимое для нарезания фасонным резцом однозаходной цилиндрической резьбы. Для создания траектории этого движения (рис. 2.7) соединим подвижные звенья исполнительных пар шпиндель 1, несущий заготовку, и продольный суппорт 2, несущий резец, жесткой кинематической связью в виде штриховой линии 3 – 4. Эта связь, состоящая из последовательно соединенных передач, накладывает условия ограничения на

шпиндель и суппорт, не позволяющие им занимать произвольные положения относительно друг друга и иметь произвольные скорости.

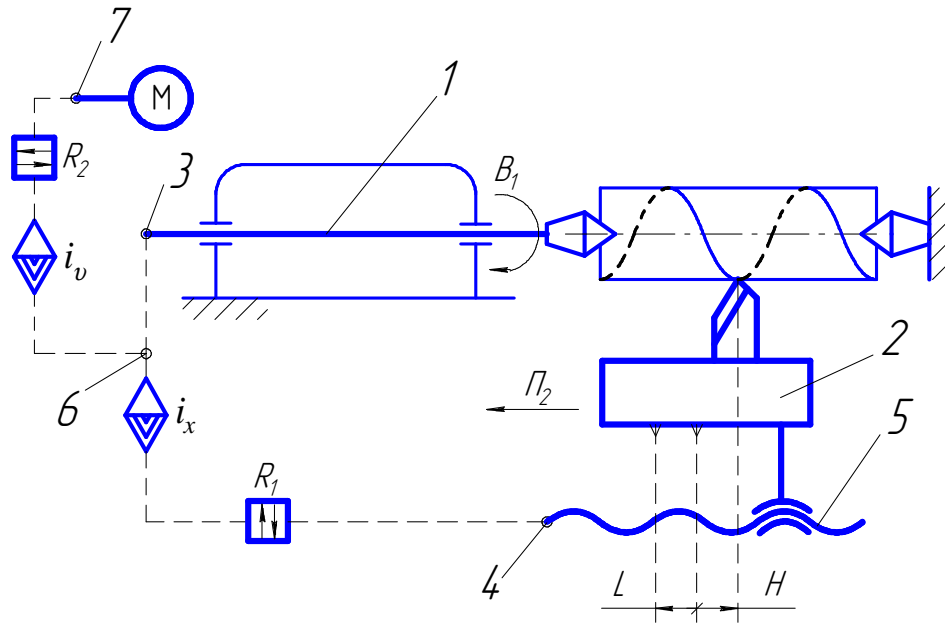


Рис. 2.7. Структурная схема винторезной кинематической группы

Кинематическая связь (кинематическая цепь), включая передачу винт – гайка 5, преобразующую вращательное движение в поступательное, соединяющая между собой шпиндель и продольный суппорт, создает потенциальную возможность винтового движения. Для реализации этой возможности соединим произвольное промежуточное звено 6 кинематической связи 3 – 4, подобной кинематической связью 6 – 7 с источником энергии движения – электродвигателем М. При включении электродвигателя энергия движения по кинематической связи 7 – 6 будет сообщаться через звено 6 в кинематическую связь 3 – 4. Это вызовет вращение B_1 шпинделя и продольное перемещение Π_2 суппорта. В итоге резец будет совершать относительно заготовки винтовое движение. При этом соотношение элементарных движений B_1 и Π_2 зависит только от передаточного отношения кинематической связи 3 – 4. Следовательно, эта связь обеспечивает качественную характеристику движения $\Phi_v(B_1 \Pi_2)$, т.е. его траекторию. Будем называть кинематическую связь, воспроизводящую траекторию исполнительного движения, *внутренней связью*. Количественную характеристику исполнительного движения, т.е. его скорость обеспечивает кинематическая связь 7 – 6, соединяющая источник энергии с внутренней связью. Будем называть такую связь *внешней связью*. Внутренняя и внешняя связи имеют общее кинематическое звено 6. Будем называть его *звеном соединения связей*.

Совокупность источника энергии движения исполнительных пар, внутренней и внешней связей, называется *кинематической группой* с названием, соответствующим названию движения, которое создает эта группа.

Для возможности получения исполнительного движения с различными параметрами в кинематической группе используется необходимое количество специальных устройств, называемых в общем случае органами настройки. На структурной схеме такие органы настройки, как гитары сменных зубчатых колес и коробки скоростей, будем изображать ромбами, у которых заштрихованная часть указывает на фактическое направление передачи движения через орган настройки. Органы настройки, располагаемые во внутренней связи и служащие для настройки траектории исполнительного движения, будем обозначать символами i_x , i_y , i_z и т.д., а органы настройки, располагаемые во внешней связи – символами i_v , i_s , i_{s1} и т.п. Органы настройки на направление исполнительного движения будем обозначать квадратом с двумя противоположно направленными стрелками. Органы настройки исполнительного движения на путь и исходную точку в большинстве случаев на структурных схемах не показывают, так как регулирование этих параметров обычно осуществляются вручную или по упорам системы управления.

В рассматриваемой кинематической группе настройка на траекторию винторезного движения осуществляется двумя органами настройки: гитарой сменных зубчатых колес i_x (на шаг резьбы) и реверсом R_1 – на направление (правая или левая резьба). Параметр скорость исполнительного движения настраивается или коробкой скоростей, или гитарой сменных зубчатых колес i_v . Направление нарезания резьбы к передней бабки или от нее обеспечивается технологическим реверсом R_2 . Настройка на путь осуществляется упорами, на продольном суппорте, расположенными на расстоянии L друг от друга, где L – длина заготовки, а на исходную точку – установкой этих упоров на размер H от характеристического образа инструмента (вершины резца) до первого упора, не изменяя относительного положения упоров.

В кинематическую группу входит передача винт – гайка 5. Ее функция – преобразование вращательного движения в поступательное. Подобную функцию в станках выполняет также зубчато-реечная передача. Механизм, преобразующий вращательное движение в поступательное будем называть *тяговым валом*. Характеристика тягового вала, используемая при кинематических расчетах – есть величина поступательного перемещения ведомого звена этого механизма за один оборот его ведущего звена. Например, характеристика тягового вала винт – гайка равна шагу (ходу при

многопроходной резьбе) передачи, а зубчато-реечной передачи равна $\pi m z$, где m – модуль передачи, z – число зубьев реечного колеса.

В рассмотренном примере структура кинематической группы описана на вербальном языке. Ее можно также описать на языке символов. При анализе (изучении) кинематической структуры станков использованию языка символов следует отдать предпочтение, так как это обеспечивает большую наглядность и компактность описания. Приведем описание рассмотренной кинематической группы на этом языке.

Внутренняя связь:

$$B_1 \leftarrow 1 \leftarrow 3 \leftarrow 6 \rightarrow i_x \rightarrow R_1 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 2 \rightarrow P_2.$$

Внешняя связь:

$$M \rightarrow 7 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 6.$$

Разнонаправленные стрелки в описании внутренней связи показывают направление разветвления энергии движения после звена соединения связей 6 по обеим ветвям внутренней связи.

Рассмотренная кинематическая группа выполнена на основе механических связей между исполнительными органами. Однако изложенные закономерности ее синтеза и функционирования справедливы также и при использовании электронных связей на базе больших интегральных схем вместо механических между исполнительными органами. Рассмотрим сложное формообразующее движение $\Phi_v(B_1B_2)$, необходимое для воспроизведения профиля зубьев цилиндрического зубчатого колеса червячной фрезой. На рис. 2.8 приведена схема взаимодействия исполнительных органов: шпинделя червячной фрезы 1 и делительного стола заготовки 2, имитирующая станочное зацепление. Оба исполнительных органа оснащены отдельными высокомоментными управляемыми электродвигателями постоянного тока соответственно M_1 и M_2 . Функциональная (внутренняя) связь между исполнительными органами осуществляется системой отслеживающей синхронизации (показана двойной пунктирной линией), выполненной по схеме ведущая координата – ведомая координата. Связь механики с системой синхронизации обеспечивается посредством импульсных измерительных преобразователей 3 и 4, установленных соответственно на ведущей координате – шпинделе фрезы и на ведомой координате – делительном столе заготовки. Система синхронизации состоит из цепи 5 (электрический вал), выполняющей функцию внутренней связи группы (станочное зацепление), и цепи адаптации 6, обеспечивающей повышение точности функционирования группы посредством устранения девиации механики ведомого исполнительного органа. Выходы обеих цепей соединены с блоком 7 автоматического управления электродвигателя M_2 ведомой координаты – делительного стола.

Схема отслеживающей синхронизации (рис. 2.9) содержит управляемый делитель частоты, состоящий из счетчика импульсов 1 и блока 2 установки коэффициента деления. Вход счетчика 1 соединен с импульсным измерительным преобразователем 3, установленном на шпинделе, а выход – с входом импульсно-аналогового преобразователя 3 и первыми входами знакового дискриминатора 4 и фазового дискриминатора 5. Вторые входы дискриминаторов 4 и 5 соединены с выходом счетчика 6, соединенного своим входом с импульсным измерительным преобразователем 4, установленном на делительном столе. Выход импульсно-аналогового преобразователя 3 соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 7. Выход знакового дискриминатора 4 соединен с управляющими входами аналоговых ключей 8, управляемого отрицательным потенциалом, и 9, управляемого положительным потенциалом. Выход фазового дискриминатора 5 через импульсно-аналоговый преобразователь 10 соединен с аналоговыми входами ключей 8 и 9. Выход ключа 8 соединен с вторым входом сложения параллельного сумматора 7, а выход ключа 9 – с входом вычитания этого сумматора. Выход параллельного сумматора 7 соединен с блоком 7 (рис. 2.8) автоматического управления электродвигателем M_2 ведомой координаты – делительного стола. В качестве источника энергии для электродвигателя M_1 задающей координаты используется задатчик, выполненный в виде делителя напряжения.

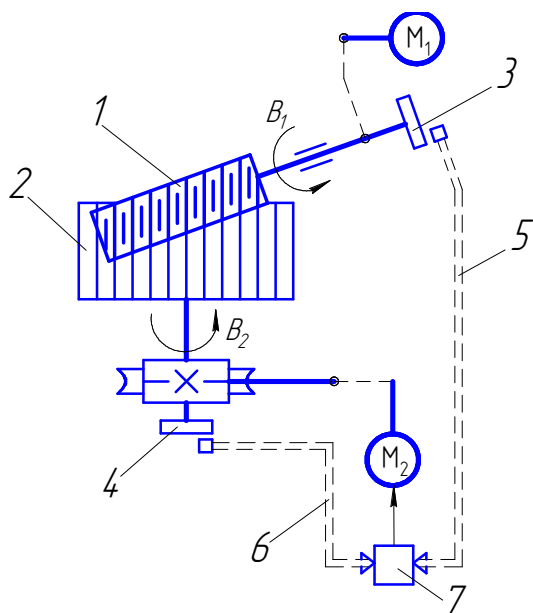


Рис. 2.8. Схема кинематической группы обката с электрическим валом

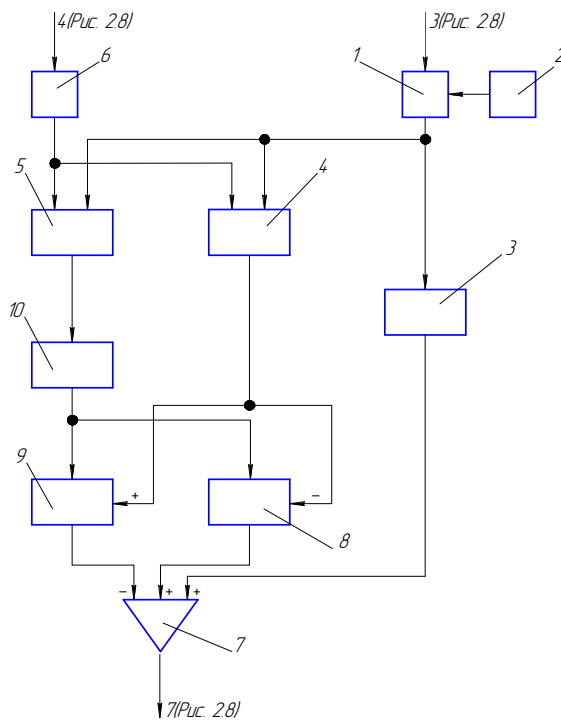


Рис. 2.9. Блок-схема системы отслеживающей синхронизации

При наладке передаточное отношение червячная фреза – заготовка (параметр настройки «траектория») задается блоком 2 установки коэффициента деления. Этот блок является аналогом гитары сменных зубчатых колес i_x , устанавливаемой во внутренней связи группы обката станка с механическими связями. Круговая подача (параметр настройки «скорость») задающей координаты устанавливается посредством задания величины напряжения на выходе источника энергии электродвигателя этой координаты.

Система синхронизации работает следующим образом. При включении электродвигателя M_1 шпиндель 1 получает движение круговой подачи B_1 . Одновременно импульсный измерительный преобразователь 3 (рис. 2.8) вырабатывает сигнал с частотой, пропорциональной круговой подаче B_1 . Этот сигнал поступает на вход счетчика 1 управляемого делителя частоты, где происходит деление сигнала в соответствии с заданным на блоке 2 коэффициентом деления. Сигнал с выхода счетчика 1 преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе 3 в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала, и с его выхода поступает на первый вход сложения параллельного сумматора 7. С выхода этого сумматора задающий сигнал поступает в блок 7 автоматического управления электродвигателя M_2 ведомой координаты, который сообщает движение круговой подачи делительному столу. В результате такого прохождения сигнала от задающей координаты (шпинделя) к ведомой координате (делительному столу) обеспечивается профилирование зубьев нарезаемого колеса движением обката $\Phi(B_1 B_2)$.

Одновременно, следующим образом осуществляется коррекция задающего сигнала, действующего на выходе параллельного сумматора 7, обеспечивающая устранение девиации механики ведомой координаты. На вход счетчика 6 поступает с импульсного измерительного преобразователя 4 (рис. 2.8) импульсный сигнал – аналог круговой подачи движения B_2 делительного стола. Этот сигнал с выхода счетчика 6 поступает на вторые входы знакового 4 и фазового 5 дискриминаторов, у которых на первых входах действует задающий сигнал с выхода счетчика 1. В результате сравнения сигналов на выходе знакового дискриминатора образуется отрицательный потенциал при отставании делительного стола от заданного значения и положительный потенциал при его опережении. Этот потенциал поступает на управляющие входы ключей 8 и 9. Одновременно на выходе фазового дискриминатора образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в аналоговую форму в импульсно-аналоговом преобразователе 10 поступает на аналоговые входы ключей 8 и 9. Этот сигнал поступает на параллельный сумматор 7 через один из клю-

чей в зависимости от знака управляющего воздействия. При отставании делительного стола сигнал абсолютной погрешности поступает через ключ 8 на второй вход сложения параллельного сумматора, а при опережении этот сигнал поступает через ключ 9 на вход вычитания этого сумматора. В итоге в параллельном сумматоре происходит в зависимости от знака погрешности увеличение или уменьшение управляющего сигнала ведомой координаты, т.е. происходит его двухсторонняя непрерывная коррекция относительно номинального значения.

На рис. 2.10 показана структурная схема простой кинематической группы, воспроизводящей элементарное вращательное движение $\Phi_v(B_1)$, необходимое для образования образующей методом следа при токарной обработке. Внутренняя связь группы, воспроизводящая траекторию исполнительного движения, представляет собой элементарную вращательную пару

корпус 1 → шпиндель 2.

Внешняя связь группы – кинематическая цепь, связывающая электродвигатель со звеном соединения связей – шпинделем 2, т.е.

$M \rightarrow i_v \rightarrow R \rightarrow \text{шпиндель } (B_1)$,

где шпиндель 2 является звеном соединения связей.

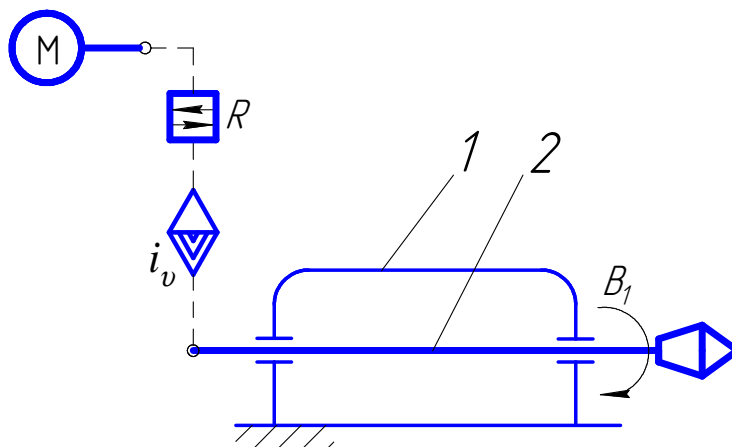


Рис. 2.10. Структурная схема простой кинематической группы

Движение $\Phi_v(B_1)$ имеет замкнутую траекторию, поэтому настраивается только на два параметра: скорость – органом настройки i_v , направление – реверсом R .

В простых кинематических группах, имеющих один исполнительный орган и обеспечивающих вращательное или прямолинейное движение, нет необходимости в органе настройки на траекторию. Это связано с тем, что траектория движения в таких группах неизменна и обеспечивается характером соединения звеньев исполнительной кинематической пары, одним из которых является сам исполнительный орган.

2.3. Кинематическая структура станка

Кинематическая структура станка представляет объединение кинематических групп. Группы могут быть соединены между собой разными способами; их соединение зависит от многих факторов. Наибольшее влияние на соединение кинематических групп оказывает общность их исполнительных органов и источника движения, а также необходимость координации во времени создаваемых группами движений. Всякое соединение двух кинематических групп осуществляется специальными дополнительными устройствами, такими, как суммирующие механизмы, реверсы, муфты и т.д.

Главной и определяющей частью кинематической структуры любого станка является его формообразующая часть, составляющая общее число и характер групп формообразования, а также их кинематическое соединение. По этому признаку все развивающееся многообразие кинематических структур станков можно разделить на три класса:

- класс элементарных структур \mathcal{E} , к которому относятся станки с кинематической структурой, содержащей только простые группы формообразования, создающие движение $\Phi(B)$ или $\Phi(\Pi)$;
- класс сложных структур \mathcal{C} , к которому относятся станки с кинематической структурой, содержащей только сложные группы формообразования, т.е. группы, создающие движения $\Phi(B_1B_2)$, $\Phi(B_1\Pi_2\Pi_3)$ и т.д.;
- класс комбинированных структур \mathcal{K} , к которому относятся станки с кинематической структурой, содержащей одновременно и простые и сложные группы формообразования.

Каждый класс содержит определенное число формообразующих кинематических групп, которое можно условно записать буквой с последующими двумя цифрами. Буква указывает на класс, первая цифра – на число формообразующих групп, вторая цифра – на суммарное число простых вращательных и прямолинейных движений, составляющих все формообразующие движения станка. Например, запись $K24$ означает, что станок имеет комбинированную структуру, две группы формообразования с четырьмя простыми движениями.

В структуре станка не обязательно должны быть кинематические группы всех назначений. Например, в станках может отсутствовать группа деления, поскольку или процесс деления не нужен при формообразовании поверхности, или этот процесс осуществляется попутно движением формообразования. Рассмотрим конкретные примеры. На рис. 2.11 приведена структурная схема протяжного станка класса $\mathcal{E}11$. Кинематическая структура этого станка состоит из одной кинематической группы формообразования $\Phi_v(\Pi_1)$. Внутренняя связь группы – элементарная кинематическая

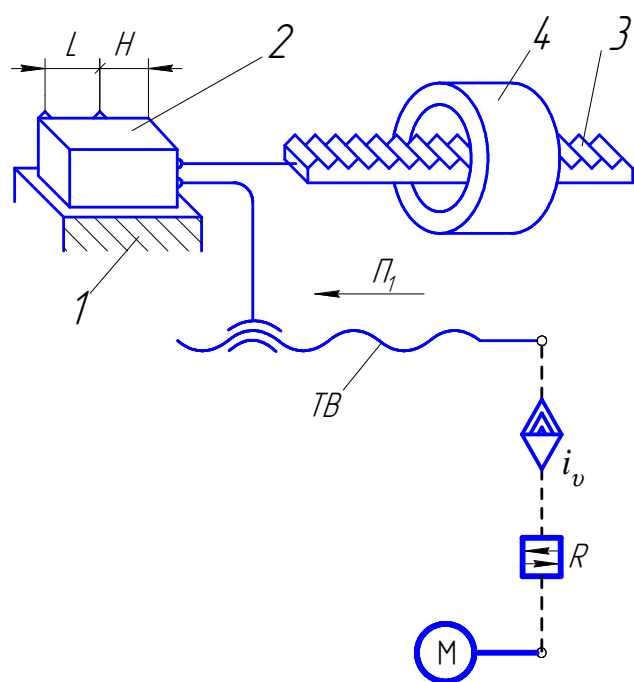


Рис. 2.11. Структурная схема протяжного станка

В рассмотренном станке одним элементарным движением формообразования одновременно осуществляется врезание инструмента 3 (протяжки) в заготовку 4, формообразование шпоночного паза, а при протягивании шлицевых отверстий еще и деление. Причем врезание на глубину паза и деление (при протягивании шлицев) обеспечивается конструкцией протяжки, у которой каждый последующий зуб превышает предыдущий на величину подачи врезания, а количество шлицевых пазов равно количеству продольных выступов на протяжке. При протягивании отверстий образующая воспроизводится методом копирования, а направляющая – методом следа (движение скорости резания).

В современных протяжных станках движение резания обеспечивается гидроцилиндром. При этом закономерности формообразования остаются неизменными. А функции органов настройки i_v и R выполняют управляемый дроссель и реверсивный золотник гидравлической станции.

Приведенная в предыдущем параграфе на рис. 2.7 структура винторезной кинематической группы $\Phi_v(B_1\Pi_2)$, по существу, является структурной схемой винторезного станка класса C12, состоящего из одной сложной формообразующей группы, на котором при нарезании резьбы фасонными резцами методом копирования воспроизводится образующая (профиль резьбы), а методом следа – направляющая (винтовая линия). Эта схема положена в основу конструкций специальных станков для нарезания ходовых винтов в станкостроительной отрасли промышленности. Она является также одной из частных структур токарно-винторезных станков.

пара: направляющие станины 1 → ползун 2. Внешняя связь – кинематическая цепь, связывающая электродвигатель M с ползуном 2, являющимся звеном соединения связей, т.е. $M \rightarrow R \rightarrow i_v \rightarrow ТВ$ (передача винт – гайка) → ползун (Π_1). Движение Φ_v (Π_1) – простое, с незамкнутой траекторией и настраивается по четырем параметрам: на скорость – органом настройки i_v , на направление – реверсом R , на путь и исходное положение – упорами (размеры L и H).

При разработке структурных схем станков, содержащих более одной кинематической группы, необходимо решать также задачу соединения групп между собой.

На рис. 2.12 приведена кинематическая структура современного круглошлифовального станка. Его структурная схема состоит из четырех простых кинематических групп с индивидуальными двигателями: скорости резания $\Phi_v(B_1)$, круговой подачи $\Phi_{s1}(B_2)$, продольной подачи $\Phi_{s2}(П_3)$ и врезания $Bp(П_4)$. Класс кинематической структуры $C33$.

Группы Φ_v и Φ_{s1} воспроизводят методом касания образующую (окружность) цилиндрической поверхности, группа Φ_{s2} методом следа – направляющую (линию, параллельную оси центров станка). Вспомогательная группа Bp обеспечивает движение врезания.

Группа $\Phi_v(B_1)$ осуществляет вращение шлифовального круга 1. Ее внутренняя связь – элементарная вращательная пара

корпус 2 шлифовальной бабки → шпиндель 3 шлифовального круга.

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow i_v \rightarrow \text{шпиндель 3 (} B_1 \text{)}.$$

Группа настраивается на скорость (круговую частоту вращения шлифовального круга) органом настройки i_v .

Группа $\Phi_{s1}(B_2)$ осуществляет круговую подачу заготовки 4. Ее внутренняя связь представляет собой элементарную вращательную пару:

корпус 5 передней бабки → шпиндель 6, несущий заготовку 4.

Внешняя связь

$$M_2 \rightarrow i_{s1} \rightarrow \text{шпиндель 6 (} B_2 \text{)}.$$

Группа настраивается на скорость (круговую подачу заготовки) органом настройки i_{s1} .

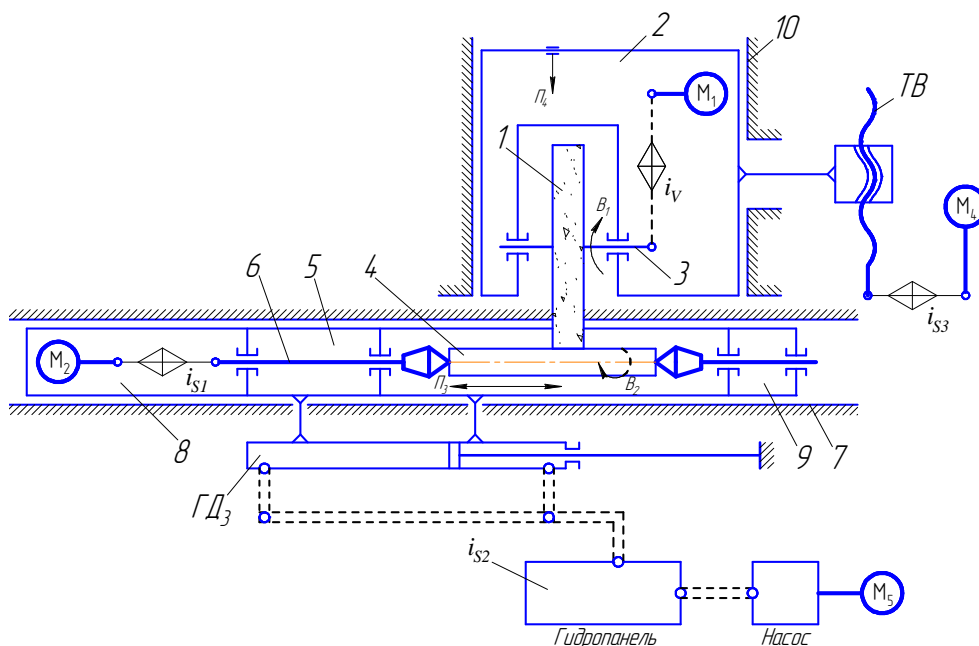


Рис. 2.12. Структурная схема круглошлифовального станка

Группа $\Phi_{S2}(II_3)$ осуществляет продольную подачу заготовки II_4 .
Внутренняя связь группы:

*направляющие станины 7 → продольный стол 8,
несущий переднюю 5 и заднюю 9 бабки.*

Внешняя связь:

гидродвигатель (гидроцилиндр) ГД₃ → продольный стол 8 (II₃).

Группа настраивается на скорость (продольную подачу) и направление соответственно управляемым дросселем i_{S2} и реверсивным золотником, конструктивно входящим в гидропанель гидростанции, на путь и исходное положение – по упорам системы управления.

Внутренняя связь группы Vp (II₄) – элементарная поступательная пара
направляющие 10 станины – шлифовальная бабка 2.

Внешняя связь:

$M_4 \rightarrow i_{S3} \rightarrow ТВ \rightarrow$ шлифовальная бабка 2 (II₄).

Группа настраивается на скорость (подача врезания) органом настройки i_{S3} , на путь и исходное положение – по упорам.

В рассматриваемом станке кинематические группы соединены между собой через промежуточные или неподвижные исполнительные звенья. Так группа $\Phi_v(B_1)$ связана с группой Vp (II₄) через шлифовальную бабку 2 как через промежуточное исполнительное звено. Такое же соединение через промежуточные исполнительные звенья имеет группа $\Phi_{S1}(B_2)$ с группой $\Phi_{S2}(II_3)$ и с группой Vp (II₄). Группа $\Phi_{S2}(II_3)$ с группой Vp (II₄) соединена через общее неподвижное исполнительное звено.

На рис. 2.13 приведена структурная схема зубодолбежного станка с механическими связями, положенная в основу конструкций современных станков для обработки цилиндрических зубчатых колес зуборезными долбьями. Кинематическая структура станка содержит следующие кинематические группы: скорости резания $\Phi_v(II_1)$, движения обката $\Phi_s(B_2B_3)$, врезания $Vp(II_4)$ и радиального «отскока» $Vc(II_5)$. Объединение их в общую структуру выполнено по схеме с общим электродвигателем.

Группа обката $\Phi_s(B_2 B_3)$ состоит из развитой внутренней связи (цепи обката), обеспечивающей станочное зацепление:

$B_2 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow i_x \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow B_3,$

связывающей шпиндель 7 с делительным столом 13, предназначенным для установки заготовок.

Внешняя связь группы:

$M \rightarrow 3 \rightarrow i_v \rightarrow 4 \rightarrow 14 \rightarrow i_s \rightarrow 10$

передает энергию движения от электродвигателя через звено соединения связей 10 во внутреннюю связь.

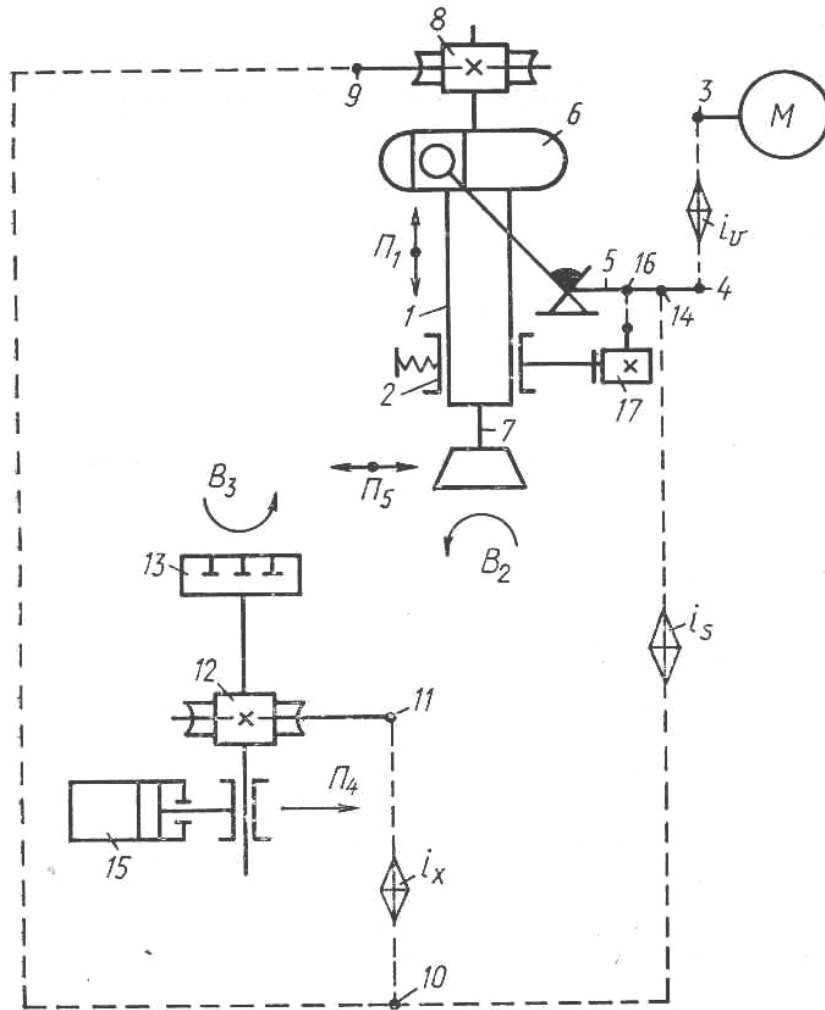


Рис. 2.13. Кинематическая структура зубодолбежного станка

Группа скорости резания $\Phi_v(\Pi_1)$ включает внутреннюю связь – элементарную поступательную кинематическую пару:

гильза 1 → корпус 2 суппорта станка.

Внешняя связь группы:

$M \rightarrow 3 \rightarrow i_v \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow \text{гильза 1 } (\Pi_1)$,

представляющая собой кинематическую цепь, передающую энергию от электродвигателя M к приводному валу 5, вращательное движение которого преобразуется в поступательно-возвратное движение Π_1 гильзы 1 шпинделя 7 долбяка.

Движение Π_1 имеет прямолинейную незамкнутую траекторию. Поэтому группа $\Phi_v(\Pi_1)$ настраивается только на три параметра: скорость резания – органом настройки i_v , путь и исходную точку – изменением плеч рычагов кулисного механизма 6.

Движение обката имеет замкнутую траекторию и настраивается на траекторию гитарой сменных зубчатых колес i_x , на скорость (круговую подачу) – органом настройки i_s , на направление – реверсом, совмещенным с органом настройки i_x .

Группа врезания $Vp(II_4)$ включает внутреннюю связь – элементарную поступательную кинематическую пару, образованную корпусом продольного стола и направляющими станка, и внешнюю связь, передающую энергию движения во внутреннюю связь от гидроцилиндра 15, перемещающего стол в направлении радиального врезания II_4 . Эта группа настраивается на скорость врезания регулируемым дросселем гидропривода станка, а на исходную точку – путевыми упорами системы управления.

Вспомогательная группа радиального «отскока» $Vc(II_5)$ состоит из внутренней связи (элементарной поступательной кинематической пары), образованной корпусом суппорта и направляющими станка, и внешней связи

$$M \rightarrow 3 \rightarrow i_v \rightarrow 4 \rightarrow 16 \rightarrow 17 (II_5),$$

сообщающей движение кулачку 17, отводящему инструментальный суппорт от делительного стола (заготовки) при свободном ходе.

В рассматриваемом станке кинематические группы $\Phi_v(II_1)$ и $\Phi_s(B_2 B_3)$ соединены между собой посредством общего электродвигателя и общей частью $M \rightarrow i_v \rightarrow 4 \rightarrow 14$ их внешних связей. Группа $Vc(II_5)$ работает синхронно с группой Φ_v и имеет общую с ней до кинематического звена 4 внешнюю связь. Группа $Vp(II_4)$ имеет отдельный источник энергии движения и соединена с группами формообразования посредством общего корпуса.

По приведенной структурной схеме выпускается ряд моделей зубодолбежных станков, например 5111 и 5122. В ряде современных моделей станков формообразующие группы имеют отдельные электродвигатели, например станок модели 5A122. В станке модели BC-122 формообразующая группа обката $\Phi_s(B_2 B_3)$ оснащена отдельным управляемым электродвигателем.

В станках с числовым программным управлением исполнительные органы группы обката шпиндель долбяка и делительный стол для обрабатываемых заготовок соединяются электронной внутренней связью на основе больших интегральных схем, в общем случае называемой электрическим валом (см. рис. 2.8).

Рассмотренная структурная схема зубодолбежного станка является частной структурой станка для обработки прямозубых цилиндрических колес. Модификация ее группы воспроизведения линии зуба позволяет обрабатывать также колеса с винтовыми зубьями. Для этого (рис. 2.14) прямо-

линейные направляющие шпинделя заменяются на винтовые. Винтовые направляющие крепятся в расточке червячного колеса, а копирный кулак – к шпинделю. В итоге группа образования линии зуба трансформируется в сложную двухэлементарную $\Phi_v(\Pi_1 B_7)$. Внутренняя связь группы – винтовая кинематическая пара, внешняя связь – кинематическая цепь, передающая движение от электродвигателя к звену соединения связей (копирный кулак).

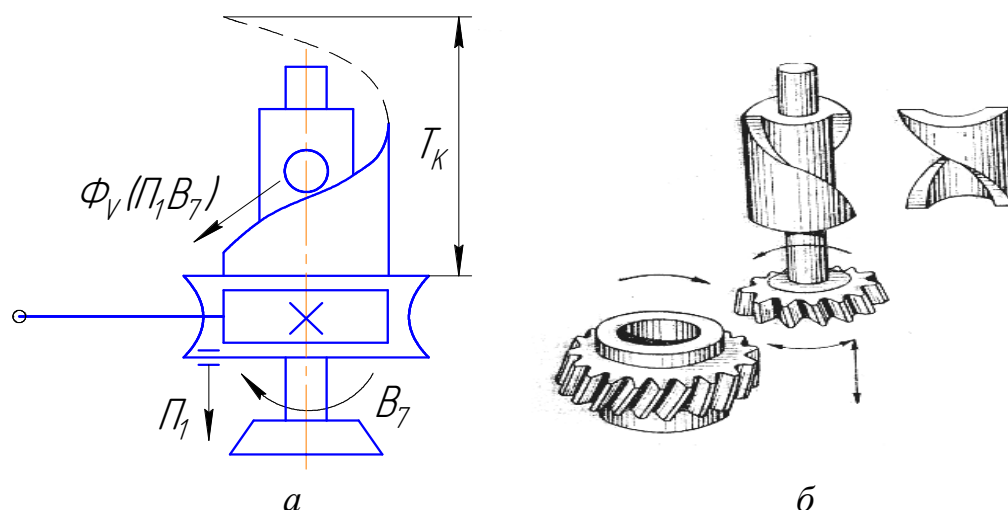


Рис. 2.14. Модификация кинематической группы воспроизведения линии винтового зуба:
 а – схема модификации; б – конструктивное выполнение винтовых направляющих

Движение $\Phi_v(B_1 \Pi_7)$ – сложное с незамкнутой траекторией, настраивается по четырем параметрам: на траекторию – сменными винтовыми направляющими (копирами); на скорость – органом i_v ; на путь и исходное положение – изменением плеч кулисного механизма.

2.4. Теоретические основы настройки станков

Под кинематической настройкой станка понимают настройку его цепей, обеспечивающую требуемые скорости движений исполнительных органов станка, а также, при необходимости, условия кинематического согласования перемещений или скоростей исполнительных органов между собой. Цель таких согласований – образование поверхности с заданными формой, размерами, точностью и шероховатостью.

В большинстве металлорежущих станков с механическими связями для настройки кинематических цепей применяют органы настройки в виде гитар сменных зубчатых колес, ременных передач, вариаторов, регулируемых электродвигателей, регулируемых гидродвигателей, коробок скоростей и подач, характеристикой которых является общее передаточное отношение типа i_v, i_s, i_x, i_y и т.п.

Значение передаточного отношения органа настройки определяется по формуле настройки и затем реализуется в гитарах сменных зубчатых колес подбором и установкой соответствующих колес в гитаре, а в коробках скоростей и подач – зацеплением соответствующих зубчатых колес.

Для вывода формулы настройки по кинематической (структурной) схеме намечают расчетную кинематическую цепь, под которой понимают ряд последовательно расположенных передач, включая орган настройки, связывающих исполнительные органы или между собой или с источником движения. В расчетной кинематической цепи, называемой в ряде литературных источников цепью согласования, один исполнительный орган рассматривают в качестве ведущего, а другой – в качестве ведомого. По расчетной кинематической цепи составляют уравнение кинематической цепи (уравнение кинематического баланса), в котором неизвестным является передаточное отношение органа настройки. При этом необходимо учитывать, что при совпадении порядка записи с направлением передачи движения через орган настройки символ его передаточного отношения записывается в числитель, а при отсутствии этого условия – в знаменатель. Уравнение кинематической цепи можно записывать от любого конца расчетной цепи. Решение этого уравнения относительно передаточного отношения органа настройки представляет собой формулу настройки.

В общем виде формула настройки показывает зависимость его передаточного отношения от переменных параметров условия кинематического согласования перемещений конечных исполнительных органов расчетной кинематической цепи и ее постоянной, т.е.:

$$i = f(c, \text{переменные параметры условия согласования}),$$

где i – передаточное отношение органа настройки;

c – постоянная уравнения кинематической цепи, зависящая от передаточных отношений промежуточных передач расчетной цепи и постоянных параметров условия согласования перемещений.

Формула настройки для каждого конкретного станка постоянна.

Для того чтобы составить уравнение кинематической цепи, необходимо задать расчетные перемещения ее конечных исполнительных органов. Под расчетными перемещениями понимают перемещение ведущего исполнительного органа расчетной цепи в совокупности с результирующим перемещением ведомого органа этой же цепи. Расчетные перемещения определяют в зависимости от того, где расположен орган настройки – во внутренней или во внешней кинематической связи.

Если орган настройки расположен во внутренней связи, то конечными исполнительными органами расчетной цепи будут подвижные исполнительные звенья исполнительных органов. Абсолютные перемещения этих звеньев неизвестны. Однако известны их относительные перемещения, со-

ответствующие относительным перемещениям в какой-либо механической передаче, моделирующей заданное изделие и режущий инструмент. Поэтому для определения расчетных перемещений одному из элементов передачи (заготовке или инструменту) дают вполне определенное движение: при вращении – один оборот, а при поступательном движении – L мм линейного перемещения. Зная передаточное отношение передачи, которую моделируют заготовка и инструмент, определяют перемещение второго элемента (инструмента или заготовки). Например, расчетные перемещения кинематической (структурной) цепи обката (см. рис. 1.6) при фрезеровании цилиндрического зубчатого колеса червячной фрезой записываются следующим образом:

$$1 \text{ об. червячной фрезы} \rightarrow k/z \text{ об. заготовки,}$$

где k – количество заходов червячной фрезы;

z – число зубьев нарезаемого колеса.

В табл. 2.1 приведены возможные расчетные перемещения для внутренних связей различных станков.

Для органов настройки, расположенных в расчетных цепях подач, расчетные перемещения (табл. 2.2) зависят от характера задания скорости подачи (минутная, оборотная, цикловая) и формы траектории движения подачи (линейная, круговая).

Таблица 2.1

Расчетные перемещения внутренних связей

Зацепление	Исполнительное движение	Расчетное перемещение конечных звеньев
1	2	3
Цилиндрических или конических зубчатых колес	$\Phi(B_1B_2)$	0 об. колеса $Z_1 \rightarrow \frac{Z_1}{Z_2}$ об. колеса Z_2
Ходового винта и гайки	$\Phi(B_1П_2)$	1 об. ходового винта $\rightarrow S$ мм продольного перемещения гайки
Рейки с колесом	$\Phi(П_1B_2)$	L мм перемещение рейки \rightarrow $\rightarrow \frac{L}{\pi \cdot m \cdot z}$ об. колеса Z
Червяка с червячным колесом	$\Phi(B_1B_2)$	1 об. червяка $\rightarrow \frac{K}{Z}$ об. колеса
Червяка с реечным колесом	$\Phi(П_1B_2)$	L мм перемещение рейки \rightarrow $\rightarrow \frac{L}{\pi \cdot m \cdot z}$ об. колеса
Червяка с гайкой	$\Phi(B_1П_2)$	1 об. червяка \rightarrow $\rightarrow \pi \cdot k \cdot m$ перемещению гайки
Червяка с рейкой	$\Phi(B_1П_2)$	1 об. червяка \rightarrow $\rightarrow \pi \cdot k \cdot m$ перемещению рейки
Кулачка с толкателем	$\Phi(B_1П_2)$	1 об. кулачка \rightarrow $\rightarrow h_k$ мм перемещению толкателя

Расчетные перемещения цепей деления зависят от способа соединения кинематических групп формообразования и деления. При параллельном и при последовательном соединении этих групп расчетные перемещения записываются в виде:

$$n \text{ об. делительного диска} \rightarrow 1/z \text{ об. заготовки.}$$

При смешанном соединении групп:

$$1 \text{ оборот распределительного вала (РВ)} \rightarrow z_i/z \text{ оборотов заготовки,}$$

где z – число зубьев нарезаемого колеса;

z_i – целое число, не имеющее общих множителей с числом нарезаемых зубьев.

Расчетные и структурные цепи внешних связей по своему составу, как правило, не совпадают. Расчетная цепь для определения передаточного отношения органа настройки скорости резания связывает источник энергии движения с подвижным звеном исполнительного органа, создающего движение резания. Например, расчетные перемещения для расчетной цепи зубофрезерного станка, соединяющей электродвигатель со шпинделем фрезы, записываются в виде:

$$n_m \text{ мин}^{-1} \text{ электромотора} \rightarrow n_f \text{ мин}^{-1} \text{ червячной фрезы.}$$

Согласно расчетным перемещениям, составляют уравнение кинематической цепи, решая которое, получают формулу настройки.

Таблица 2.2

Расчетные перемещения для цепей подачи

Вид подачи	Линейная	Круговая
Минутная	$n_m \text{ мин}^{-1}$ двигателя $\rightarrow S$ мм перемещение исполнительного звена подачи	$n_m \text{ мин}^{-1}$ двигателя $\rightarrow n_u \text{ мин}^{-1}$ исполнительного звена подачи
Оборотная	1 об. исполнительного звена группы резания $\rightarrow S$ мм перемещение исполнительного звена подачи	1 об. исполнительного звена группы резания $\rightarrow S_d$ мм дуговое перемещение исполнительного звена подачи
Цикловая	<p>Для временных (кулачковых) СУ 1,3,4 группы</p> $\frac{n_m t_u}{60} \text{ об. двигателя} \rightarrow 1 \text{ об. РВ}$ <p>Для временных (кулачковых) СУ 2 группы</p> $\frac{n_m t_p}{60} \text{ об. двигателя} \rightarrow \frac{\alpha_p^\circ}{360} \text{ об. РВ}$ <p>где t_u и t_p – соответственно время выполнения цикла и время выполнение рабочих переходов;</p> <p>α_p° – угол поворота РВ для выполнения рабочих ходов</p>	

В качестве примера рассмотрим кинематическую настройку зубодолбежного станка, схема которого приведена на рис. 2.13.

Орган настройки i_v .

Расчетные перемещения (РП):

$$n_m \text{ мин}^{-1} \text{ мотора} \rightarrow n_3 \text{ дв. ход/мин шпинделя долбяка.}$$

Уравнение кинематической цепи (УКЦ):

$$n_\partial = n_m \cdot i_{01} \cdot i_v$$

где i_{01} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

i_v – передаточное отношение органа настройки.

Формула настройки (ФН):

$$i_v = n_\partial / i_{01} n_m.$$

Орган настройки i_x .

РП:

$$\frac{1}{z_u} \text{ поворота долбяка} \rightarrow \frac{1}{z} \text{ поворота заготовки.}$$

УКЦ:

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{z_u} i_{02} i_x,$$

где i_{02} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

ФН:

$$i_x = \frac{z_u}{i_{02} z}.$$

Орган настройки i_s .

РП:

$$1 \text{ дв. ход долбяка} \rightarrow \frac{s}{\pi m z_u} \text{ поворота долбяка.}$$

УКЦ:

$$\frac{s}{\pi m z_u} = i_{03} i_s.$$

где i_{03} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

ФН:

$$i_s = \frac{s}{i_{03} \pi m z_u}.$$

При настройке станка на нарезание колес с винтовым зубом необходимо настроить также внутреннюю связь группы $\Phi_v(B_1\Pi_7)$. В этом случае шаг винтовой линии T_k винтовых направляющих должен соответствовать шагу подъема винтовой линии T_u долбяка, т.е. $T_k \rightarrow T_u$.

Стандартом предусмотрено четыре вида косозубых долбяков: два для нарезания зубчатых колес наружного зацепления и два для колес внутреннего зацепления. Углы наклона зубьев – 15° и 23° . Следовательно, для каждого вида косозубых долбяков, независимо от модуля, T_u постоянно. Это сокращает номенклатуру винтовых направляющих и одновременно ограничивает универсальность станка при обработке колес с винтовым зубом. Поэтому при необходимости обработки колес с иным углом наклона зубьев следует изготовить соответствующие долбяк и винтовые направляющие, пользуясь соотношением:

$$T_k = T_u = \frac{\pi m_n z_d}{\sin \beta},$$

где z_d – число зубьев долбяка;

m_n – нормальный модуль;

β – угол наклона зубьев долбяка и нарезаемого колеса.

При нарезании колес с винтовым зубом внешнего зацепления направления наклона зубьев долбяка и колеса – противоположны, а при нарезании колес внутреннего зацепления направления наклона их зубьев совпадают.

2.5. Механические органы кинематической настройки

Кинематическая схема представляет собой условное изображение объединения кинематических групп или кинематических цепей станка в одной плоскости. Назначение кинематической схемы станка – дать полное представление о том, как передается движение к исполнительным органам. Передачи и механизмы в кинематических схемах показывают контуром, напоминая форму действующих устройств (табл. 2.3). На кинематической схеме приводят также необходимые данные, в том числе те, по которым выводят формулы настройки органов настройки соответствующих расчетных кинематических цепей. Среди механических органов настройки наиболее распространены шестеренчатые коробки скоростей и гитары со сменными зубчатыми колесами.

2.5.1. Шестеренчатые коробки скоростей

Шестеренчатые коробки применяются в основном в приводах скоростей резания и подач универсальных станков, а также в специальных станках, имеющих небольшое количество ступеней скоростей. Такие коробки, как правило, имеют геометрический или арифметический ряд скоростей резания или подач.

Шестеренчатая коробка состоит из отдельных одиночных зубчатых передач и элементарных механизмов, комбинация которых определяет конструкцию коробки. Среди элементарных механизмов наиболее распространены механизмы с передвигными блоками, механизмы со сцепными муфтами, механизмы с шестеренчатым конусом (конус Нортон), механизмы миандра.

Для изменения частоты вращения ведомого вала в коробках применяют передачи, содержащие передвигные блоки зубчатых колес. Число колес в блоке – два, три, реже четыре. Блоки используют в качестве ведущих и ведомых колес. На рис. 2.15, а показана передача с двух- и трехвенцовыми блоками. Двухвенцовый блок с зубчатыми колесами z_1 и z_2 может перемещаться вдоль вала I и последовательно зацепляться с колесами z_3 и z_4 , жестко установленными на валу II. Передаточное отношение между валами I и II $i_1 = z_1/z_2$ и $i_2 = z_3/z_4$. При этом на валу II подвижный трехвенцовый блок с зубчатыми колесами z_5 , z_7 , z_9 может последовательно зацепляться с колесами z_6 , z_8 , z_{10} и обеспечивать между валами II и III передаточные отношения $i_3 = z_5/z_6$, $i_4 = z_7/z_8$, $i_5 = z_9/z_{10}$.

Так как для каждого значения i между валами I и II можно получить два передаточных отношения, а между валами II и III – три, то, следовательно, между валами I и III посредством передвигных блоков можно обеспечить шесть различных передаточных отношений или шесть частот вращения вала III при постоянной частоте вращения вала I.

Таблица 2.3

Условное обозначение элементов кинематических схем

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
1	2	3	4
Вал		Зубчатые передачи:	
Соединение двух валов:		цилиндрическими колесами	
глухое			
глухое с предохранением от перегрузок		коническими колесами	
эластичное			
шарнирное		винтовыми колесами	
телескопическое			

1	2	3	4
плавающей муфтой		червячная	
зубчатой муфтой			
Соединение детали с валом:		реечная	
свободное при вращении			
подвижное без вращения		Передача ходовым винтом с гайкой:	
при помощи вытяжной шпонки			
глухое			
Подшипники скольжения:		разъемной	
радиальный		Муфты:	
радиально-упорный односторонний			
радиально-упорный двухсторонний		кулачковая односторонняя	
Подшипники качения:		кулачковая двухсторонняя	
радиальный		конусная односторонняя	
радиально-упорный односторонний		дисковая односторонняя	
радиально-упорный двухсторонний		дисковая двухсторонняя	
Ременные передачи:		электромагнитная односторонняя	
плоским ремнем		электромагнитная двухсторонняя	
		обгонная односторонняя	
клиновидным ремнем		обгонная двухсторонняя	
		Тормоза:	
Передача цепью		конусный	
		колодочный	
		дисковый	

Размещение колес на валах зависит от ширины венца блоков. Для ввода в зацепление колеса z_5 тройного блока с колесом z_6 необходимо, чтобы блок свободно проходил мимо колеса z_8 , не зацепив его колесом z_9 . Это возможно, если $z_7 - z_9 > 5$. В противном случае необходимо применять схему передачи, показанную на рис. 2.15, б. На рис. 2.15, в показана передача с перебором. Вал I может получать вращение от колеса z_5 при включении кулачковой муфты колес z_1 и z_4 . При выключенной муфте и зацеп-

лении колеса z_4 с z_3 вращение на вал I передается через зубчатые колеса z_1/z_2 , вал II и колеса z_3/z_4 .

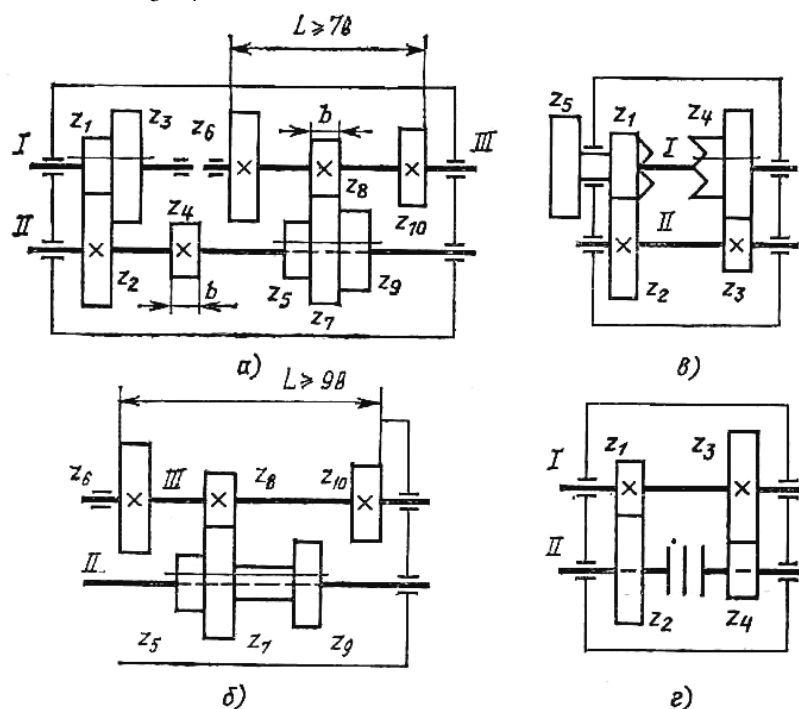


Рис. 2.15. Механизмы шестеренчатых коробок:

a – с двумя передвижными блоками; *б* – с трехвенцовым блоком;

в – с перебором; *г* – с фрикционной двухсторонней муфтой

Передачи с передвижными блоками и кулачковыми муфтами просты по конструкции, надежны в эксплуатации и удобны в управлении, но не допускают переключений при вращении и имеют большие размеры в осевом направлении. На рис. 2.15, *г* приведена передача, которая лишена этих недостатков. Колеса z_2 и z_4 свободно установлены на валу II и постоянно находятся в зацеплении с колесами z_1 и z_3 , жестко закрепленными на валу I. Передача движения валу II от вала I происходит при включении фрикционной двухсторонней муфты, которая жестко соединяет с валом II колеса z_2 и z_4 . В этом случае частоту вращения можно изменять на ходу.

В современных металлорежущих станках с автоматическими коробками скоростей используются одно- и двухсторонние фрикционные электромагнитные муфты.

На рис. 2.16, *a* показан механизм миандра с накидным колесом z_0 , позволяющий увеличивать в два раза передаточные отношения при включении соседней пары зубчатых колес. Если принять вал I ведущим, а вал II ведомым, и $z = z_2 = z_3 = z_6 = 56$, а $z_1 = z_4 = z_5 = z_7 = 28$, то получим передаточные отношения механизма:

$$i_1 = \frac{z_1 z_2 z_0}{z_2 z_0 z} = \frac{1}{2}, \quad i_2 = \frac{z_1 z_4 z_0}{z_2 z_0 z} = \frac{1}{4},$$

$$i_3 = \frac{z_1 z_4 z_5 z_6 z_0}{z_2 z_3 z_6 z_0 z} = \frac{1}{8}, \quad i_4 = \frac{z_1 z_4 z_5 z_7 z_0}{z_2 z_3 z_6 z_0 z} = \frac{1}{16}.$$

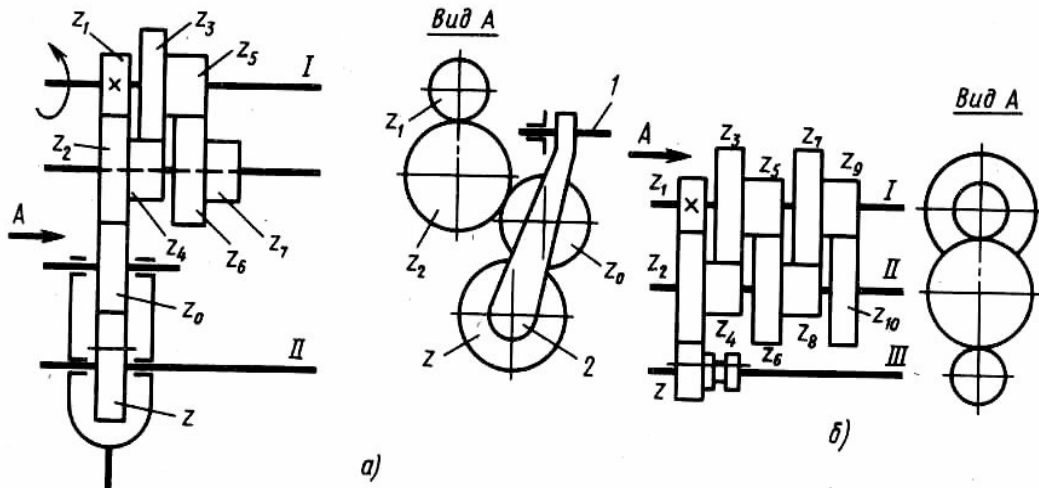


Рис. 2.16. Механизмы миандра коробок подач:
а – с накидным колесом; б – с подвижным колесом

Механизм миандра еще называют «умножающим механизмом». Механизм с накидным колесом имеет тот недостаток, что он не обеспечивает постоянного межосевого расстояния между накидным колесом z_0 и z_2 , так как поворотный рычаг 2 фиксируют нежестким подвижным цилиндрическим фиксатором 1.

На рис. 2.16, б показана более совершенная конструкция механизма миандра, из которого исключено накидное колесо с поворотным рычагом.

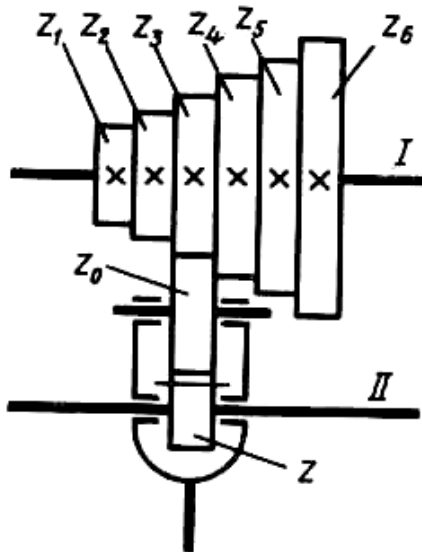


Рис. 2.17. Механизм с шестеренчатым конусом

Соединение с колесами блоков производят подвижным колесом z , благодаря чему обеспечивается постоянство межосевых расстояний.

Механизм Нортон (рис. 2.17) представляет собой конус, набранный из зубчатых колес, с накидным колесом, смонтированным на поворотном рычаге с цилиндрическим фиксатором. Накидное колесо z_0 может поочередно вступать в зацепление со всеми колесами конуса ($z_1 - z_6$) и передавать движение от вала I на вал II. Таким образом, можно получить шесть различных переда-

точных отношений. Выбор чисел зубьев колес конуса не связан с постоянством межосевого расстояния между ведущим и ведомым валами. Преимуществом этого механизма является компактность, недостатком – малая жесткость. Основное назначение этого механизма – создание арифметического ряда передаточных отношений. Используется главным образом в универсальных токарно-винторезных станках.

Приведенная на рис. 2.15, *a* схема шестиступенчатой шестеренчатой коробки является обычной множительной структурой, состоящей из одной кинематической цепи с последовательным соединением подвижных блоков (групп передач), и обеспечивает геометрический ряд круговых частот вращения выходного вала. Такая структура позволяет успешно создавать рациональные приводы главного движения. Однако в ряде случаев, например в универсальных токарно-винторезных станках, при увеличении диапазона регулирования скоростей, создать простой привод, удовлетворяющий требованиям, на базе такой структуры невозможно. Поэтому в станкостроении применяют так называемые сложенные структуры. Сложеной называется структура многоскоростного ступенчатого привода, состоящая из двух, реже из трех кинематических цепей, каждая из которых является обычной множительной структурой. Одна из этих цепей (короткая) предназначена для высших скоростей привода, другие (более длинные) – для низких скоростей. В качестве примера на рис. 2.18 приведена схема шестеренчатой коробки на 12 значений частоты вращения шпинделя (выходного вала), у которой сложенная структура состоит из двух кинематических цепей. Вращение от вала I валу II сообщает группа колес *Pa*. Далее движение на шпиндель V передается по двум цепям: при левом и среднем положениях блока $z_7 - z_9 - z_{11}$ через передачу z_7/z_8 или передачу z_9/z_{10} (группа *Pb*); при правом положении блока $z_7 - z_9 - z_{11}$ группой передач *Pc, Pd, Pe*.

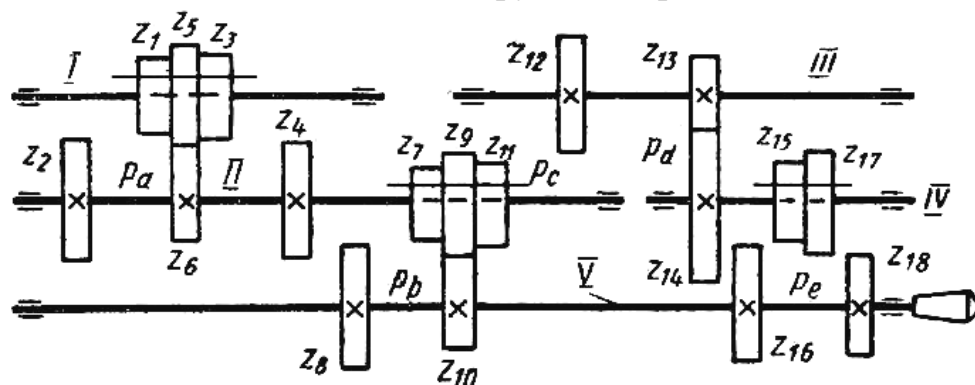


Рис. 2.18. Структура сложного многоскоростного привода

При этом передача z_{11}/z_{12} выполняет функцию одиночной передачи и обеспечивает переключение с короткой на длинную цепь и наоборот. В

итоге рассматриваемая схема сложного привода обеспечивает следующие значения передаточных отношений от входного вала I к шпинделю V:

– по короткой цепи:

$$i_1 = \frac{z_1 z_7}{z_2 z_8}, \quad i_2 = \frac{z_3 z_7}{z_4 z_8}, \quad i_3 = \frac{z_5 z_7}{z_6 z_8}, \quad i_4 = \frac{z_1 z_9}{z_2 z_{10}}, \quad i_5 = \frac{z_3 z_9}{z_4 z_{10}}, \quad i_6 = \frac{z_5 z_9}{z_6 z_{10}};$$

– по длинной цепи:

$$i_7 = \frac{z_1 z_{11} z_{15}}{z_2 z_{12} z_{16}}, \quad i_8 = \frac{z_3 z_{11} z_{15}}{z_4 z_{12} z_{16}}, \quad i_9 = \frac{z_5 z_{11} z_{17}}{z_6 z_{12} z_{18}}, \quad i_{10} = \frac{z_1 z_{11} z_{17}}{z_2 z_{12} z_{18}},$$

$$i_{11} = \frac{z_3 z_{11} z_{17}}{z_4 z_{12} z_{18}}, \quad i_{12} = \frac{z_5 z_{11} z_{17}}{z_6 z_{12} z_{18}}.$$

В ряде современных станков со ступенчатыми коробками скоростей один из шестеренчатых блоков заменяют двух- или трехскоростным асинхронным электродвигателем.

Методика задания передаточных отношений и чисел зубьев зубчатых колес в шестеренчатых коробках рассматривается в специальном разделе соответствующего курса, посвященном проектированию кинематических схем металлорежущих станков.

2.5.2. Гитары сменных зубчатых колес

Гитара – это механизм со сменными зубчатыми колесами, предназначенный для ступенчатого изменения передаточного отношения расчетной кинематической цепи. Они применяются в основном в редко перенастраиваемых цепях при большом диапазоне и количестве передаточных отношений органа настройки расчетной цепи. Эти механизмы отличаются простотой конструкции. Основным недостаток гитар – трудоемкость настройки.

В станках используют гитары с одной, двумя и тремя парами сменных зубчатых колес. Гитара с одной парой сменных зубчатых колес (см. рис. 1.2) применяется в основном в цепях, не требующих точной настройки (органы настройки i_v и i_s). Гитары с двумя и тремя парами сменных зубчатых колес используются, как правило, для точной настройки кинематических цепей (органы настройки i_x , i_y и т.п.). На рис. 2.19 показаны гитары с двумя и тремя парами сменных зубчатых колес.

Гитара с двумя парами колес (рис. 2.19, а) состоит из плиты 1, оси 2, фиксирующего болта 3 и сменных зубчатых колес a , b , c , d . Поскольку сумма зубьев сцепляемых колес при различных настройках различна, в плите гитары предусмотрен паз, позволяющий перемещать ось 2 и таким образом осуществлять зацепление сменных колес c и d различных диамет-

ров. Болтом 3 фиксируют плиту гитары в требуемом положении для сцепления колес a и b .

Для подбора зубчатых колес пользуются единственным уравнением с четырьмя неизвестными

$$i = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}, \quad (2.1)$$

где i – передаточное отношение, полученное по ФН;
 a, b, c, d – числа зубьев колес гитары.

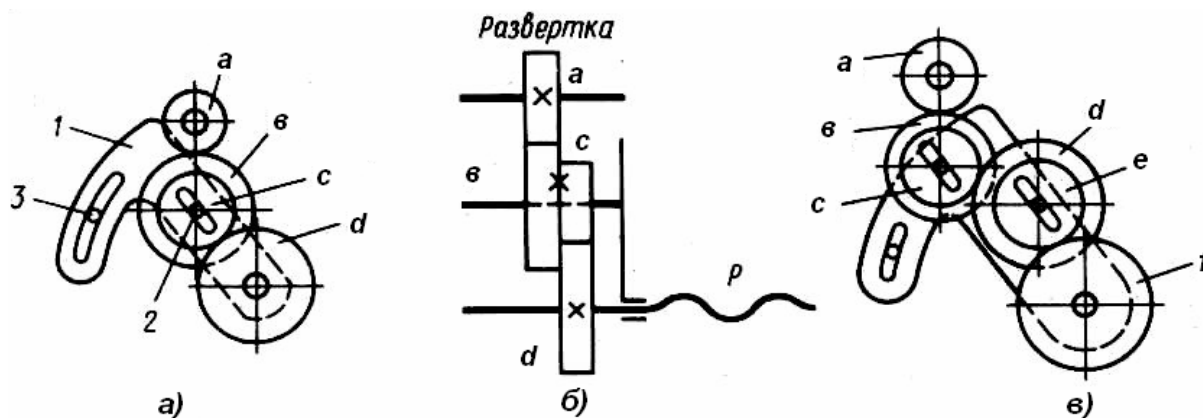


Рис. 2.19. Гитары сменных зубчатых колес: а – с двумя парами сменных колес;
 б – развертка гитары с двумя парами сменных колес;
 в – гитара с тремя парами сменных колес

Число решений уравнения (2.1) ограничено следующими факторами:
 – имеющимся набором сменных зубчатых колес;
 – условиями сцепляемости.

$$a + b > c + d \quad (15 \dots 20). \quad (2.2)$$

$$c + d > a + b \quad (15 \dots 20). \quad (2.3)$$

Для подбора сменных зубчатых колес используют в основном два следующих метода: основной и дополнительный.

Основной метод – разложение на простые множители. Используется, когда i выражается простой дробью, числитель и знаменатель которой разлагаются на простые множители, удобные для подбора колес. Например:

$$i = 51/91 = 3 \cdot 17 / 7 \cdot 13.$$

Допустим, что в наборе сменных зубчатых колес станка имеются колеса с числами зубьев, кратными пяти от 20 до 100. Тогда:

$$i = \frac{3 \cdot 17}{7 \cdot 13} = \frac{3 \cdot 10}{7 \cdot 10} \cdot \frac{17 \cdot 5}{13 \cdot 5} = \frac{30}{70} \cdot \frac{85}{65}$$

Проверяем условия сцепляемости (2.2) по допустимому значению:

$$30 + 70 = 85 + 15.$$

Возможно, что зубчатое колесо будет перерезать ведомый вал (рис. 2.19, б), следовательно, монтаж колес невозможен. Поменяем места-ми колеса в числителе или знаменателе. Например:

$$i = \frac{85}{70} \cdot \frac{30}{65}.$$

Проверяем условия сцепляемости (2.2) и (2.3) по большему допустимому значению:

$$\begin{aligned} 85 + 70 &> 30 + 20; \\ 30 + 65 &> 70 + 20. \end{aligned}$$

Условия сцепляемости подтверждают возможность монтажа подобранных сменных зубчатых колес в гитаре.

Дополнительный метод – приближенный подбор. В этом случае используют способ непрерывных дробей или, чаще, табличный метод.

Пусть по формуле настройки $i = 0,309329$. По таблицам (см., например, М. В. Сандаков и др. Таблицы для подбора шестерен: Справочник. – 6-е изд. – М.: 1988. – 571 с.) подбираем соответствующую этой десятичной дроби простую дробь. После преобразований получим числа зубьев сменных колес:

$$i = 0,309329 = \frac{189}{611} = \frac{3^3 \cdot 7}{13 \cdot 47} = \frac{21}{65} \cdot \frac{45}{47}.$$

Такие зубчатые колеса имеются в нормальном наборе сменных зубчатых колес, например, зубофрезерных станков. Проверяем условия сцепляемости:

$$\begin{aligned} 21 + 65 &> 45 + 20; \\ 45 + 47 &> 65 + 20. \end{aligned}$$

В ряде станков, например зубофрезерных, как правило, предусматривается более широкий диапазон настройки кинематических цепей. Поэтому в таких станках используются гитары с тремя парами сменных зубчатых колес. В этих гитарах (рис. 2.19, в) используется дополнительная пара зубчатых колес, а в ее плите выполняется два или три паза для промежуточных осей. Для подбора зубчатых колес используется уравнение с шестью неизвестными:

$$i = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{e}{f}.$$

Зубчатые колеса e и f меняются значительно реже, чем колеса a , b , c , d . Как правило, их передаточное отношение постоянно и равно $1; \frac{1}{2}; 2$. Это позволяет для данной пары колес использовать только четыре сменных зубчатых колеса, например с числами зубьев 40, 60, 60, 80.

Колеса a , b , c , d подбираются по правилам подбора колес для двухпарной гитары, а к условиям сцепляемости добавляется еще одно:

$$e + f > d + (15 \dots 20).$$

Для различных групп станков комплекты сменных зубчатых колес различны. Однако все комплекты создаются на основе общего ряда чисел зубьев сменных колес:

20 – 23 – 25 – 30 – 33 – 34 – 37 – 40 – 41 – 43 – 45 – 47 – 50 – 53 – 55 – 58 –
– 59 – 60 – 62 – 65 – 67 – 70 – 71 – 73 – 75 – 79 – 80 – 83 – 85 – 89 – 90 – 92 –
– 95 – 97 – 98 – 100 – 105 – 113 – 115 – 120 – 127 – всего 44 колеса.

Для токарно-винторезных станков принят набор колес, у которых числа зубьев кратны пяти (в комплекте 22 колеса).

Набор зубчатых колес для зуборезных станков ограничен колесом с числом зубьев 100. Для фрезерных станков (для настройки делительных головок) набор состоит из колес с числами зубьев:

25 – 25 – 30 – 35 – 40 – 50 – 55 – 60 – 70 – 80 – 90 – 100 (всего 12 колес).

2.5.3. Механизмы для бесступенчатого изменения скорости

Основные достоинства приводов с бесступенчатым регулированием – повышение производительности обработки за счет точной настройки оптимальной по режимам резания скорости, возможность плавного изменения скорости во время работы, простота автоматизации процесса изменения скоростей. Для бесступенчатого изменения скорости применяют механические (фрикционные) вариаторы, регулируемые электро- и гидродвигатели. В данном курсе рассматриваются только механические вариаторы. Электрические и гидравлические регулируемые приводы рассматриваются в соответствующих курсах.

Принцип действия механического вариатора рассмотрим на примере наиболее распространенных их типов (рис. 2.20).

В вариаторе с раздвижными коническими дисками (рис. 2.20, a) смещение дисков по шлицам входного и выходного валов в противоположные стороны приводит к смещению широкого клинового ремня. В итоге изменяются радиусы контактов r_1 и r_2 ремня с конусными поверхностями дисков и, следовательно, изменяется передаточное отношение механизма. Диапазон регулирования определяется предельным отношением радиусов ведомого и ведущего дисков:

$$R_{\delta} = r_2/r_1 < 6,$$

где R_{δ} – диапазон бесступенчатого регулирования вариатора.

Основными недостатками вариатора являются непостоянство длины клинового ремня, меняющееся с изменением передаточного отношения и значительная неустойчивость передаточного отношения при изменении передаваемой нагрузки (потеря частоты вращения до 14...16 %).

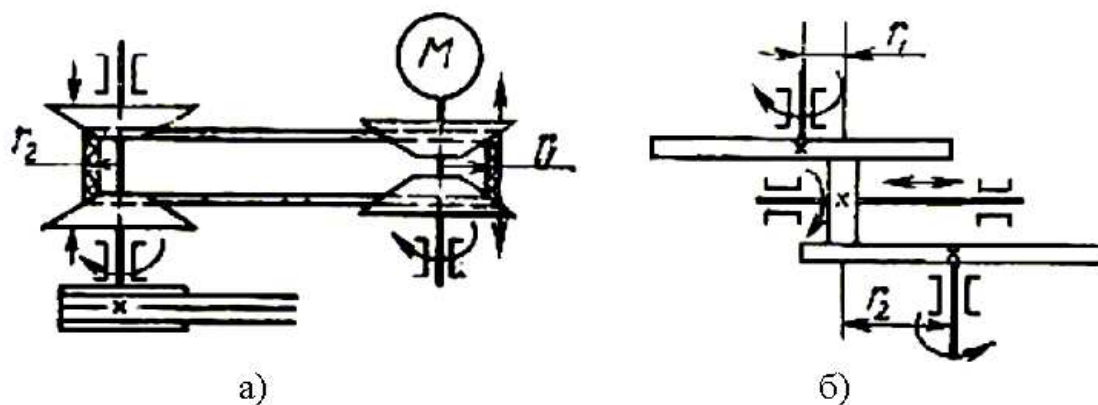


Рис. 2.20. Механические вариаторы:
а – с раздвижными конусными дисками; б – лобовой

Вариатор с широким клиновым ремнем использован в токарно-винторезном станке модели 1К620.

Вместо ремня в вариаторе с раздвижными дисками может использоваться клиновое кольцо. Такой вариатор имеет меньшие габаритные размеры и используется для передачи мощности до 1,5 кВт в небольших по размерам станках, например, токарных и сверлильных.

В лобовом вариаторе (рис. 2.20, б) при смещении промежуточного ролика вдоль образующей ведомого и ведущего дисков изменяются величины радиусов r_1 и r_2 . Это обеспечивает изменение передаточного отношения механизма. В таком вариаторе диапазон бесступенчатого регулирования $R_6 < 10$.

Общими недостатками механических вариаторов являются: меньшая по сравнению с шестеренчатыми передачами надежность; нежесткая кинематическая характеристика и, следовательно, невозможность применения во внутренних связях станков; сравнительно небольшой диапазон регулирования и, как следствие, необходимость дополнения привода шестеренчатой коробкой.

2.5.4. Реверсивные механизмы

Реверсивные механизмы используются для изменения направления движения исполнительных органов станка. Реверсирование движений может осуществляться посредством реверсирования электродвигателей, гид-

родвигателей и механических устройств. В станках с механическими связями используются, как правило, механические реверсивные механизмы. На рис. 2.21 приведены схемы наиболее распространенных реверсивных механизмов.

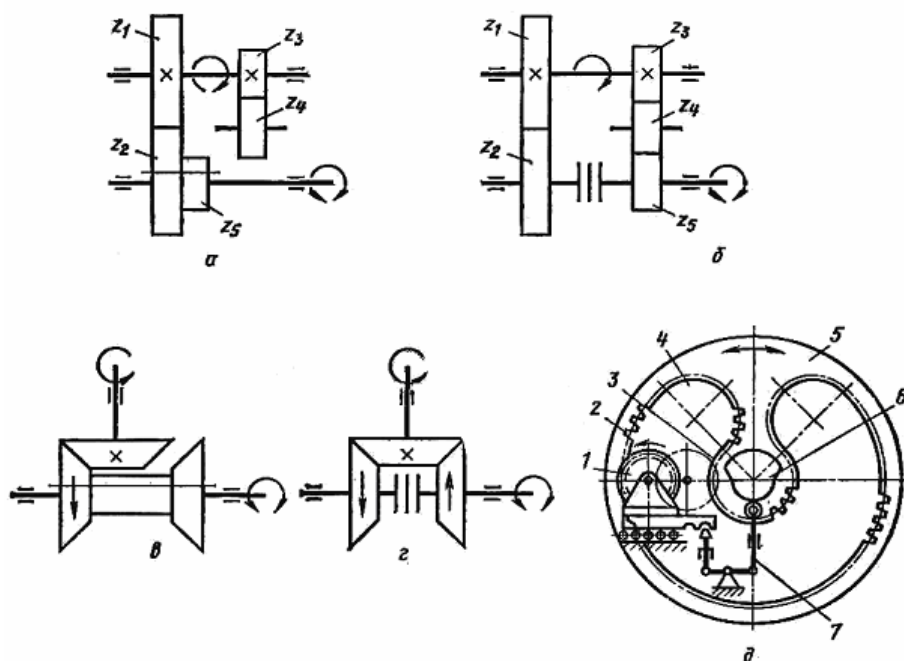


Рис. 2.21. Реверсивные механизмы:

а – с передвижной шестерней; *б* – с фрикционной муфтой;
в, *г* – с коническими колесами; *д* – с составным колесом

Реверсивные механизмы с цилиндрическими колесами основаны на передаче вращательного движения от входного вала к выходному или через зубчатую передачу z_1/z_2 (рис. 2.21, *а*, *б*), или с использованием промежуточного колеса, т.е. $z_3/z_4/z_5$. При этом управление реверсированием может осуществляться посредством передвижной шестерни (блок колес $z_2 - z_5$) или посредством кулачковой или фрикционной муфты с ручным или электромагнитным управлением.

Работа реверсивных устройств с коническими колесами основана на том, что два конических колеса, установленных на выходном валу, находясь в зацеплении с колесом входного вала, вращаются в противоположные стороны (рис. 2.21, *в*, *г*). Управление реверсированием обеспечивается или перемещением блока конических колес, или с использованием переключающей муфты.

Основной недостаток рассмотренных реверсивных механизмов – потеря некоторого количества движения в период переключения направления вращения. Поэтому при использовании таких механизмов во внутренних

связях необходимо при выводе формулы настройки в уравнение кинематической цепи ввести соответствующий эмпирический коэффициент.

Указанный недостаток устранен в реверсивном механизме с составным колесом (рис. 2.21, д). Он состоит из ведущего колеса 1 и ведомого колеса, составленного из двух концентрических секторов внутреннего 2 и наружного 3 зацепления, соединенных между собой зубчатыми секторами 4 внутреннего зацепления. Все секторы составного колеса закреплены на торце колеса 5. Центр колеса 1 при зацеплении его с зубчатыми секторами 2 и 3 меняет положение от кулачка 6 через систему рычагов 7. Колесо 1 вращается с постоянной частотой в неизменном направлении, а колесо 5 изменяет направление вращения при неизменном зацеплении колеса 1 с зубчатыми секторами 2 и 3.

Реверсивный механизм с составным колесом используется во внутренних связях современных зубообрабатывающих станков для обработки конических зубчатых колес с прямыми и с круговыми зубьями.

2.5.5. Суммирующие механизмы

В зубообрабатывающих и ряде других станков с механическими связями применяют суммирующие механизмы, называемые дифференциалами. При этом кинематическая структура станков, одинаковых по назначению, становится различной в зависимости от того, применен в ней дифференциал или нет. С помощью дифференциалов создают несколько элементарных движений на одном исполнительном звене. Дифференциалы позволяют изменять скорость каждого элементарного движения, не изменяя скорости остальных алгебраически складываемых движений, прекращать любое элементарное движение и вновь создавать его в требуемый по циклу работы станка момент времени. Расположение дифференциала в кинематической структуре зависит от решаемой задачи. При расположении дифференциала в одной кинематической группе решается задача или повышения точности работы группы, или коррекции точности настройки параметров создаваемого исполнительного движения, или расширения диапазона его настройки. С помощью дифференциала, соединив две кинематические группы между собой, можно уменьшить число подвижных исполнительных звеньев станка. В этом случае одно и то же исполнительное звено может участвовать одновременно в двух исполнительных движениях, имеющих независимые траектории, скорости и другие параметры. В суммирующих механизмах обязательны три приводных звена: два входных или ведущих и одно выходное или ведомое.

Схемы дифференциалов, применяемых в станках, зависят от вида используемых передач. А все их многообразие состоит из двух больших групп: планетарные и непланетарные дифференциалы.

Планетарный дифференциал с цилиндрическими колесами. Находящиеся в зацеплении между собой колеса с числами зубьев Z_1 и Z_2 , связанные рычагом – водилом B представляют собой дифференциал с цилиндрическими зубчатыми колесами (рис. 2.22). При сообщении ведущим звеньям колесу Z_1 и водилу B соответственно вращательных движений n_1 и n_6 на ведомом звене – колесе Z_2 произойдет алгебраическое сложение этих движений с учетом передаточного отношения механизма. Связь между угловыми скоростями приводных звеньев дифференциала устанавливается по формуле Виллиса (ФВ):

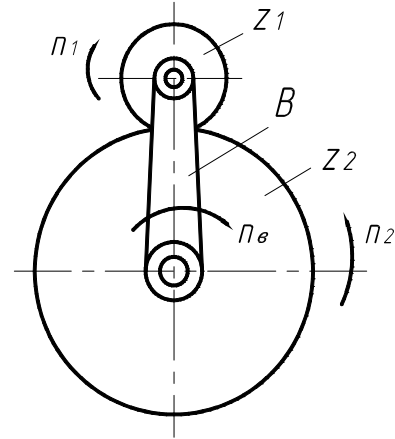


Рис. 2.22. Планетарный суммирующий механизм с цилиндрическими колесами

$$\frac{n_2 - n_6}{n_1 - n_6} = \pm i^6,$$

где n_1, n_2, n_6 – соответственно круговые частоты (угловые скорости) приводных звеньев;

i^6 – передаточное отношение механизма при остановленном водиле. Знак (+) принимается при одноименном направлении вращения ведущего и ведомого звеньев, а знак (–) – при разноименном направлении их вращения.

Решая ФВ относительно ведомого звена, после несложных преобразований получим:

$$n_2 = pn_1 \pm kn_6,$$

где $p = \pm i^6; k = 1 - (\pm i^6)$.

$$\text{При } n_1 = 0, \quad i_{\Sigma}^{z_1} = \frac{n_2}{n_6} = k = 1 - (\pm i^6); \quad \text{при } n_6 = 0, \quad i_{\Sigma}^6 = \frac{n_2}{n_1} = p = \pm i^6,$$

где $i_{\Sigma}^{z_1}; i_{\Sigma}^6$ передаточное отношение суммирующего механизма при одном остановленном звене соответственно ведущем колесе или водиле.

При расчете настройки кинематических цепей необходимо выяснить назначение дифференциала и установить каким его подвижным звеньям

сообщаются круговые частоты n_1, n_2, n_e . Рассмотрим в качестве примера привод вращения шпинделя токарно-заточного станка модели 1708.

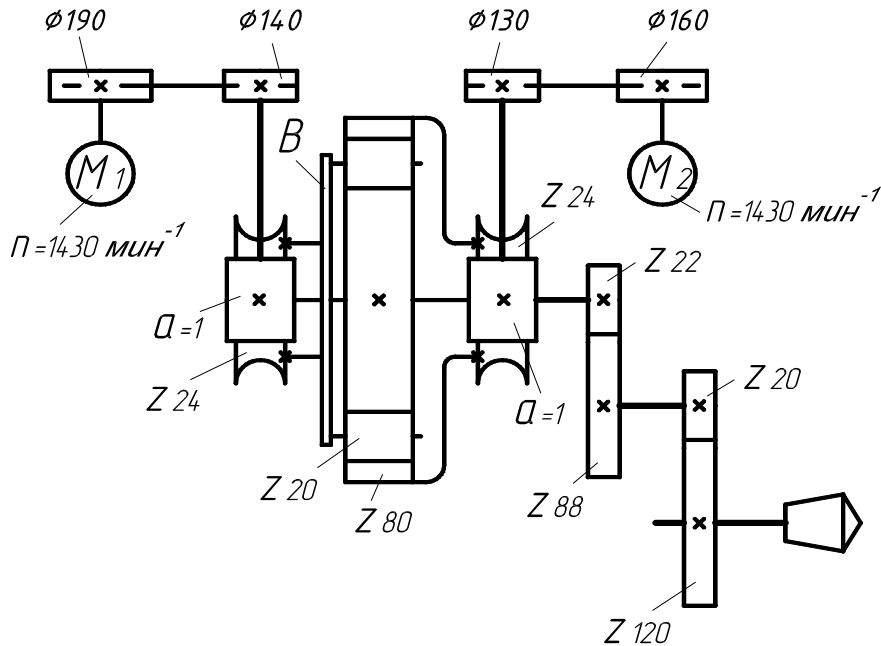


Рис. 2.23. Планетарный дифференциал в приводе вращения шпинделя

В этом приводе (рис. 2.23) используется два электродвигателя M_1 и M_2 , кинематически связанных с входными звеньями дифференциала соответственно водилом B и колесом с внутренним зубчатым венцом $Z80$.

Выходное звено дифференциала – колесо $Z40$. Таким образом:

$$n_1 = n_{Z80}; n_2 = n_{Z40}; n_e = n_{Z24}.$$

По ФВ получим:

$$\frac{n_2 - n_e}{n_1 - n_e} = \pm i^e = \left(+\frac{80}{20}\right)\left(-\frac{20}{40}\right) = -2.$$

Откуда:

$$n_2 = -2n_1 + 3n_e.$$

Определим передаточные отношения дифференциала при отключенных по очереди электродвигателях.

Электродвигатель M_1 отключен. Тогда,

$$n_e = 0; n_2 = -2n_1; i_{\Sigma}^e = \frac{n_2}{n_1} = -2.$$

Электродвигатель M_2 отключен. Тогда:

$$n_1 = 0; n_2 = 3n_e; i_{\Sigma}^{Z80} = \frac{n_2}{n_e} = 3.$$

Определим посредством УКЦ возможные круговые частоты вращения шпинделя.

Электродвигатель M_1 отключен. Тогда:

$$n_{ш} = (n_{M1} = 1430) \cdot 160/130 \cdot 1/24 \cdot (i_{\Sigma}^6 = 2) \cdot 22/88 \cdot 20/120 = 6 \text{ мин}^{-1}.$$

Электродвигатель M_2 отключен. Тогда:

$$n_{ш} = (n_{M2} = 1430) \cdot 190/140 \cdot 1/24 \cdot (i_{\Sigma}^{Z80} = 3) \cdot 22/88 \cdot 20/160 = 10 \text{ мин}^{-1}.$$

Оба электродвигателя вращаются одновременно в одну сторону. Тогда на выходном звене дифференциала круговые частоты складываются. Следовательно, $n_{ш} = 16 \text{ мин}^{-1}$.

Оба электродвигателя вращаются одновременно в противоположные стороны. Тогда на выходном звене дифференциала круговые частоты вычитаются. Следовательно, $n_{ш} = 4 \text{ мин}^{-1}$.

В рассмотренной схеме дифференциал обеспечивает расширение диапазона настройки круговых частот вращения шпинделя.

Планетарный дифференциал с коническими колесами. На рис. 2.24 представлена схема планетарного дифференциала с такими колесами. При сообщении ведущим звеньям дифференциала (рис. 2.24, а), например, водилу B и зубчатому колесу Z_2 вращательных движений соответственно n_6 (или ω_6) и n_2 (или ω_2) на ведомом звене – колесе Z_1 произойдет алгебраическое сложение этих движений. Связь между круговыми частотами (или угловыми скоростями) в таком дифференциале устанавливается также по ФВ. Однако в данном случае осуществим определение передаточных отношений дифференциала иным путем.

При $\omega_2 = 0$ вращение сателлитов можно рассматривать (2.24, б) как вращение относительно мгновенного центра вращения M . Тогда:

$$v_1 = \omega_1 r_1; \quad \frac{v_1}{2} = \frac{\omega_1 r}{2} = \omega_6 r.$$

Следовательно:

$$\omega_6 = \frac{\omega_1}{2} \quad (\text{или} \quad n_6 = \frac{n_1}{2}).$$

Аналогично при $\omega_1 = 0$, получим:

$$\omega_6 = \frac{n_2}{2} \quad (\text{или} \quad n_6 = \frac{n_2}{2}).$$

Если $\omega_1 \neq 0$ и $\omega_2 \neq 0$, то:

$$\omega_6 = \frac{\omega_1 \pm \omega_2}{2} \quad (\text{или} \quad n_6 = \frac{n_1 \pm n_2}{2}).$$

Определим передаточные отношения дифференциала при одном останавливаемом звене.

Водило ведущее, $n_2 = 0$. Тогда:

$$i_{\Sigma}^{z_2} = \frac{n_1}{n_6} = \frac{n_1}{n_1/2} = 2.$$

Водило ведомое, $n_2 = 0$. Тогда:

$$i_{\Sigma}^{z_2} = \frac{n_6}{n_1} = \frac{n_1/2}{n_1} = \frac{1}{2}.$$

Ведущее колесо Z_1 или Z_2 , $n_6 = 0$. Тогда, $i_{\Sigma}^6 = 1$.

Сравнивая планетарные дифференциалы, отметим следующую особенность при определении передаточных отношений:

- передаточные отношения дифференциала с цилиндрическими колесами зависят от чисел зубьев колес, используемых в дифференциале;
- передаточные отношения дифференциала с коническими колесами от чисел зубьев используемых колес не зависят и, следовательно, имеют постоянное значение.

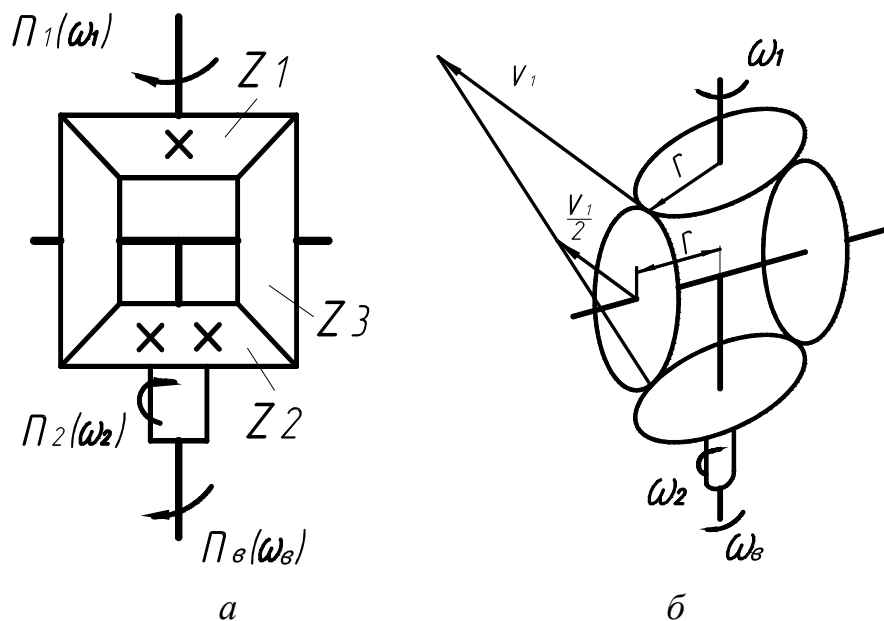


Рис. 2.24. Дифференциал с коническими колесами

В современных металлорежущих станках используются оба типа планетарных дифференциалов. Выбор схемы планетарного дифференциала с цилиндрическими или коническими колесами зависит от традиций, сложившихся в соответствующих конструкторских бюро.

Дифференциал с реечной передачей. При вращении зубчатого колеса и одновременном его перемещении (рис. 2.25) рейка совершит суммарное перемещение на величину, определяемую выражением:

$$L_{\Sigma} = \pi m z n \pm l,$$

где L_{Σ} – величина суммарного перемещения рейки;
 m – модуль передачи;
 z, n – соответственно число зубьев колеса и его круговая частота;
 l – величина перемещения зубчатого колеса.

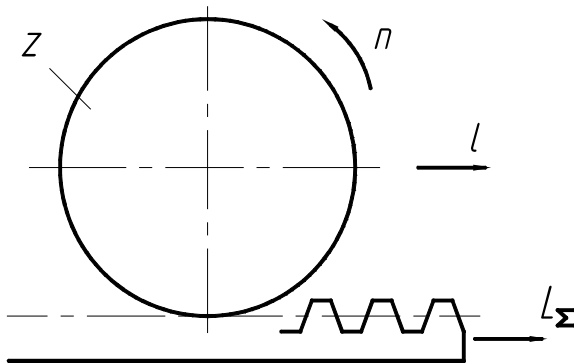


Рис. 2.25. Дифференциал с реечной передачей

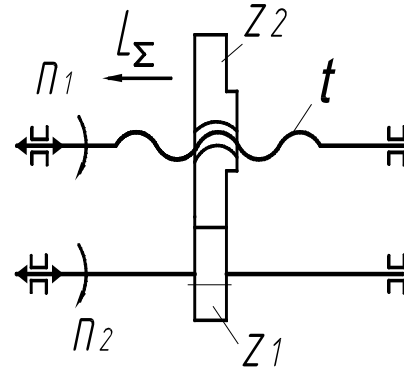


Рис. 2.26. Дифференциал с передачей винт – гайка

Дифференциал с передачей винт – гайка. При вращении ходового винта (рис. 2.26) и вращении маточной гайки от ходового вала через передачу z_1/z_2 , гайка получит суммарное продольное перемещение на величину, определяемую выражением:

$$L_{\Sigma} = n_1 t \pm n_2 \cdot z_1/z_2 \cdot t,$$

где L_{Σ} – величина суммарного перемещения маточной гайки;
 n_1, n_2 – круговые частоты соответственно ходового винта и ходового вала;
 t – шаг ходового винта.

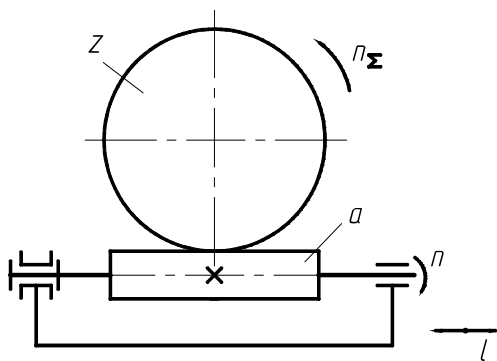


Рис. 2.27. Дифференциал с червячной передачей

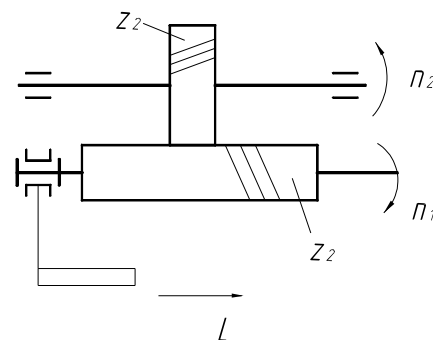


Рис. 2.28. Дифференциал с косозубыми колесами

Дифференциал с червячной передачей. При вращении червяка и его поступательном перемещении (рис. 2.27) червячному колесу будет сообщено суммарное вращательное движение с круговой частотой, определяемой по выражению:

$$n_{\Sigma} = n \cdot a/z \pm l/\pi \cdot m,$$

где n_{Σ} – суммарная круговая частота вращения червячного колеса;

n – круговая частота вращения червяка;

a – число заходов червяка;

z – число зубьев червячного колеса;

m – модуль передачи;

l – величина поступательного перемещения червяка.

Дифференциал с косозубыми колесами. При вращении и поступательном перемещении ведущего колеса (рис. 2.28) ведомое колесо получит суммарное вращательное движение, определяемое выражением:

$$n_2 = -n_1 z_1/z_2 \pm (L \operatorname{tg} \beta)/m_s,$$

где n_2 – суммарная круговая частота ведомого колеса;

n_1 – круговая частота ведущего колеса;

z_1, z_2 – числа зубьев соответственно ведущего и ведомого колес;

L – произвольное число;

β – угол наклона зубьев колес;

m_s – модуль осевой.

В приведенных примерах знак (+) соответствует сложению на ведомом звене совпадающих по направлению движений, а знак (–) – вычитанию при несовпадении направлений суммируемых движений.

Рассмотрим применение непланетарного дифференциала в узле коррекционной линейки. Эта линейка, являясь дополнительным органом настройки, используется в высокоточных резьбообрабатывающих станках в следующих случаях:

– при нарезании специальных резьб, когда посредством имеющегося набора сменных зубчатых колес невозможно настроить винторезную цепь;

– при необходимости изменения шага резьбы на небольшую величину для компенсации деформации после термообработки;

– для компенсации постоянной ошибки шага ходового винта.

Конструктивно (рис. 2.29) узел выполнен в виде передач: винт – гайка и рейка – зубчатое колесо. Наружная поверхность гайки имеет зубчатый венец с числом зубьев Z , находящийся в зацеплении с зубчатой рейкой 1, соединенной посредством тяги 2 с линейкой 3, устанавливаемой при настройке на требуемый угол α .

За один оборот ходового винта гайка поступательно переместится на шаг резьбы этого винта. Одновременно зубчатая рейка, перемещающаяся за счет скольжения по линейке, сообщает гайке вращательное движение, преобразующееся в дополнительное поступательное перемещение. В итоге гайка переместится на алгебраическую сумму двух движений.

Величина этого движения за один оборот ходового винта равна шагу нарезаемой резьбы, и определяется по формуле:

$$t = n t_{TB} \pm \frac{t \operatorname{tg} \alpha}{\pi m z} t_{TB},$$

где t – шаг нарезаемой резьбы;
 n – круговая частота вращения ходового винта (тягового вала);
 t_{TB} – шаг ходового винта;
 α – угол наклона линейки 3.

При настройке винторезного станка по приведенной формуле вычисляется угол α наклона линейки.

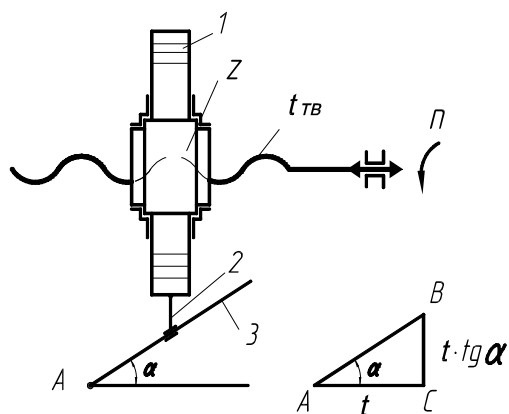


Рис. 2.29. Коррекционная линейка

2.5.6. Механизмы обгона

В ряде случаев вращение одному валу по двум кинематическим цепям может быть передано через механизм обгона. На рис. 2.30, а представлен механизм обгона, состоящий из храпового колеса 1, закрепленного на валу 5, и собачки 3, связанной с диском 2. Этот диск свободно вращается на валу 5 и может приводиться в движение от зубчатого колеса 4. При сообщении вращения диску 2 по стрелке, собачка 3 поведет храповое колесо с валом 5. Если последнему сообщить большую скорость вращения в том же направлении от другого источника движения, то он будет обгонять диск 2; собачка 3 в этом случае препятствовать обгону не будет. После выключения быстрого вращения вала 5 собачка 3 зацепит храповое колесо и поведет его снова. Таким образом, храповой механизм обгона позволяет, не выключая привода медленного вращения, включить ускоренное вращение вала 5.

На рис. 2.30, б, в, г представлены роликовые муфты свободного хода, используемые в качестве механизмов обгона. По принципу действия эти муфты делятся на три группы.

Муфты первой группы передают как медленное (рабочее), так и ускоренное вращательное движение в одном направлении (рис. 2.30, б). При вращении обоймы 1 по стрелке А ролики 4 заклиниваются в вырезах сту-

пицы 2, закрепленной на ведомом валу 3 и сообщают крутящий момент этому валу. При быстром вращении ведомого вала 3 по стрелке *B* от другого источника движения он обгоняет обойму 1, вращающуюся медленнее. В результате этого ролики 4, прижимаясь к толкателям 5, не мешают ускоренному вращению вала 3.

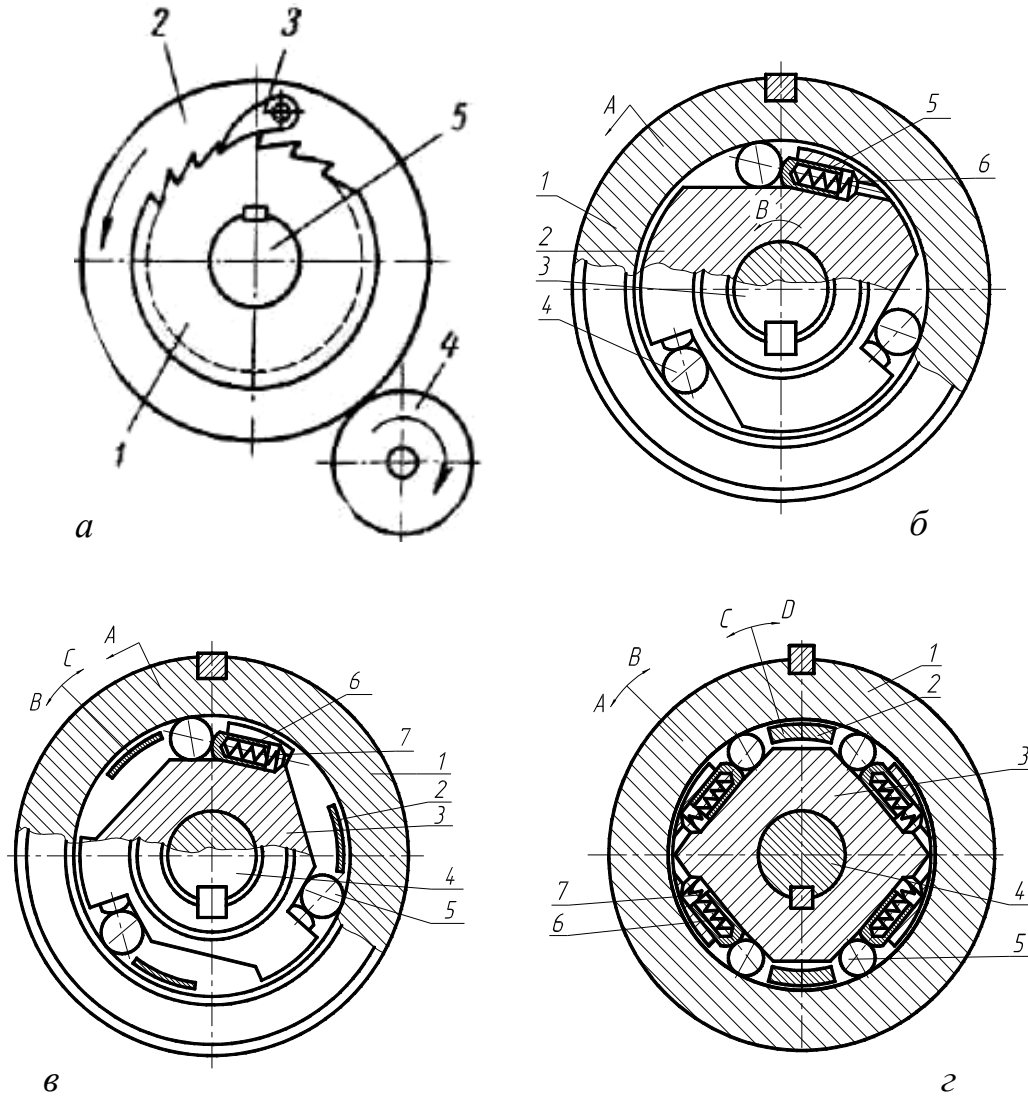


Рис. 2.30. Механизмы обгона

Муфты второй группы передают медленное (рабочее) движение в одном направлении, а ускоренное в двух направлениях (рис. 2.30, *в*). При медленном (рабочем) вращении обоймы 1 по стрелке *A* ролики 5 заклиниваются и передают крутящий момент через ступицу 3 ведомому валу 4. При ускоренном вращении поводков 2 от другого источника движения они непосредственно или через ролики 5 сообщают ускоренное вращение через ступицу 3 ведомому валу 4.

Муфты третьей группы передают и медленное (рабочее) движение, и ускоренное движение в обоих направлениях (рис. 2.30, *з*). При медленном вращении обоймы 1 по стрелке *A* или *B* заклинивается пара соответствующих роликов 5 и медленное вращательное движение передается через ступицу 3 ведомому валу 4. При ускоренном вращении поводков 2 в любую сторону они через соответствующие ролики передают вращательное движение ступице 3 и, следовательно, ведомому валу 4 по стрелке *C* или *D*.

2.5.7. Механизмы периодического движения

Для осуществления периодических (дискретных) движений рабочих органов в течение коротких промежутков времени используют храповые механизмы. На рис. 2.31, *а* показана схема такого механизма с наружным зацеплением. Собачка 1, получая качательное движение, захватывает зубья храпового колеса 2 и поворачивает его вокруг оси вала *II* в одном направлении. Возвращаясь в исходное положение, собачка проскальзывает по зубьям колеса, и последнее остается неподвижным.

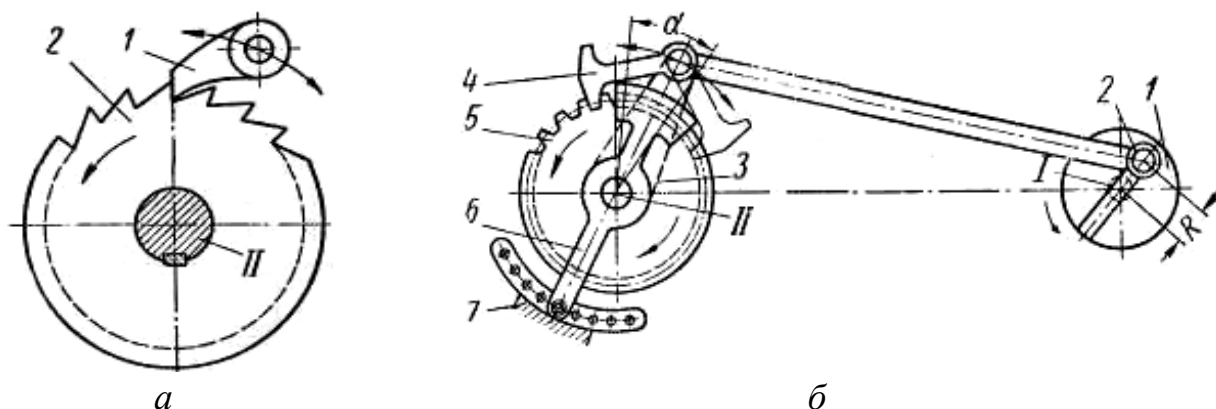


Рис. 2.31. Механизм для осуществления прерывистых движений

Качательное движение в храповых механизмах, как правило, осуществляется посредством кривошипно-качательного механизма (рис. 2.31, *б*). На ведущем валу *I* насажен диск 1 с кривошипным пальцем 2. При вращении диска шатун механизма качает рычаг 3 с установленной на нем собачкой 4 вокруг оси вала *II*. Величину угла качания рычага 3 устанавливают перемещением пальца 2 на расстояние *R*. Угол поворота храпового колеса 5 регулируют с помощью щитка 6, перекрывающего на пути качания собачки несколько зубьев храпового колеса. Щиток в положении, при котором будет перекрыто необходимое число зубьев, фиксируется посредством штифта 7.

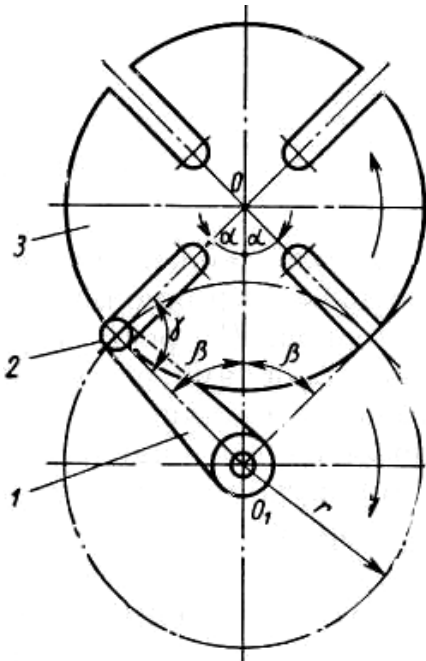
Если за один оборот вала I храповое колесо повернется на угол, соответствующий z_a , то передаточное отношение механизма:

$$i = \frac{z_a}{z},$$

где z – число зубьев храпового колеса.

Переставляя собачку 4 в противоположное положение (на рис. 2.31, б показано тонкой линией), можно реверсировать вращение храпового колеса.

Рассмотренный механизм используется, например, в приводе поперечных подач поперечно-строгальных станков.



Для периодического поворота через длительные отрезки времени применяют мальтийские механизмы (рис. 2.32). Такой механизм состоит из кривошипа 1 с пальцем 2 на конце и диска 3, имеющего радиальные пазы. Кривошип вращается непрерывно. В определенный момент времени палец 2 входит в паз и, повернувшись на угол 2β вместе с диском 3 выходит из него. Диск 3 останавливается до попадания пальца 2 в следующий паз.

Условия безударной работы требуют, чтобы скорость пальца при заходе его в паз совпадала с направлением последнего. Это возможно, если выдерживается

Рис. 2.32. Мальтийский механизм условие: угол $\gamma = \frac{\pi}{2}$.

Угол поворота диска:

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

где z – число радиальных пазов диска 3.

Угол рабочего поворота кривошипа:

$$2\beta = \pi - 2\alpha.$$

Подставляя в это равенство значение 2α , получим:

$$2\beta = \pi - \frac{2\pi}{z} = \frac{\pi(z-2)}{z}.$$

Если n – круговая частота кривошипа, T – время поворота диска на угол 2α , а кривошипа – на угол 2β , то поворот вала кривошипа на угол 2π

совершается за $\frac{1}{n}$ мин, а поворот на угол 2β – за $T = \frac{2\beta}{2\pi} \cdot \frac{1}{n}$ мин. Отсюда круговая частота кривошипа:

$$n = \frac{\beta}{\pi T}.$$

Подставляя значение β , окончательно получим:

$$n = \frac{z - 2}{2zT}.$$

Мальтийские механизмы используются, например, во внешней связи вспомогательной группы поворота шпиндельного барабана прутковых многошпиндельных токарных автоматов и во внешней связи группы поворота револьверной головки токарно-револьверных автоматов.

Вместо кривошипа 1 можно использовать диск с двумя и более пальцами 2. В этом случае за один оборот ведущего звена диск 3 сделает столько периодических поворотов, сколько пальцев будет участвовать в работе.

2.5.8. Предохранительные устройства

Предназначены для защиты механизмов станка от аварий при перегрузках. В качестве предохраняющего звена нередко используется срезной штифт, рассчитанный на передачу определенного крутящего момента. Более удобными в эксплуатации являются предохранительные муфты: кулачковые, шариковые, фрикционные.

На рис. 2.33 показана конструкция шариковой предохранительной муфты. При вращении колеса 5 шарики 4, прижатые к его рабочей поверхности пружинами, вращают втулку 3 и вал 1. При перегрузке вал 1 и втулка 6 останавливаются, а колесо 5 продолжает вращаться, выжимая шарик 4 в отверстия втулки 3. Муфта регулируется гайкой 2. Суммарная сила сжатия пружин:

$$P_{np} = P_0 [\operatorname{tg}(\alpha - \varphi) - f_n],$$

где α – угол наклона касательной в точке контакта шарика с рабочей поверхностью в градусах;

φ – угол трения между шариками и поверхностями контакта в градусах;

f_n – приведенный коэффициент трения между шариками и стенками отверстия при осевом перемещении шариков.

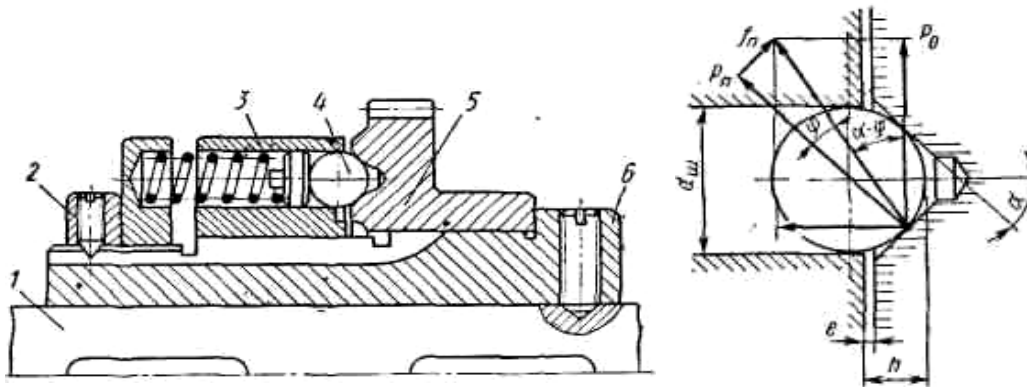


Рис. 2.33. Шариковая предохранительная муфта

Величина окружной силы P_0 , передаваемой муфтой, зависит от расположения шариков относительно потая. При перегрузке шарики смещаются и угол α начнет увеличиваться. В результате этого окружная сила, которую в состоянии передать муфта, резко уменьшится, что приводит к ее быстрому срабатыванию.

Число шариков, необходимых для передачи заданной окружной силы P_0 :

$$z = \frac{P_0}{P_n} \cdot \frac{\cos \varphi}{\cos(\alpha - \varphi)}.$$

Муфты работают удовлетворительно, если величина нормального давления в зоне контакта $p_n \leq 3000 \text{ Мн/м}^2$. Величина P_n , действующая на один шарик, берется в зависимости от диаметра шарика

d_w (мм)	11	12	14	16	20	24	28	32
P_n (Н)	160	180	200	220	280	340	400	500

3. ИЗУЧЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

3.1. Группа токарных станков

Токарные станки предназначены для обработки наружных, внутренних, цилиндрических, конических, фасонных, торцовых поверхностей и нарезания резьбы. В мировом станкостроении в общем годовом выпуске станков доля станков токарной группы составляет около 40 %.

Основными параметрами токарного станка являются наибольший диаметр обрабатываемой заготовки над станиной и наибольшее расстояние между центрами (или наибольшая длина обрабатываемой заготовки). Выпускаются станки с наибольшим диаметром обрабатываемой заготовки до 6 м при длине заготовки до 24 м.

На рис. 3.1 показан токарный станок со ступенчатым шкивом и перебором, выпускавшийся во второй половине 19-го и начале 20-го века. На этих станках заготовке сообщалось до 6-ти значений чисел оборотов при помощи ступенчатого шкива 1 и перебора 2. Движение суппорту 3 передавалось от шпинделя через сменные зубчатые колеса (двухколесная гитара зубчатых колес) 4 и ходовой валик или винт 5. Привод станка осуществлялся от групповой трансмиссии цеха, приводной вал которой вращался от паровой машины, а позже от электродвигателя. В начале 20-го века станки со ступенчатыми шкивами оснащались отдельными электродвигателями, поворотными резцедержателями, коробками подач, ходовыми винтами и ходовыми валиками. Станины, тумбы и другие базовые детали начали изготавливать из чугунного литья.

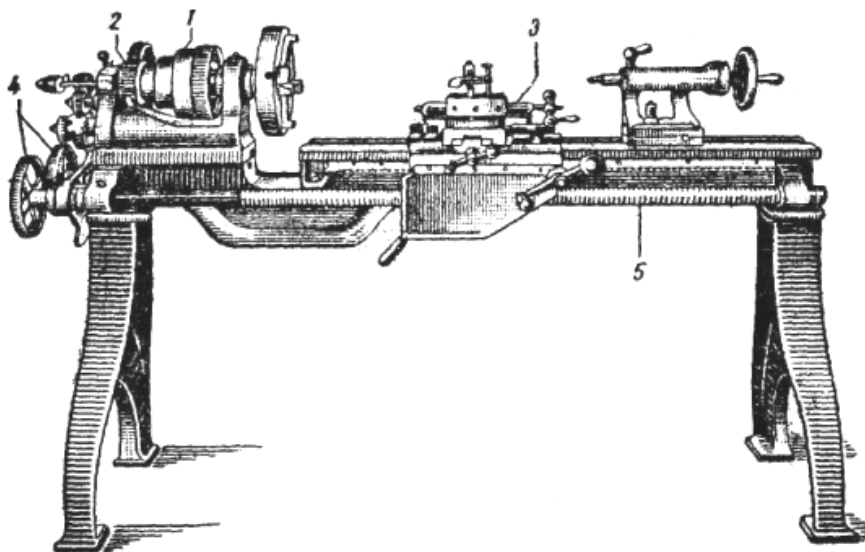


Рис. 3.1. Токарный станок середины 19-го века

После изобретения и успешного применения быстрорежущей стали, а затем и твердых сплавов токарные станки начали приобретать современный вид. Их начали оснащать массивными станинами, многоступенчатыми шестеренными коробками скоростей и подач, более мощными электродвигателями.

Выпускаются станки токарной группы общего и специального назначения. К станкам общего назначения относятся токарно-винторезные, токарно-револьверные и карусельные станки. К специализированным станкам относятся одношпиндельные и многошпиндельные автоматы и полуавтоматы, гидроконтролируемые и многолезцовые полуавтоматы, а также высокоавтоматизированные многоинструментальные станки с ЧПУ.

3.1.1. Токарно-винторезные станки

В группе токарных станков наиболее универсальными являются токарно-винторезные станки. Они предназначены для выполнения различных токарных работ и нарезания одно- и многозаходных наружных, внутренних и торцовых резьб: метрических, дюймовых, модульных, питчевых и специальных.

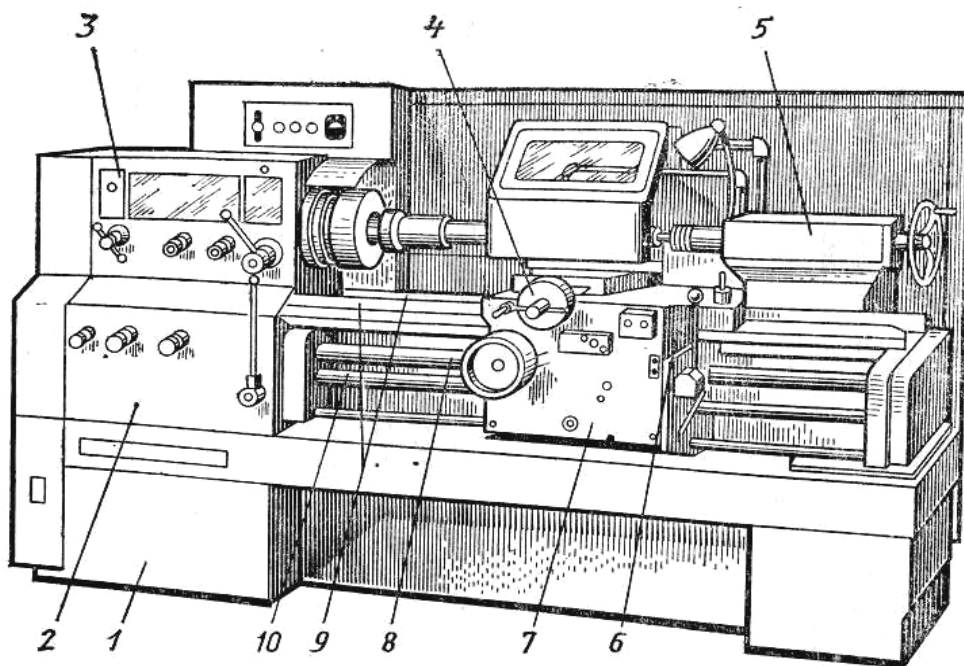


Рис. 3.2. Токарно-винторезный станок

Токарно-винторезный станок модели 16К20. На станине 1 станка (рис. 3.2) слева размещена передняя бабка 3 и коробка подач 2, на направляющих станины 9 – каретка 6 с фартуком 7 и поперечным суппортом 4, несущим поворотный резцедержатель, справа – задняя бабка 5. В передней

бабке размещена коробка скоростей со шпинделем, а на ее панели – органы управления. Продольная и поперечная подача каретки и суппорта осуществляется от механизмов, расположенных в фартуке и получающих движение от ходового вала 10 при точении или ходового винта 8 при нарезании резьбы. В нижней части станины снабжена корытом для сбора стружки и охлаждающей жидкости. В правой тумбе станины расположен электродвигатель ускоренного хода. Станок выпускается с расстоянием между центрами 710, 1000, 1400, 2000 мм.

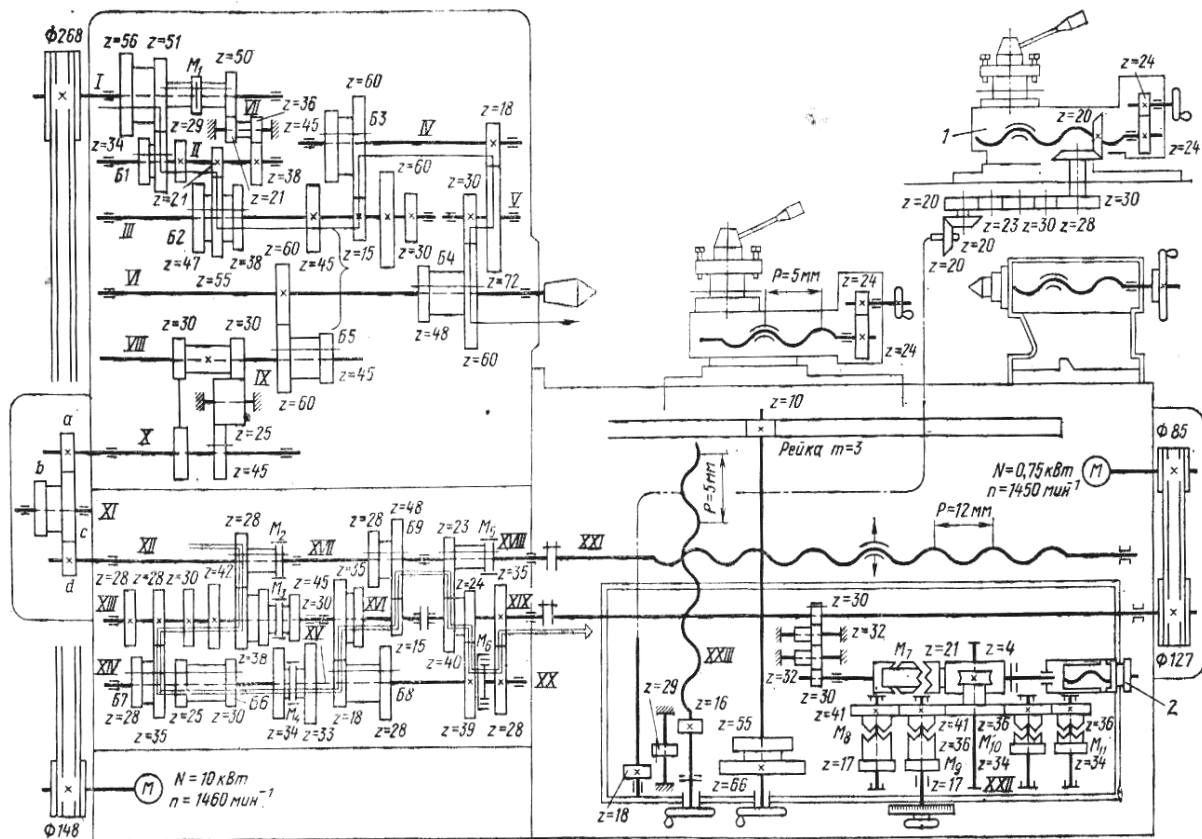


Рис. 3.4. Кинематическая схема токарно-винторезного станка модели 16K20

Техническая характеристика. Наибольший диаметр заготовки, устанавливаемой над станиной 400 мм, над суппортом 200 мм; наибольшая длина обрабатываемой заготовки соответствует расстоянию между центрами; наибольший диаметр обрабатываемого прутка, проходящего через отверстие шпинделя, 50 мм; пределы частот вращения шпинделя 12,5 – 1600 мин⁻¹; число частот вращения шпинделя 22; пределы подач: продольных 0,05 – 2,8 мм/об, поперечных 0,025 – 1,4 мм/об; шаг нарезаемой резьбы: метрической 0,5 – 112 мм, дюймовой 56 – 0,5 нитки на 1", модульной (0,5 – 112) π мм, питчевой 56 – 05 питч.

Кинематическая структура станка (рис. 3.3) включает ряд частных структурных схем. Наиболее часто используемыми являются следующие структуры: токарная для продольного точения; токарная для поперечного точения; винторезная для нарезания резьбы.

Структура для продольного точения состоит из двух простых групп формообразования $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_{s1}(II_2)$ и вспомогательной группы $Vc(II_3)$ продольного позиционирования каретки.

Группа $\Phi_v(B_1)$ воспроизводит окружность, являющуюся образующей обрабатываемой поверхности. Ее внутренняя связь – элементарная вращательная пара:

подшипниковые опоры передней бабки → шпиндель (B_1).

Внешняя связь – кинематическая цепь, соединяющая электродвигатель M со шпинделем, являющимся звеном соединения связей:

$$\begin{array}{ccccccc}
 M \rightarrow 148/268 - M_1 - [51/39 \text{ или } 56/34] \rightarrow [21/55 \text{ или } 29/47 \text{ или } 38/38] \rightarrow & & & & & & \\
 & R\uparrow & & & \uparrow & & \\
 & M_1 - 50/24 \rightarrow 36/38 \rightarrow & & & & & \\
 \rightarrow [15/60 \text{ или } 45/45] \rightarrow 18/72 \rightarrow 30/60 \rightarrow \text{шпиндель } (B_1). & & & & & & \\
 \downarrow & & & & \uparrow & & \\
 [60/48 \text{ или } 30/60] \text{-----} \rightarrow & & & & & &
 \end{array}$$

Группа настраивается: на скорость – развитой коробкой скоростей i_v , на направление – реверсом R , управляемым фрикционной муфтой M_1 .

Коробка скоростей i_v выполнена по схеме со сложным приводом, состоящим из двух одинаковых множительных структур. Шпиндель получает 24 частоты вращения, из которых значения 500 и 630 мин⁻¹ повторяются дважды. Поэтому диапазон регулирования привода состоит из 22 значений частот вращения. Обе множительные структуры включают два общих блока зубчатых колес: двухколесный блок $B1$ и трехколесный блок $B2$, расположенные соответственно на I и III валах. Двухколесный блок $B3$ (перебор) входит в множительную структуру, обеспечивающую тихоходную часть диапазона частот вращения, а двухколесный блок $B4$, расположенный на шпинделе, – быстроходную часть диапазона. Посредством блока $B4$ осуществляется также переключение с тихоходной части диапазона частот вращения на быстроходную и наоборот.

Составим УКЦ для минимальной и максимальной частот вращения шпинделя:

$$\begin{aligned}
 n_1 &= 1460 \cdot 148/268 \cdot 0,985 \cdot 51/39 \cdot 21/55 \cdot 15/60 \cdot 18/72 \cdot 30/60 = 12,5 \text{ мин}^{-1}; \\
 n_{22} &= 1460 \cdot 148/268 \cdot 0,985 \cdot 56/34 \cdot 38/38 \cdot 60/48 = 1600 \text{ мин}^{-1}.
 \end{aligned}$$

Обратное (левое) вращение на всем диапазоне частот вращения увеличивается в $50/21 \cdot 36/38 = 2,25$ раз. Тогда $n_1 = 28 \text{ мин}^{-1}$, $n_{22} = 3600 \text{ мин}^{-1}$.

Группа $\Phi_{s1}(II_2)$ воспроизводит прямую, параллельную оси центров станка, являющуюся направляющей обрабатываемой поверхности. Ее внутренняя связь – поступательная пара:

направляющие станины → каретка (II_2).

Внешняя связь – кинематическая цепь, соединяющая электродвигатель M с кареткой, являющейся звеном соединения связей:

$$M \rightarrow 148/268 \rightarrow (i_v \rightarrow 60/60) \text{ или } (i_{зущ} \rightarrow 45/45) \rightarrow 30/45 \rightarrow (i = a/b \cdot c/d) \rightarrow$$

$$\begin{array}{ccc} \uparrow R & & \uparrow \\ & & 30/25 \cdot 25/45 \end{array}$$

$$\rightarrow \text{вал } X11 \text{ (муфта } M_2 \text{ выключена, муфты } M_3 \text{ и } M_4 \text{ включены)} \rightarrow 28/28 \rightarrow$$

$$\rightarrow [28/35 \text{ или } 28/28 \text{ или } 30/25 \text{ или } 42/30] \rightarrow [18/45 \text{ или } 28/35] \rightarrow [15/48 \text{ или } 35/28] \rightarrow 23/40 \rightarrow 24/39 \rightarrow 28/35 \rightarrow \text{вал } XIX \rightarrow i_\phi \rightarrow \text{тяговый вал,}$$

$$(t_{ТВ} = \pi \cdot 3 \cdot 10) \rightarrow \text{каретка } (II_2),$$

где $i_{зущ}$ – звено увеличения шага, в качестве которого используется перебор коробки i_v в обратном направлении и имеет три значения:

$$i_{зущ1} = 60/30 \cdot 45/45 = 2,$$

$$i_{зущ2} = 60/30 \cdot 72/18 \cdot 45/45 \cdot 45/45 = 8,$$

$$i_{зущ3} = 60/30 \cdot 72/18 \cdot 60/15 \cdot 45/45 = 32.$$

Гитара i используется как две одиночных передачи с передаточным отношением $60/86 \cdot 86/64$.

Фартук состоит из одиночных передач. Поэтому:

$$i_\phi = 30/32 \rightarrow 32/32 \rightarrow 32/30 \text{ (муфта } M_7 \text{ включена)} \rightarrow 4/21 \rightarrow 36/41 \rightarrow$$

$$\rightarrow \text{(включена муфта } M_8 \text{ или муфта } M_9) \rightarrow 17/66.$$

Группа настраивается: на скорость – звеном увеличения шага $i_{зущ}$, блоками B_7 , B_8 , B_9 ; на направление – муфтами M_8 и M_9 , расположенными в фартуке; на путь и исходное положение – лимбом (упорами). При ручном управлении при выключенных муфтах M_8 и M_9 каретка перемещается посредством вращения маховика, на котором установлено зубчатое колесо тягового вала.

Напишем РП и УКЦ для минимальной и максимальной продольной подачи. Расчетная цепь не совпадает с внешней связью группы, а назначается в соответствие с принятой формой задания подачи как цепь, соединяющая шпиндель с кареткой.

РП:

$$1 \text{ об. шпинделя} \rightarrow s_{\text{прод}} \text{ перемещения каретки } (II_2).$$

УКЦ для минимальной продольной подачи:

$$s_{\text{min}} = 1 \cdot 60/60 \cdot 30/45 \cdot 60/86 \cdot 86/64 \cdot 28/28 \cdot 28/35 \cdot 18/45 \cdot 15/48 \cdot 23/40 \cdot 24/39 \cdot$$

$$\cdot 28/35 \cdot 30/32 \cdot 32/32 \cdot 32/30 \cdot 4/21 \cdot 36/41 \cdot 17/66 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10 = 0,05 \text{ мм/об.}$$

УКЦ для максимальной продольной подачи:

$$s_{max} = 1 \cdot 60/30 \cdot 72/18 \cdot 60/15 \cdot 45/45 \cdot 30/45 \cdot 60/86 \cdot 86/64 \cdot 28/28 \cdot 42/30 \cdot 28/35 \cdot 35/28 \cdot 23/40 \cdot 24/39 \cdot 28/35 \cdot 30/32 \cdot 32/32 \cdot 32/30 \cdot 4/21 \cdot 36/41 \cdot 17/66 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10 = 2,8 \text{ мм/об.}$$

Группа продольного позиционирования $Vc(\Pi_3)$ – простая. Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы $\Phi_{s1}(\Pi_2)$, а внешняя связь выполнена в виде структурной кинематической цепи:

$$M \rightarrow 85/127 \rightarrow 30/32 \rightarrow 32/32 \rightarrow 32/30 \text{ (муфта } M_7 \text{ включена)} \rightarrow 4/21 \rightarrow 36/41 \rightarrow \text{(включена муфта } M_8 \text{ или муфта } M_9) \rightarrow 17/66 \rightarrow \text{тяговый вал } (\Pi_3).$$

Скорость движения позиционирования постоянна и определяется по расчетной цепи, совпадающей с внешней связью группы. Таким образом:

$$s_{noz} = 1450 \cdot 85/127 \cdot 30/32 \cdot 32/30 \cdot 4/21 \cdot 36/41 \cdot 17/66 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10 = 4 \text{ м/мин.}$$

Параметры пути, исходное положение и направление устанавливаются так же, как в группе $\Phi_{s1}(\Pi_2)$. Позиционирование (ускоренное перемещение) каретки можно выполнять не выключая рабочую подачу, так как в цепи ходового вала в коробке подач установлена обгонная муфта M_6 .

При обработке длинных валов для создания дополнительной опоры с целью предотвращения прогиба вала под действием сил резания и зажима используют люнеты (рис. 3.5). Неподвижный люнет устанавливается на станине, а подвижный на каретке станка.

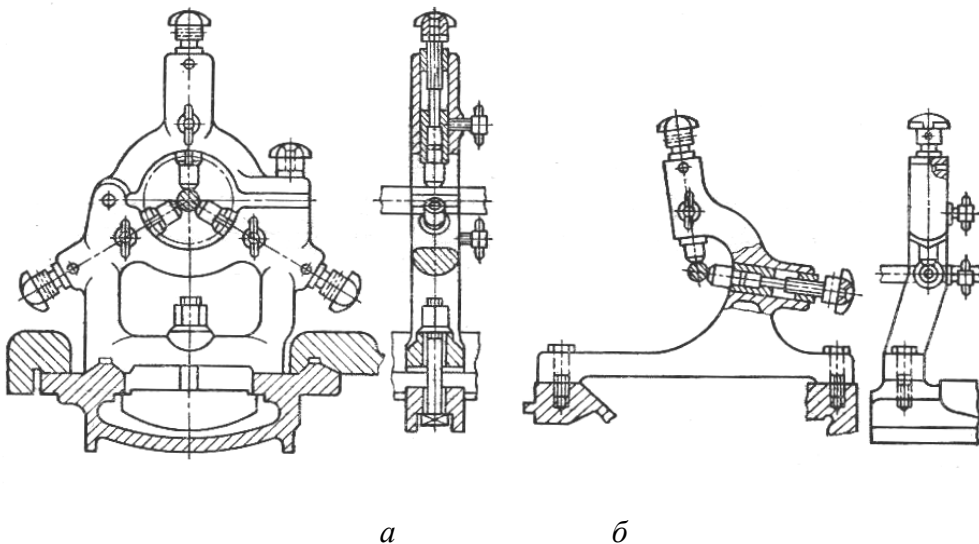


Рис. 3.5. Токарные люнеты: *а* – неподвижный; *б* – подвижный

Структура для поперечного точения также состоит из двух простых групп формообразования $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_{s2}(\Pi_4)$ и вспомогательной группы $Vc(\Pi_5)$ позиционирования поперечного суппорта.

Группа скорости резания $\Phi_v(B_1)$ является общей для токарных структур продольного и поперечного точения. Группа поперечной подачи $\Phi_{s2}(П_4)$ состоит из внутренней связи в виде:

направляющие каретки → поперечный суппорт (П₄)

и внешней связи, совпадающей до червячной передачи 4/21, расположенной в фартуке, с аналогичной связью группы $\Phi_s(П_2)$, и далее в виде цепи от вала XXII до тягового вала (винта) XXIII, т.е.:

$$M \rightarrow 148/268 \rightarrow (i_v \rightarrow 60/60) \text{ или } (i_{з\text{уш}} \rightarrow 45/45) \rightarrow 30/45 \rightarrow (i = a/b \cdot c/d) \rightarrow$$

$$\begin{array}{ccc} \uparrow R & & \uparrow \\ & 30/25 \cdot 25/45 & \end{array}$$

$$\rightarrow \text{вал XII (муфта } M_2 \text{ выключена, муфты } M_3 \text{ и } M_4 \text{ включены)} \rightarrow 28/28 \rightarrow$$

$$[28/35 \text{ или } 28/28 \text{ или } 30/25 \text{ или } 42/30] \rightarrow [18/45 \text{ или } 28/35] \rightarrow [15/48 \text{ или } 35/28]$$

$$\rightarrow 23/40 \rightarrow 24/39 \rightarrow 28/35 \rightarrow \text{вал XIX} \rightarrow 30/32 \rightarrow 32/32 \rightarrow 32/30 \text{ (муфта } M_7$$

$$\text{включена)} \rightarrow 4/21 \rightarrow 36/36 \rightarrow \text{(включена муфта } M_{10} \text{ или муфта } M_{11}) \rightarrow 34/55$$

$$\rightarrow 55/29 \rightarrow 29/16 \rightarrow \text{тяговый вал, (} t_{ТВ} = 5) \rightarrow \text{поперечный суппорт (П}_4\text{)}.$$

Группа настраивается: на скорость – звеном увеличения шага $i_{пер}$, блоками B_7, B_8, B_9 ; на направление – муфтами M_{10} и M_{11} , расположенными в фартуке; на путь и исходное положение – лимбом (упорами). При ручном управлении при выключенных муфтах M_{10} и M_{11} поперечный суппорт перемещается посредством вращения маховика тягового вала XXIII.

РП для составления УКЦ для подач поперечного суппорта:

$$1 \text{ об. шпинделя} \rightarrow s_{\text{нон}} \text{ перемещения поперечного суппорта (П}_4\text{)}.$$

УКЦ для минимальной поперечной подачи:

$$s_{\text{min}} = 1 \cdot 60/60 \cdot 30/45 \cdot 60/86 \cdot 86/64 \cdot 28/28 \cdot 28/35 \cdot 18/45 \cdot 15/48 \cdot 23/40 \cdot 24/39 \cdot$$

$$\cdot 28/35 \cdot 30/32 \cdot 32/32 \cdot 32/30 \cdot 4/21 \cdot 36/36 \cdot 34/55 \cdot 55/29 \cdot 29/16 \cdot 5 = 0,025 \text{ мм/об.}$$

УКЦ для максимальной поперечной подачи:

$$s_{\text{max}} = 1 \cdot 60/30 \cdot 72/18 \cdot 60/15 \cdot 45/45 \cdot 30/45 \cdot 60/86 \cdot 86/64 \cdot 28/28 \cdot 42/30 \cdot$$

$$\cdot 28/35 \cdot 35/28 \cdot 23/40 \cdot 24/39 \cdot 28/35 \cdot 30/32 \cdot 32/32 \cdot 32/30 \cdot 4/21 \cdot 36/36 \cdot$$

$$\cdot 34/55 \cdot 55/29 \cdot 29/16 \cdot 5 = 1,4 \text{ мм/об.}$$

Группа $Vc(П_5)$ предназначена для позиционирования (ускоренного хода) поперечного суппорта. Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы $\Phi_s(П_4)$, а внешняя связь выполнена в виде структурной кинематической цепи:

$$M \rightarrow 85/127 \rightarrow 30/32 \rightarrow 32/32 \rightarrow 32/30 \text{ (муфта } M_7 \text{ включена)} \rightarrow 4/21 \rightarrow$$

$$\rightarrow 36/36 \rightarrow \text{(включена муфта } M_{10} \text{ или муфта } M_{11}) \rightarrow 34/55 \rightarrow 55/29 \rightarrow 29/16$$

$$\rightarrow \text{тяговый вал (П}_5\text{)}.$$

Скорость движения позиционирования постоянна и определяется по расчетной цепи, совпадающей с внешней связью группы. Таким образом:

$$s_{\text{ноз}} = 1450 \cdot 85/127 \cdot 30/32 \cdot 32/30 \cdot 4/21 \cdot 36/36 \cdot 34/55 \cdot 55/29 \cdot 29/16 \cdot 5 = 1,9 \text{ мм/мин.}$$

Параметры путь, исходное положение и направление устанавливаются также как в группе $\Phi_s(\Pi_4)$. Позиционирование (ускоренное перемещение) поперечного суппорта также можно выполнять, не выключая рабочую подачу.

Структура для нарезания резьбы состоит из сложной группы формообразования винтовой линии – направляющей нарезаемой резьбы $\Phi_v(B_1\Pi_2)$. Профиль резьбы воспроизводится копированием (зеркальным отображением) профиля инструмента.

Внутренняя связь группы $\Phi_v(B_1\Pi_2)$ – кинематическая цепь, соединяющая шпиндель с кареткой. По своему составу эта связь состоит из общей части от шпинделя до вала XII и трех параллельных цепей от вала XII до тягового вала (ходового винта) XXI. Коммутация этих цепей осуществляется муфтами M_2, M_3, M_4, M_5 , расположенными в коробке подач. Общая часть внутренней связи:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{шпиндель } (B_1) & \rightarrow 60/60 & \rightarrow \text{вал VIII} & \rightarrow 30/45 & \rightarrow \text{вал X} & \rightarrow (i_x = a/b \cdot c/d) & \rightarrow \text{вал XII.} \\ & & \downarrow & & \uparrow & \uparrow R & \uparrow \\ & & i_{зум} & \rightarrow 45/45 & & 30/25 \cdot 25/30 & \end{array}$$

Первая параллельная цепь, используемая при нарезании метрических и модульных резьб, имеет вид:

$$\begin{array}{l} \text{вал XII (муфта } M_2 \text{ выключена, муфты } M_3, M_4 \text{ и } M_5 \text{ включены)} \rightarrow 28/28 \rightarrow \\ 38/34 \rightarrow (30/42 \text{ или } 25/30 \text{ или } 28/28 \text{ или } 35/28) \rightarrow 30/33 \rightarrow (18/45 \text{ или } 28/35) \\ \rightarrow (15/48 \text{ или } 35/28) \rightarrow \text{тяговый вал XXI} \rightarrow \text{каретка } (\Pi_2). \end{array}$$

Вторая параллельная цепь, используемая при нарезании дюймовых и питчевых резьб, имеет вид:

$$\begin{array}{l} \text{вал XII (муфты } M_2, M_3 \text{ и } M_4 \text{ выключены, а муфта } M_5 \text{ включена)} \rightarrow 28/28 \rightarrow \\ 38/34 \rightarrow (18/45 \text{ или } 28/35) \rightarrow (15/48 \text{ или } 35/28) \text{ тяговый вал XXI} \rightarrow \text{каретка } (\Pi_2). \end{array}$$

Третья параллельная цепь, используемая при нарезании резьб повышенной точности, имеет вид:

$$\text{вал XII (муфты } M_2 \text{ и } M_5 \text{ включены)} \rightarrow \text{тяговый вал XXI} \rightarrow (\Pi_2).$$

Внешняя связь – кинематическая цепь, соединяющая электродвигатель со шпинделем, являющимся звеном соединения связей:

$$\begin{array}{ccccccc} M & \rightarrow 148/268 & - M_1 & - [51/39 \text{ или } 56/34] & \rightarrow [21/55 \text{ или } 29/47 \text{ или } 38/38] & \rightarrow \\ & & R \uparrow & & \uparrow & & \\ & & M_1 & - 50/24 & \rightarrow 36/38 & \rightarrow \\ & & \rightarrow [15/60 \text{ или } 45/45] & \rightarrow 18/72 & \rightarrow 30/60 & \rightarrow \text{шпиндель } (B_1). \\ \downarrow & & \uparrow & & & & \\ & & [60/48 \text{ или } 30/60] & \rightarrow & & & \end{array}$$

Группа настраивается: на траекторию (шаг нарезаемой резьбы) – звеном увеличения шага $i_{зущ}$, гитарой зубчатых колес i_x , четырехколесным блоком B_7 и множительным механизмом, состоящим из двухколесных блоков $B_8 - B_9$; на скорость – коробкой скоростей; на направление (правая или левая резьба) – реверсом R ; на путь (длина нарезаемой резьбы) и исходное положение – по лимбу.

При нарезании метрических и дюймовых резьб в гитару $i_x = a/b \cdot c/d$ устанавливаются зубчатые колеса с передаточным отношением $60/86 \cdot 86/64$, а при нарезании модульных и питчевых резьб – с передаточным отношением $60/73 \cdot 86/36$. При нарезании резьб повышенной точности в гитару i_x устанавливаются зубчатые колеса с числами зубьев в соответствие с ФН. Множительный механизм $B_8 - B_9$ обеспечивает получение четырех передаточных отношений $1/8, 1/4, 1/2$ и 1 .

В соответствие с теорией настройки станков, РП для нарезания резьбы имеют вид:

$$1 \text{ об. шпинделя } (B_1) \rightarrow t \text{ перемещения каретки } (P_2),$$

где величина перемещения P_2 имеет размерность мм, ниток на 1", модулей, питчей.

УКЦ при нарезании различных резьб имеет следующий вид:

– при нарезании метрической резьбы со стандартным шагом без звена увеличения шага

$$t = 1 \cdot 60/60 \cdot 30/45 \cdot i_x \cdot 28/28 \cdot i_{B6} \text{ (или } i_{B7}) \cdot i_{B8} \cdot i_{B9} \cdot 12;$$

– при нарезании дюймовой резьбы (для дюймовой резьбы $t = 25,4/k$, мм, где k – число ниток на один дюйм)

$$t = 1 \cdot 60/60 \cdot 30/45 \cdot i_x \cdot 28/28 \cdot 38/34 \cdot 1/i_{B6} \cdot \text{(или } 1/i_{B7}) \cdot 30/33 \cdot i_{B8} \cdot i_{B9} \cdot 12;$$

– при нарезании модульной резьбы (для модульной резьбы $t = \pi m$, мм);

$$t = 1 \cdot 60/60 \cdot 30/45 \cdot i_x \cdot 28/28 \cdot i_{B6} \text{ (или } i_{B7}) \cdot i_{B8} \cdot i_{B9} \cdot 12;$$

– при нарезании питчевой резьбы (для питчевой резьбы $t = \pi \cdot 25,4/p$, мм, где $p = k \pi$ – диаметральный питч, указывающий число зубьев колеса, приходящееся на один дюйм диаметра его начальной окружности)

$$t = 1 \cdot 60/60 \cdot 30/45 \cdot i_x \cdot 28/28 \cdot 38/34 \cdot 1/i_{B6} \cdot \text{(или } 1/i_{B7}) \cdot 30/33 \cdot i_{B8} \cdot i_{B9} \cdot 12;$$

– при нарезании резьб повышенной точности:

$$t = 1 \cdot 60/60 \cdot 30/45 \cdot i_x \cdot 12,$$

откуда ФН гитары сменных колес:

$$i_x = a/b \cdot c/d = t/8.$$

Резьбы с большим шагом нарезают при использовании звена увеличения шага $i_{зум}$. В зависимости от передаточного отношения этого звена шаг резьбы можно увеличить в 2, 8 или 32 раза.

Для нарезания многозаходных резьб в станке предусмотрена простейшая группа деления $D(B_6)$. Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы $\Phi_v(B_1)$. А поворот шпинделя (звено соединения связей) при делении осуществляется вручную при разомкнутой маточной гайки тягового вала. Группа настраивается только на путь, под которым понимается угол поворота шпинделя относительно отсчетного звена. Это звено выполнено в виде кольца с риской, укрепленного на корпусе передней бабки, и диска, имеющего 60 делений на периферии. После нарезания первой нитки резьбы шпиндель поворачивают на число делений, равное $60/z$, где z – число заходов резьбы. Такая конструкция отсчетного звена позволяет нарезать резьбы с числом заходов, кратным 60.

По индивидуальному заказу станок может комплектоваться суппортом с механическим приводом резцовых салазок 1. Резцовые салазки можно рассматривать как исполнительный орган кинематической группы $\Phi_{33}(II_7)$, образующей совместно с рассмотренной выше группой $\Phi_v(B_1)$, дополнительную частную структуру для продольного точения. Внутренняя связь группы $\Phi_{33}(II_7)$ имеет вид:

направляющие поперечного суппорта \rightarrow *резцовые салазки* (II_7).

Внешняя связь совпадает с внешней связью группы $\Phi_{s1}(II_2)$ от электродвигателя до зубчатых венцов с $z = 34$ муфт M_{10} или M_{11} , расположенных в фартуке, а далее через зубчатые передачи 34/55, 55/29, 29/18, 20/20, ..., 20/20 и тяговый вал соединяет эти зубчатые венцы с резцовыми салазками. Группа настраивается на те же параметры, что и группа $\Phi_{s1}(II_2)$. Величина подачи резцовых салазок равна 1/4 величины продольной подачи.

Данную дополнительную структуру, как правило, применяют при обработке точных внутренних и наружных конических поверхностей небольшой длины, так как ход резцовых салазок ограничен. Резцовые салазки (рис. 3.6, а) поворачивают на угол α , равный половине угла при вершине конуса, причем:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{D-d}{2l},$$

где D – больший диаметр конической поверхности, мм;

d – меньший диаметр конической поверхности, мм;

l – длина конической поверхности, мм.

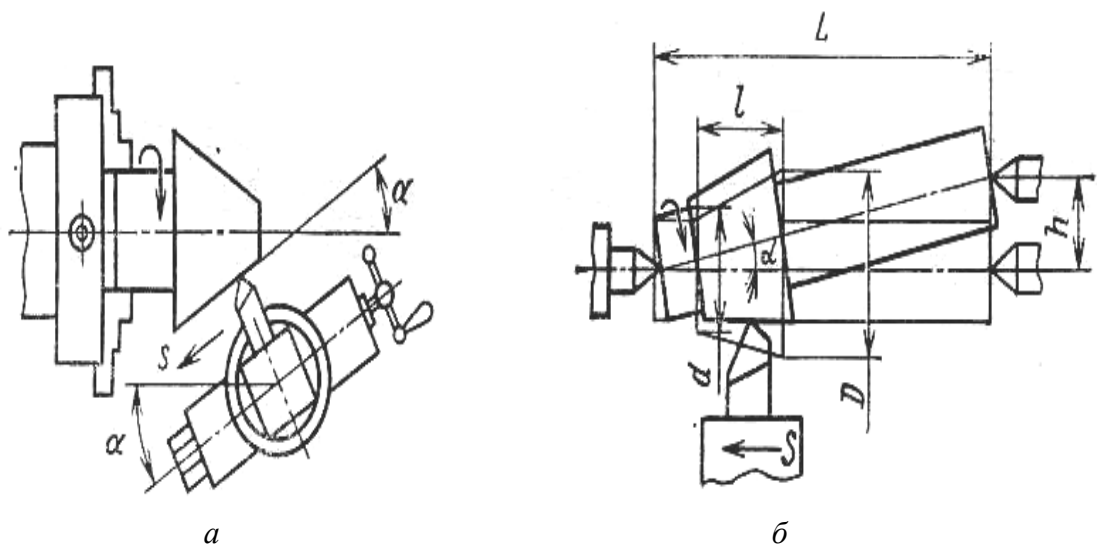


Рис. 3.6. Точение конических поверхностей

Длинные наружные конические поверхности с небольшой конусностью можно обрабатывать, используя структуру для продольного точения. В этом случае (рис. 3.6, б) смещают центр задней бабки. Величину поперечного смещения корпуса задней бабки определяют по формуле:

$$h = L \sin \alpha,$$

где h – величина поперечного смещения, мм;

L – длина обрабатываемой конической поверхности, мм.

Угол α можно определить также по той же формуле, что и в предыдущем варианте. Этим способом обтачивают конические поверхности невысокой точности, так как из-за быстрого износа центровых отверстий нарушается точность базирования.

По индивидуальному заказу станок может также комплектоваться конусной линейкой (рис. 3.7), позволяющей обрабатывать точные конические поверхности с углом α до 18° , длина которых не превышает длины линейки. На кронштейнах 2, привернутых сзади к станине, установлена под требуемым углом α к линии центров станка (оси заготовки 4) линейка 1. Поперечный суппорт 5 соединен с ползуном б линейки через тягу 3, а винт поперечной подачи отсоединен от гайки. При продольном перемещении суппорта с резцом ползун будет двигаться по пазу линейки и перемещать салазки суппорта в поперечном направлении.

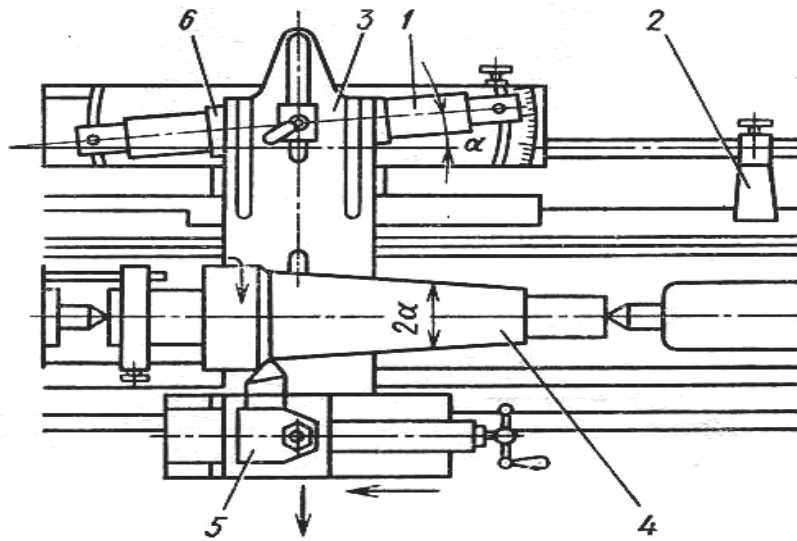


Рис. 3.7. Конусная линейка, установленная на станке

Результирующая перемещения направлена параллельно оси линейки. Величину смещения линейки m измеряют по шкале и определяют по формуле:

$$m = A \operatorname{tg} \alpha,$$

где A – длина линейки.

При установке на станок конусной линейки простая группа продольной подачи $\Phi_{s1}(П_2)$ преобразуется в сложную группу $\Phi_{s4}(П_2П_8)$, образующую совместно с рассмотренной выше группой $\Phi_v(B_1)$ частную кинематическую структуру для обработки конических поверхностей.

Внутренняя связь группы $\Phi_{s4}(П_2П_8)$ имеет вид:

каетка (П₂) – поперечный суппорт (П₈),

а ее внешняя связь совпадает с внешней связью группы $\Phi_{s1}(П_2)$.

Рассматриваемая группа настраивается на те же параметры, что и группа $\Phi_{s1}(П_2)$ и дополнительно на траекторию – установкой конусной линейки на требуемый угол α .

При назначении режимов резания действительная подача определяется по выражению:

$$s = \sqrt[2]{s_{\text{прод}}^2 + s_{\text{поп}}^2},$$

где s , $s_{\text{прод}}$, $s_{\text{поп}}$ – действительная, продольная и поперечная подачи.

Продольная подача назначается по режимам резания и устанавливается посредством коробки подач, а поперечная подача определяется из выражения:

$$s_{\text{поп}} = s_{\text{прод}} \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Обработку фасонных поверхностей производят фасонными резцами или применяют копируемые устройства.

На рис. 3.8 приведена схема однокоординатного гидроконтролируемого суппорта КТ-1. От лопастного насоса 1 масло под давлением, установленным напорным клапаном 2, поступает в штоковую полость 3 гидроцилиндра 4, которое через отверстие 5 сообщается с бесштоковой полостью 6. Полость 6 соединена с баком гидростанции посредством трубопровода 9, следящего золотника 12 и трубопровода 13.

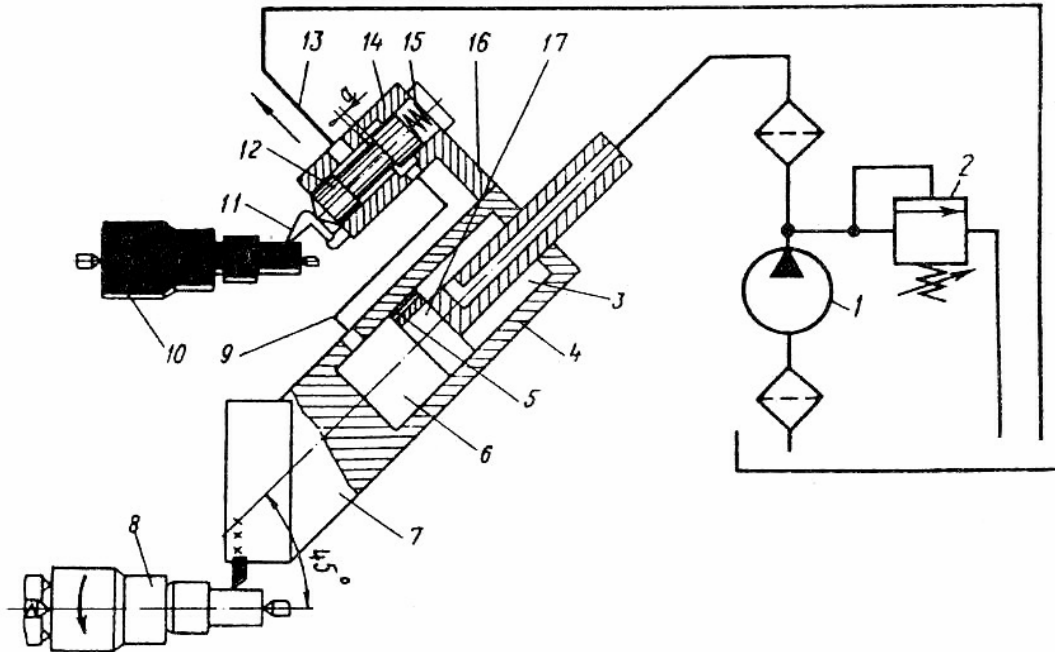


Рис. 3.8. Схема гидроконтролируемого суппорта

В исходном положении копируемый суппорт 7 с резцом и следящим золотником 12 отведен от обрабатываемой заготовки 8 и копира 10. При включении насоса в полостях 3 и 6 гидроцилиндра 4 устанавливается одинаковое давление. Так как площадь поршня в полости 6 больше площади поршня в полости 3, то суппорт 7 начнет двигаться к заготовке 8, а следящий золотник 12 – к копиру 10. Движение суппорта продолжается до тех пор, пока щуп 11 следящего золотника 12 не встретит на своем пути копир 10 и не переместит золотник 12. С этого момента начинается слежение золотника за профилем копира.

Если профиль копира параллелен линии центров, то щуп 11, преодолевая усилие пружины 15, смещает золотник 12 в осевом направлении на такую величину, чтобы между торцом золотника 12 и расточкой в корпусе 14 открылась кольцевая щель *a*, через которую начинается слив масла из полости 6 цилиндра 4 в бак гидростанции.

При этом давление в полости *б* понижается и усилия, действующие на поршень *17*, уравниваются. Копировальный суппорт будет неподвижен. Это соответствует обточке цилиндрической поверхности. При переходе от обточки цилиндра к подрезке торца щуп *11*, действуя на золотник *12*, увеличивает щель «*а*», давление в полости *б* цилиндра падает, и копировальный суппорт начинает двигаться по своим направляющим от обрабатываемой заготовки.

Каждому перемещению золотника *12* относительно копира *10* соответствует такое же перемещение копировального суппорта *7*. Каждому перемещению копировального суппорта *7* относительно обрабатываемой заготовки *8* благодаря звену *16*, жесткому креплению корпуса *14* к цилиндру *4* будет соответствовать такое же перемещение корпуса *14* относительно копира.

Гидрокопировальный суппорт и каретка продольного суппорта станка являются исполнительными органами сложной кинематической группы $\Phi_{s5}(П_1П_9)$, образующей с ранее рассмотренной группой $\Phi_v(B_1)$ частную кинематическую структуру для обработки фасонных (в том числе конических) поверхностей.

Внутренняя связь группы $\Phi_{s5}(П_1П_9)$ имеет вид:

каретка (П₁) → гидрокопировальный суппорт (П₉).

Во внешней связи группы расположены два источника энергии движения: общий для привода вращения заготовки и продольной подачи каретки электродвигатель (на схеме не показан) и гидроцилиндр копировального суппорта. Оба источника энергии расположены с противоположных сторон программносителя – копира *10*, являющегося органом настройки на траекторию движения $\Phi_{s5}(П_1П_9)$. Считывание программы осуществляется реверсивным золотником *12*, который управляет одной координатой – копировальным суппортом. Скорость воспроизведения направляющей настраивается коробкой подач станка и регулируемым дросселем гидросистемы.

3.1.2. Токарно-револьверные станки

Токарно-револьверные станки предназначены для обработки деталей сложной формы в серийном производстве, когда согласно технологическому процессу требуется применение многих инструментов: резцов, сверл, зенкеров, плашек и т.д. Эти станки менее универсальны, чем токарно-винторезные, но значительно превосходят их по производительности, так как машинное время обработки на них сокращается вследствие использования многоинструментальных державок.

Вспомогательное время уменьшается в результате предварительной настройки на размер режущего инструмента и ограничителей ходов, а также при применении автоматического управления изменениями частот вращения шпинделя и величин подач, имеющегося в большинстве современных моделей станков.

Токарно-револьверные станки по виду обрабатываемой заготовки делят на станки для обработки деталей из прутка и из отдельных заготовок. Типажом предусмотрены токарно-револьверные станки для обработки прутков диаметром 10 – 100 мм, а заготовок диаметром 160 – 630 мм. Часть станков приспособлена для обработки обоих видов работ.

Токарно-револьверные станки не имеют задней бабки и ходового винта, а на их продольном суппорте установлена поворотная револьверная головка, в гнездах которой устанавливают различный режущий инструмент, а при использовании специальных комбинированных державок в одном гнезде револьверной головки устанавливают несколько режущих инструментов. Каждый режущий инструмент при повороте револьверной головки последовательно производит обработку детали. Эти станки рекомендуется применять в серийном производстве при партии деталей не менее 10 – 20 штук и если технологический процесс предусматривает применение большого числа режущего инструмента.

Компоновка токарно-револьверных станков определяется, в основном, расположением оси револьверной головки. На рис. 3.9 приведены два основных вида компоновки токарно-револьверных станков.

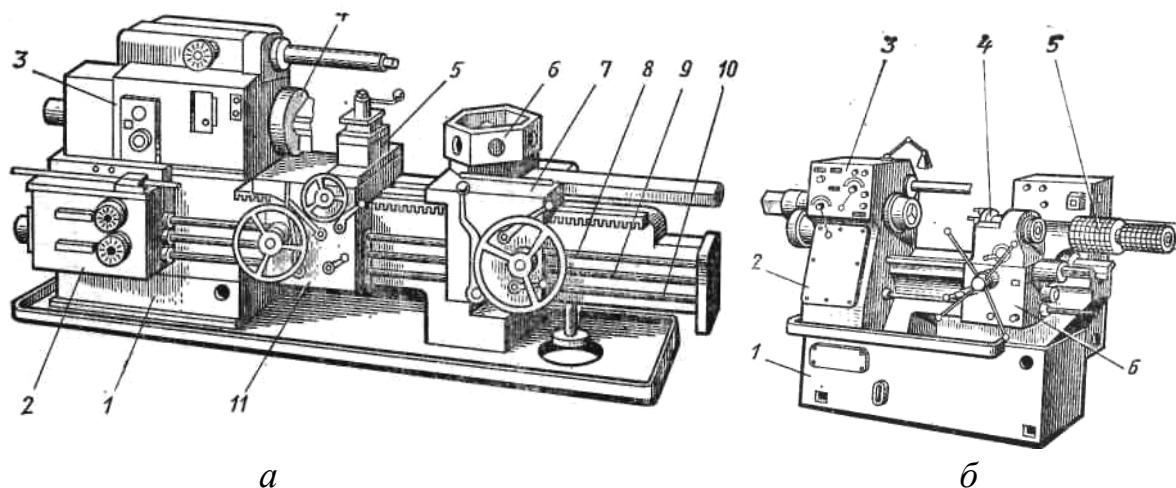


Рис. 3.9. Внешний вид токарно-револьверных станков

На станине 1 токарно-револьверного станка с вертикальной осью револьверной головки (рис. 3.9, а) слева расположены коробка подач 2 и коробка 3 привода вращения шпинделя 4. На направляющих станины разме-

щены каретка 11, несущая поперечный суппорт 5, и продольный суппорт 7, несущий револьверную головку 6 с вертикальной осью, как правило, с пятью – восемью гнездами для установки инструментов. Ходовые валы 8, 9, 10 обеспечивают кинематическую связь коробки подач 2 с тяговыми валами каретки 11, поперечного 5 и продольного 7 суппортов.

Легкие и средние токарно-револьверные станки не имеют поперечного суппорта, а на их продольном суппорте устанавливают револьверную головку с горизонтальной осью. На станине 1 таких станков (рис. 3.9, б) расположены слева коробка подач 2 и коробка 3 круговых частот шпинделя, а справа – продольный суппорт 6, несущий револьверную головку с горизонтальной осью вращения 4 и барабан упоров 5. Револьверная головка имеет до 16-ти гнезд для инструментов.

Токарно-револьверный станок модели 1Г340. Относится к станкам с горизонтальной осью револьверной головки, имеющей 16 гнезд для различных инструментов. На станке можно обрабатывать детали как из прутка, так и из заготовок. Область использования – серийное производство.

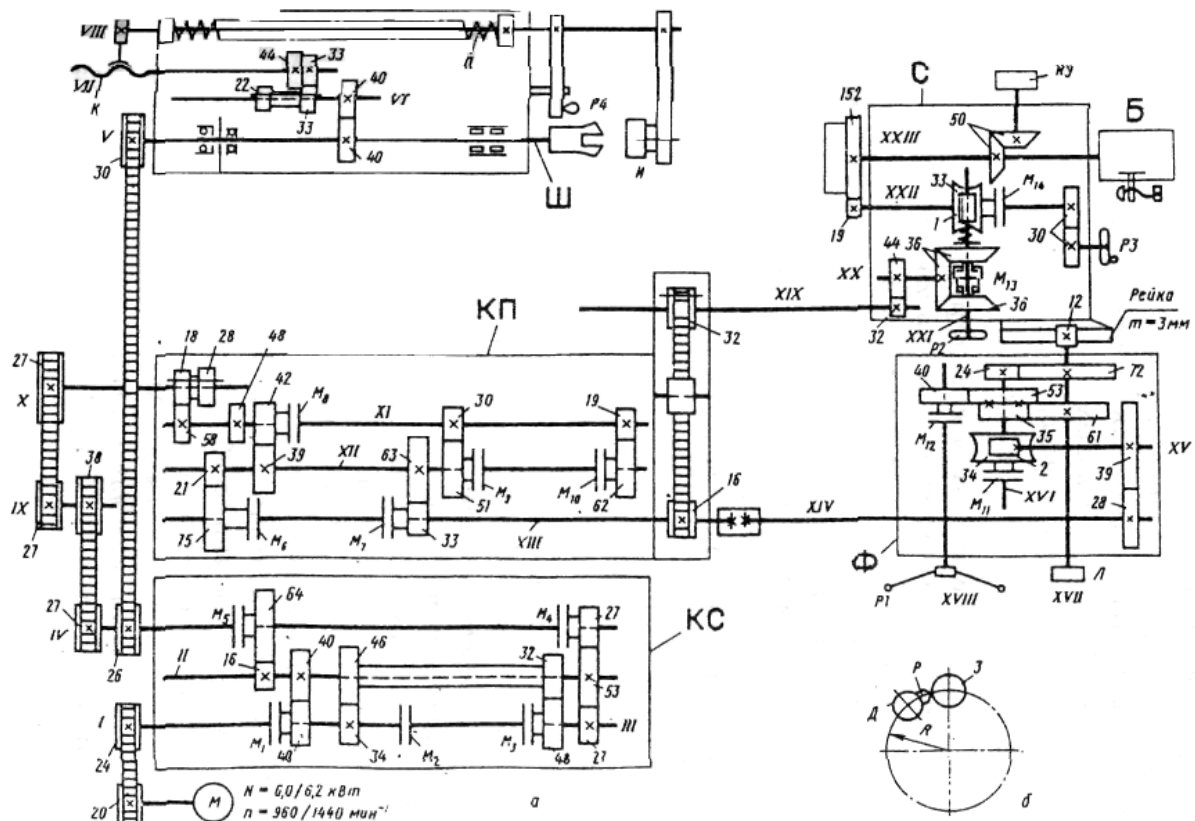


Рис. 3.10. Кинематическая схема токарно-револьверного станка модели 1Г340

Техническая характеристика. Максимальный диаметр обрабатываемого прутка – 40 мм; максимальный диаметр заготовки, обрабатываемой в патроне – 400 мм; количество частот вращения шпинделя – 12, диапазон

частот вращения шпинделя – 45 – 2000 мин⁻¹; количество продольных и/или поперечных (круговых) подач – 12, диапазон подач: продольных – 0,035 – 1,6 мм/об, поперечных (круговых) – 0,02 – 0,8 мм/об.

Формообразующая часть кинематической структуры станка (рис. 3.10) включает две основные частные структуры: токарную $\Phi_v(B_1)$, $\Phi_{s1}(П_2)$ для продольной обработки и токарную $\Phi_v(B_1)$, $\Phi_{s2}(B_3)$ для поперечной (торцовой) обработки. Группа скорости резания $\Phi_v(B_1)$ входит в обе частные структуры. Переход от одной структуры к другой осуществляется посредством механизмов управления станка.

Структура для продольной обработки состоит из простых групп скорости резания $\Phi_v(B_1)$ и продольной подачи $\Phi_{s1}(П_2)$, соединенных между собой электродвигателем и общей частью внешних связей.

Группа $\Phi_v(B_1)$ воспроизводит образующую обрабатываемой поверхности. Ее внутренняя связь:

подшипниковые опоры → *шпиндель* (B_1).

Внешняя связь – кинематическая цепь, состоящая из двух зубчато-ременных передач и коробки скоростей $КС$, соединяющая двухскоростной электродвигатель M со шпинделем, являющемся звеном соединения связей:

$M \rightarrow 20/24 \rightarrow КС \rightarrow 26/30 \rightarrow$ *шпиндель* (B_1).

Группа настраивается на скорость – изменением круговой частоты электродвигателя и коробкой скоростей $КС$ (орган настройки i_v). При этом переключение частоты вращения шпинделя осуществляется посредством электромагнитных муфт $M_1 – M_5$ автоматически при смене позиций револьверной головки в соответствующие положения по программе, заданной на штекерной панели пульта управления.

Расчетная цепь для органа настройки на скорость совпадает с внешней связью группы. Поэтому РП для круговой частоты вращения шпинделя имеют вид:

n_m мин⁻¹ электродвигателя → n_i , $\{i = 1, 2, 3, \dots, 12\}$ *шпинделя* (B_1) мин⁻¹.

Ряд круговых частот шпинделя:

$$n_1 = 960 \cdot \frac{20}{24} \cdot \frac{34}{46} (M_3) \cdot \frac{32}{48} \cdot \frac{27}{53} \cdot \frac{16}{24} (M_5) \cdot \frac{26}{30} = 45 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_2 = 1440 \cdot \frac{20}{24} \cdot \frac{34}{46} (M_3) \cdot \frac{32}{48} \cdot \frac{27}{53} \cdot \frac{16}{64} (M_5) \cdot \frac{26}{30} = 65 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_3 = 960 \cdot \frac{20}{24} (M_2) \cdot \frac{27}{53} \cdot \frac{16}{64} (M_5) \cdot \frac{26}{30} = 90 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_4 = 1440 \cdot \frac{20}{24} (M_2) \cdot \frac{27}{53} \cdot \frac{16}{64} (M_5) \cdot \frac{26}{30} = 135 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_5 = 960 \cdot \frac{20}{24}(M_1) \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{16}{64}(M_5) \cdot \frac{26}{30} = 170 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_6 = 1440 \cdot \frac{20}{24}(M_1) \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{16}{64}(M_5) \cdot \frac{26}{30} = 260 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_7 = 960 \cdot \frac{20}{24} \cdot \frac{34}{46}(M_3) \cdot \frac{32}{48} \cdot \frac{27}{53} \cdot \frac{53}{27}(M_4) \cdot \frac{26}{30} = 340 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_8 = 1440 \cdot \frac{20}{24} \cdot \frac{34}{46}(M_3) \cdot \frac{32}{48} \cdot \frac{27}{53} \cdot \frac{53}{27}(M_4) \cdot \frac{26}{30} = 510 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_8 = 1440 \cdot \frac{20}{24} \cdot \frac{34}{46}(M_3) \cdot \frac{32}{48} \cdot \frac{27}{53} \cdot \frac{53}{27}(M_4) \cdot \frac{26}{30} = 510 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_9 = 960 \cdot \frac{20}{24}(M_2) \cdot \frac{27}{53} \cdot \frac{53}{27}(M_4) \cdot \frac{26}{30} = 690 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_{10} = 1440 \cdot \frac{20}{24}(M_2) \cdot \frac{27}{53} \cdot \frac{53}{27}(M_4) \cdot \frac{26}{30} = 1030 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_{11} = 960 \cdot \frac{20}{24}(M_1) \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{53}{27}(M_4) \cdot \frac{26}{30} = 1360 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_{12} = 1440 \cdot \frac{20}{24}(M_1) \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{53}{27}(M_4) \cdot \frac{26}{30} = 2000 \text{ мин}^{-1}.$$

Торможение шпинделя производится одновременным включением муфт M_4 и M_5 .

Группа $\Phi_{s1}(II_2)$ воспроизводит направляющую обрабатываемой поверхности. Ее внутренняя связь:

направляющие станины → продольный суппорт (II_2).

Внешняя связь – кинематическая цепь, соединяющая двухскоростной электродвигатель M с продольным суппортом (звено соединения связей) посредством трех зубчато-ременных передач, коробки скоростей $КС$, коробки подач $КП$, фартука Φ и тягового вала (зубчато-реечной передачи):

$M \rightarrow 20/24 \rightarrow КС \rightarrow 27/38 \rightarrow 27/27 \rightarrow КП \rightarrow \Phi \rightarrow \text{пмз} \rightarrow \text{продольный суппорт } (II_2).$

Группа настраивается на скорость (продольную подачу) – коробкой подач $КП$ (орган настройки i_s), на путь – по упору с отсчетом величины пути по лимбу L , расположенному на валу $XVII$ фартука Φ .

При каждом положении подвижного блока 18 – 28 при смене позиций револьверной головки в соответствующие положения по программе, заданной на штекерной панели пульта управления, автоматически посредством включения соответствующих электромагнитных муфт $M_6 - M_{10}$ получается шесть ступеней продольной подачи.

Продольная подача включается муфтой M_{11} , при этом M_{12} выключена (муфты заблокированы). Ручное перемещение осуществляется маховиком $P1$ через включенную муфту M_{12} , передачи 40/53, 35/61 и реечное колесо z_{12} (ведущее звено тягового вала).

Расчетная цепь продольных подач не совпадает с внешней связью рассматриваемой группы, а связывает шпиндель станка с тяговым валом. Для этой цепи РП имеют вид:

1 об. шпинделя $\rightarrow s_{прод.}$ мм перемещения суппорта (Π_1).

Минимальная продольная подача:

$$s_{прод.1} = 1 \cdot \frac{30}{26} \cdot \frac{27}{38} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{18}{58} (M_{10}) \cdot \frac{19}{62} \cdot \frac{21}{75} (M_6) \cdot \frac{28}{39} \cdot \frac{2}{34} (M_{11}) \cdot \frac{24}{72} \cdot \pi \cdot 3 \cdot 12 = \\ = 0,035 \text{ мм/об.}$$

Максимальная продольная подача:

$$s_{прод.12} = 1 \cdot \frac{30}{26} \cdot \frac{27}{38} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{28}{48} (M_8) \cdot \frac{42}{39} \cdot \frac{63}{33} (M_7) \cdot \frac{28}{39} \cdot \frac{2}{34} (M_{11}) \cdot \frac{24}{72} \cdot \pi \cdot 3 \cdot 12 = \\ = 1,6 \text{ мм/об.}$$

Группа $\Phi_{s2}(\Pi_3)$ воспроизводит направляющую обрабатываемой поверхности при торцовой обработке. Ее внутренняя связь:

подшипниковые опоры \rightarrow *револьверная головка* Γ (Π_3).

Внешняя связь, соединяющая электродвигатель M с револьверной головкой (звено соединения связей), включает общую с внешней связью группы $\Phi_{s1}(\Pi_2)$ часть от электродвигателя до вала XIII коробки подач $KП$ и последовательно расположенные передачи 16/32, 32/44, 36/36 (*реверс, управляемый муфтой* M_{13}), 1/33 (*муфта* M_{14}), 19/152.

Группа настраивается на скорость круговую (торцовую) подачу – коробкой подач $KП$, на путь – упорами, на направление – реверсом. Ручное круговое движение подачи осуществляется маховиком $P2$ при включенной муфте M_{14} . Ручной поворот револьверной головки при смене позиций осуществляется маховиком $P3$ при выключенной муфте M_{14} .

Расчетная цепь круговых подач связывает шпиндель станка с револьверной головкой. Для этой цепи РП имеют вид:

1 об. шпинделя $\rightarrow s_{кр.}$ мм перемещения револьверной головки (Π_3).

Минимальная круговая подача:

$$s_{кр.1} = 1 \cdot \frac{30}{26} \cdot \frac{27}{38} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{18}{58} (M_{10}) \cdot \frac{19}{62} \cdot \frac{21}{75} (M_6) \cdot \frac{16}{32} \cdot \frac{32}{44} \cdot \frac{36}{36} (M_{13}) \cdot \\ \cdot \frac{1}{33} \cdot \frac{19}{152} \cdot 2\pi \cdot 100 = 0,02 \text{ мм/об.}$$

Максимальная круговая подача:

$$s_{кр.12} = 1 \cdot \frac{30}{26} \cdot \frac{27}{38} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{28}{48} (M_8) \cdot \frac{42}{39} \cdot \frac{63}{33} (M_7) \cdot \frac{16}{32} \cdot \frac{32}{44} \cdot \frac{36}{36} (M_{13}) \cdot \frac{1}{33} \cdot \frac{19}{152} \cdot 2\pi \cdot 100 = 0,8 \text{ мм/об.}$$

В приведенных формулах 100 – расстояние от оси поворота револьверной головки до осей гнезд для инструментов, равное R (рис. 3.10, б).

При работе станка частоту вращения шпинделя и подачу можно изменять вручную с помощью переключателей. Автоматическое переключение режимов обработки при смене позиций револьверной головки осуществляется через зубчатую передачу 50/50, связанную с коллектором управления $KУ$, а на штекерной панели пульта управления программируются режимы обработки для каждой позиции головки.

Длину пути суппорта устанавливают в соответствующих позициях револьверной головки, посредством регулируемых упоров на барабане B .

Для нарезания наружных и внутренних резьб резцами или гребенками в структуре станка предусмотрена также резьбонарезная (винторезная) группа $\Phi_v(B_1П_4)$. Ее внутренняя связь:

(B_1) шпиндель $Ш \rightarrow 40/40 \rightarrow 33/33$ или $22/44 \rightarrow$ копир $K \rightarrow$ резьбовая гайка \rightarrow штанга $VIII \rightarrow$ державка инструмента $И (П_4)$.

Внешняя связь совпадает с внешней связью группы $\Phi_v(B_1)$, т.е. представляет собой кинематическую (структурную) цепь, связывающую электродвигатель со звеном соединения связей – шпинделем.

Группа настраивается на траекторию, путь и направление – сменными комплектами копир K – резьбовая гайка и блоком зубчатых колес 33 – 22. Причем при включении передачи 33/33 шаг нарезаемой резьбы равен шагу резьбы копира, а при включении передачи 22/44 – вдвое меньше.

При нарезании резьбы инструмент $И$ закрепляют в державке, связанной со штангой $VIII$. Штангу поворачивают рукояткой P_4 , подводя инструмент к заготовке и вводя резьбовую гайку на левом конце штанги в зацепление с резьбовым копиром K . Копир получает вращение от шпинделя через передачу 40/40 и блок зубчатых колес 33 – 22. При этом резьбовая гайка со штангой $VIII$ и инструментом $И$ движется вдоль оси.

3.1.3. Токарно-карусельные станки

Токарно-карусельные станки применяют для обработки тяжелых деталей большого диаметра при сравнительно небольшой длине (венцы больших зубчатых колес, маховики, кольца крупногабаритных подшипни-

ков и т.п.). На них можно обтачивать и растачивать цилиндрические и конические поверхности, прорезать кольцевые канавки, сверлить, зенкеровать, развертывать отверстия и выполнять другие виды обработки. Основными параметрами карусельных станков являются наибольший диаметр и высота обрабатываемой заготовки. При этом каждая последующая модель размерного ряда этих станков позволяет обрабатывать заготовки в 1,25 раза больше, чем предыдущая.

По компоновке токарно-карусельные станки подразделяют на одно- и двухстоечные. Одностоечные станки предназначены для обработки деталей диаметром до 2000 мм, а тяжелые двухстоечные станки – для обработки деталей до 25000 мм. Тяжелые двухстоечные станки для обработки деталей свыше 6300 мм выпускают по индивидуальным заказам, их принято называть уникальными.

Особенностью карусельных станков является вертикальное расположение шпинделя плоского круглого стола (планшайбы), на котором закрепляется заготовка. Станина 1 станка (рис. 3.11) жестко скреплена со стойкой 8, имеющей вертикальные направляющие для перемещения по ним траверсы 6 и бокового суппорта 9 с четырехпозиционным резцедержателем 11. На станине 1 расположен круглый стол (планшайба) 2 для установки обрабатываемых деталей. Привод круговых частот стола размещен внутри станины. На горизонтальных направляющих траверсы 6 установлен вертикальный револьверный суппорт 5 с пятипозиционной револьверной головкой 4. Приводы подачи револьверного и бокового суппортов осуществляются от коробок подач соответственно 7 и 10 и вручную маховиками. Управление станком осуществляется от пульта 3. При такой компоновке облегчается установка заготовок. Шпиндель разгружен от изгибающих сил, что обеспечивает повышение точности обработки.

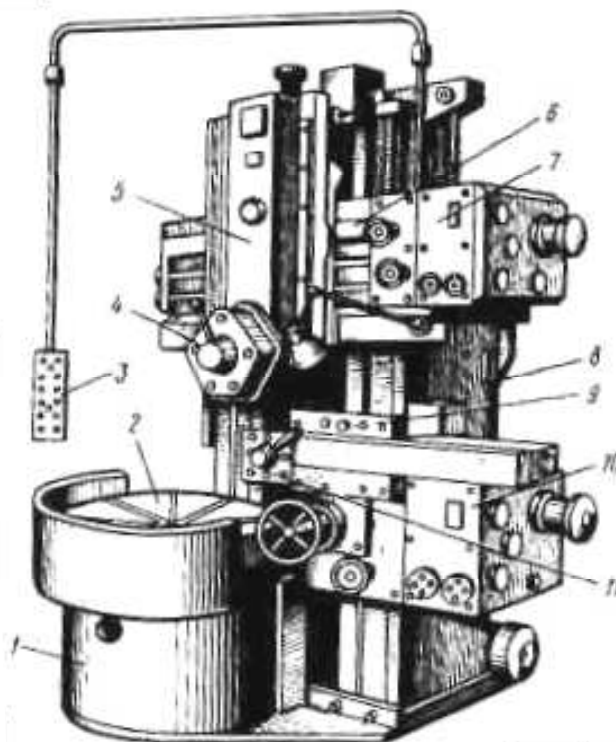


Рис. 3.11. Одностоечный токарно-карусельный станок

Токарно-карусельный станок модели 1512. Предназначен для выполнения всех видов обработки, характерных для карусельных станков, а при наличии специальных приспособлений также для нарезания резьбы и обработки по копиру. На базе этого станка выполнен карусельный станок с ЧПУ модели 1512Ф2.

Техническая характеристика. Диаметр планшайбы – 1250 мм; наибольший диаметр обрабатываемой заготовки – 1250 мм; наибольшая высота обрабатываемой заготовки – 800 мм; пределы частот вращения планшайбы – 5 – 250 мин⁻¹; пределы подач суппортов – 0,035 – 12,5 мм/об.

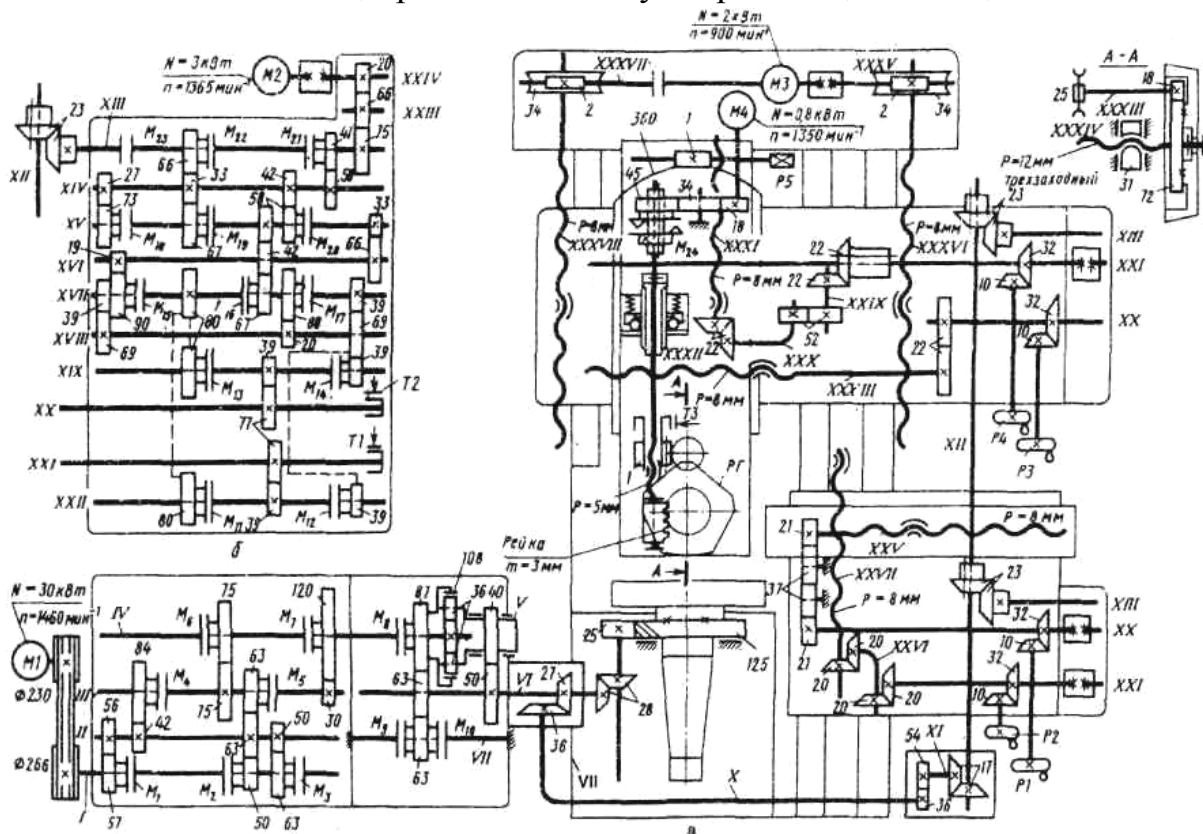


Рис. 3.12. Кинематическая схема токарно-карусельного станка модели 1512

Формообразующая часть кинематической структуры станка (рис. 3.12) состоит из групп: скорости резания $\Phi_v(B_1)$, групп вертикальной $\Phi_{s1}(П_2)$ и горизонтальной $\Phi_{s2}(П_3)$ подач револьверного суппорта, групп вертикальной $\Phi_{s3}(П_4)$ и горизонтальной $\Phi_{s4}(П_5)$ бокового суппорта. Группы подач револьверного суппорта имеют общий орган настройки i_s – автоматическую коробку подач (АКП), аналогично группы подач бокового суппорта также оснащены общей АКП. Конструкции АКП одинаковы (рис. 3.12, б). Коробки подач сообщают суппортам 18 рабочих подач и 18 быстрых установочных перемещений. Группы подач соединены с группой скорости резания общим электродвигателем M_1 и АКС.

Группа скорости резания $\Phi_v(B_1)$ воспроизводит образующую – окружность. Ее внутренняя связь:

подшипниковые опоры станины → шпиндель планшайбы (B_1).

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow 230/266 \rightarrow$ *автоматическая коробка скоростей (валы I – VII) →*
 $\rightarrow 28/28 \rightarrow 25/125 \rightarrow$ *шпиндель планшайбы (B_1).*

Группа настраивается на один параметр – скорость резания – автоматической коробкой скоростей (АКС). Вал II АКС имеет три значения частот вращения, получаемых при переключении электромагнитных муфт $M_1 - M_3$, вал III – шесть значений частот вращения при переключении муфт M_4 и M_5 , вал IV – 12 значений частот вращения (переключают муфты M_6 и M_7). На выходе АКС установлен планетарный механизм, выходом которого является водило V, связанное с сателлитами 36 и несущее колесо 40. Центральное колесо 36 на входе механизма закреплено на валу IV. Другое центральное колесо 108 с внутренним зубчатым венцом соединяется с валом IV при включении муфты M_8 . В этом случае муфты M_9 и M_{10} выключены, колеса 63 на валах VI и VII вращаются вхолостую, и планетарный механизм вращается, как одно целое. При этом его передаточное отношение $i_{\Sigma} = 1$. Для получения 12 низших значений частот вращения шпинделя муфту M_8 выключают и включают муфты M_9 и M_{10} . При этом колеса 63 на валах VI и VII затормаживаются и останавливают колесо 87 планетарного механизма и соответственно его корпус с колесом 108. В этом случае передаточное отношение планетарного механизма $i_{\Sigma} = 1/4$. При такой конструкции АКС обеспечивается 18 значений круговых частот вращения шпинделя планшайбы.

РП для АКС имеют вид:

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{ш} \text{ мин}^{-1}.$$

УКЦ для минимальной и максимальной частот вращения:

$$n_1 = 1460 \cdot \frac{230}{266} \cdot \frac{50}{63} \cdot \frac{42}{84} \cdot \frac{30}{120} \cdot (i_{\Sigma} = \frac{1}{4}) \cdot \frac{40}{50} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{25}{125} = 5 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_{18} = 1460 \cdot \frac{230}{266} \cdot \frac{50}{63} \cdot \frac{63}{63} \cdot \frac{75}{75} \cdot (i_{\Sigma} = 1) \cdot \frac{40}{50} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{25}{125} = 250 \text{ мин}^{-1}.$$

При одновременном включении муфт M_8, M_9, M_{10} , замыкающих две различные кинематические цепи, образующие «замок», происходит торможение планшайбы (остальные муфты АКС выключены).

Группа вертикальной подачи $\Phi_{s1}(П_2)$ револьверного суппорта воспроизводит направляющую – вертикальную прямую линию. Внутренняя связь группы:

вертикальные направляющие траверсы → револьверный суппорт ($П_2$).

Внешняя связь имеет вид:

$M_1 \rightarrow АКС \rightarrow \text{вал VI} \rightarrow 27/36 \rightarrow 36/54 \rightarrow 17/17 \rightarrow 23/23 \rightarrow АКП \rightarrow$
вал XXI АКП $\rightarrow 20/20 \rightarrow 20/20 \rightarrow ТВ XXVI \rightarrow \text{револьверный суппорт } (П_2)$.

Группа настраивается на скорость – АКП, на направление – цилиндрическим реверсом, на путь и исходную точку – по лимбу (упорам).

На токарно-карусельных станках подача задается в мм/об планшайбы. Поэтому внешняя связь группы и расчетная цепь подач не совпадают. РП для расчетной цепи имеют вид:

1 об. *планшайбы* $\rightarrow s_g$ мм *вертикального перемещения*
револьверного суппорта $(П_2)$.

УКЦ для минимальной и максимальной вертикальных подач револьверного суппорта:

$$s_{e1} = 1 \cdot \frac{125}{25} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{27}{36} \cdot \frac{36}{54} \cdot \frac{17}{17} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{41}{58} \cdot \frac{27}{73} \cdot \frac{33}{66} \cdot \frac{19}{90} \cdot \frac{39}{69} \cdot \frac{20}{88} \cdot \frac{80}{80} \cdot \frac{39}{77} \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{52}{52} \cdot \frac{22}{22} \cdot 8 = 0,035 \text{ мм/об.}$$

$$s_{e18} = 1 \cdot \frac{125}{25} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{27}{36} \cdot \frac{36}{54} \cdot \frac{17}{17} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{66}{33} \cdot \frac{42}{58} \cdot \frac{58}{42} \cdot \frac{42}{67} \cdot \frac{80}{80} \cdot \frac{39}{77} \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{52}{52} \cdot \frac{22}{22} \cdot 8 = 12,5 \text{ мм/об.}$$

Реверсирование подачи (перемещение вверх или вниз) осуществляется переключением муфт M_{11} и M_{12} . В приведенных УКЦ включена муфта M_{11} . При выключении этой муфты и включении муфты M_{12} вращение от вала $XVII$ на XXI сообщается не зубчатой передачей 80/80, а передачей с дополнительным колесом 39/69/39.

Включение рабочей подачи осуществляется муфтой M_{23} , расположенной на валу $XIII$ АКС. Ускоренный ход осуществляется от электродвигателя M_2 через передачи 20/66/75 и далее по тем же цепям, что и для рабочих подач. Торможение, обеспечивающее устранение перебегов суппорта, осуществляется тормозом T_1 с электромагнитным управлением, расположенным на валу XXI АКП.

Группа горизонтальной подачи $\Phi_{s2}(П_3)$ револьверного суппорта производит направляющую – горизонтальную прямую линию. Внутренняя связь группы:

горизонтальные направляющие траверсы \rightarrow *револьверный суппорт* $(П_3)$.

Внешняя связь от электродвигателя M_1 до вала $XVII$ АКП совпадает с аналогичной связью группы вертикальной подачи револьверного суппорта и далее реверс 39/69 или 39/69/39 $\rightarrow 39/77 \rightarrow$ *вал XX АКП* $\rightarrow 22/22 \rightarrow$ *ТВ XXX* \rightarrow *револьверный суппорт* $(П_3)$.

Группа настраивается на скорость – АКП, на направление – цилиндрическим реверсом, на путь и исходную точку – по лимбу (упорам).

РП для расчетной цепи горизонтальной подачи револьверного суппорта имеют вид:

1 об. *планшайбы* → s_2 мм *горизонтального перемещения револьверного суппорта* (Π_3).

УКЦ для минимальной горизонтальной подачи револьверного суппорта:

$$s_{21} = 1 \cdot \frac{125}{25} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{27}{36} \cdot \frac{36}{54} \cdot \frac{17}{17} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{41}{58} \cdot \frac{27}{73} \cdot \frac{33}{66} \cdot \frac{19}{90} \cdot \frac{80}{80} \cdot \frac{39}{77} \cdot \frac{22}{22} \cdot 8 = 0,035 \text{ мм/об.}$$

Ускоренный ход осуществляется от электродвигателя M_2 через передачи 20/66/75 и далее по тем же цепям, что и для рабочих подач, а торможение, обеспечивающее устранение перебегов суппорта, осуществляется тормозом T_2 с электромагнитным управлением. Ручное перемещение суппорта осуществляется маховиками P_3 и P_4 .

Кинематические группы вертикальных и горизонтальных подач бокового суппорта по своей структуре аналогичны соответствующим группам подач револьверного суппорта. Поэтому их анализ ограничим, например, записью УКЦ для максимальной вертикальной подачи бокового суппорта.

$$s_{618} = 1 \cdot \frac{125}{25} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{27}{36} \cdot \frac{36}{54} \cdot \frac{17}{17} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{66}{33} \cdot \frac{42}{58} \cdot \frac{58}{42} \cdot \frac{42}{67} \cdot \frac{39}{69} \cdot \frac{69}{39} \cdot \frac{39}{77} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{20}{20} \cdot 8 = 12,5 \text{ мм/об.}$$

В структуре станка предусмотрены также вспомогательные кинематические группы вертикального подъема и опускания траверсы $Vc(\Pi_6)$ и поворота револьверной головки $Vc(B_7)$ с индивидуальными электродвигателями.

Группа $Vc(\Pi_6)$ – простая. Ее внутренняя связь:

вертикальные направляющие станины → *траверса* (Π_6).

Внешняя связь состоит из двух коротких кинематических цепей, связывающих электродвигатель M_3 с двумя TB (винтами), расположенными симметрично относительно вертикальных направляющих станины:

$M_3 \rightarrow 2/34 \parallel 2 \setminus 34 \rightarrow TB \text{ XXXVIII} \parallel TB \text{ XXXVI} \rightarrow \text{траверса } (\Pi_6)$,

где символ \parallel обозначает параллельность элементов кинематических цепей.

Группа настраивается на путь и исходное положение – по упору, на направление изменением направления вращения электродвигателя. Скорость перемещения консоли и составляет $v = 900 \cdot 2/34 \cdot 8 = 420$ мм/мин.

Группа $Vc(B_7)$ – простая, ненастраиваемая. Ее внутренняя связь:

револьверный суппорт → *револьверная головка* (B_7).

Внешняя связь:

$M_4 \rightarrow 18/34 \rightarrow 34/45 \rightarrow \text{муфта } M_{24} \rightarrow \text{передача винт XXXII-гайка} \rightarrow$
 $\rightarrow \text{реечная передача} \rightarrow \text{револьверная головка (B}_7\text{)}.$

Поворот револьверной головки осуществляется следующим образом. Электродвигатель M_4 через зубчатые колеса 18/34/45 вращает винт XXXII. Вначале электромагнитный тормоз T_3 включен и удерживает гайку передачи винт XXXII-гайка от поворота. Винт, вращаясь, двигается вверх, а закрепленная на его конце рейка посредством косозубого колеса 31, трехзаходной гайки (разрез $A - A$) и винта XXXIV отжимает револьверную головку. Винт XXXII перемещается до тех пор, пока гайка не упрется в торец гайки. Перед этим конечный выключатель отключит тормоз T_3 и гайка с насаженным на нее однозаходным червяком начнет вращаться. Тогда через передачи 1/25 и 18/25 произойдет поворот револьверной головки на 1/5 часть. Фиксатор западает в следующий паз делительного диска, и конечный выключатель дает команду на реверс электродвигателя. Винт XXXII, вращаясь в обратную сторону, опускается и через реечную передачу и винт XXXIV – трехзаходная гайка прижимает револьверную головку к ползуну.

3.2. Станки сверлильно-расточной группы

Сверлильные станки предназначены для сверления сквозных и глухих отверстий, рассверливания, зенкерования, развертывания, нарезания резьбы и т.п. операций. Сверлильные станки подразделяют на вертикально-сверлильные, радиально-сверлильные, горизонтально-сверлильные и центровальные. Основными параметрами сверлильных станков являются наибольший, условный диаметр сверления в стальных деталях, размер конуса шпинделя, вылет и наибольший ход шпинделя. Сверлильные станки для сверления отверстий наибольшего, условного диаметра до 16 мм выпускают настольного типа, до 50 мм – вертикально-сверлильного и до 100 мм – радиально-сверлильного типа. Горизонтальную компоновку, как правило, имеют станки для глубокого сверления и центровальные станки. Их относят к группе специальных станков.

Расточные станки, кроме операций, выполняемых на сверлильных станках, позволяют осуществлять обработку отверстий, плоскостей и резьб резцами и фрезами. В зависимости от характера операций, назначения и конструктивных особенностей расточные станки подразделяют на горизонтально-расточные, координатно-расточные и алмазно-расточные. Основным параметром расточных станков, определяющим их положение в размерном ряду, является диаметр расточного шпинделя.

3.2.1. Сверлильные станки

Среди сверлильных станков наиболее распространены вертикально-сверлильные и радиально-сверлильные. На рис. 3.13 приведена современная типовая компоновка этих станков.

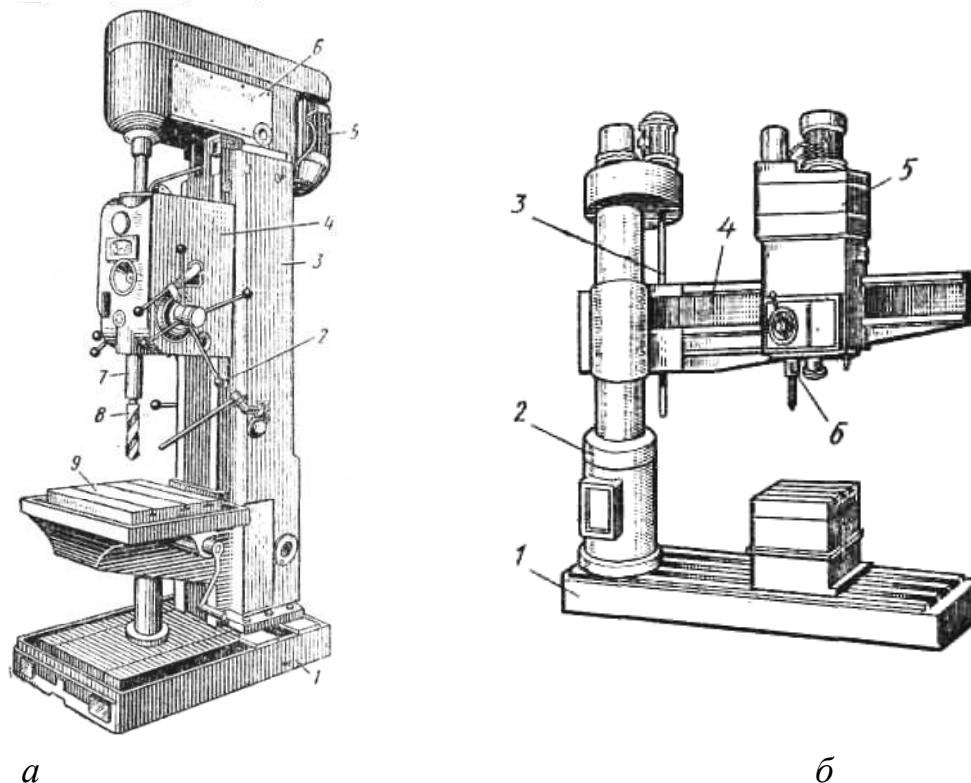


Рис. 3.13. Сверлильные станки

Вертикально-сверлильный станок (рис. 3.13, *a*) содержит фундаментную плиту 1, на которой смонтирована колонна 3 коробчатой формы. В ее верхней части смонтирована шпиндельная головка 6, несущая электродвигатель 5 и шпиндель 7 с инструментом 8. На передней стороне колонны выполнены вертикальные направляющие для перемещения сверлильной (шпиндельной) бабки 4 и стола 9. Внутри шпиндельной бабки размещен механизм подачи, вертикального перемещения шпинделя. Шпиндель можно перемещать механически или вручную с помощью штурвала 2. Стол 9, на котором устанавливают приспособления и деталь, перемещают по направляющим колонны вручную посредством винтового механизма (тягового вала) вращением рукоятки. В фундаментной плите 1 размещен бак для охлаждающей жидкости, которую подают в зону обработки насосом. В ряде моделей шпиндельная головка и шпиндельная бабка смонтированы в общем корпусе.

В радиально-сверлильных станках (рис. 3.13, *б*) шпиндель с инструментом можно перемещать относительно детали в радиальном и круговом

направлениях, что позволяет производить обработку в любом месте детали. На плите 1 закреплена тумба 2 с неподвижной колонной, на которой установлена поворотная траверса 4. По направляющим траверсы перемещается бабка 5 со шпинделем 6. В бабке 5 размещены кинематические группы скорости резания и подачи. Винтом 3 траверса перемещается вдоль колонны и может быть закреплена на любой высоте. В некоторых моделях радиально-сверлильных станков шпиндельную бабку выполняют поворотной, что позволяет обрабатывать отверстия, расположенные под углом.

Вертикально-сверлильный станок модели 2Н135. Предназначен для выполнения всех видов работ, характерных для сверлильных станков. На базе этого станка выпускается также станок с револьверной головкой и системой числового программного управления модели 2Р135Ф2.

Техническая характеристика. Наибольший, условный диаметр сверления – 35 мм; наибольший ход шпинделя – 250 мм. Расстояние от конца шпинделя до стола: наименьшее – 30 мм; наибольшее – 750 мм. Ход стола – 300 мм. Число частот вращения шпинделя – 12; пределы частот вращения шпинделя – 31,5 – 1400 мин⁻¹. Число подач – 9; пределы подач – 0,1 – 1,6 мм/об.

Кинематическая структура станка (рис. 3.14) содержит две простые формообразующие группы: скорости резания $\Phi_v(B_1)$ и подачи $\Phi_s(P_2)$. Обе группы соединены общим электродвигателем.

Группа $\Phi_v(B_1)$ воспроизводит образующую. Ее внутренняя связь:

подшипниковые опоры гильзы → шпиндель (B_1).

Внешняя связь – кинематическая цепь, выполненная в виде коробки частот вращения шпинделя (орган настройки i_v):

$M \rightarrow 30/45 \rightarrow [25/35 \text{ или } 30/30 \text{ или } 35/25] \rightarrow [35/35 \text{ или } 42/15] \rightarrow$
 $\rightarrow [25/50 \rightarrow 15/60 \text{ или } 25/50 \rightarrow 50/25] \rightarrow \text{шлицевое соединение гильза VI} -$
шпиндель (B_1).

Группа настраивается на скорость – коробкой скоростей, на направление – реверсированием электродвигателя.

Расчетная цепь для органа настройки i_v совпадает с внешней связью. Поэтому РП имеют вид:

$n_m \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя} \rightarrow n_{ш} \text{ мин}^{-1} \text{ шпинделя } (B_1).$

УКЦ для минимальной частоты вращения шпинделя:

$$n_1 = 1450 \cdot \frac{30}{45} \cdot \frac{25}{35} \cdot \frac{15}{42} \cdot \frac{25}{50} \cdot \frac{15}{60} = 31,5 \text{ мин}^{-1}.$$

Группа $\Phi_s(P_2)$ воспроизводит направляющую. Ее внутренняя связь:

корпус шпиндельной бабки → гильза шпинделя (P_2).

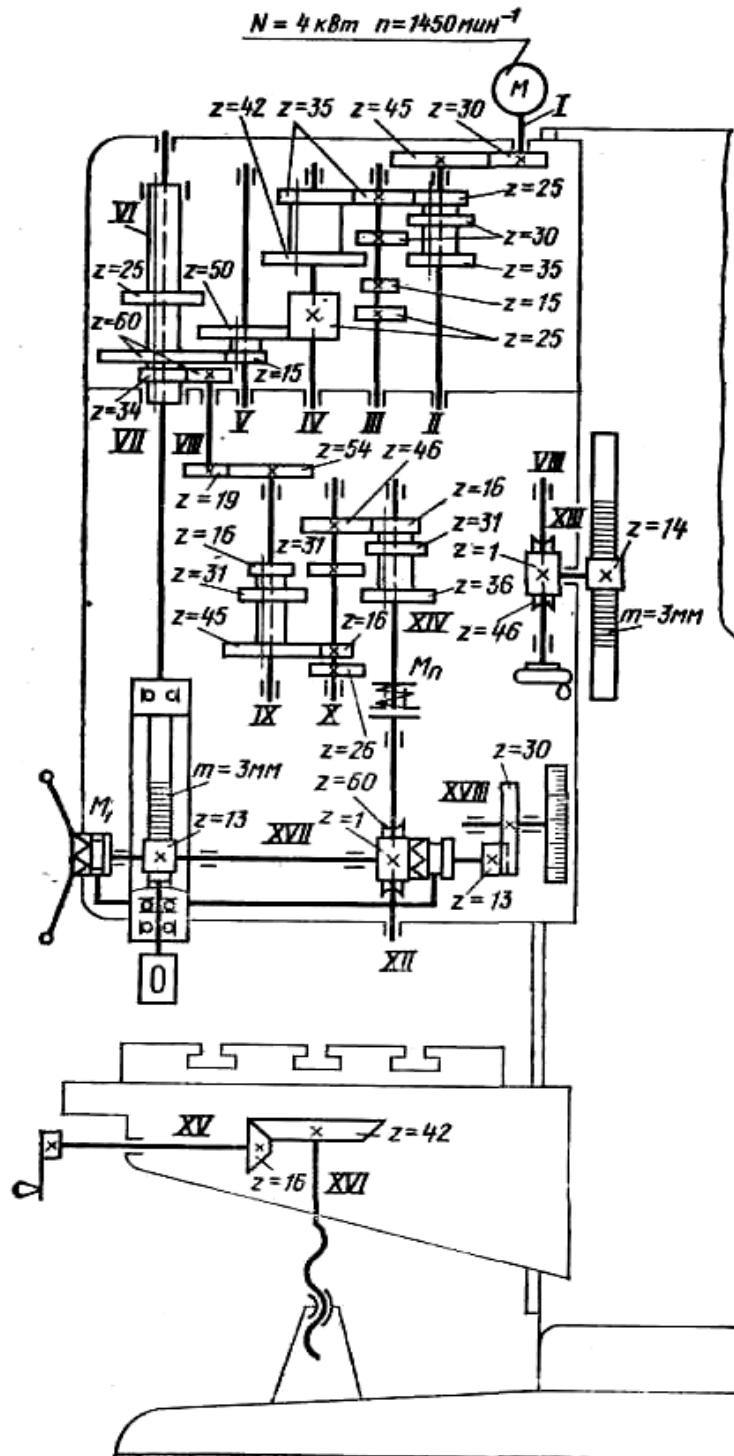


Рис. 3.14. Кинематическая схема вертикально-сверлильного станка модели 2Н135

Внешняя связь – развитая кинематическая цепь, включающая орган настройки i_s (коробку подач):

$$\begin{aligned}
 & M \rightarrow i_v \rightarrow 34/60 \rightarrow 19/54 \rightarrow [16/46 \text{ или } 31/31 \text{ или } 45/16] \rightarrow \\
 & \rightarrow [46/16 \text{ или } 31/31 \text{ или } 36/26] \rightarrow 1/60 \rightarrow ТВ \text{ (реечная передача)} \rightarrow \\
 & \rightarrow \text{гильза шпинделя (II}_2\text{)}.
 \end{aligned}$$

Группа настраивается на скорость – коробкой подач (i_s); на путь и исходное положение – по лимбу).

Расчетная цепь для подач не совпадает с внешней связью группы, так как подача задается в мм за 1 оборот шпинделя. Поэтому РП имеют вид:

s мм перемещения шпинделя ($П_2$) \rightarrow 1 об. шпинделя ($В_1$).

УКЦ для минимальной подачи:

$$s_1 = 1 \cdot \frac{34}{60} \cdot \frac{19}{54} \cdot \frac{16}{46} \cdot \frac{26}{36} \cdot \frac{1}{60} \cdot \pi \cdot (m = 3) \cdot 13 = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Управление подачей осуществляется механизмом управления (рис. 3.15), расположенным в коробке подач. При механической подаче червяк 18 передает вращение свободно установленному на валу 4 червячному колесу 17 с зубчатым диском 16, который через диск 15 и собачки 14, установленные в ступице 8, передает вращение реечной шестерне, перемещающей гильзу шпинделя. При вращении штурвала 7 с включенной подачей собачки, установленные в ступице, свободно проскакивают по зубьям внутренней стороны диска 15. Выключение подачи осуществляется поворотом штурвала в обратную сторону. В этом случае зуб полумуфты 13 встанет против впадины ступицы и благодаря наклону зубьев дисков 15, 16 и пружины 9 ступица смещается вправо и разъединяет диски 15 и 16.

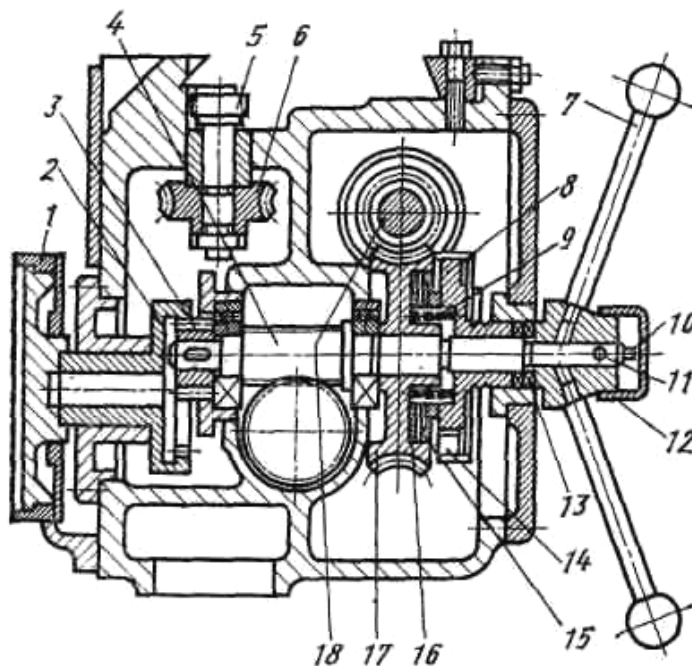


Рис. 3.15. Механизм управления подач

При сверлении вручную выключают механическую подачу, затем перемещают стакан 12 вдоль оси вращения штурвала влево. Этот стакан через квадратный выступ 10 передает крутящий момент от полумуфты 13 на вал 4, связанный с ней штифтом 11. Для отсчета глубины сверления

(параметр путь) служит лимб *1*. Он установлен на барабане, который через зубчатые колеса *2* и *3* связан с валом *4*.

В станке предусмотрены две простые вспомогательные группы $Vc(\Pi_3)$ и $Vc(\Pi_4)$ для ручного установочного перемещения по вертикальным направляющим колонны соответственно шпиндельной бабки и стола.

Для одновременного сверления нескольких отверстий с целью снижения времени обработки сверлильные станки оснащают многошпиндельными сверлильными головками (рис. 3.16).

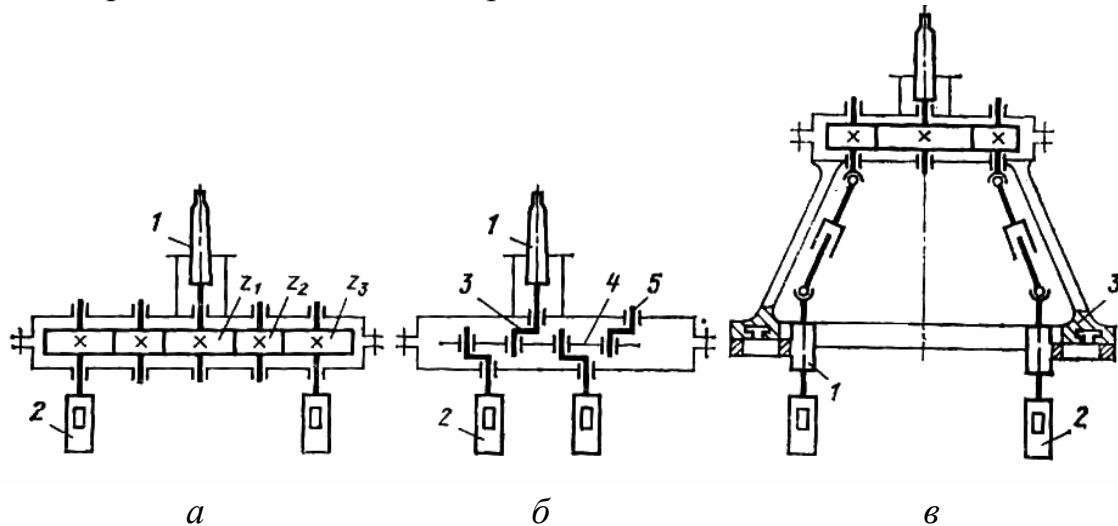


Рис. 3.16. Многошпиндельные сверлильные головки

На рис. 3. 16, *а* приведена схема сверлильной головки с постоянным расположением шпинделей. Вращение от шпинделя станка через конус *1* и центральное зубчатое колесо z_1 передается через промежуточные зубчатые колеса z_2 на колеса z_3 , закрепленные на шпинделях *2*. Промежуточные колеса обеспечивают одновременное вращение шпинделя станка и шпинделей головки.

Схема бесшестеренной сверлильной головки показана на рис. 3.16, *б*. Конус *1* головки снабжен кривошипом *3*, который соединен с поводковой плитой *4*, поддерживаемой кривошипом *5*. Рабочие шпиндели *2* с кривошипами такого же радиуса соединены с поводковой плитой. Вращение от шпинделя станка через конус *1* передается на кривошип, который сообщает поводковой плите поступательное движение с круговой траекторией. От поводковой плиты приводятся во вращение с одинаковой частотой шпиндели *2*.

Для обработки деталей с различным числом и расположением отверстий применяют многошпиндельные головки с переставными шпинделями (рис. 3.16, *в*). Рабочие шпиндели *2* размещены в ползунах *1*, которые можно перемещать в радиальном направлении и по окружности относительно опорной плоскости корпуса *3*.

Радиально-сверлильный станок модели 2М55. Применяется при обработке крупногабаритных деталей с относительно большим количеством отверстий. При обработке деталь остается неподвижной на столе станка, а шпиндель с инструментом перемещается относительно детали и устанавливается в требуемое положение.

Техническая характеристика. Наибольший, условный диаметр сверления 50 мм; вылет шпинделя от образующей колонны в пределах 375 – 1600 мм; число частот вращения шпинделя 21; пределы частот вращения шпинделя 20 – 2000 мин⁻¹; число подач 12; пределы подач 0,056 – 2,5 мм/об.

Кинематическая структура станка (рис. 3.17) состоит из следующих групп: скорости резания $\Phi_v(B_1)$, вертикальной подачи $\Phi_s(\Pi_2)$, горизонтального, установочного перемещения шпиндельной бабки $Vc(\Pi_3)$, вертикального, установочного перемещения консоли $Vc(\Pi_4)$.

Группа $\Phi_v(B_1)$ воспроизводит образующую. Ее внутренняя связь:

подшипниковые опоры гильзы → шпиндель (B_1).

Внешняя связь – кинематическая цепь, выполненная в виде коробки скоростей (орган настройки i_v):

$M_1 \rightarrow 33/39 \rightarrow$ *фрикционная муфта M_1 → двойной блок зубчатых колес $B_1 \rightarrow$ тройной блок $B_2 \rightarrow$ двойной блок $B_3 \rightarrow$ двойной блок $B_4 \rightarrow$ → шлицевое соединение блок B_4 – шпиндель (B_1).*

Группа настраивается на скорость – коробкой скоростей (блоки $B_1 - B_4$), на направление – фрикционной муфтой M_1 . Коробка скоростей обеспечивает 24 теоретических и 21 практических значений частот вращения шпинделя.

Расчетная цепь для органа настройки i_v совпадает с внешней связью. Поэтому РП имеют вид:

n_m мин⁻¹ *электродвигателя → $n_{ш}$ мин⁻¹ шпинделя (B_1).*

УКЦ для максимальной частоты вращения шпинделя:

$$n_{21} = 1450 \cdot \frac{33}{39} \cdot \frac{33}{35} \cdot \frac{29}{37} \cdot \frac{37}{28} \cdot \frac{48}{30} = 2000 \text{ мин}^{-1}.$$

При переключении муфты M_1 происходит реверс шпинделя. В этом случае при передаче движения на шпиндель блок B_1 не используется. Тогда УКЦ для максимальной частоты вращения шпинделя при реверсе имеет вид:

$$n_{21} = 1450 \cdot \frac{33}{39} \cdot \frac{34}{26} \cdot \frac{26}{29} \cdot \frac{29}{37} \cdot \frac{37}{28} \cdot \frac{48}{30} = 2380 \text{ мин}^{-1}.$$

Блок B_4 можно установить в положение, при котором оба его колеса выведены из зацепления. Тогда шпиндель можно проворачивать вручную.

Группа $\Phi_s(\Pi_2)$ воспроизводит направляющую. Ее внутренняя связь:

корпус шпиндельной бабки → гильза шпинделя (Π_2).

Внешняя связь – развитая кинематическая цепь, включающая коробку подач (орган настройки i_s):

$M \rightarrow i_v \rightarrow 33/54 \rightarrow$ коробка подач (блоки B_5, B_6 , муфта M_3 переборного блока B_7) $\rightarrow 2/58 \rightarrow$ ТВ (реечная передача) \rightarrow гильза шпинделя (Π_2):

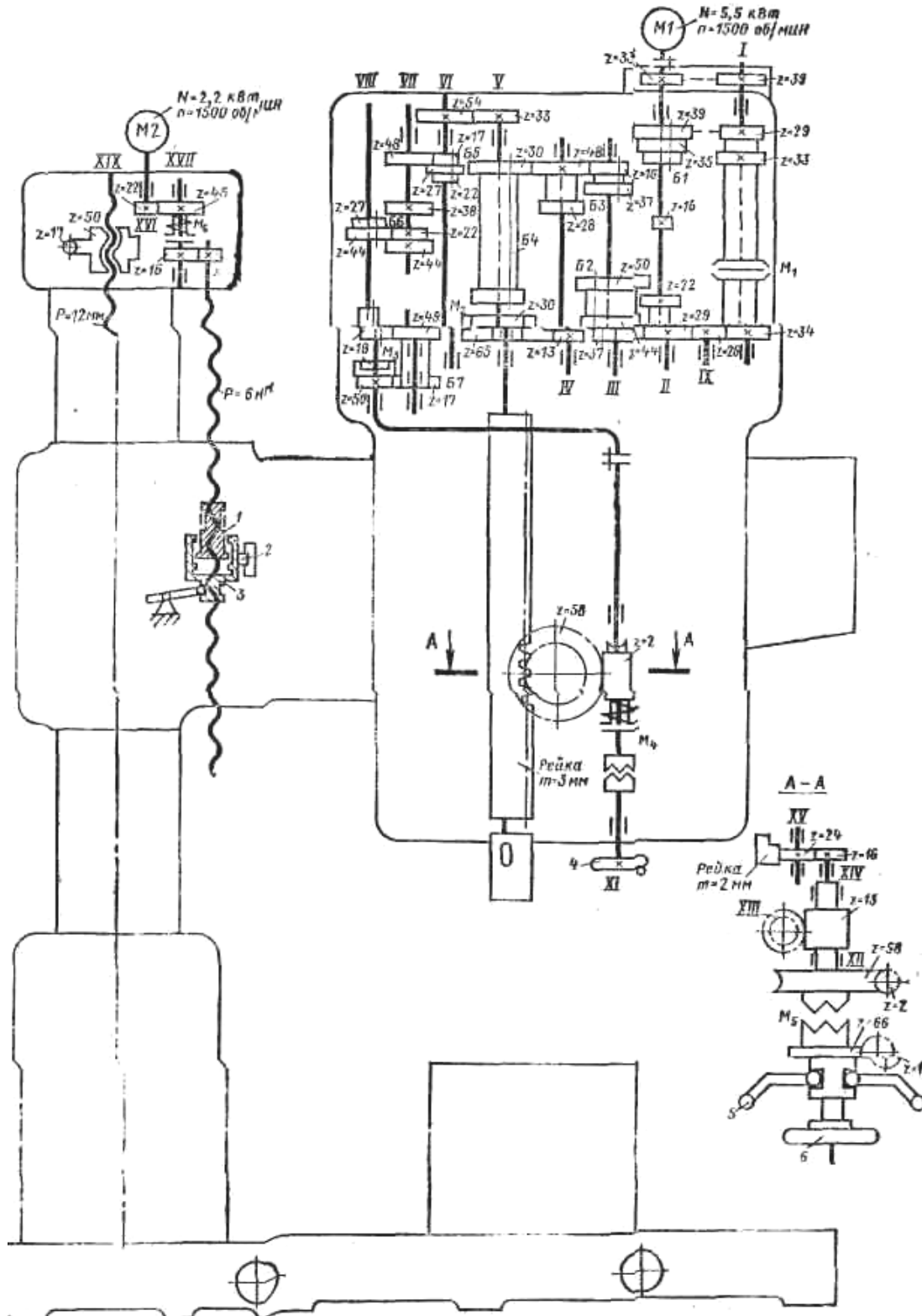


Рис. 3.17. Кинематическая схема радиально-сверлильного станка модели 2М55

Группа настраивается на скорость – коробкой подач (i_s); на путь и исходное положение – по лимбу.

Расчетная цепь для подач не совпадает с внешней связью группы, так как подача задается в мм за 1 оборот шпинделя. Поэтому РП имеют вид:

s перемещения шпинделя ($П_2$) (мм) \rightarrow 1 обороту шпинделя ($В_1$).

УКЦ для минимальной подачи:

$$s_1 = 1 \cdot \frac{33}{54} \cdot \frac{17}{48} \cdot \frac{22}{44} \cdot \frac{18}{49} \cdot \frac{17}{50} \cdot \frac{2}{58} \cdot \pi \cdot (m=3) \cdot 13 = 0,056 \text{ мм/об.}$$

Для получения максимальной подачи включают муфту M_3 , тогда:

$$s_{12} = 1 \cdot \frac{33}{54} \cdot \frac{27}{38} \cdot \frac{38}{27} \cdot M_3 \cdot \frac{2}{58} \cdot \pi \cdot (m=3) \cdot 13 = 2,5 \text{ мм/об.}$$

Специальная (предохранительная) муфта M_4 срабатывает при перегрузке цепи подач или работе на жестком упоре, размыкает цепь тонкой ручной подачи при включении механической подачи и включает тонкую ручную подачу при срабатывании перегрузочного устройства. Тонкая ручная подача осуществляется вращением маховика 4. В положении штурвала 5 «от себя» муфта M_5 включается и шпинделю сообщается механическая или тонкая ручная подача. В положении штурвала «на себя» шпинделю можно сообщить грубую ручную подачу. Тонкую настройку на глубину резания осуществляют по лимбу через червячную передачу 1/66.

Вспомогательная группа $Вс(П_3)$ используется для ручного горизонтального, установочного перемещения шпиндельной бабки. Ее внутренняя связь:

направляющие консоли \rightarrow шпиндельная бабка ($П_3$).

Внешняя связь:

маховик \rightarrow зубчатое колесо 16 \rightarrow накидное колеса 24, соединенное с зубчатой рейкой $m = 2$, неподвижно закрепленной на консоли \rightarrow шпиндельная бабка ($П_3$).

Скорость перемещения шпиндельной бабки зависит от скорости ручного вращения маховика, направление перемещения – от направления вращения маховика.

Группа $Вс(П_4)$ используется для вертикального, установочного перемещения консоли. Ее внутренняя связь:

вертикальная колонна \rightarrow консоль ($П_4$).

Внешняя связь:

$M_2 \rightarrow 22/45 \rightarrow$ муфта $M_6 \rightarrow 16/48 \rightarrow$ тяговый вал \rightarrow консоль ($П_4$).

Скорость вертикального перемещения консоли определяется по УКЦ:

$$s_g = 1500 \cdot \frac{22}{45} \cdot \frac{16}{48} \cdot 0,005 = 1,2 \text{ м/мин.}$$

Направление перемещения консоли обеспечивается реверсированием электродвигателя. Другие параметры настройки – путь и исходное положение – задаются по упору. Муфта M_6 предохраняет привод механизма подъема от перегрузки.

На ходовом винте тягового вала имеются две гайки: гайка подъема 1 и гайка зажима 3 . При вращении ходового винта вначале гайка 1 будет вращаться свободно, а гайка 3 будет перемещаться вверх по винту, освобождая зажимное устройство консоли. При дальнейшем движении торцовые зубья гайки 3 войдут в зацепление с зубьями гайки 1 , вследствие этого вращение гайки 1 прекратится, и она начнет перемещаться вверх или вниз, в зависимости от направления вращения электродвигателя, вместе с консолью. При достижении гайкой нужной высоты электродвигатель изменит направление вращения, гайка зажима 3 будет двигаться в противоположном направлении, выйдет из зацепления с гайкой 1 , дойдет до нейтрального положения и зажмет консоль через систему рычагов.

3.2.2. Расточные станки

В группе расточных станков наиболее распространены горизонтально-расточные и координатно-расточные станки. На рис. 3.18 приведена современная компоновка этих станков.

Горизонтально-расточный станок (рис. 3.18, *a*) содержит станину 2 , имеющую коробчатую форму и внутренние ребра жесткости, на которой справа установлена стойка 3 . По вертикальным направляющим стойки перемещается уравновешенная шпиндельная бабка 4 , в которой размещены механизм главного движения, механизм перемещения выдвижного шпинделя 6 , механизм вращения планшайбы 5 , механизм радиального перемещения суппорта 7 по пазу планшайбы. На горизонтальных направляющих станины 2 установлен стол 8 с зажимным устройством для фиксации положения салазок в продольном направлении. На поперечных направляющих установлен верхний суппорт 9 с поворотным столом 10 и зажимные устройства. В правой нижней части станины установлен привод подачи 1 станка. На станине установлена задняя стойка 11 с люнетом 12 , который перемещается по вертикальным направляющим задней стойки вместе со шпиндельной бабкой.

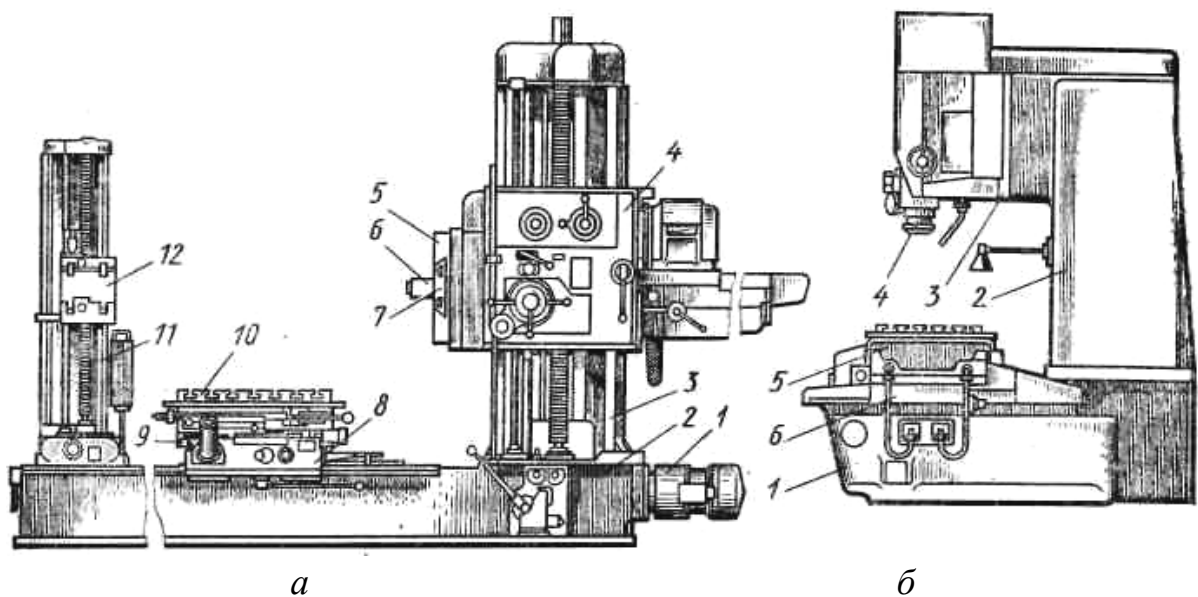


Рис. 3.18. Расточные станки

Координатно-расточные станки по компоновке выполняют одностоечными и двухстоечными. Одностоечный станок содержит станину 1 с установленной на ней вертикальной стойкой 2 коробчатого сечения с V-образными направляющими. На направляющих стойки установлена уравновешенная грузом шпиндельная бабка 3, в которой размещены коробки скоростей и подач шпинделя 4. На направляющих станины установлены салазки 6, по которым в продольном направлении перемещается стол 5. На станине смонтированы приводы продольного и поперечного перемещения стола и салазок.

Координатно-расточные станки предназначены для обработки отверстий с высокой точностью и их взаимным расположением относительно базовых поверхностей в корпусных деталях, кондукторных плитах, штампах. На этих станках можно также производить разметочные операции. Точность линейных перемещений 2 – 8 мкм, угловых – до 5 мин. Станки необходимо устанавливать в термokonстантных помещениях с температурой воздуха $20 \pm 0,2$ °С.

Для точного отсчета координатных перемещений координатно-расточные станки снабжены различными механическими, оптико-механическими и электронными устройствами отсчета.

Универсальный горизонтально-расточный станок модели 2620В. Предназначен для обработки корпусных деталей. На станке производят растачивание, сверление, зенкерование и развертывание отверстий, прямую и обратную подрезку торцов, обрабатывают наружные и внутренние выточки, канавки, конусы, нарезают наружную и внутреннюю резьбы.

Техническая характеристика. Диаметр выдвижного шпинделя – 90 мм; размеры стола – 1120 × 1300 мм. Наибольшее перемещение стола: продольное – 1090 мм, поперечное – 1000 мм. Наибольшее вертикальное перемещение шпиндельной бабки – 1000 мм. Наибольшее осевое перемещение выдвижного шпинделя – 710 мм. Пределы частот вращения: шпинделя 12 – 2000 мин⁻¹, планшайбы 8 – 200 мин⁻¹. Пределы осевой подачи шпинделя 2,2 – 1760 мм/мин. Пределы вертикальной подачи шпиндельной бабки и подачи стола 1,4 – 1110 мм/мин.

Кинематическая структура станка (рис. 3.19) включает следующие простые группы: скорости резания $\Phi_v(B_1)$, осевой подачи выдвижного шпинделя $\Phi_{s1}(П_2)$, вертикального перемещения шпиндельной бабки и люнета $\Phi_{s2}(П_3)$, продольной подачи стола $\Phi_{s3}(П_4)$, поперечной подачи стола $\Phi_{s4}(П_5)$, подачи поворота стола $\Phi_{s5}(B_6)$, радиальной подачи суппорта планшайбы $\Phi_{s6}(П_7)$. В структуру станка входит также винторезная группа $\Phi_v(B_1 П_8)$.

Движение скорости резания сообщается шпинделю 3, несущему планшайбу 5. При этом полый вал VII планшайбы установлен в шпиндельной бабке 6 на подшипниковых опорах. В полом валу на подшипниках установлена гильза VI, в шлицевом отверстии которой смонтирован с возможностью осевого перемещения шпиндель 3. Поэтому группу $\Phi_v(B_1)$ можно рассматривать состоящей из двух простых групп $\Phi_{v1}(B_1)$ и $\Phi_{v2}(B_1)$, имеющих общий участок внешней связи от электродвигателя M_1 до вала IV.

Группа $\Phi_{v1}(B_1)$. Ее внутренняя связь имеет вид:

подшипниковые опоры полого вала VII → гильза VI со шпинделем 3 (B₁).

Внешняя связь – кинематическая цепь, выполненная в виде коробки частот вращения (орган настройки i_{v1}):

$$M_1 \rightarrow (18/77 \text{ или } 22/68 \text{ или } 26/64) \rightarrow (19/60 \text{ или } 44/35) \rightarrow \\ \rightarrow (19/61 \text{ или } 60/48) \rightarrow (30/86 \text{ или } 47/41) \rightarrow \text{шпиндель 3 (B}_1\text{)}.$$

Группа настраивается на скорость – коробкой скоростей (орган настройки i_v), на направление – реверсированием электродвигателя M_1 .

Расчетная цепь для органа настройки i_v совпадает с внешней связью. Поэтому РП имеют вид:

$$n_{m1} \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя} \rightarrow n_{ш} \text{ мин}^{-1} \text{ шпинделя (B}_1\text{)}.$$

УКЦ для минимальной и максимальной частот вращения шпинделя:

$$n_1 = 1440 \cdot \frac{18}{72} \cdot \frac{19}{60} \cdot \frac{19}{61} \cdot \frac{30}{86} = 12 \text{ мин}^{-1}, \\ n_{24} = 2880 \cdot \frac{26}{64} \cdot \frac{44}{35} \cdot \frac{60}{48} \cdot \frac{47}{41} = 2000 \text{ мин}^{-1}.$$

Группа $\Phi_{v2}(B_1)$. Ее внутренняя связь имеет вид:
подшипниковые опоры шпиндельной бабки → вал VII планшайбы 5 (B_1).

Внешняя связь – кинематическая цепь, выполненная в виде коробки частот вращения (орган настройки i_{v2}):

$M_1 \rightarrow (18/77 \text{ или } 22/68 \text{ или } 26/64) \rightarrow (19/60 \text{ или } 44/35) \rightarrow (19/61 \text{ или } 60/48) \rightarrow \text{муфта } M_1 \rightarrow 21/92 \rightarrow \text{вал VII планшайбы 5 } (B_1)$.

Группа настраивается на скорость – органом настройки i_v , на направление – реверсированием электродвигателя M_1 .

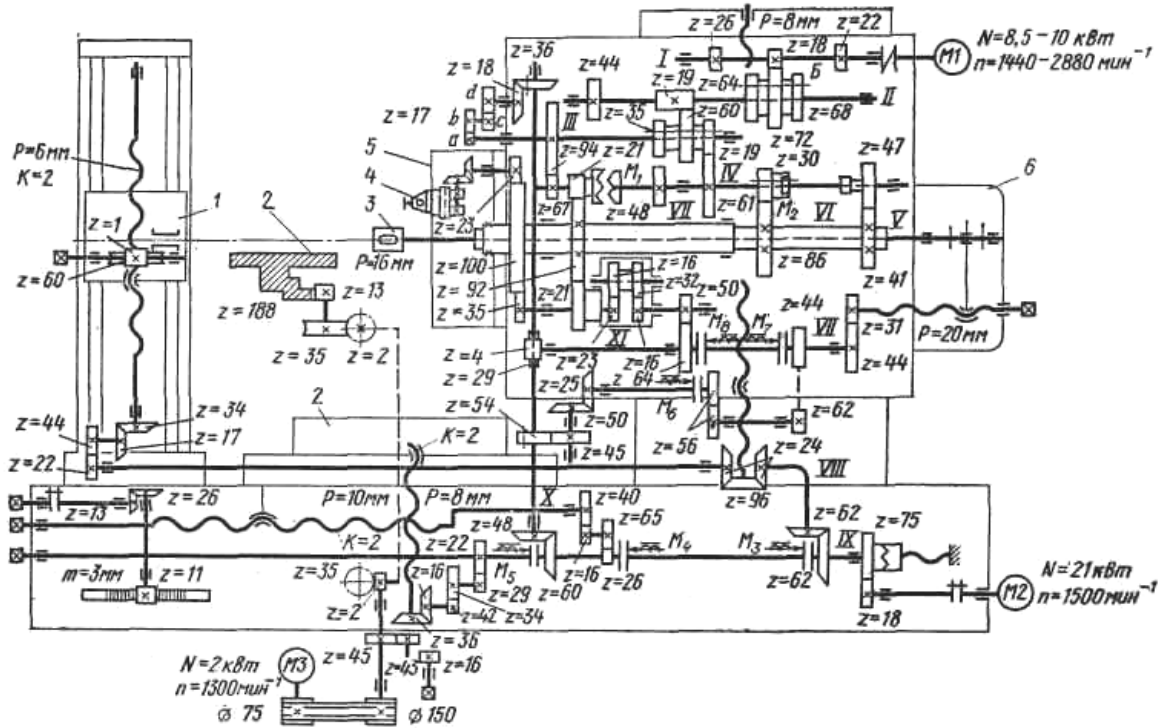


Рис. 3.19. Кинематическая схема горизонтально-расточного станка модели 2620В

Расчетная цепь для органа настройки i_v совпадает с внешней связью. Поэтому РП имеют вид:

$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя} \rightarrow n_{пл} \text{ мин}^{-1} \text{ планшайбы } (B_1)$.

УКЦ для минимальной и максимальной частот вращения планшайбы:

$$n_1 = 1440 \cdot \frac{18}{72} \cdot \frac{19}{60} \cdot \frac{19}{61} \cdot \frac{21}{92} = 8 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_{12} = 2880 \cdot \frac{26}{64} \cdot \frac{44}{35} \cdot \frac{60}{48} \cdot \frac{21}{92} = 200 \text{ мин}^{-1}.$$

Группа $\Phi_{s1}(П_2)$ осевой подачи выдвигного шпинделя 3 используется при растачивании отверстий. Ее внутренняя связь – поступательная пара:
шлицевая гильза VI → шпиндель 3 ($П_2$).

Внешняя связь – кинематическая цепь, связывающая регулируемый электродвигатель M_2 постоянного тока с TB (шаг 20 мм) шпинделя:

$M_2 \rightarrow \text{муфта } M_5 \rightarrow 60/48 \rightarrow 4/29 \rightarrow 44/31 \rightarrow TB \rightarrow \text{шпиндель } (П_2)$.

Группа настраивается на скорость и направление – соответственно изменением круговой частоты и направления вращения электродвигателя, на путь и исходное положение – по упорам (лимбу).

РП для определения подачи шпинделя:

n_{M_2} электродвигателя M_2 (мин^{-1}) $\rightarrow s_{ш}$ шпинделя ($П_2$) (мм/мин).

Наибольшая подача шпинделя (УКЦ):

$$s_{ш} = 1500 \cdot \frac{18}{75} \cdot \frac{60}{48} \cdot \frac{4}{29} \cdot \frac{44}{31} \cdot (t_{TB} = 20) = 1760 \text{ мм/мин.}$$

Группа $\Phi_{s2}(П_3)$ вертикального перемещения шпиндельной бабки 6 и люнета 1. Ее внутренняя связь:

*вертикальные направляющие передней и задней стоек \rightarrow
 \rightarrow шпиндельная бабка 6 ($П_3$) и люнет 1 ($П_3$).*

Внешняя связь – две параллельные, равнозначные кинематические цепи, имеющие общий участок от электродвигателя M_2 до вала VIII:

$M_2 \rightarrow \text{муфта } M_3 \rightarrow 18/75 \rightarrow 62/62 \rightarrow 24/96 \rightarrow TB$ (двухзаходный ходовой винт с шагом 8 мм) \rightarrow шпиндельная бабка ($П_3$) и $24/96 \rightarrow 96/24 \rightarrow 22/44 \rightarrow$
 $\rightarrow 17/34 TB$ (двухзаходный ходовой винт с шагом 8 мм) \rightarrow люнет ($П_3$)

Скорость вертикального перемещения исполнительных органов группы задается посредством изменения круговой частоты электродвигателя, а направление перемещения – реверсированием электродвигателя. Величина перемещения задается по упорам.

Группа $\Phi_{s3}(П_4)$ продольной подачи стола 2. Внутренняя связь группы:

направляющие станины \rightarrow продольный стол 2 ($П_4$).

Внешняя связь:

$M_2 \rightarrow 18/75 \rightarrow \text{муфты } M_3 \text{ и } M_4 \rightarrow 26/65 \rightarrow 16/40 \rightarrow$
 $\rightarrow TB$ (двухзаходный ходовой винт с шагом 10 мм) \rightarrow стол 2 ($П_4$).

Продольная подача стола задается посредством изменения круговой частоты электродвигателя, а направление перемещения – реверсированием электродвигателя. Величина перемещения задается по упорам.

Группа $\Phi_{s4}(П_5)$ поперечной подачи стола. Внутренняя связь группы:

направляющие продольного стола 2 \rightarrow поперечный стол ($П_5$).

Внешняя связь:

$M_2 \rightarrow 18/75 \rightarrow \text{муфты } M_3 \text{ и } M_4 \rightarrow 22/29 \rightarrow 34/42 \rightarrow 16/32 \rightarrow$
 $\rightarrow TB$ (двухзаходный ходовой винт с шагом 8 мм) \rightarrow поперечный стол ($П_5$).

Параметры поперечной подачи стола задаются так же, как параметры продольной подачи стола.

Ненастраиваемая группа $\Phi_{s5}(П_6)$ подачи поворота стола. Внутренняя связь:

круговые направляющие → стол (B_6).

Внешняя связь:

$M_3 \rightarrow 75/150 \rightarrow 2/35 \rightarrow 13/188 \rightarrow$ стол (B_6).

Частота вращения стола равна:

$$1300 \cdot \frac{75}{150} \cdot \frac{2}{35} \cdot \frac{13}{188} = 3,8 \text{ мин}^{-1}.$$

Группа $\Phi_{s6}(П_7)$ радиальной подачи суппорта 4 планшайбы 5. Внутренняя связь группы:

радиальные направляющие на планшайбе 5 → суппорт 4.

Внешняя связь – кинематическая цепь:

$M_2 \rightarrow 18/75 \rightarrow$ муфта $M_5 \rightarrow 60/48 \rightarrow 4/29 \rightarrow$ муфта $M_8 \rightarrow$
 $\rightarrow 64/50 \rightarrow 16/32 \rightarrow 16/23 \rightarrow 35/100 \rightarrow 100/23 \rightarrow 17/17 \rightarrow$
 \rightarrow ТВ (передача винт-гайка, шаг 16 мм) → суппорт 4 ($П_7$).

Параметры радиальной подачи суппорта 4 задаются так же, как параметры продольной и поперечной подачи стола 2. Радиальную подачу суппорта можно осуществлять как при вращающейся, так и при невращающейся планшайбе.

Сложная винторезная группа $\Phi_v(B_1 П_8)$ используется для нарезания наружной и внутренней резьбы резцом. Для этого на шпиндель 3 устанавливают приспособление с резьбовым резцом. Внутренняя связь группы – кинематическая цепь

шпиндель (B_1) → (86/30 или 41/47) → 67/94 → ($i_x = a/b \cdot c/d$) → 18/36 →
 $\rightarrow 4/29 \rightarrow 44/31 \rightarrow$ ТВ (ходовой винт, шаг 20 мм) → *шпиндель 3 ($П_8$)*.

Внешняя связь – кинематическая цепь, связывающая электродвигатель M_1 со звеном соединения связей – шлицевой гильзой IV:

$M_1 \rightarrow (18/77 \text{ или } 22/68 \text{ или } 26/64) \rightarrow (19/60 \text{ или } 44/35) \rightarrow$
 $\rightarrow (19/61 \text{ или } 60/48) \rightarrow$ *шлицевая гильза IV*.

Группа настраивается на траекторию – гитарой ($i_x = a/b \cdot c/d$), на скорость – коробкой частот вращения шпинделя; на направление – реверсом, совмещенном с гитарой i_x ; на путь и исходное положение – по лимбу.

Гитара i_x . Расчетная цепь совпадает с внутренней связью группы. Поэтому РП:

1 оборот шпинделя (B_1) → t осевого перемещения шпинделя ($П_8$) (мм).

УКЦ:

$$t = 1 \cdot \left(\frac{86}{30} \text{ или } \frac{41}{47} \right) \cdot \frac{67}{94} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{4}{29} \cdot \frac{44}{31} \cdot 20.$$

ФН:

$$i_{x1} = \frac{t}{4}; \quad i_{x2} = \frac{t}{1,22}.$$

Все виды подач можно также осуществлять вручную посредством рукояток, устанавливаемых на квадраты, выполненные на концах тяговых валов.

Координатно-расточный станок модели 2Д450АМФ2. На станке производят практически все виды сверлильных и расточных работ. При работе по программе предусмотрены следующие режимы: автоматический, полуавтоматический и ввод информации вручную.

Техническая характеристика. Наибольший диаметр сверления – 30 мм; наибольший диаметр расточки – 200 мм. Наибольшее продольное перемещение стола – 1000 мм; поперечное – 630 мм. Точность установки координат вручную – 0,006 мм; по программе – 0,01 мм. Пределы частот вращения шпинделя – 32 – 2000 мин⁻¹; пределы рабочих подач шпинделя $2 = 250$ мм/мин.

Кинематическая структура станка (рис. 3.20) состоит из следующих групп: скорости резания (круговой частоты вращения шпинделя) $\Phi_v(B_1)$, вертикальной подачи шпинделя $\Phi_{s1}(П_2)$, продольной подачи стола $\Phi_{s2}(П_3)$, поперечной подачи стола $\Phi_{s3}(П_4)$.

Группа скорости резания $\Phi_v(B_1)$. Внутренняя связь:

гильза 4 → шпиндель 1 (B₁).

Внешняя связь:

*М1 → 166/182 → 33/70 → двойной блок 3
зубчатых колес (70/40 или 19/55) → шпиндель (B₁).*

Группа настраивается на скорость – изменением круговой частоты регулируемого электродвигателя М1 постоянного тока и двойным блоком зубчатых колес (70/40 или 19/55). Двойной блок используется для расширения бесступенчатого диапазона регулирования круговой частоты шпинделя. Переключение ступеней двойного блока 3 по программе осуществляется эксцентриком 2, получающим вращение от электродвигателя М2 через передачу 20/30. Входной вал двойного блока обеспечивает также вращение шестеренного насоса для подачи смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания.

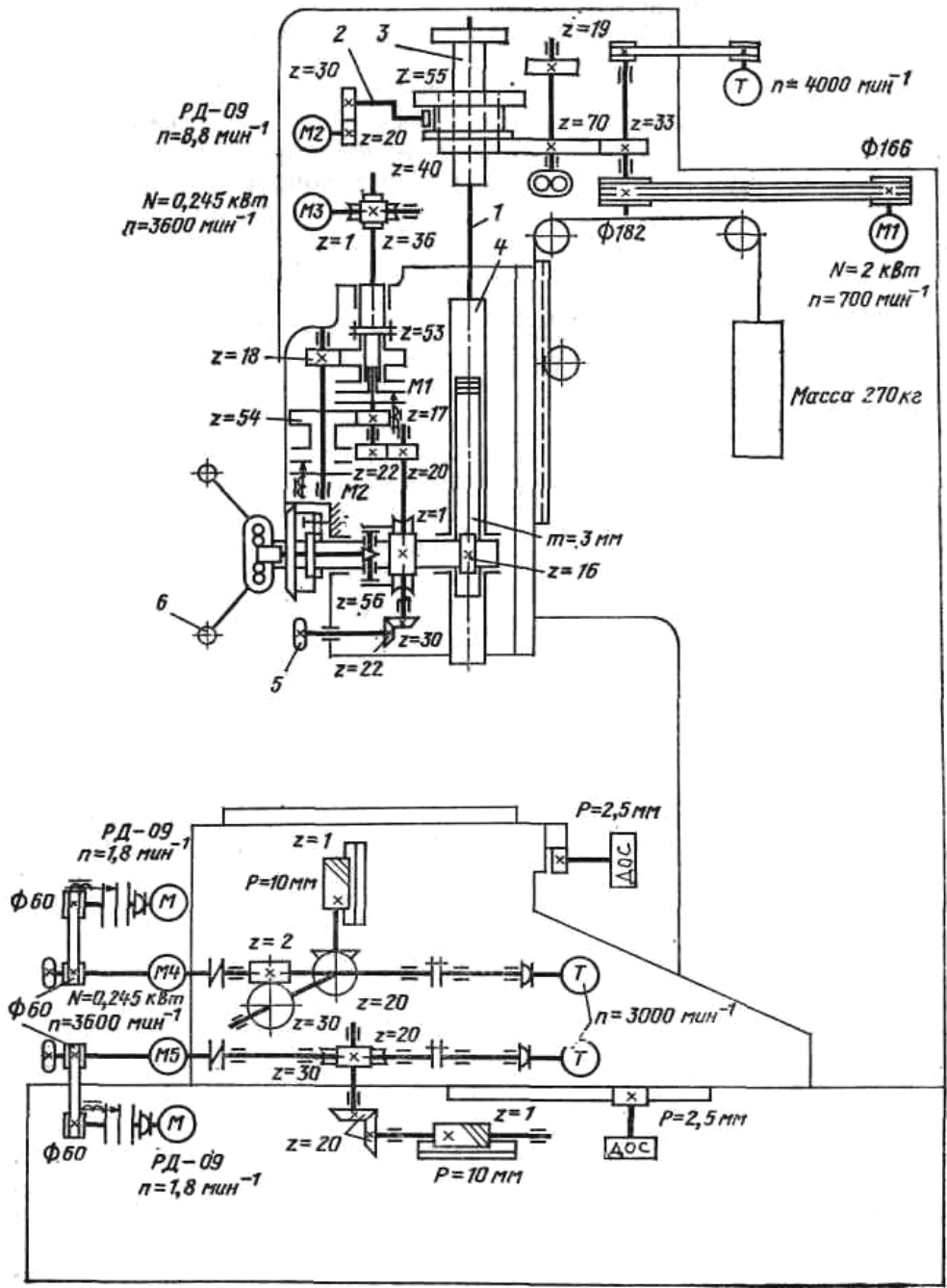


Рис. 3.20. Кинематическая схема координатно-расточного станка модели 2Д45АМФ2

В схеме управления электродвигателя $M1$ в качестве датчика обратной связи используется тахогенератор T , получающий вращательное движение через ременную передачу от входного вала привода круговой частоты. Группа вертикальной подачи шпинделя $\Phi_{s1}(II_2)$. Внутренняя связь: направляющие вертикальной стойки \rightarrow гильза 4 шпинделя (II_2).

Внешняя связь имеет две параллельные ветви: одну для рабочих подач, а другую – для ускоренных, включаемых муфтами соответственно M_1 и M_2 .

Внешняя связь рабочих подач имеет вид:

$M3 \rightarrow 1/36 \rightarrow \text{муфта } M_1 \rightarrow 22/20 \rightarrow 1/56 \rightarrow TB \text{ (зубчато-реечная передача колесо 16-рейка гильзы 4)} \rightarrow \text{гильза } (П_2).$

Движение рабочих подач настраивается на скорость – изменением круговой частоты электродвигателя $M3$ постоянного тока; на направление – реверсированием электродвигателя.

УКЦ рабочих вертикальных подач шпинделя имеет вид:

$$s_6 = n_{M3} \cdot 1/36 \cdot 22/20 \cdot 1/56 \cdot \pi t z \text{ мм/мин.}$$

Внешняя связь ускоренных подач имеет вид:

$M3 \rightarrow 1/36 \rightarrow \text{муфта } M_2 \rightarrow 53/18 \rightarrow 54/17 \rightarrow 22/20 \rightarrow 1/56 \rightarrow TB \text{ (зубчато-реечная передача колесо 16-рейка гильзы 4)} \rightarrow \text{гильза } (П_2).$

УКЦ ускоренных вертикальных подач имеет вид:

$$s_{6, \text{уск.}} = n_{M3} \cdot 1/36 \cdot 53/18 \cdot 54/17 \cdot 22/20 \cdot 1/56 \cdot \pi t z \text{ мм/мин.}$$

Медленное ручное перемещение шпинделя осуществляют вращением маховика 5, а ускоренное – рукояткой 6.

Группы $\Phi_{s2}(П_3)$ и $\Phi_{s3}(П_4)$ соответственно продольной и поперечной подач стола, используемые при фрезеровании и позиционировании при установке координат, выполнены одинаково. Это упрощает систему управления и обслуживания станка. Поэтому рассмотрим только одну из этих групп.

Группа продольной подачи стола. $\Phi_{s2}(П_3)$. Внутренняя связь:

направляющие станины \rightarrow продольный стол $(П_3)$.

Внешняя связь, кинематическая цепь, связывающая управляемый электродвигатель постоянного тока $M5$ с продольным столом, являющимся звеном соединения связей:

$M5 \rightarrow 2/30 \rightarrow 20/20 \rightarrow TB \text{ (червячно-реечная передача с однозаходным червяком, шаг 10 мм)} \rightarrow \text{продольный стол } (П_3).$

Группа настраивается на скорость (рабочую и ускоренную подачи) и направление – изменением круговой частоты электродвигателя и его реверсированием; на путь и исходное положение – по программе.

Ротор электродвигателя соединен посредством ременной передачи с реактивным электродвигателем РД – 09. Эта связь для повышения точности позиционирования включается по программе посредством электромагнитной муфты в периоды разгона и торможения движения стола.

УКЦ продольных подач и ускоренных перемещений имеет вид:

$$s_{\text{прод.}} = n_{M5} \cdot 2/30 \cdot 20/20 \cdot (t_{TB} = 10).$$

Контроль пути перемещения стола осуществляется датчиком обратной связи (ДОС), преобразующим перемещение в импульсный сигнал. Этот сигнал подается в блок сравнения системы управления для коррекции сигнала управления движением.

Оснастка станка включает центроискатель, например, с индикатором, установочный центр, патроны, поворотный делительный стол.

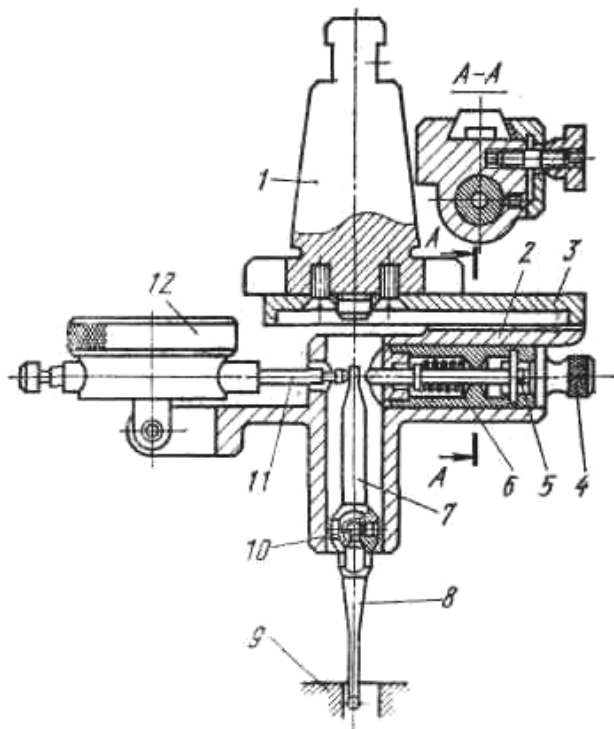


Рис. 3.21. Центроискатель

На рис. 3.21 показан центроискатель с индикатором, используемый для совмещения центра отверстия или цилиндрического буртика детали с осью шпинделя станка. К коническому хвостовику 1 центроискателя, устанавливаемого в шпиндель, прикреплен линейка 3, в направляющих которой перемещается корпус 2, несущий индикатор 12, щуп 8 с рычагом 7 и шток 5 с пружиной 6. При совмещении центра отверстия щуп 8 прижимает к цилиндрической поверхности 9 силой пружины индикатора через измерительный наконечник 11 и рычаг, качающийся на оси 10. При выверке наружных поверхностей щуп прижимают к поверхности силой пружины 6 через шток 5 и рычаг 7, для чего поворачивают головку 4 на 90°.

пружины 6 через шток 5 и рычаг 7, для чего поворачивают головку 4 на 90°.

3.3. Станки фрезерной группы

Фрезерные станки предназначены для обработки наружных и внутренних плоскостей, фасонных поверхностей, уступов, пазов, прямых и винтовых канавок, шлицев валов, зубьев цилиндрических и конических колес и т.п.

Различают две основные группы фрезерных станков: универсальные или общего назначения и специализированные. К первым относятся горизонтально-фрезерные, вертикально-фрезерные, широкоуниверсальные и продольно-фрезерные, ко вторым – шпоночно-фрезерные, карусельно-фрезерные, копировальные, гравировальные и т.п. Основным размером, характеризующим фрезерные станки общего назначения, является размер рабочей поверхности стола.

Станки общего назначения делятся на консольные и бесконсольные. Наиболее распространены консольно-фрезерные станки, к которым относятся горизонтально-, вертикально- и широкоуниверсальные станки. На этих станках стол перемещается в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Широкоуниверсальные станки в отличие от универсальных имеют дополнительный шпиндель, поворачивающийся вокруг вертикальной и горизонтальной осей, или два шпинделя: вертикальный и горизонтальный.

Бесконсольно-фрезерные станки применяют для фрезерования крупногабаритных деталей. Стол таких станков движется по двум взаимно перпендикулярным направлениям в горизонтальной плоскости, а шпиндельная бабка перемещается в вертикальном направлении.

Продольно-фрезерные станки предназначены для обработки плоскостей крупногабаритных базовых корпусных деталей, устанавливаемых на продольном столе. Как правило, одновременно обрабатывается не менее двух одинаковых заготовок. На базе этих станков выпускаются также продольно-шлифовальные станки. Современные станки этой группы оснащаются прямоугольной системой ЧПУ.

На карусельно-фрезерных станках заготовки устанавливают на вращающемся столе, а припуск срезают одной или двумя фрезами.

Горизонтально- и вертикально-фрезерные станки обычно проектируются на одной базе и поэтому имеют много унифицированных узлов и деталей. Эти станки выпускаются как с ручным управлением, так и оснащаются системами ЧПУ. На рис. 3.22 приведен общий вид консольных станков этого типа.

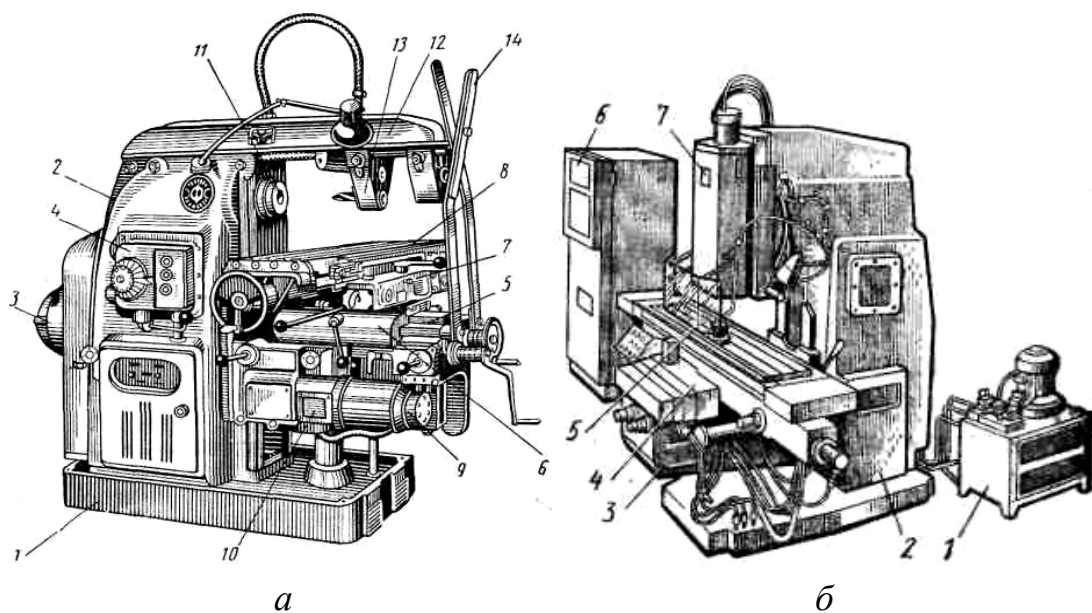


Рис. 3.22. Универсальные фрезерные станки

Консольный горизонтально-фрезерный станок характеризуется горизонтальным расположением шпинделя (рис. 3.22, *a*). На фундаментной плите 1 установлена вертикальная станина 2, внутри которой размещена группа круговой частоты шпинделя (скорости резания) с отдельным электродвигателем 3 и коробкой скоростей 4. На вертикальных направляющих станины смонтирована консоль 5 с возможностью перемещения по этим направляющим. На горизонтальных направляющих консоли установлены поперечные салазки 6, поворотная плита 7, на направляющих которой установлен продольный стол 8. Поворотная плита позволяет в случае необходимости поворачивать продольный стол в горизонтальной плоскости на требуемый угол при обработке деталей. В отличие от универсальных простые станки этого типа поворотной плиты не имеют. Группа подачи стола размещена в консоли 5 и состоит из коробки подач 10 с отдельным электродвигателем 9 и механизмов коммутации в трех взаимно перпендикулярных плоскостях.

Короткие фрезерные оправки вставляют непосредственно в конусное отверстие шпинделя 11 и закрепляют шомполом, проходящем через отверстие в шпинделе. Длинные оправки требуют дополнительной опоры. Поэтому один конец такой оправки закрепляют в шпинделе, а второй располагают в подшипнике подвески хобота 12. В направляющих хобота предусмотрены две съемные подвески 13 с центром (слева) или с подшипником (справа.) На хоботе могут быть закреплены также две поддержки 14, нижние концы которых связаны с консолью. Эти поддержки служат для увеличения жесткости консоли.

Вертикально-фрезерный станок отличается от рассмотренного вертикальным расположением шпинделя. Поэтому в кинематической структуре привода частоты вращения шпинделя добавлена коническая зубчатая передача, изменена конструкция шпиндельного узла и верхней части станины.

Консольный вертикально-фрезерный станок с ЧПУ проектируется на базе однотипного станка с ручным управлением. На фундаментной плите (рис. 3.22, *б*) установлена станина 2, на вертикальных направляющих которой смонтирована консоль 3 с возможностью перемещения по этим направляющим. На горизонтальных направляющих консоли 3 смонтированы салазки 4, на направляющих которых установлен продольный стол 5. В верхней части станины смонтирована шпиндельной головки 7 с вертикальной осью вращения шпинделя. Станок снабжен устройством ЧПУ 6 и гидростанцией 1.

Вертикально фрезерные станки могут оснащаться шестью позиционными револьверными головками.

Консольный горизонтально-фрезерный станок модели 6P82. Предназначен для выполнения всех видов фрезерной обработки, включая, при использовании в качестве дополнительной технологической оснастки делительную головку, нарезание зубчатых колес и винтовых канавок.

Техническая характеристика. Рабочая поверхность стола – 1250×320 мм. Пределы частот вращения шпинделя – 31,5 – 1600 мин⁻¹. Пределы подач: продольных и поперечных – 25 – 125, вертикальных – 8,3 – 416 мм/мин. Наибольшие перемещения стола: продольное – 800, поперечное – 250, вертикальное – 380 мм.

Кинематическая структура станка включает группу скорости резания (главное движение) $\Phi_v(B_1)$ и три группы подач стола: продольной $\Phi_{s1}(П_2)$, поперечной $\Phi_{s2}(П_3)$, вертикальной $\Phi_{s3}(П_4)$, имеющих общую коробку подач.

Группа скорости резания $\Phi_v(B_1)$. Внутренняя связь группы имеет вид:

подшипниковые опоры станины → шпиндель $V(B_1)$.

Внешняя связь выполнена в виде унифицированной коробки скоростей: $M1 \rightarrow 27/53 \rightarrow$ *трехколесный блок $B1 \rightarrow$ трехколесный блок $B2 \rightarrow$ двухколесный блок $B3 \rightarrow$ шпиндель (B_1) .*

Группа настраивается на скорость – переключением блоков $B1, B2, B3$, на направление – реверсированием электродвигателя $M1$.

УКЦ для наименьшей и наибольшей круговой частоты шпинделя:

$$n_1 = 1460 \cdot \frac{27}{53} \cdot \frac{16}{38} \cdot \frac{17}{46} \cdot \frac{19}{69} = 31,5 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_{18} = 1460 \cdot \frac{27}{53} \cdot \frac{22}{32} \cdot \frac{38}{26} \cdot \frac{82}{38} = 1600 \text{ мин}^{-1}.$$

Группы подач $\Phi_{s1}(П_2), \Phi_{s2}(П_3), \Phi_{s3}(П_4)$ объединены общей унифицированной 18-ти ступенчатой коробкой подач (КП) с перебором. Ее структура имеет вид:

$M2 \rightarrow 26/50 \rightarrow 26/57 \rightarrow B4$ (18/36 или 36/18 или 27/27) $\rightarrow B5$ (18/40 или 21/37 или 24/34) $\rightarrow 40/40$ (муфта M_1 включена) или перебор (колесо 40 на валу IX смещено влево) 13/45 $\rightarrow 18/40 \rightarrow 40/40 \rightarrow$ *выходной вал X коробки подач.*

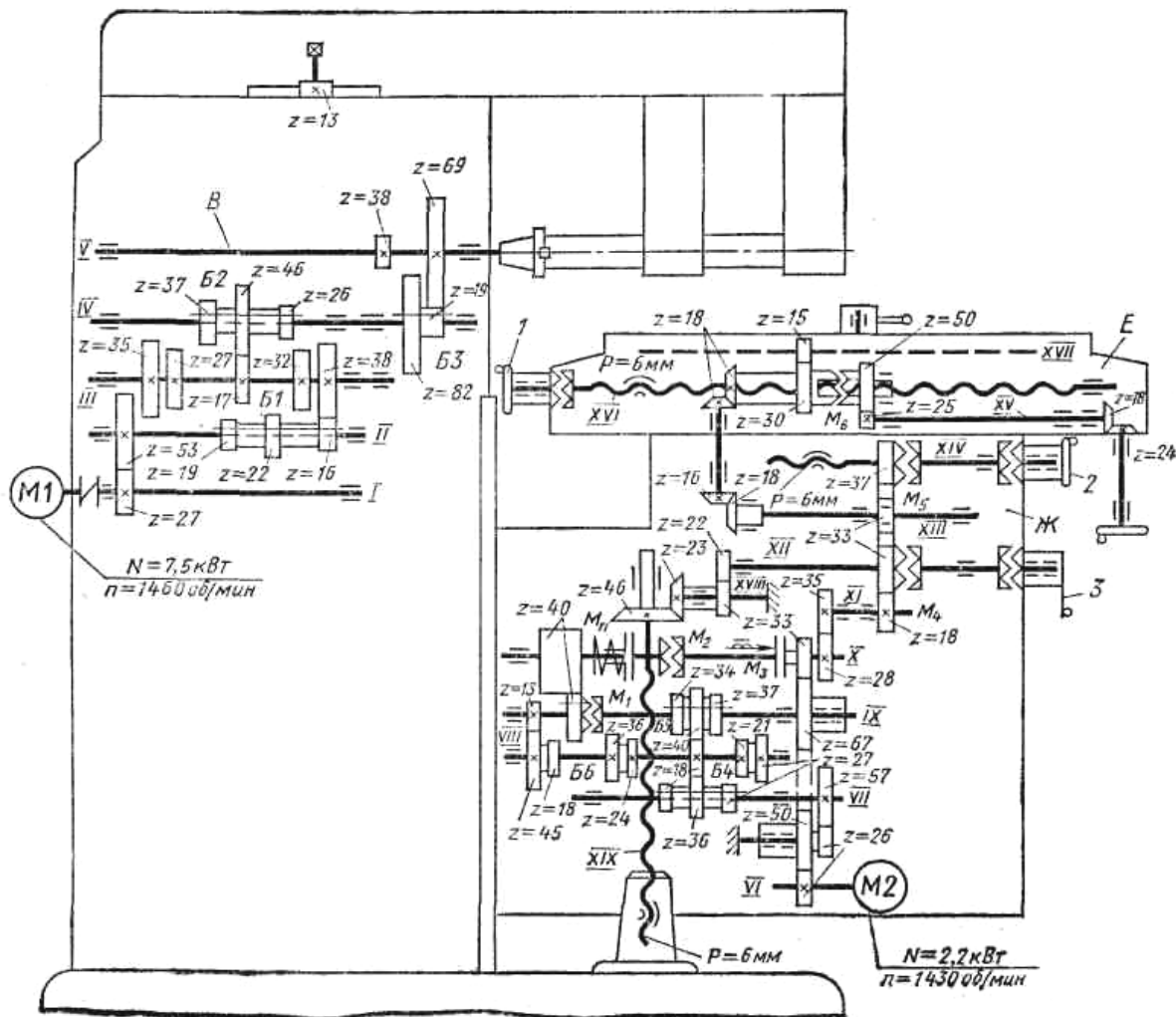


Рис. 3.23. Кинематическая схема горизонтально-фрезерного станка модели 6P82

С выходного вала X через предохранительную муфту M_n при включенной муфте M_2 и выключенной муфте M_3 движение сообщается TB исполнительных органов групп подач посредством зубчатых передач.

Быстрое перемещение исполнительных органов обеспечивается также с выходного вала КП при включении фрикционной муфты M_3 (муфта M_2 выключена). Структура цепи ускоренных перемещений имеет вид:

$M_2 \rightarrow 26/50 \rightarrow 50/67 \rightarrow 67/33 \rightarrow$ выходной вал X коробки подач.

Группа продольной подачи стола $\Phi_{s1}(P_2)$. Внутренняя связь:

*направляющие поперечных салазок \rightarrow продольный стол
(на схеме повернут на 90°) $\rightarrow (P_2)$.*

Внешняя связь:

$M_2 \rightarrow КП \rightarrow 28/35 \rightarrow 18/33 \rightarrow 33/33 \rightarrow 18/16 \rightarrow 18/18$

муфта M_6 включена $\rightarrow TB$, шаг 6 мм \rightarrow продольный стол (P_2) .

Группа настраивается на скорость – КП, на путь и исходное положение по лимбу (упору), на направление – реверсированием электродвигателя.

Для устранения зазора в механизме *ТВ* на его ходовом винте *XVI* установлены две гайки, одна из них (правая) зафиксирована штифтами, а другая, упираясь торцом в правую гайку, при повороте ее посредством рукоятки через передачи 24/18 и 25/50 устраняет зазор в передаче винт-гайка.

На гайке жестко установлена шестерня 30, зацепленная с шестерней 15 вала *XVII*, с которым соединяется делительная головка.

УКЦ для минимальной продольной подачи стола:

$$s_{1\text{ прод.}} = 1430 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{13}{45} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 = 25 \text{ мм/мин.}$$

УКЦ для ускоренного хода стола:

$$s_{\text{ прод. уск.}} = 1430 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{50}{67} \cdot \frac{67}{33} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 = 3000 \text{ мм/мин.}$$

Ручная подача продольного стола осуществляется маховиком 1.

Группа поперечной подачи $\Phi_{s2}(П_3)$. Внутренняя связь:

горизонтальные направляющие консоли → *поперечные салазки* ($П_3$).

Внешняя связь:

$M2 \rightarrow КП \rightarrow 28/35 \rightarrow 18/33 \rightarrow 33/33 \rightarrow 33/37$ муфта M_5 включена →
→ *ТВ*, шаг 6 мм → *поперечные салазки* ($П_3$).

Группа настраивается на скорость – КП, на путь и исходное положение по лимбу (упору), на направление – реверсированием электродвигателя.

УКЦ для минимальной поперечной подачи салазок:

$$s_{1\text{ поп.}} = 1430 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{13}{45} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot 6 = 25 \text{ мм/мин.}$$

УКЦ для ускоренного хода салазок:

$$s_{\text{ поп. уск.}} = 1430 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{50}{67} \cdot \frac{67}{33} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot 6 = 3000 \text{ мм/мин.}$$

Ручная подача поперечных салазок осуществляется маховиком 2.

Группа вертикальной подачи $\Phi_{s3}(П_4)$. Внутренняя связь:

вертикальные направляющие станины → *консоль* ($П_3$).

Внешняя связь:

$M2 \rightarrow КП \rightarrow 28/35 \rightarrow 18/33 \rightarrow 22/33 \rightarrow 23/46$ муфта M_4 включена →
→ *ТВ*, шаг 6 мм → *консоль* ($П_3$).

Группа настраивается на скорость – КП, на путь и исходное положение по лимбу (упору), на направление – реверсированием электродвигателя.

УКЦ для минимальной вертикальной подачи консоли:

$$s_{1\text{верт.}} = 1430 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{13}{45} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{23}{33} \cdot \frac{23}{46} \cdot 6 = 8,3 \text{ мм/мин.}$$

УКЦ для ускоренного хода консоли:

$$s_{\text{верт.уск.}} = 1430 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{50}{67} \cdot \frac{67}{33} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{23}{33} \cdot \frac{23}{46} \cdot 6 = 1000 \text{ мм/мин.}$$

Ручная подача консоли осуществляется маховиком 3.

Бесконсольный вертикально-фрезерный станок с крестовым столом модели 6560. Предназначен для фрезерования различных деталей торцовыми, цилиндрическими и фасонными фрезами. На станке можно обрабатывать плоские вертикальные и горизонтальные поверхности, пазы, углы, рамки и т.п. На базе этого станка выпускают станок с цикловым программным управлением модели 6560Ц и станок с ЧПУ модели 6560Ф3.

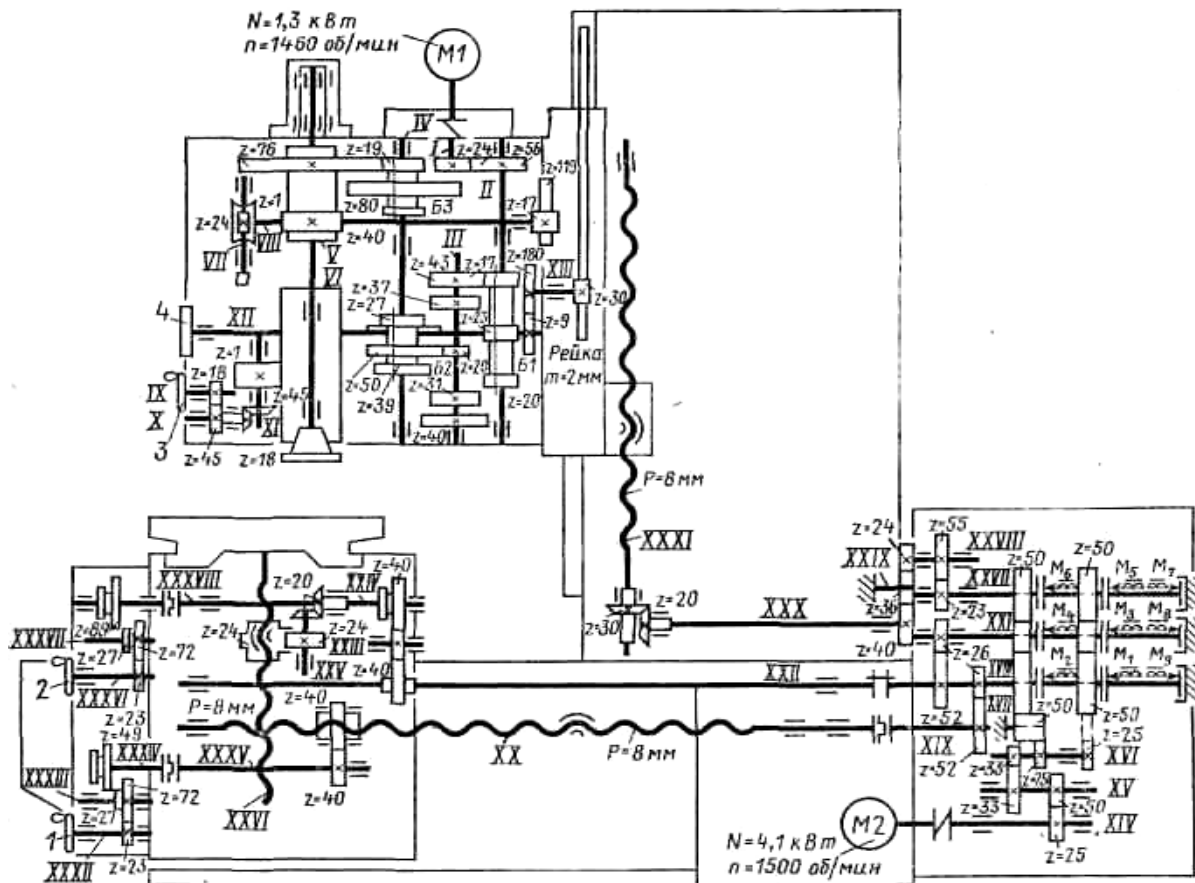


Рис. 3.24. Кинематическая схема вертикально-фрезерного станка модели 6560

Техническая характеристика. Размеры рабочей поверхности стола 1600×630. Число частот вращения шпинделя 18; пределы частот вращения – 25 – 1250 мин⁻¹. Пределы подач: крестового стола продольные и поперечные – 10 – 1500 мм/мин; шпиндельной бабки вертикальные – 3 – 500 мм/мин. Регу-

лирование подач – бесступенчатое. Ускоренный ход: крестового стола продольный и поперечный – 2500 мм/мин; шпиндельной бабки вертикальный – 830 мм/мин.

Кинематическая структура станка (рис. 3.24) содержит группу скорости резания $\Phi_v (B_1)$ и три группы подач: продольной подачи крестового стола $\Phi_{s1}(П_2)$, поперечной подачи крестового стола $\Phi_{s2}(П_3)$, вертикальной подачи шпиндельной бабки $\Phi_{s3}(П_4)$.

Группа скорости резания $\Phi_v (B_1)$, конструктивно выполненная в виде шпиндельной бабки. Ее внутренняя связь:

пиноль шпиндельной бабки → шпиндель VI (B₁).

Внешняя связь – кинематическая цепь, конструктивно выполненная в виде коробки круговых частот:

*M1 → 24/56 → тройной блок B1 → тройной блок B2 →
→ двойной блок B2 → полый вал V → шпиндель VI (B₁).*

Группа настраивается на скорость – блоками B1, B2, B3; на направление – реверсированием асинхронного электродвигателя M1.

УКЦ для максимальной частоты вращения шпинделя:

$$n_{18} = 1460 \cdot \frac{24}{56} \cdot \frac{23}{37} \cdot \frac{43}{27} \cdot \frac{80}{40} = 1250 \text{ мин}^{-1}.$$

Режущий инструмент крепят в конусе шпинделя через переходные оправки с помощью тарельчатых пружин, а освобождают инструмент пневмоцилиндром, расположенным в верхней части шпиндельной бабки.

Группы подач $\Phi_{s1}(П_2)$, $\Phi_{s2}(П_3)$, $\Phi_{s3}(П_4)$ имеют общую бесступенчатую коробку подач (КП), оснащенную регулируемым электродвигателем постоянного тока M2 (диапазон регулирования 10 – 1500 мин⁻¹, максимальная круговая частота электродвигателя равна 3000 мин⁻¹), и содержащую общий участок их внешних связей, включая передачи реверсивного механизма, 25/50 · 33/33 · реверс (25/50 или 25/z · z/50).

Группы подач настраиваются на 4 параметра: скорость – бесступенчатым изменением круговой частоты электродвигателя, направление – цилиндрическим реверсом, управляемым соответствующей парой электромагнитных муфт M₁, M₂ или M₃, M₄ или M₅, M₆, путь и исходное положение по лимбам (упорам). Муфты M₇, M₈, M₉ – осуществляют торможение исполнительных органов групп подач при позиционировании на ускоренном ходу.

Группа продольной подачи крестового стола $\Phi_{s1}(П_2)$. Ее внутренняя связь:

направляющие салазок → продольный стол (П₂).

Внешняя связь и расчетная цепь совпадают и имеют вид кинематической цепи, соединяющей КП с ТВ XXVI (передача винт-гайка, шаг 8 мм).

УКЦ для максимальной продольной подачи:

$$s_{max} = 1500 \cdot \frac{25}{50} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{25}{50} \cdot \frac{26}{52} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{24}{24} \cdot 8 = 1500 \text{ мм/мин.}$$

Группа поперечной подачи крестового стола $\Phi_{s_2}(II_3)$. Ее внутренняя связь:

направляющие основания → *салазки* (II_3).

Внешняя связь и расчетная цепь совпадают и имеют вид кинематической цепи, соединяющей КП с ТВ XX (передача винт-гайка, шаг 8 мм).

УКЦ для минимальной продольной подачи:

$$s_{min} = 10 \cdot \frac{25}{50} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{25}{50} \cdot \frac{26}{52} \cdot 8 = 10 \text{ мм/мин.}$$

Группа вертикальной подачи шпиндельной бабки $\Phi_{s_3}(II_4)$. Ее внутренняя связь:

вертикальные направляющие стойки → *шпиндельная бабка* (II_4).

Внешняя связь и расчетная цепь совпадают и имеют вид кинематической цепи, соединяющей КП с ТВ XXXI (передача винт-гайка, шаг 8 мм).

УКЦ для максимальной вертикальной подачи:

$$s_{max} = 1500 \cdot \frac{25}{50} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{25}{50} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{23}{55} \cdot \frac{24}{36} \cdot \frac{36}{40} \cdot \frac{20}{30} \cdot 8 = 500 \text{ мм/мин.}$$

Ускоренные подачи исполнительных органов обеспечиваются группой подач и теми же кинематическими цепями, что и рабочие подачи. Причем при ускоренных подачах используется частота вращения электродвигателя, равная 2500 мин^{-1} .

Ручные перемещения продольного стола и салазок осуществляются маховиками 2 и 1 через ряд передач. Ручное перемещение пиноли шпинделя осуществляется от маховика 3 посредством зубчатых передач 18/45, 18/45 и червячно-реечной передачи, червяк которой закреплен на валу XI, а рейка закреплена на пиноли. Отсчет перемещений шпиндельной бабки производят по лимбу 4 на валу XII, кинематически связанному с рейкой, закрепленной на стойке. Поворот бабки осуществляется вручную с помощью квадрата на валу VII через червячную передачу 1/24, колесо 17 и зубчатый сектор 119.

3.4. Шлифовальные и доводочные станки

Шлифовальные станки предназначены в основном для чистовой обработки абразивными и алмазными инструментами (шлифовальными кругами, брусками, сегментами, шкуркой, порошками и пастами). Эти станки

обеспечивают высокое качество поверхности обрабатываемых деталей. Шлифование все более широко используется также для обдирочных и получистовых работ.

К шлифовальным станкам общего назначения, работающим шлифовальными кругами, в зависимости от формы обрабатываемой поверхности и вида шлифования относят круглошлифовальные, внутришлифовальные, плоскошлифовальные и бесцентрово-шлифовальные. К специализированным станкам относят станки для шлифования резьбы и зубьев колес, а также станки инструментального производства.

3.4.1. Круглошлифовальные станки

Круглошлифовальные станки предназначены для наружного шлифования цилиндрических, конических и торцовых поверхностей. Эти станки делятся на простые и универсальные. У простых станков возможен поворот рабочего стола на угол до $\pm 6^\circ$ для шлифования деталей с малой конусностью. В универсальных станках предусмотрен поворот рабочего стола на больший угол и поворот шлифовальной бабки. Это позволяет шлифовать конические поверхности с большим углом при вершине.

Основными размерами, характеризующими круглошлифовальные станки, являются наибольший диаметр устанавливаемой заготовки и ее длина. Современные станки этой группы работают по полуавтоматическому и автоматическому циклам.

Обрабатывать детали на круглошлифовальных станках можно при продольном (рис. 3.25, а) и врезном шлифовании (рис. 3.25, б). При продольном шлифовании шлифовальному кругу сообщается движение скорости резания v_k , а детали – круговая подача v_d и продольное поступательно-возвратное перемещение (подача) s_1 . В конце каждого двойного хода шлифовальному кругу сообщается поперечная подача s_2 (прерывистая подача врезания).

Врезное шлифование применяют для шлифования коротких деталей. При врезном шлифовании шлифовальному кругу сообщается движение скорости резания v_k , и радиальная подача врезания s_2 , а детали – круговая подача v_d . Дополнительно шлифовальному кругу или детали может сообщаться также осциллирующее (колебательное) осевое перемещение s_1 .

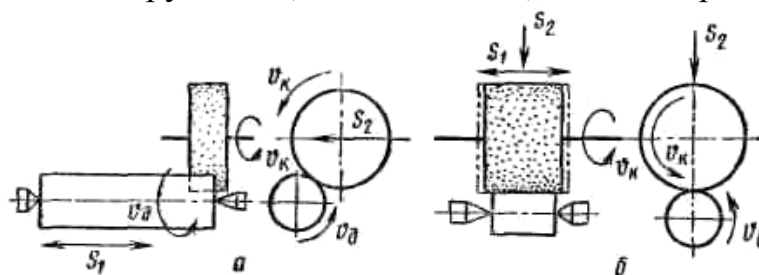


Рис. 3.25. Схемы взаимодействия инструмента и заготовки на круглошлифовальных станках

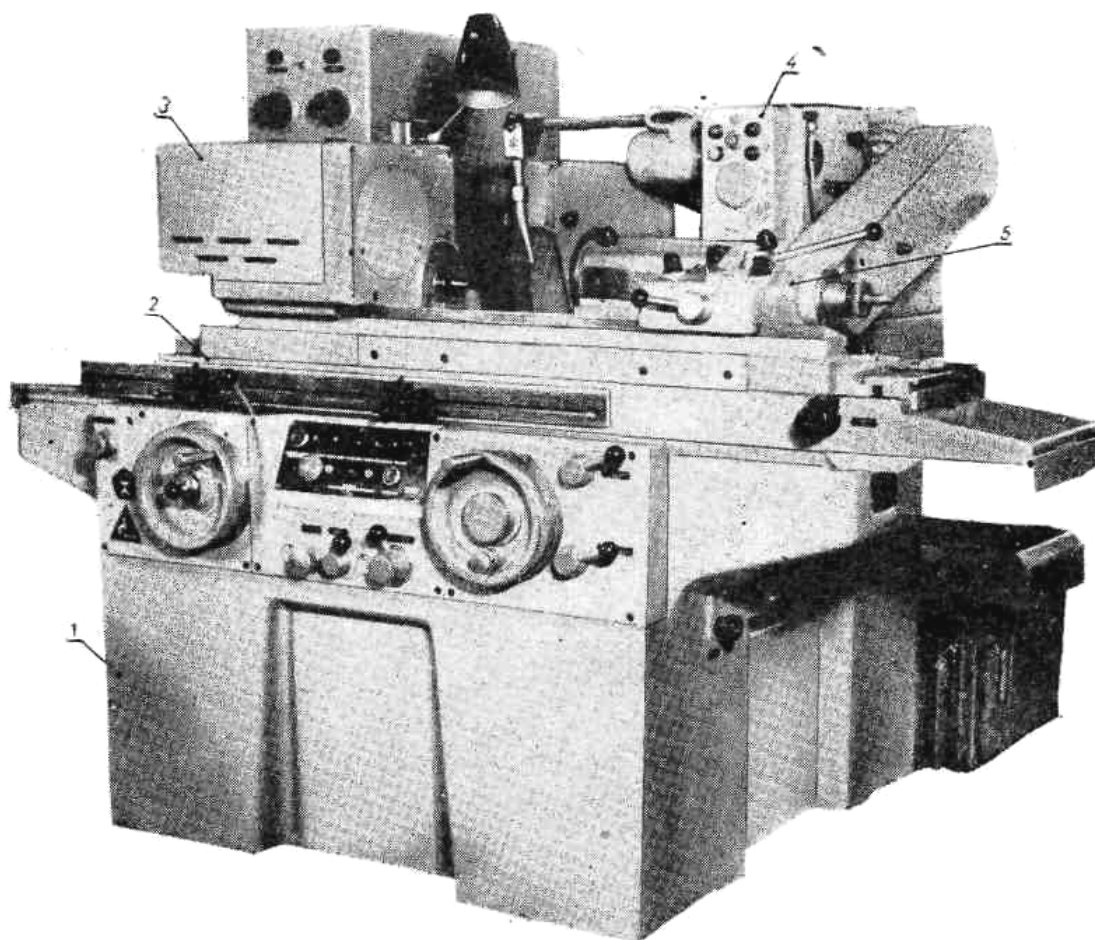


Рис. 3.26. Круглошлифовальный станок

Универсальные круглошлифовальные станки имеют однотипную горизонтальную компоновку (рис. 3.26). Основные узлы станка: станина 1 с горизонтальными направляющими для продольного стола 2 и поперечными направляющими для шлифовальной бабки 4, в которой смонтирован шпиндель шлифовального круга. Внутри станины размещаются гидроцилиндр, обеспечивающий поступательно-возвратное движение стола 2 и гидropанель управления. На продольном столе установлены бабка изделия 3 и задняя бабка 5, в пиноль которой устанавливается задний центр.

Круглошлифовальный полуавтомат модели 3М151. Предназначен для шлифования наружных цилиндрических, конических и торцовых поверхностей. Выпускается в двух вариантах – простом и универсальном. В простом варианте возможен поворот стола на угол $\pm 6^\circ$, в универсальном – предусмотрен поворот стола и шлифовальной бабки на больший угол. Возможно как продольное, так и врезное шлифование.

Техническая характеристика. Наибольшие размеры устанавливаемой детали: диаметр – 200 мм; длина – 700 мм. Высота центров – 125 мм. Круговая частота вращения шлифовального шпинделя – 1300 мин^{-1} . Кру-

говая подача шпинделя заготовки (круговая частота) – $40 - 400 \text{ мин}^{-1}$ (регулируется бесступенчато); продольная подача стола – $0,05 - 5 \text{ м/мин}$ (регулируется бесступенчато); периодическая (дискретная) подача шлифовальной бабки $0,001 - 0,05 \text{ мм/дв. ход}$; врезная подача – $0,01 - 0,2 \text{ мм/мин}$.

Формообразующая часть частной кинематической структуры для продольного шлифования (рис. 3.27) включает следующие группы: скорости резания (круговой частоты вращения шпинделя шлифовального круга) $\Phi_v(B_1)$; круговой подачи шпинделя заготовки $\Phi_{s1}(B_2)$; продольной поступательно-возвратной подачи стола $\Phi_{s2}(П_3)$; прерывистой поперечной подачи врезания шлифовального круга $Vp(П_4)$.

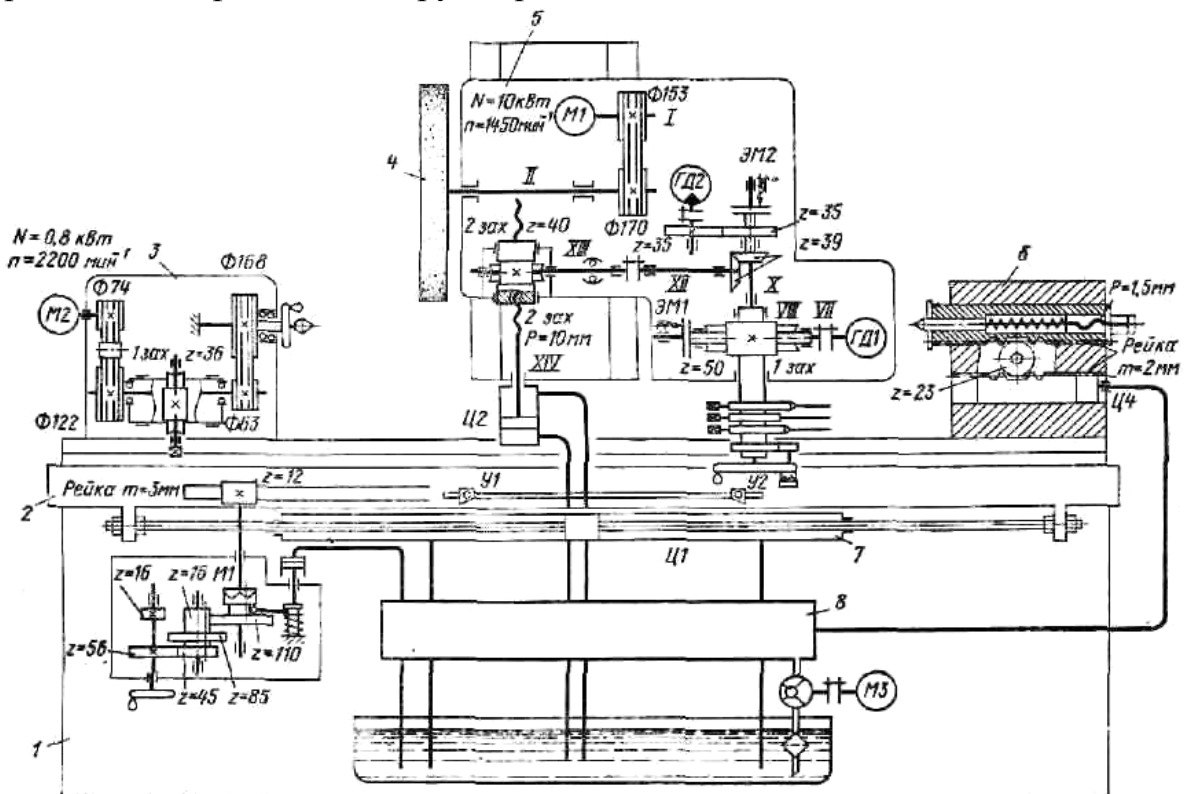


Рис. 3.27. Кинематическая схема круглошлифовального станка модели 3М151

Группа скорости резания $\Phi_v(B_1)$. Ее внутренняя связь:
подшипниковые опоры шлифовальной бабки 5 → шпиндель круга (B_1).

Внешняя связь – короткая кинематическая цепь, выполненная в виде клиноременной передачи:

$M1 \rightarrow 155/170 \rightarrow$ шпиндель II шлифовального круга 4 (B_1).

Группа не содержит традиционного органа настройки на скорость резания (гитары сменных зубчатых колес, коробки скоростей или регулируемого электродвигателя). Поэтому круговая частота вращения шпинделя постоянна и равна:

$$n = 1450 \cdot \frac{153}{170} = 1300 \text{ мин}^{-1}.$$

Скорость резания зависит от диаметра шлифовального круга: при наибольшем диаметре круга 600 мм скорость резания составляет 40 сек^{-1} ; при наименьшем диаметре 450 мм – 30 сек^{-1} .

Группа круговой подачи шпинделя заготовки $\Phi_{s1}(B_2)$. Ее внутренняя связь:

подшипниковые опоры бабки изделия 3 → шпиндель изделия (B_2).

Внешняя связь – кинематическая цепь, состоящая из двух клиноременных передач, связывающих регулируемый электродвигатель со шпинделем изделия:

$M2 \rightarrow 74/122 \rightarrow 63/168 \rightarrow \text{шпиндель изделия } (B_2)$.

Группа настраивается на один параметр – скорость (круговую подачу) – изменением круговой частоты электродвигателя.

Группа продольной поступательно-возвратной подачи стола $\Phi_{s2}(П_3)$. Ее внутренняя связь:

продольные направляющие станины 1 → продольный стол 2 ($П_3$).

Внешняя связь:

Электродвигатель МЗ, сообщаемый вращательное движение лопастному насосу → гидрпанель управления 8 → гидроцилиндр 7 двухстороннего действия, у которого противоположные концы штока закреплены на продольном столе 2 → стол 2 ($П_3$).

Группа настраивается на скорость – регулируемые дросселями гидрпанели; на путь и исходное положение – установкой упоров $У1$ и $У2$ с противоположных сторон рычага (не показан), перемещающего управляющий золотник, расположенный в гидрпанели.

Группа прерывистой поперечной подачи врезания шлифовального круга $Вр(П_4)$. Ее внутренняя связь:

поперечные направляющие станины 1 → шлифовальная бабка 5 ($П_4$).

Внешняя связь – кинематическая цепь:

гидродвигатель ГД1 → 1/50 (электромагнитная муфта ЭМ1 периодически включена) → 39/39 → 2/40 → 10 → бабка 5 ($П_4$).

Группа настраивается: на скорость – изменением круговой частоты ГД1; на путь, включая величину дискреты врезания – установленными на валу X кулачками врезания, управляющими электромагнитной муфтой ЭМ1 и гидродвигателем ГД1. В группе предусмотрено также ручное перемещение шлифовальной бабки посредством вращения маховика, закрепленного на валу X при включенной электромагнитной муфте ЭМ1.

Формообразующая часть частной кинематической структуры для врезного шлифования включает группы, рассмотренные в предыдущей

структуре: скорости резания (круговой частоты вращения шпинделя шлифовального круга) $\Phi_v(B_1)$ и круговой подачи шпинделя заготовки $\Phi_{s1}(B_2)$, а также группу поперечной подачи врезания шлифовального круга $\Phi_{s2}(П_3)$.

Группа поперечной подачи врезания шлифовального круга $\Phi_{s2}(П_3)$ кинематически одинакова с группой прерывистой поперечной подачи врезания шлифовального круга $Vp(П_4)$. Эти группы отличаются только принципом управления электромагнитной муфты $ЭМ1$. Врезное шлифование осуществляется при постоянном включении данной муфты.

В структуре станка предусмотрены две вспомогательные группы: $Vc(П_5)$ ускоренных установочных перемещений шлифовальной бабки и $Vc(П_6)$ ручного перемещения продольного стола, используемые в обеих частях структурах.

Группа $Vc(П_5)$. Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы поперечной подачи врезания, а внешняя связь имеет вид:

$ГД2 \rightarrow 35/35$ (электромагнитная муфта $ЭМ2$ включена) \rightarrow
 $\rightarrow 39/39 \rightarrow 2/40 \rightarrow 10 \rightarrow$ бабка 5 ($П_5$).

В этой группе гидроцилиндр $Ц2$, связанный с $ТВ$ (винт XIV) предназначен для постоянного выбора зазора в винтовой передаче в направлении действия радиальной силы резания.

Группа $Vc(П_6)$. Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы поступательно-возвратной подачи продольного стола, а внешняя связь имеет вид:

маховик $\rightarrow 56/45$ или $16/85 \rightarrow$ муфта $М1$, управляемая гидроцилиндром, \rightarrow
 $ТВ$ (зубчато-реечная передача, шаг $\pi t z$) \rightarrow продольный стол ($П_6$).

Переставная задняя бабка 6 имеет неподвижный центр, поджимаемый к детали пружиной. Выдвижение пиноли задней бабки осуществляется гидроцилиндром $Ц4$ посредством зубчато-реечной передачи.

Шлифовальный круг крепится на планшайбе фланцем через упругие прокладки. Перед установкой на шпиндель производят балансировку планшайбы с кругом посредством перемещения грузов в ее кольцевом пазу.

3.4.2. Внутришлифовальные станки

Внутришлифовальные станки предназначены для шлифования цилиндрических и конических отверстий, а также торцов заготовок. Эти станки делятся на обычные и планетарные. Движение скорости резания v_k сообщается шлифовальному кругу (рис. 3.28). Движения подачи в станках обычного типа (рис. 3.28, а): круговая подача v_d (вращение детали), продольная подача s_1 (поступательно-возвратное движение детали или круга)

и поперечная подача s_2 (периодическое поперечное перемещение шлифовального круга). Планетарные станки применяют для обработки крупных и несимметричных деталей. В станках этого типа (рис. 3.28, б) используют круговую подачу v_0 (вращение оси шлифовального круга 1 относительно оси шлифуемого отверстия), продольную s_1 и периодическую поперечную s_2 подачи.

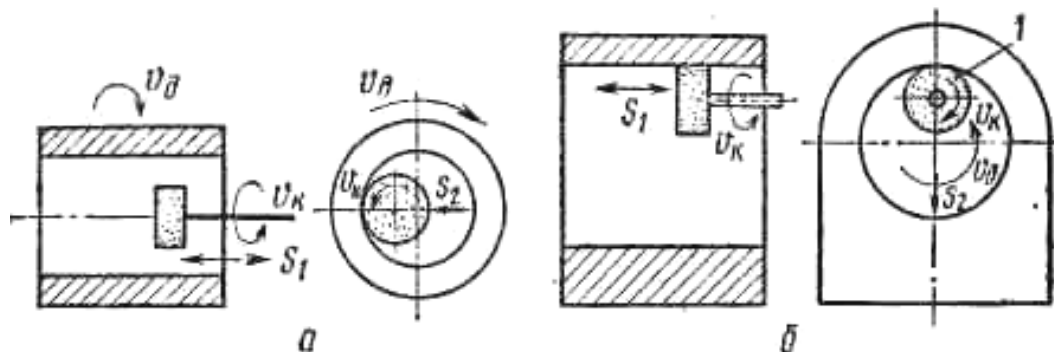


Рис. 3.28. Схемы взаимодействия инструмента и заготовки на внутришлифовальных станках

Основным размером, характеризующим внутришлифовальные станки, является наибольший диаметр шлифуемого отверстия.

Универсальные (обычные) внутришлифовальные станки имеют однотипную горизонтальную компоновку (рис. 3.29). На станине 1 установлена бабка изделия 2, в патроне шпинделя которой зажимают шлифуемую деталь. На продольных направляющих качения станины установлен стол 6. На поперечных направляющих стола размещена шлифовальная бабка 5, несущая шпиндель 4 со шлифовальным кругом 3. Внутри станины смонтирован гидропривод станка. На передней панели расположены органы управления 7.

Внутришлифовальный полуавтомат модели ЗК227Б. Предназначен для шлифования сквозных и глухих цилиндрических и конических отверстий и шлифования торцов.

Техническая характеристика. Диаметр шлифуемых отверстий – 20 – 100 мм; наибольшая длина шлифования – 125 мм. Частота вращения шпинделя изделия – 320 – 800 мин⁻¹; частота вращения шлифовального шпинделя: 9000, 12000, 18000, 24000 мин⁻¹. Диапазон продольных подач 0,1 – 10 м/мин. Диапазон поперечных подач – 0,13 – 1,3 мм/мин.

Кинематическая структура станка (рис. 3.30) включает формообразующие группы скорости резания $\Phi_v(B_1)$, круговой подачи $\Phi_{s_1}(B_2)$, продольной подачи $\Phi_{s_2}(П_3)$ и группу поперечного врезания $Bp(П_4)$.

Группа скорости резания (круговой частоты шлифовального шпинделя) $\Phi_v(B_1)$. Внутренняя связь:

подшипниковые опоры шлифовальной бабки → шпиндель V (B_1).

Внешняя связь:

M1 → плоскоременная передача D/D → шпиндель V (B_1).

Группа настраивается на скорость – сменными шкивами. В комплект входит 4 пары сменных шкивов, обеспечивающих 4 значения круговых частот шпинделя. При диаметрах шкивов, указанных на рис. 3.30, круговая частота шпинделя равна 12000 мин^{-1} . При необходимости иметь иные значения круговой частоты, чем те, что указаны в технической характеристики, необходимо изготовить сменные шкивы с соответствующим диаметром.

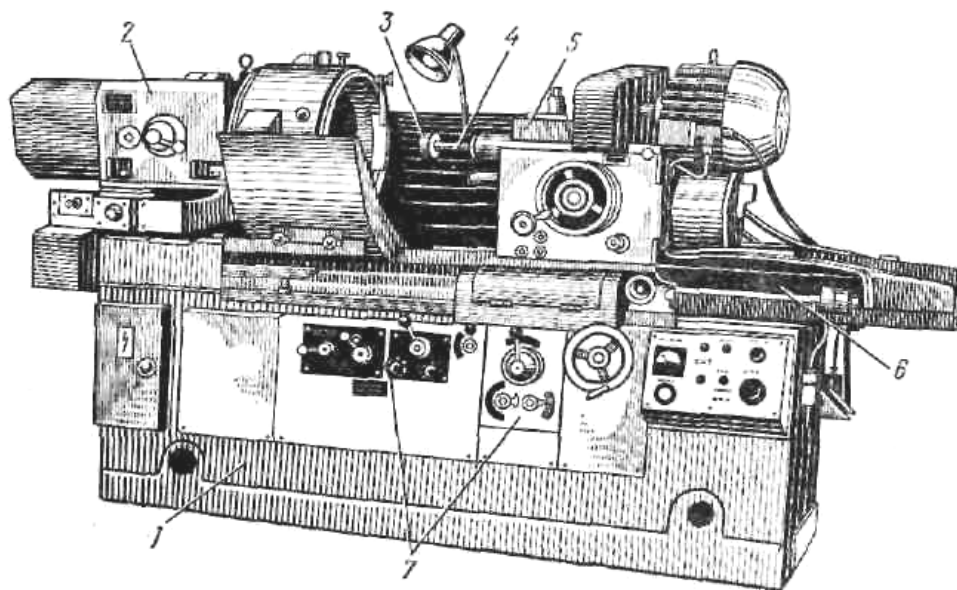


Рис. 3.29. Универсальный внутришлифовальный станок

Группа круговой подачи (круговой частоты шпинделя шлифуемых деталей) $\Phi_{s1}(B_2)$. Внутренняя связь:

подшипниковые опоры бабки шлифуемых деталей → шпиндель I (B_2).

Внешняя связь:

M2 → клиноременная передача D/D → шпиндель I (B_2).

Группа настраивается на скорость – сменными шкивами. При диаметрах шкивов, указанных на рис. 3.30, круговая подача (частота вращения шпинделя) равна 400 мин^{-1} .

Группа продольной подачи (поступательно-возвратное движение стола E) $\Phi_{s2}(P_3)$. Внутренняя связь:

направляющие качения станины A → продольный стол E (P_3).

Внешняя связь:

гидроцилиндр Ц2 → продольный стол E (звено соединения связей) (P_3).

Группа настраивается на скорость – регулируемым дросселем гидропанели управления; на путь и исходное положение – установкой упоров на станине с противоположных сторон рычага, перемещающего управляющий золотник гидропривода.

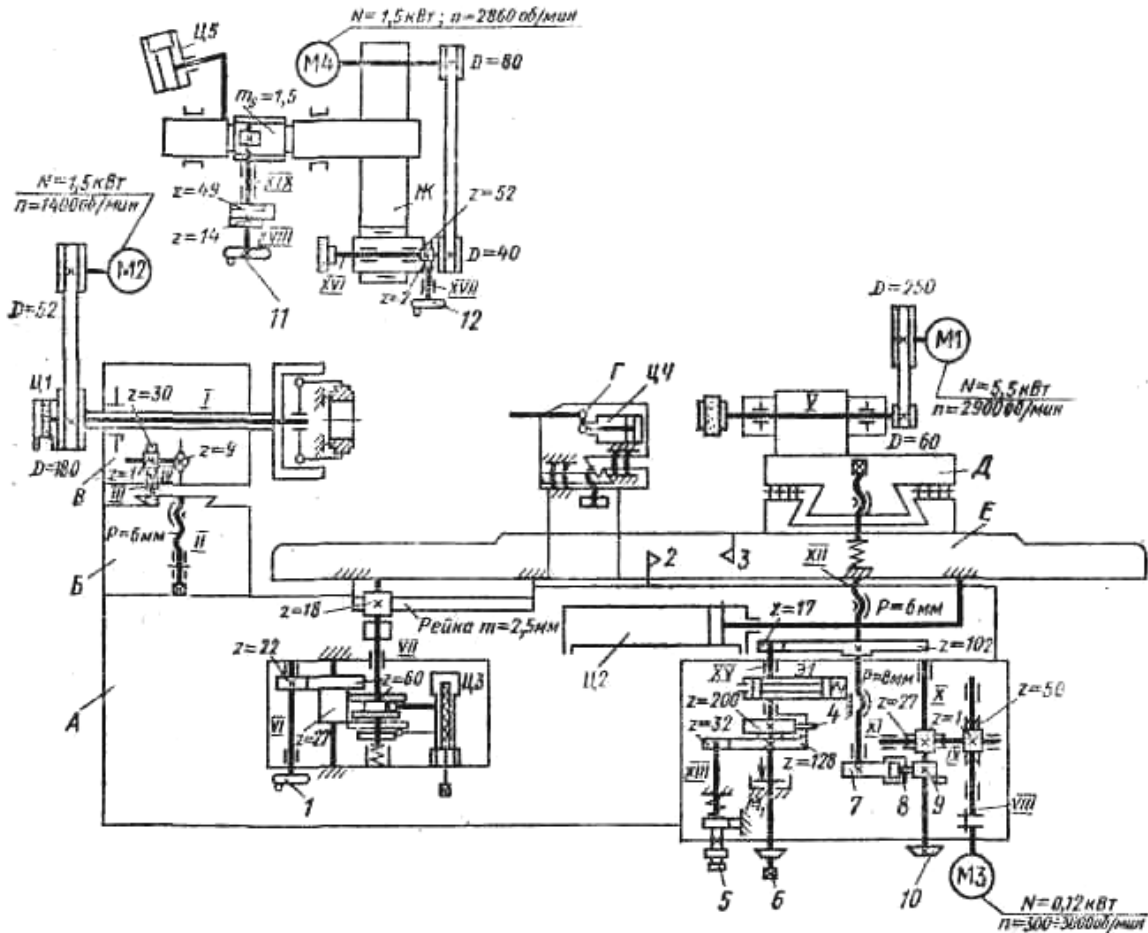


Рис. 3.30. Кинематическая схема внутришлифовального станка модели 3К227Б

Для тонкой продольной подачи при шлифовании внутреннего торца детали торцом внутришлифовального круга используется неподвижный 2 и подвижный 3 упоры.

В рассматриваемой группе предусмотрена также ручная продольная подача. Внешняя связь группы при ручной подаче имеет вид:

маховик 1 → 22/60 → 22/60 → ТВ VII (зубчато-реечная передача, $z = 18, m = 2,5$) → продольный стол E (Π_3).

Гидроплунжер Ц3 автоматически отключает ручную подачу стола при включении гидроцилиндра Ц2. При этом реечное колесо 18 выйдет из зацепления с рейкой, а плунжер Ц3 зафиксируется с помощью шариков.

Группа поперечного врезания $Vp(\Pi_4)$. Внутренняя связь: *направляющие качения стола E → каретка Д шлифовальной бабки (Π_4).*

Внешняя связь:

МЗ (постоянного тока) → 1/50 → 1/27 → кулачок 9 → ролик 8 → толкатель 7 → ТВ XII → каретка Д шлифовальной бабки (П₄).

В группе предусмотрены две дополнительные внешние связи, обеспечивающие ручное наладочное поперечное перемещение (подачу) круга и компенсацию износа шлифовального круга (подачу на правку).

Внешняя связь наладочного поперечного перемещения имеет вид:
лимб 6 → 17/102 → ТВ XII → каретка Д шлифовальной бабки (П₄).

Внешняя связь подачи на правку круга имеет вид:

Золотник 31, конструктивно связанный с собачкой 4 храпового механизма, → храповое колесо 200 → 17/102 → ТВ XII → каретка Д шлифовальной бабки (П₄).

Группа настраивается: на скорость и направление – бесступенчатым изменением круговой частоты электродвигателя *МЗ* и его реверсированием; на исходное положение – лимбом *б*; на путь – расположением упоров на кулачке *9* управления циклом шлифования. За один оборот кулачка *9* максимальное (суммарное) перемещение (поперечная подача) составляет 0,65 мм.

Установку величины компенсации износа осуществляют маховиком *5*, связанным муфтой *М₁* с колесом *32*. При повороте этого колеса получает вращение сектор *128*, с которым жестко связан храповый механизм. Сектор перекрытия зубьев поворачивается на соответствующий угол. В результате в зацеплении с собачкой *4* будет участвовать определенное число зубьев (от 1 до 10) храпового колеса, тем самым изменяется величина подачи при правке. Ее наибольшее и наименьшее значения:

$$s_1 = 1 \cdot \frac{1}{200} \cdot \frac{17}{102} \cdot 6 = 0,005 \text{ мм}; \quad s_{10} = 1 \cdot \frac{10}{200} \cdot \frac{17}{102} \cdot 6 = 0,05 \text{ мм}.$$

В станке предусмотрены простые вспомогательные группы: поворота бабки изделия *В* при шлифовании конических отверстий, наладочного поперечного перемещения бабки изделия *В* и устройство правки *Г* шлифовального круга.

Поворот бабки изделия *В* осуществляется через червячную передачу 1/30. При этом получает вращение звездочка *9* на валу *IV*, находящаяся в зацеплении с цепью, закрепленной на салазках бабки. Наладочное поперечное перемещения бабки изделия *В* осуществляется ТВ (винт *II*). Устройство правки *Г* шлифовального круга поворачивается в рабочее положение гидроплунжером *Ц4*.

Цикл работы станка зависит от расположения упоров, установленных на кулачке *9*. При вращении кулачка упоры поочередно нажимают на рычаги, действующие на соответствующие микропереключатели системы управления, которые выдают команды механизмам, управляющим рабочим цик-

лом станка. Цикл включает подвод стола в рабочую зону, быстрый подвод шлифовальной бабки, первое черновое шлифование, черновое выхаживание, быстрый отвод шлифовальной бабки, первую правку круга, быстрый подвод бабки, второе черновое шлифование, черновое выхаживание, быстрый отвод бабки, вторую правку круга, быстрый подвод бабки, чистовое шлифование, чистовое выхаживание, быстрый отвод бабки и стола.

В комплектацию станка может входить торцошлифовальное приспособление, устанавливаемое на корпусе бабки изделия. Это приспособление выполнено в виде трех групп: скорости резания $\Phi_{v1}(B_5)$, торцевого врезания $Vp(P_6)$ и поворота хобота $Ж$ с торцевым шпинделем $Vc(B_7)$.

Группа скорости резания $\Phi_{v1}(B_5)$. Ее внутренняя связь:

подшипниковые опоры гильзы хобота $Ж$ → торцевой шпиндель XVI (B_5).

Внешняя связь:

$M4 \rightarrow 80/40 \rightarrow$ торцевой шпиндель XVI (B_5).

Круговая частота шпинделя постоянна и равна 5960 мин^{-1} .

Группа торцевого врезания $Vp(P_6)$. Ее внутренняя связь:

корпус торцевого приспособления → хобот $Ж$ (P_6).

Внешняя связь, обеспечивающая тонкую подачу врезания:

Маховик 12 → 2/52 → передача винт-гайка (внутренняя резьба ступицы червячного колеса 52 – наружная резьба гильзы хобота) → хобот $Ж$ (P_6).

Дополнительная внешняя связь, обеспечивающая наладочное перемещение торцевого круга:

маховик 11 → 14/49 (передача внутреннего зацепления) ТВ

(реечное колесо 1 – круглая рейка m_s) → хобот $Ж$ (P_6).

Группа поворота хобота $Vc(B_7)$ осуществляет поворот хобота $Ж$ в рабочее положение гидроплунжером Ц5.

3.4.3. Плоскошлифовальные станки

Предназначены для шлифования плоских поверхностей деталей периферией или торцом круга. Их классифицируют: по расположению шпинделя – на горизонтальные и вертикальные; по форме стола – с круглым и горизонтальным столом. Основным размером, характеризующим плоскошлифовальные станки, является размер стола.

На рис. 3.31 приведены схемы основных движений в плоскошлифовальных станках с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем (рис. 3.31, а), с прямоугольным столом и вертикальным шпинделем (рис. 3.31, б), с круглым столом и горизонтальным шпинделем (рис. 3.31, в), с круглым столом и вертикальным шпинделем (рис. 3.31, г).

Наиболее распространены плоскошлифовальные станки с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем. Плоскошлифовальные

станки общего назначения имеют однотипную компоновку (рис. 3.32). На направляющих станины 1 установлен продольный стол 2. На его рабочей плоскости выполнены Т-образные пазы для закрепления деталей или магнитного стола 3. На боковой поверхности стола устанавливаются упоры 4, воздействующие при работе станка на рычаг 5 управляющего золотника. На станине установлена колонна 6. На ее вертикальных направляющих смонтированы салазки со шлифовальной бабкой 7.

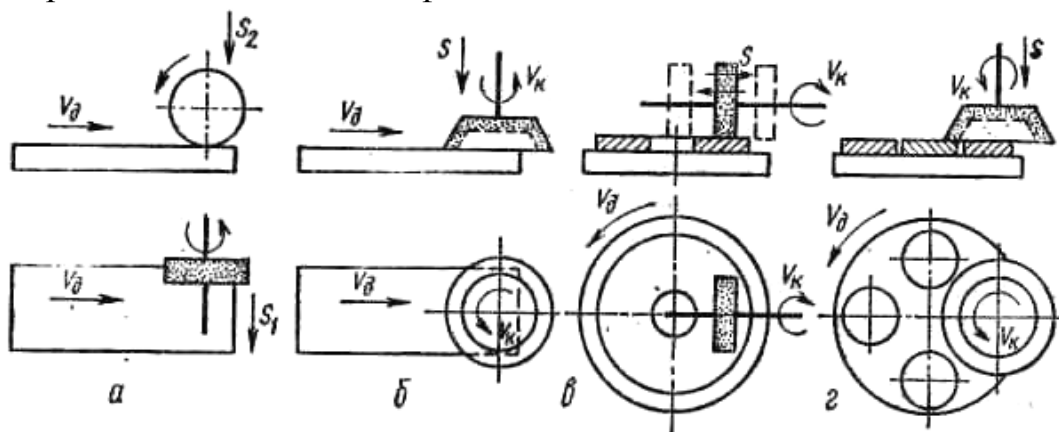


Рис. 3.31. Схемы взаимодействия шлифовального круга и заготовок при плоском шлифовании

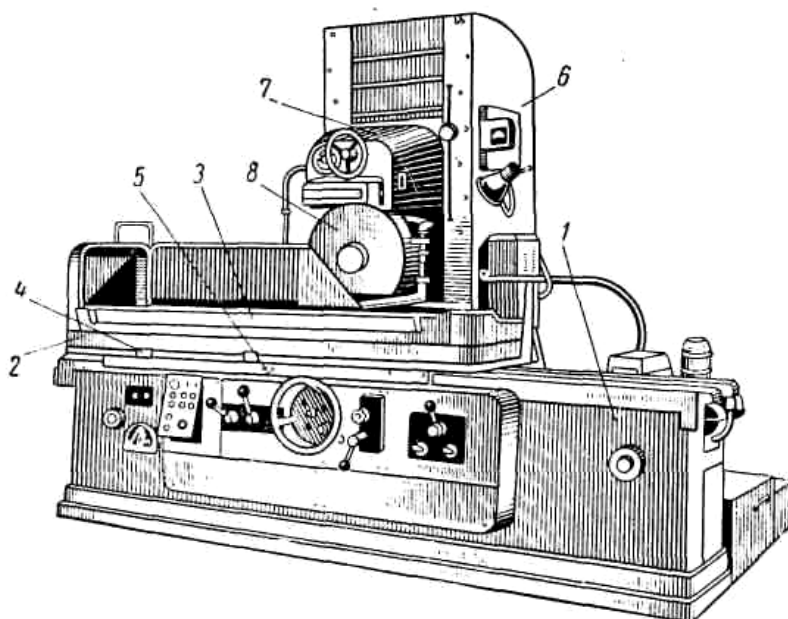


Рис. 3.32. Плоскошлифовальный станок общего назначения

Плоскошлифовальный станок модели 3Е711. Станок с крестовым прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем. Используется в единичном, мелкосерийном и серийном производстве для обработки горизонтальных, наклонных и вертикальных поверхностей.

Техническая характеристика. Размеры рабочей поверхности стола – 200 × 630 мм. Круговая частота вращения круга – 2770 мин⁻¹; автоматическая, бесступенчатая продольная подача стола – 2 – 35 м/мин; автоматиче-

ская, бесступенчатая поперечная подача – 0,01 – 1,5 м/мин; автоматическая, бесступенчатая вертикальная подача шлифовальной бабки – 0,001 – 0,09 м/мин.

Кинематическая структура станка (рис. 3.33) содержит следующие формообразующие группы: скорости резания (вращение шлифовального круга) $\Phi_v(B_1)$; продольной подачи стола $\Phi_{s1}(П_2)$; поперечной подачи стола $\Phi_{s2}(П_3)$; вертикальной подачи шлифовальной бабки $\Phi_{s3}(П_4)$. Группы $\Phi_v(B_1)$, $\Phi_{s2}(П_3)$, $\Phi_{s3}(П_4)$ оснащены отдельными электродвигателями, а группа $\Phi_{s1}(П_2)$ – гидроцилиндром. В общей структуре станка эти группы соединены между собой общим корпусом.

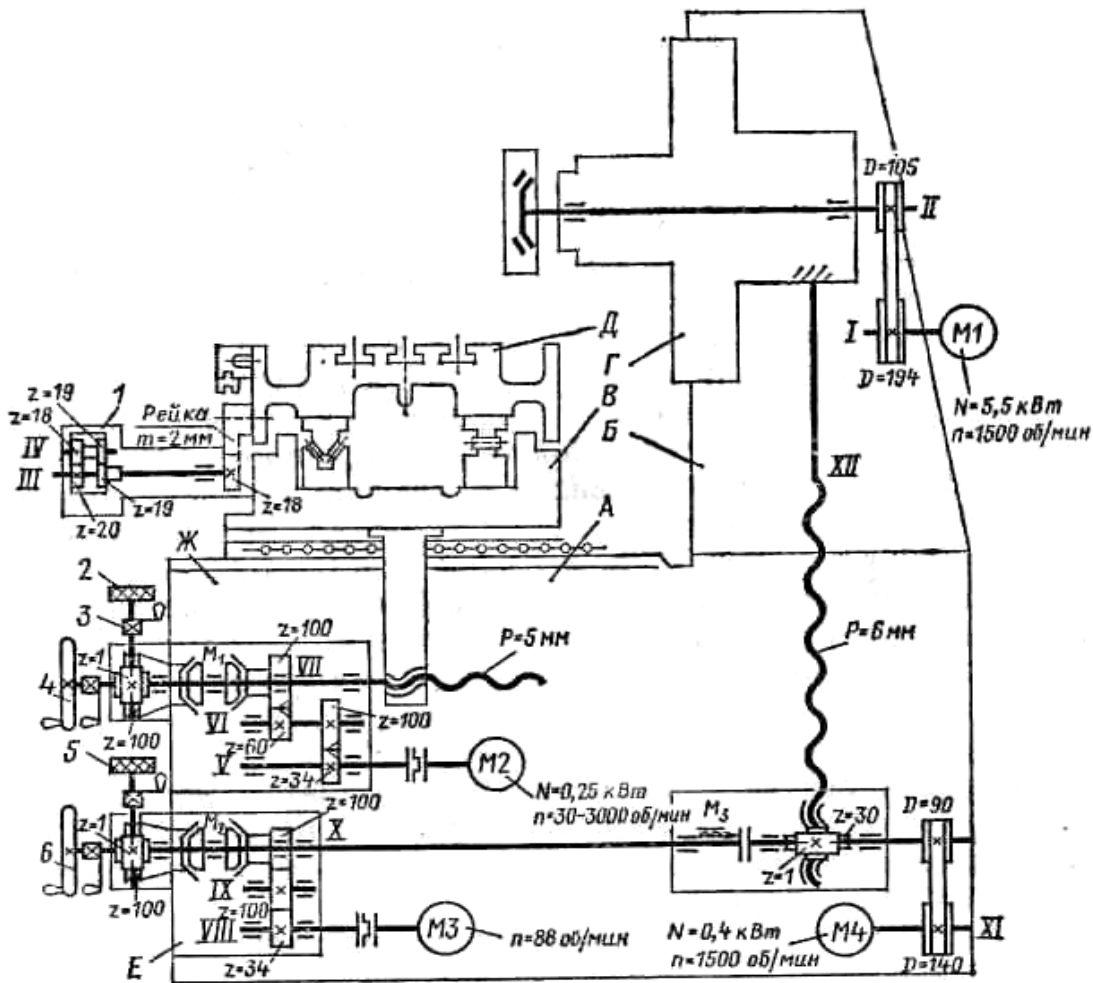


Рис. 3.33. Кинематическая схема плоскошлифовального станка модели 3E711

Группа скорости резания $\Phi_v(B_1)$. Внутренняя связь:
 многоклиновые подшипники с самоустанавливающимися вкладышами
 шлифовальной бабки Г → шпиндель II шлифовального круга (B_1).

Внешняя связь:

M_1 → поликлиновая ременная передача 194/105 → шпиндель II (B_1).

При односкоростном электродвигателе $M1$ шпиндель имеет постоянную круговую частоту. Поэтому скорость резания однозначно связана с диаметром шлифовального круга.

Группа продольной подачи (поступательно-возвратное движение) продольного стола $\Phi_{s1}(П_2)$. Внутренняя связь:

направляющие качения поперечного стола $B \rightarrow$ продольный стол $D (П_2)$.

Внешняя связь (не показана) выполнена аналогично внешней связи группы поступательно-возвратного движения продольного стола круглошлифовального станка модели 3М151, рассмотренного в п. 3.4.1.

В рассматриваемой группе предусмотрена также ручная продольная подача. Внешняя связь группы при ручной подаче имеет вид:

маховик 1 со встроенным планетарным механизмом \rightarrow ТВ III (зубчато-реечная передача, $z = 18, m = 2$) \rightarrow продольный стол $D (П_2)$.

Сателлиты 18 и 19 планетарного механизма обкатываются вокруг неподвижного центрального колеса 19 и через другое центральное колесо 20 вращение передается реечному колесу 18. Применение планетарной передачи значительно снижает величину перемещения продольного стола за один оборот лимба.

Группа поперечной подачи стола $\Phi_{s2}(П_3)$. Внутренняя связь:

направляющие качения станины $A \rightarrow$ поперечный стол $B (П_3)$.

Внешняя связь выполнена в виде механизма $\mathcal{Ж}$, встроенного в станину A , и содержит две ветви – автоматической и ручной поперечной подачи.

Автоматическая ветвь имеет вид:

$M2 \rightarrow 34/100 \rightarrow 60/100$ (муфта M_1 включена в колесо 100) \rightarrow \rightarrow ТВ (передача винт VII – гайка) \rightarrow поперечный стол $B (П_3)$.

Ручная ветвь имеет вид:

(лимба 2 \rightarrow 1/100) или (маховик 4) \rightarrow муфта M_1 включена влево \rightarrow \rightarrow ТВ (передача винт VII – гайка) \rightarrow поперечный стол $B (П_3)$.

Группа настраивается: на скорость и направление – изменением круговой частоты и реверсом регулируемого электродвигателя M_2 постоянного тока; на путь и исходное положение – по упорам бесконтактных путевых переключателей. Режим подачи – непрерывная или прерывистая на каждый ход стола (или двойной ход стола) обеспечивается электроавтоматической системы управления. Тонкую ручную подачу получают при вращении лимба 2, а грубую – при вращении маховика 4. Выбор режима ручной подачи осуществляется рукоятками 3.

Группа вертикальной подачи шлифовальной бабки $\Phi_{s3}(П_4)$. Ее внутренняя связь:

вертикальные направляющие стойки $B \rightarrow$ шлифовальная бабка $\Gamma (П_4)$.

Внешняя связь выполнена в виде механизма E , встроенного в станину A , и содержит две ветви – автоматической и ручной подачи.

Автоматическая ветвь имеет вид:

*шаговый электродвигатель $M_3 \rightarrow 34/100 \rightarrow$ муфта M_2
включена вправо \rightarrow электромагнитная муфта $M_3 \rightarrow 1/30 \rightarrow ТВ$
(передача винт XII-гайка) \rightarrow шлифовальная бабка (Π_4).*

Ручная ветвь имеет вид:

*(лимба 5 $\rightarrow 1/100$) или (маховик 6) \rightarrow муфта M_2 включена влево \rightarrow
 \rightarrow электромагнитная муфта $M_3 \rightarrow 1/30 \rightarrow ТВ$
(передача винт XII-гайка) \rightarrow шлифовальная бабка (Π_4).*

Группа настраивается: на скорость и направление – изменением круговой частоты и реверсом регулируемого шагового электродвигателя M_3 ; на путь и исходное положение – по упорам бесконтактных путевых переключателей. Подача шлифовальной бабки осуществляется в момент реверса продольного или поперечного стола и обеспечивается электроавтоматикой системы управления. Тонкую ручную подачу получают при вращении лимба 5, а грубую – при вращении маховика 6. Выбор режима ручной подачи осуществляется рукоятками.

В структуре станка предусмотрена также группа $Vc(\Pi_5)$ ускоренного установочного перемещения шлифовальной бабки. Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы вертикальной подачи $\Phi_{s3}(\Pi_4)$, а внешняя связь имеет вид:

$M_4 \rightarrow 140/90 \rightarrow 1/30$ (муфта M_3 выключена) \rightarrow
 $\rightarrow ТВ$ (передача винт XII-гайка) \rightarrow шлифовальная бабка (Π_4).

Скорость установочных перемещений:

$$s_{уст.} = 1500 \cdot \frac{140}{90} \cdot \frac{1}{30} \cdot 6 = 0,47 \text{ м/мин.}$$

3.4.4. Бесцентрово-шлифовальные станки

В крупносерийном и массовом производстве целесообразно применять круглое бесцентровое шлифование. Такое шлифование по сравнению с обработкой в центрах и патронах имеет ряд преимуществ: снижение вспомогательного времени, связанного с установкой, выверкой и снятием детали; уменьшение припуска на шлифование в связи с тем, что базирование детали происходит по обрабатываемой поверхности и погрешности геометрической формы распределяются симметрично по диаметру. При бесцентровом шлифовании можно применять повышенные режимы резания, так как деталь не прогибается под действием сил резания. Возможно

бесцентровое круглое шлифование (рис. 3.34) с продольной подачей и с подачей врезания.

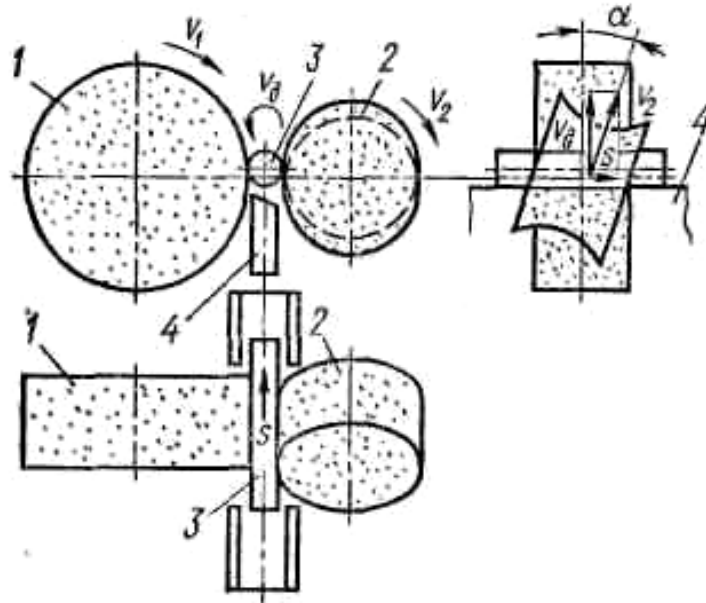


Рис. 3.34. Схема бесцентрового шлифования

Шлифование с продольной подачей применяют при обработке гладких цилиндрических деталей или цилиндрических участков наибольшего диаметра. Ведущий круг устанавливают под углом $\alpha = 1,5 - 6^\circ$ при черновом и под углом $\alpha = 0,5 - 1,5^\circ$ при чистовом шлифовании. При этом скорость круговой подачи:

$$v_{\delta} = v_2 \cdot \sin \alpha \text{ мм/мин.}$$

Продольная подача:

$$s = v_2 \cdot \cos \alpha \text{ мм/мин.}$$

Для обеспечения цилиндричности ось шлифуемой детали 3 должна быть выше оси центров ведущего и шлифовального кругов примерно на $0,15 - 0,25$ диаметра заготовки. А для обеспечения линейного контакта кругов со шлифуемой поверхностью ведущему кругу придают форму однополостного гиперболоида.

При шлифовании скорость резания составляет обычно $35 - 50$ м/сек и является суммой скоростей v_1 и v_2 .

Шлифование с подачей врезания применяют для обработки коротких, ступенчатых или фасонных заготовок. При этом принимают угол $\alpha = 0$ (иногда $\alpha \leq 1$ для прижима заготовки к ножу). Поэтому заготовка только вращается, а ведущий или шлифуемый круг получает поперечную подачу в направлении, перпендикулярном оси обрабатываемой заготовки. При шлифовании цилиндрических поверхностей ведущий круг имеет цилиндрическую форму.

А при шлифовании конических или фасонных поверхностей обоим кругам придают соответствующую форму рабочей поверхности.

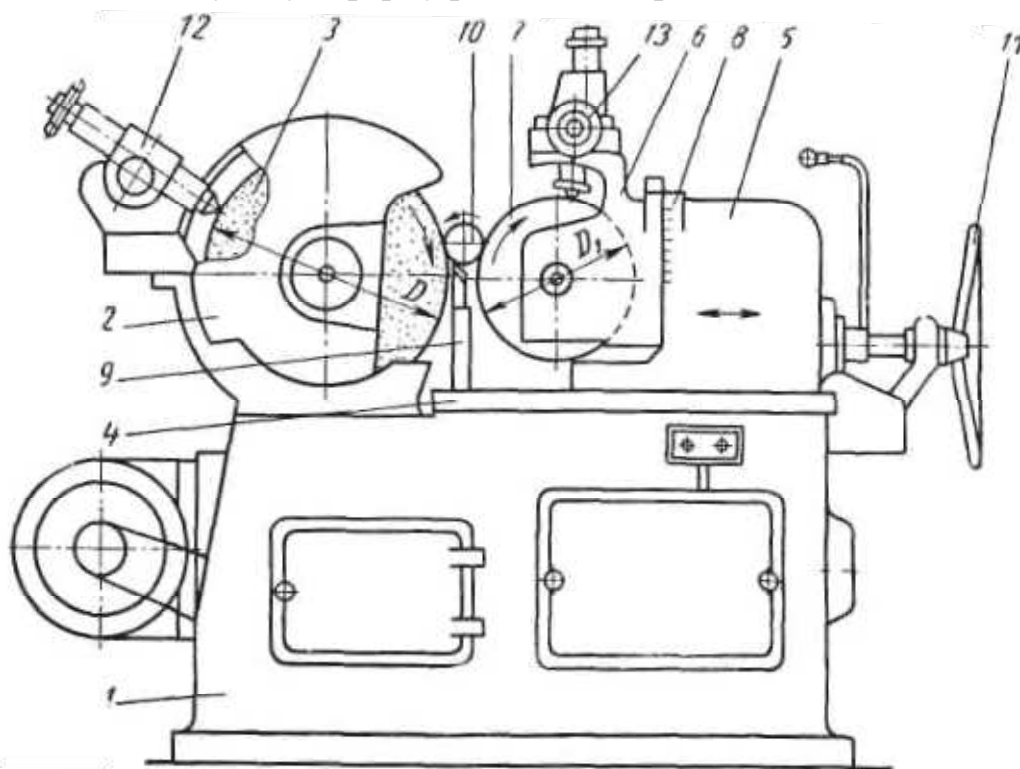


Рис. 3.35. Бесцентрово-шлифовальный станок

На рис. 3.35 приведена типовая компоновка бесцентрово-шлифовального станка. На станине 1 слева установлена бабка 2, несущая шпиндель шлифовального круга 3, а справа – плита 4. В продольных направляющих плиты смонтирована бабка 5 с поворотной головкой 6 и ведущим кругом 7, который можно поворачивать вокруг горизонтальной оси на требуемый угол по шкале 8. На плите 4 закреплена также направляющая 9, являющаяся опорой для шлифуемой детали 10. Установка бабки ведущего круга на размер шлифуемой поверхности, а также компенсация износа шлифовального круга производятся перемещением плиты 4 по направляющим станины посредством маховика 11. Для периодической правки кругов предназначены специальные устройства 12 и 13.

Бесцентрово-шлифовальный станок модели 3М182. Предназначен для шлифования гладких, ступенчатых и разнообразных фасонных поверхностей типа тел вращения.

Техническая характеристика. Диаметр шлифуемых деталей – 0,8 – 25 мм; максимальная длина при продольном шлифовании – 170 мм, при врезном шлифовании – 95 мм. Размеры шлифовального круга – 350×100 мм, веду-

щего круга 250×100 . Круговая частота вращения ведущего круга – $17 - 150 \text{ мин}^{-1}$.

Кинематическая структура станка (рис. 3.36) состоит из двух частных структур, соответствующих рассмотренным схемам продольного и врезного шлифования, объединенных общим корпусом.

Кинематическая структура продольного шлифования включает формообразующие группы скорости резания (вращения шлифовального круга) $\Phi_v(B_1)$, круговой $\Phi_{s1}(B_2)$ и продольной $\Phi_{s2}(B_3)$ подач.

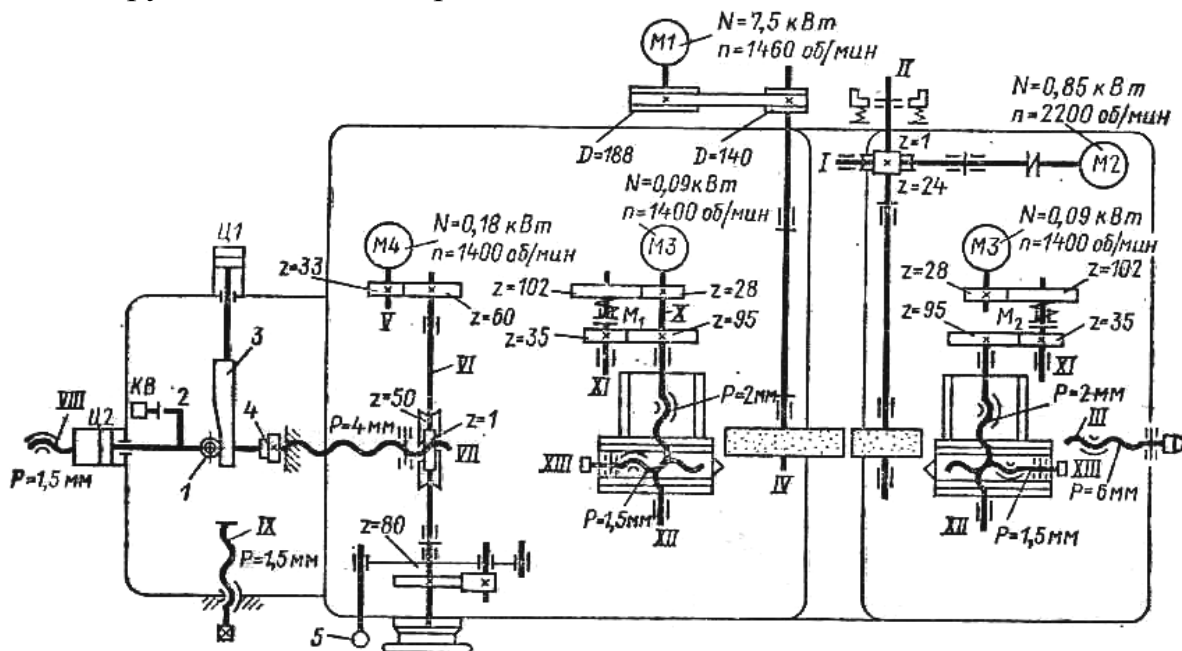


Рис. 3.36. Кинематическая схема бесцентрово-шлифовального станка модели 3М182

Группа скорости резания $\Phi_v(B_1)$. Ее внутренняя связь:
подшипниковые опоры бабки → шпиндель шлифовального круга IV (B_1).

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow 188/140 \rightarrow$ *шпиндель шлифовального круга IV (B_1).*

Шпиндель шлифовального круга установлен на гидродинамических подшипниках скольжения с тремя самоустанавливающимися вкладышами. Смазка подшипников осуществляется от отдельной насосной установки.

При постоянной круговой частоте вращения шпинделя шлифовального круга:

$$n = 1460 \cdot \frac{188}{140} = 1960 \text{ мин}^{-1}.$$

Параметр скорость (резания) зависит только от диаметра шлифовального круга и, в меньшей степени, от диаметра шлифуемой поверхности.

Особенностью бесцентрового шлифования является базирование детали по обрабатываемой поверхности. Причем шлифуемая деталь является исполнительным звеном группы круговой подачи $\Phi_{s1}(B_2)$ и группы продольной подачи $\Phi_{s2}(П_3)$. Формообразующие движения B_2 и $П_3$, воспроизводимые данными группами, осуществляются одновременно (параллельно), а настраиваемый параметр «скорость» обоих движений зависит от одних и тех же характеристик: диаметра ведущего круга и угла его установки относительно оси детали. Приведенное обстоятельство является основанием формального объединения рассматриваемых групп в одну. Условно объединенную группу можно представить в виде $\Phi_s(B_2)U(П_3)$, где символ U обозначает объединение групп (исполнительных движений).

Внутренняя связь объединенной группы $\Phi_s(B_2)U(П_3)$ имеет вид:

рабочие поверхности ведущего и шлифовального кругов →
→ *шлифуемая деталь* ($B_2 U П_3$).

Внешняя связь:

$M2$ (регулируемый, постоянного тока) → 1/24 → *шпиндель ведущего круга*
→ *ведущий круг* → *шлифуемая деталь* ($B_2 U П_3$).

Группа настраивается: на скорость (круговую и продольную подачи) – изменением круговой частоты электродвигателя и изменением угла установки ведущего круга; на исходное положение и путь – по упорам.

Подшипники шпинделя ведущего круга – гидродинамические и смазываются маслом большей вязкости, что обеспечивает большую жесткость шпиндельного узла.

При настройке группы винт *VIII* заворачивается до отказа, в результате чего шток жестко прижимается к упору.

Кинематическая структура шлифования с врезной подачей включает группу скорости резания (вращения шлифовального круга) $\Phi_v(B_1)$, группу круговой подачи (вращения делала) $\Phi_{s1}(B_2)$ и группу врезания $Вр_s(П_4)$.

Группы скорости резания $\Phi_v(B_1)$ и круговой подачи $\Phi_{s1}(B_2)$ рассмотрены при обсуждении частной кинематической структуры станка при продольном шлифовании. Группа круговой подачи $\Phi_{s1}(B_2)$ отличается от одноименной группы рассмотренной частной структуры установкой оси ведущего круга параллельно оси шлифовального круга. При этом группа $\Phi_{s1}(B_2)$ настраивается только на один параметр – скорость (круговую подачу) – изменением круговой частоты электродвигателя $M2$.

Группа врезания $Вр_s(П_4)$. Внутренняя связь:

направляющие качения станины → *шлифовальная бабка* ($П_4$).

Внешняя связь:

$Ц1$ → *клин 3* → *ТВ (винт VII подачи врезания)* → *шлифовальная бабка* ($П_4$).

Группа настраивается: на скорость – углом клина и скоростью его перемещения; на исходное положение и путь – винтом *VIII* по лимбу (упору).

В данной группе предусмотрен также ускоренный подвод шлифовальной бабки с помощью цилиндра *Ц2*. Конструктивно шток этого цилиндра является продолжением винта *VII* подачи врезания. В нем выполнен паз, через который проходит клин *3*, закрепленный на штоке цилиндра *Ц1*. Клин *3* со скоростью, заданной регулируемым дросселем гидросистемы, подводит шток – винт подачи на упор *4*. Движение врезания прекращается и происходит выхаживание на упоре *4*. Время выхаживания задается посредством реле времени системы управления. По сигналу реле цилиндры *Ц1* и *Ц2* отводятся в исходное положение, и нажатием винта *2* на конечный выключатель *KB* дается команда на выталкивание детали.

В группе врезания предусмотрены также две дополнительные внешние связи: одна – для ручной толчковой (прерывистой) подачи врезания, а другая – для быстрого перемещения шлифовальной бабки. Первая связь имеет вид:

Рычаг 5 → *собачка храпового механизма* → *храповое колесо 80* → *1/50* →
→ *ТВ (гайка – винт VII)* → *шлифовальная бабка (П₄)*.

Вторая связь:

М4 → *33/60* → *1/50* → *ТВ (гайка – винт VII)* → *шлифовальная бабка (П₄)*.

Структура станка включает также две одинаковые вспомогательные группы *Вс(П₅)*, предназначенные для правки шлифовального и ведущего кругов. Внутренняя связь групп:

продольные направляющие качения каретки → *суппорт (П₅)*.

Внешняя связь:

М3 (регулируемый, постоянного тока) → *28/102* → *35/95* →
→ *ТВ XII* → *суппорт (П₅)*.

Группы настраиваются: на скорость и направление – изменением круговой частоты и реверсированием электродвигателя; на путь и исходное положение – упорами системы управления. Муфты *М₁* и *М₂* – предохранительные. Предусмотрена также ручная периодическая подача врезания – рукояткой винта *XIII*.

3.4.5. Доводочные станки

Шероховатость поверхности существенно влияет на важнейшие эксплуатационные свойства деталей: износостойкость, усталостную прочность, потери на трение, сопротивление коррозии. Поэтому для обработки поверхностей с целью минимизации *Ra* применяют доводочные процессы обработки – хонингование, суперфиниширование, притирку.

Хонингование в основном применяется для обработки цилиндрических отверстий. Сущность процесса заключается в том, что специальный инструмент – хонинговальная головка (хон) – совершает одновременно два формообразующих движения – вращательное и поступательно-возвратное в неподвижной детали.

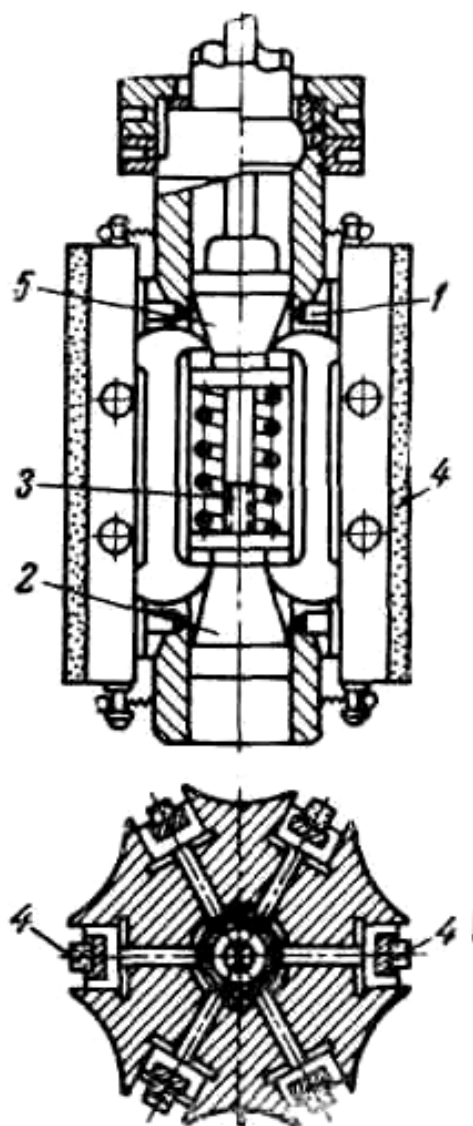


Рис. 3.37. Хонинговальная головка

На рис. 3.37 представлен простейший хон. В его корпусе равномерно по радиусу расположены продольные пазы, в которых размещены колодки с закрепленными на них абразивными или алмазными брусками 4. Бруски получают радиальное перемещение врезания при помощи двух конусов 2 и 5, насаженных на стержень 3 с резьбой. При хонинговании стержень 3 после каждого двойного хода хона поворачивается и сближает конусы 2 и 5, которые посредством пальцев 1 раздвигают бруски. При хонинговании бруски хона направляются предварительно обработанной поверхностью. Хон с помощью специальных шарниров самоустанавливается в хонингуемом отверстии. Поэтому точность хонингования мало зависит от точности станка.

Применение брусков тонкой зернистости и сложный характер их движения относительно обрабатываемой поверхности позволяет получать не только высокий класс чистоты поверхности ($Ra = 0,16 - 0,04$ мкм),

но и исправлять небольшие неточности формы поверхности, обеспечивая отклонение от цилиндричности 3 – 5 мкм. При хонинговании применяется охлаждающая жидкость – керосин или водно-мыльные эмульсии.

Выпускают хонинговальные станки универсальные и специальные в горизонтальной, вертикальной и наклонной компоновках. На них хонингуют детали диаметром 30 – 1000 мм и длиной до 30 м.

На рис. 3.38 представлена типовая компоновка универсального вертикального хонинговального станка. На основании 1 закреплена колонна 2, несущая ползун 3, в подшипниковых опорах которого смонтирован шпиндель хона 4. На основании 1 установлено приспособление 5 для закрепления хонингуемых деталей. В колонне размещены приводы кинематических групп исполнительных механизмов станка.

Хонинговальный станок модели ЗГ833. Предназначен для обработки (хонингования) цилиндрических отверстий в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Техническая характеристика. Пределы диаметров хонингуемых отверстий – 67 – 145 мм; длина хода шпинделя – 150 – 450 мм. Частота вращения шпинделя – 155 – 450 мин⁻¹. Движение радиального врезания после каждого двойного хода хона осуществляется вручную маховиком.

Кинематическая структура станка (рис. 3.39) содержит механические формообразующие группы: скорости резания (вращательное движение шпинделя хона) $\Phi_v(B_1)$ и продольной подачи (поступательно-возвратное движение шпинделя хона) $\Phi_s(P_2)$, а также ручную группу врезания (радиальное перемещение брусков хона) $Vp(P_3)$.

Группа скорости резания $\Phi_v(B_1)$. Ее внутренняя связь:

подшипниковые опоры ползуна → шпиндель хона (B_1).

Внешняя связь:

$M1 \rightarrow d_1/d_2 \rightarrow 45/18 \rightarrow 35/47 \rightarrow 47/19 \rightarrow$ шпиндель 8 хона (B_1).

Группа настраивается на один параметр – скорость (резания) – сменными шкивами d_1/d_2 (орган настройки i_v).

Орган настройки i_v . РП:

$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_u \text{ мин}^{-1}$ шпинделя хона.

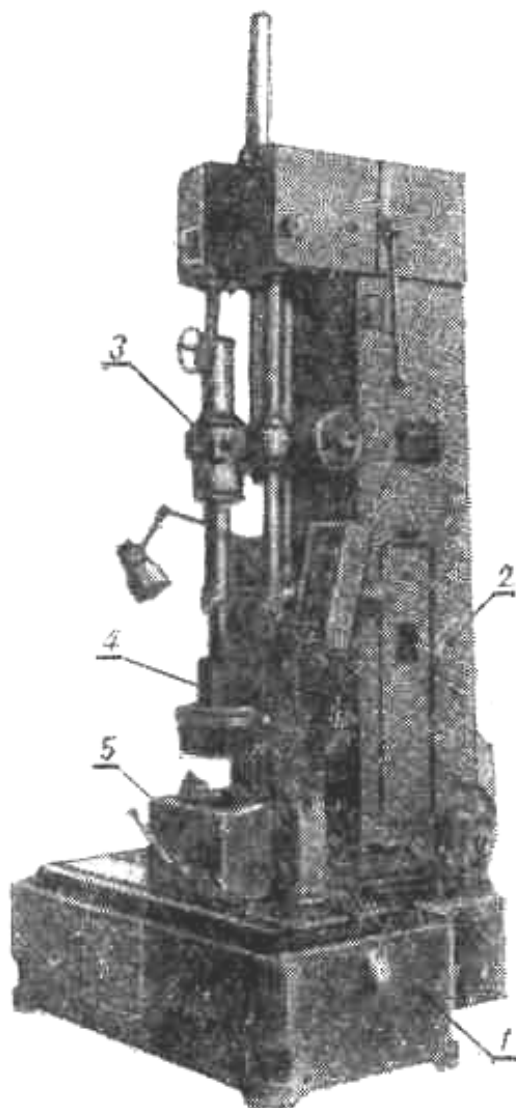


Рис. 3.38. Хонинговальный станок

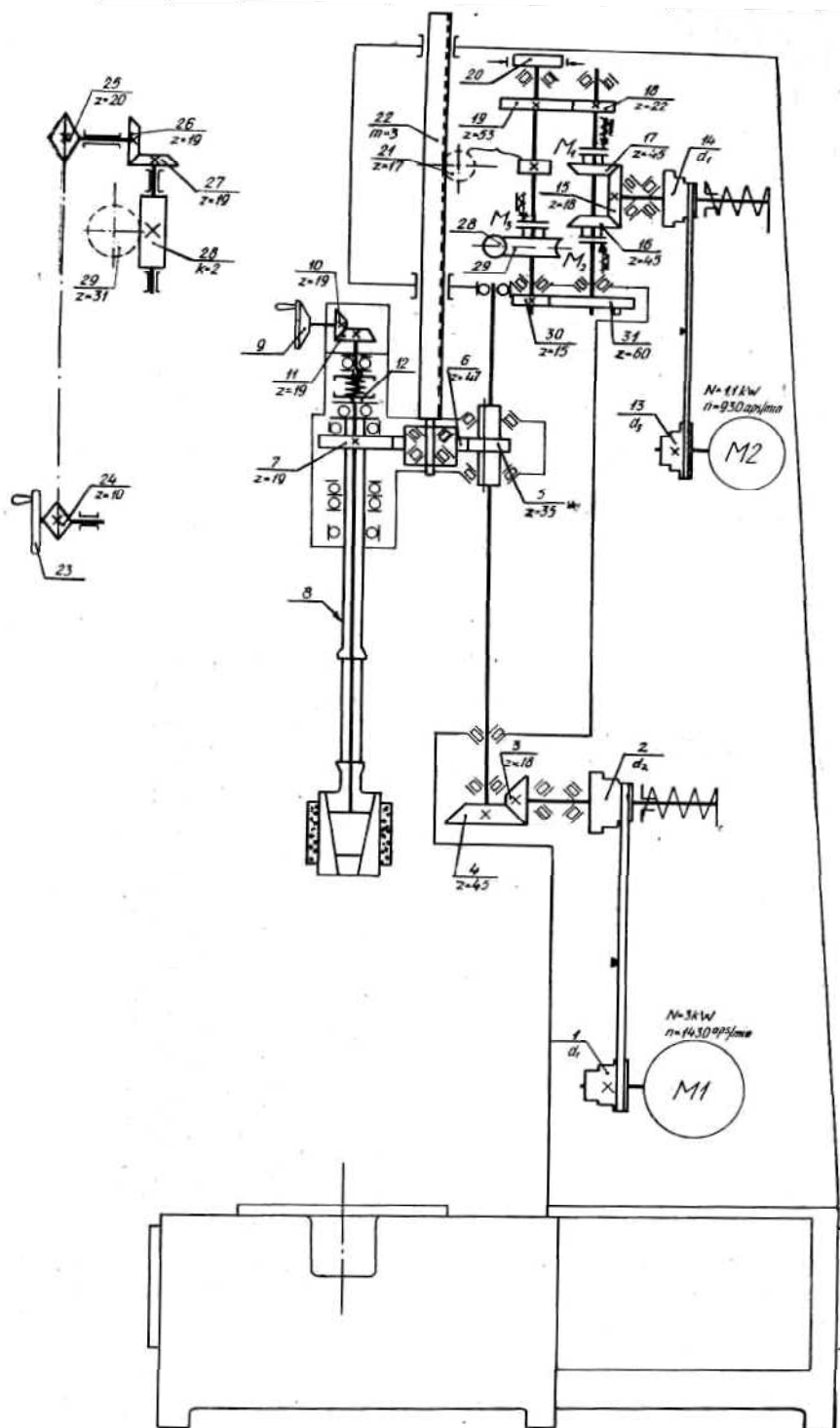


Рис. 3.39. Кинематическая схема хонинговального станка модели 3Г833

УКЦ:

$$n_{uu} = 1430 \cdot \left(i_v = \frac{d_1}{d_2}\right) \cdot \frac{18}{45} \cdot \frac{35}{47} \cdot \frac{47}{19}.$$

ФН:

$$(i_v = d_1/d_2) = 1000/n_{uu}.$$

Группа продольной подачи $\Phi_s(\Pi_2)$. Ее внутренняя связь:

вертикальные направляющие → *ползун* (Π_2).

Внешняя связь:

$M_2 \rightarrow d_1/d_1 \rightarrow 18/45$ (реверс M_1 или M_2) → $22/53 \rightarrow ТВ$ (зубчато-реечная передача, $t = \pi 3 17$) → *ползун* (Π_2).

Группа настраивается: на скорость (продольное поступательно-возвратное движение) – сменными шкивами d_1/d_1 (орган настройки i_s); на путь и исходное положение – электромеханическими упорами, поочередно включающими электромагнитные муфты M_1 и M_2 .

Орган настройки i_s . РП:

$$n_{M2} \text{ мин}^{-1} \rightarrow s \text{ мм/мин ползуна.}$$

УКЦ:

$$s = 930 \cdot \left(i_s = \frac{d_1}{d_1}\right) \cdot \frac{18}{45} \cdot \frac{22}{53} \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 17.$$

ФН:

$$i_s = s/2400.$$

В группе продольной подачи предусмотрена дополнительная внешняя связь, предназначенная для ручного перемещения ползуна при наладке станка. Эта связь имеет вид:

Маховик 23 → $10/20 \rightarrow 19/19 \rightarrow 2/31 \rightarrow M_3 \rightarrow$
→ *ТВ* (зубчато-реечная передача, $t = \pi 3 17$) → *ползун* (Π_2).

Ручное перемещение ползуна возможно только при выключенных муфтах M_1 и M_2 реверсивного механизма и включенной муфте M_3 .

Группа периодического (дискретного) радиального врезания $Vp(\Pi_3)$. Радиальное движение врезания после каждого двойного хода инструмента осуществляется при повороте стержня 3 хона (рис. 3.37). Этот стержень соединяется посредством специального шарнира со стержнем, расположенным в ползуне коаксиально шпинделю, и является его продолжением. Поворот стержня осуществляется маховиком 9 через зубчатую передачу $19/19$. Таким образом, по существу, хон выполняет функцию исполнительного механизма группы врезания. Величина врезания после каждого двойного хода задается по лимбу маховика 9, имеющего угловую градуировку. Величина дискреты врезания зависит от конструкции инструмента.

В средне- и крупносерийном производстве используют хонинговальные станки-полуавтоматы, например модели ЗМ83. В этих станках внешняя связь групп продольной подачи и врезания выполнена на элементной базе станочного гидропривода.

При хонинговании скорость резания назначается по общим для резания правилам, т.е. по справочникам режимов резания. Затем по общеизвестной формуле:

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

определяется круговая частота вращения шпинделя хона.

В приведенной формуле: v – скорость резания, м/мин; d – диаметр хонинговальной головки, мм.

Соотношение между скоростью резания и продольной подачей поступательно-возвратного движения определяет угол сетки шероховатости, наносимой режущими зернами на хонингуемую поверхность:

$$\text{tg } \alpha = v/s,$$

где α – угол сетки шероховатости поверхности;

s – продольная подача, м/мин.

По этому выражению определяют продольную подачу. Затем по общеизвестной формуле:

$$n_1 = \frac{1000 \cdot v}{2 \cdot L_x}, \text{ мин}^{-1}$$

определяется число двойных ходов хона.

В этой формуле: n_1 – число двойных ходов в мин; L_x – путь (длина) рабочего хода хона, $L_x = L_{нов.} + L_{бр.} + 2L_{пер.}$; $L_{нов.}$ – длина хонингуемой поверхности; $L_{бр.}$ – длина брусков хона; $L_{пер.}$ – перебеги хона за торец хонингуемой поверхности.

Минимальная производительность хонингования обеспечивается на режимах обработки при условии $v/s = 1$, а минимальная шероховатость поверхности обеспечивается при условии $v/s = 4 - 10$.

Назначение припуска и качество обработки зависит от конечных требований к точности и шероховатости, а также от характера предварительной обработки. Для исключения погрешности формы хонингуемой поверхности припуск определяют по формуле:

$$\delta = (\Delta_1 - \Delta_2) \kappa_1 + R_z + \kappa_2,$$

где δ – припуск под хонингование, мм;

Δ_1 – исходная величина отклонения от цилиндричности, мм;

Δ_2 – отклонение от цилиндричности по чертежу, мм;

κ_1 – коэффициент, характеризующий возможное наложение погрешностей;

R_z – высота неровностей поверхности до хонингования, мм;

κ_2 – коэффициент уменьшения шероховатости.

Для жестких деталей $\kappa_1 = 1$; для нежестких деталей $\kappa_1 = 1,5$. При уменьшении шероховатости в 2 – 3 раза $\kappa_2 = 1 – 1,5$; при уменьшении шероховатости в 4 и более раз $\kappa_2 = 1,2 – 1,25$.

Суперфиниширование по характеру обработки близко к хонингованию с малыми припусками, но отличается от него большим количеством движений мелкозернистых брусков, более низкими скоростями резания и меньшим давлением инструмента на обрабатываемую поверхность. Припуск при суперфинишировании минимальный от 0,002 до 0,02 мм.

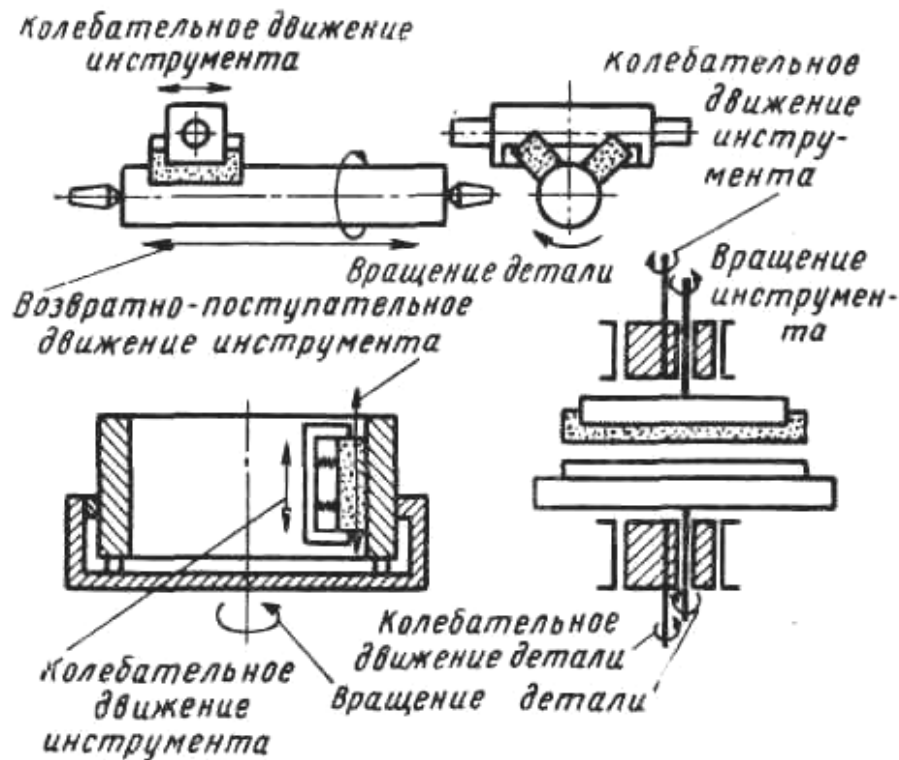


Рис. 3.40. Схема движения при суперфинишировании

Суперфиниширование используют для сверхчистой обработки (до $Ra = 0,1$ мкм) наружных, внутренних и плоских поверхностей (рис. 3.40). Сущность процесса заключается в том, что абразивные бруски совершают колебательное (осциллирующее) движение с большой частотой и малым ходом по поверхности детали. В результате микрогребешки на обрабатываемой поверхности срезаются и деталь получает более высокую чистоту поверхности. Процесс осуществляют при тех же охлаждающих жидкостях, что и хонингование.

На рис. 3.41 приведена схема установки для одновременного суперфиниширования двух цилиндрических шеек вала. Установка состоит из следующих формообразующих групп: $\Phi_v(B_1)$ скорости резания (вращение обрабатываемой детали 2), $\Phi_{s1}(П_2)$ продольной подачи (поступательно-возвратное движение детали 2), $\Phi_{s2}(П_3)$ осциллирующего движения детали 2 в направлении продольной подачи.

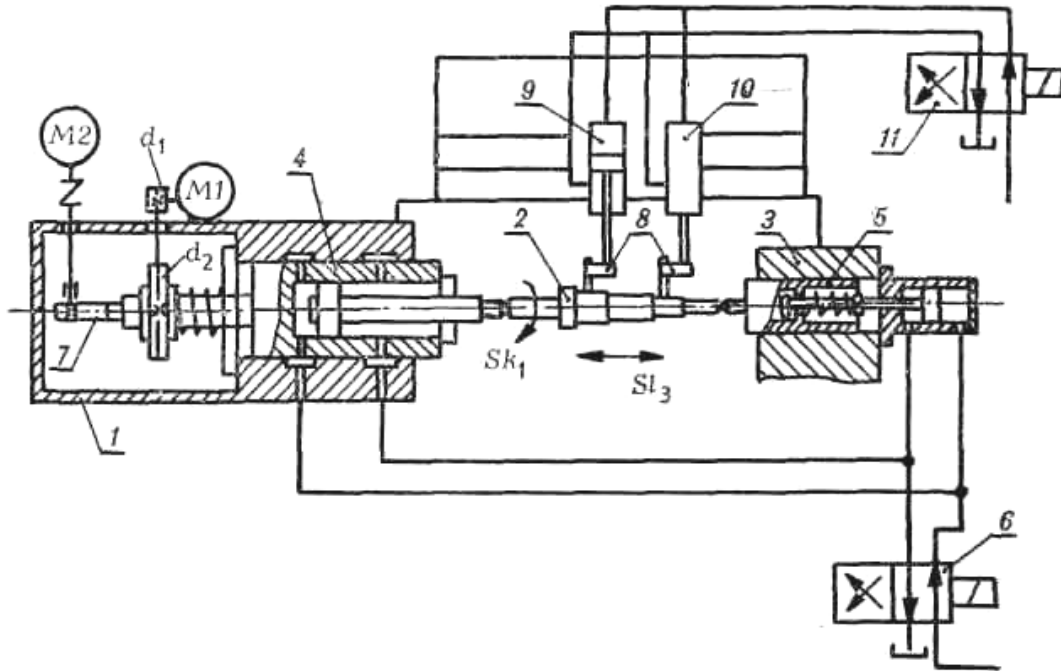


Рис. 3.41. Установка для суперфиниширования цилиндрических поверхностей

Группа $\Phi_v(B_1)$. Ее внутренняя связь:

подшипниковые опоры трения корпуса 1 (аналог передней бабки токарного станка) → шпиндель 4 (B_1).

Внешняя связь:

$M1 \rightarrow d_1/d_2 \rightarrow$ шпиндель 4 (B_1).

Группа настраивается на скорость – органом настройки i_v (сменные шкивы d_1/d_2).

Шпиндель 4 конструктивно совмещен с гидроцилиндром, поршень которого несет передний центр. В корпусе задней бабки 3 смонтирована пиноль 5, несущая задний центр. Пружина, размещенная в пиноле 5, служит для постоянного силового замыкания детали 2 по линии центров при обработке. Таким образом, внутренняя связь группы $\Phi_{s1}(П_2)$ имеет вид:

направляющие передней 1 и задней 3 бабок → шпиндель 4 U обрабатываемая деталь 2 U пиноль 5,

где символ U обозначает объединение шпинделя, детали, пиноли в единое целое.

Внешняя связь группы:

гидроцилиндры шпинделя 4 и пиноли 5 → объединение шпинделя, детали, пиноли (Π_2).

Группа настраивается: на скорость (подачу поступательно-возвратного движения) – регулируемые дросселями гидропанели; на путь и исходное положение – упорами, управляющими посредством поворотного золотника реверсивным золотником 6. Функционирование обоих гидроцилиндров осуществляется синхронно.

Группа $\Phi_{s2}(\Pi_3)$. Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы $\Phi_{s1}(\Pi_2)$. А внешняя связь имеет вид:

M_2 (регулируемый) → эксцентрик 7 → шпиндель 4, деталь, пиноль (Π_3).

Группа настраивается: на скорость (частоту осцилляции) – изменением круговой частоты электродвигателя; на путь (амплитуду осцилляции) – изменением эксцентриситета эксцентрика 7.

Усилие прижима инструментальных головок 8 осуществляется гидроцилиндрами 9 и 10, управляемыми реверсивным золотником 11.

Притирка – это доводка рабочих поверхностей деталей, выполняемая с помощью мелкозернистых абразивов, смешанных со смазкой и нанесенных на поверхность детали или инструмента – притира, выполняемого из чугуна.

В качестве притирающего вещества используют абразивные порошки, алмазную пыль, карбид бора, карбид кремния, пасты из окиси хрома, окиси алюминия и др. Их растворяют в смазочных и связывающих веществах – бензине, керосине, минеральных и синтетических маслах. При притирке детали и инструменту сообщают несколько движений, чтобы траектории абразивных зерен не повторялись на обрабатываемой поверхности. Детали вкладывают в окна сепаратора 3, форма которых зависит от формы детали (рис. 3.42). Сепаратор с

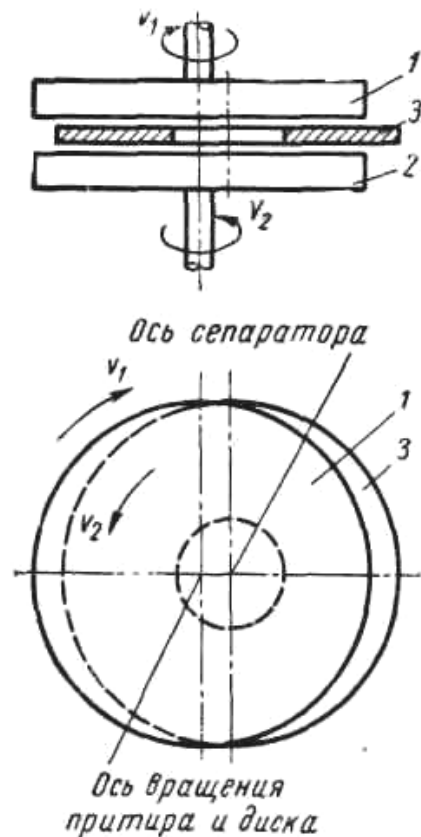


Рис. 3.42. Схема движений при притирке

детальями устанавливаются с эксцентриситетом между притиром 1 и диском 2. Притир и диск вращаются вокруг общей оси в противоположные стороны с разными круговыми частотами. Сепаратору с осью сообщается горизонтальное поступательно-возвратное движение. В итоге возникающее сложное относительное движение обеспечивает высокое качество поверхности (до $Ra = 0,02$ мкм).

Выпускаются притирочные станки универсального и специального назначения. В универсальных станках используют как планетарный привод, обеспечивающий вращательное движение сепаратора, так и эксцентриковый привод, обеспечивающий плоскопараллельное движение сепаратора. На рис. 3.43 показана типовая компоновка универсального притирочного станка.

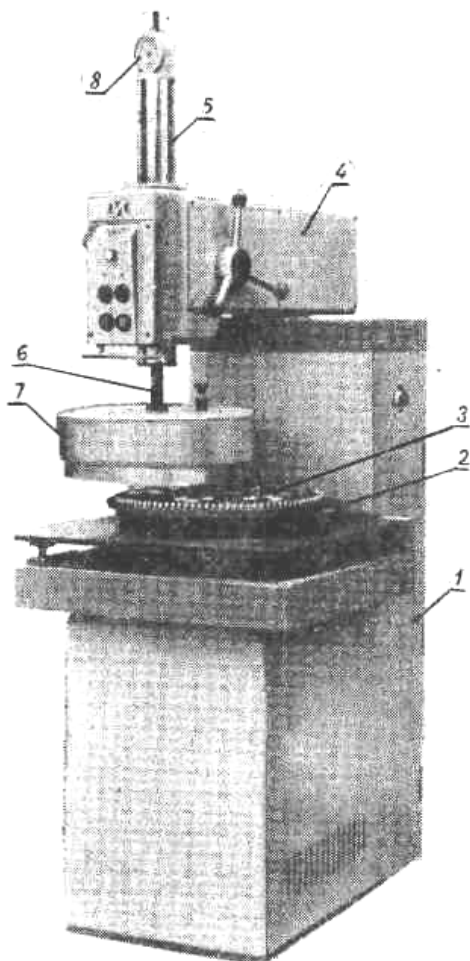


Рис. 3.43. Универсальный притирочный станок

Базовым элементом станка является станина 1 коробчатой формы. В нижней части станины размещены кинематические группы приводов нижнего доводочного диска 2 и сепаратора 3. На верхней части стойки на подшипниках качения смонтирована поворотная консоль 4. В передней части консоли расположена пиноль 5, несущая шпиндель 6 верхнего доводочного диска 7, и пульт управления. В верхней части пиноли установлен динамометр 8, предназначенный для контроля усилия прижима доводочного круга. В стойке смонтирован дозатор периодической (0,4 – 2 мин) подачи в зону притирки абразивной суспензии. Для удобства эксплуатации станина, стойка и консоль снабжены крышками.

Вертикальный притирочный станок модели 3Б814.

Предназначен для доводки деталей из стали, чугуна, бронзы, керамики, пластмасс и т.п. Доводку можно выполнять как с эксцентриковым, так и с планетарным приводом сепаратора.

Техническая характеристика. Диаметр притира (доводочного диска) – 450 мм. Наибольшие размеры притираемых деталей: круглых – 115 мм; квадратных – 80 мм; цилиндрических – 50 мм. Усилие прижима верхнего притира 0 – 1600 Н. Точность обработки – 0,0005 – 0,001 мм; шероховатость доведенной поверхности – 0,02 – 0,08 мкм.

Кинематическая структура станка (рис. 3.44) содержит следующие формообразующие кинематические группы: скорости резания (вращение нижнего притира) $\Phi_V(B_1)$; вращения сепаратора $\Phi_{s1}(B_2)$, плоскопараллельного движения сепаратора $\Phi_{s2}(П_3)$. Все группы связаны между собой общим электродвигателем и частью кинематических передач. А группы подачи Φ_{s1} и Φ_{s2} имеют общий исполнительный орган – сепаратор.

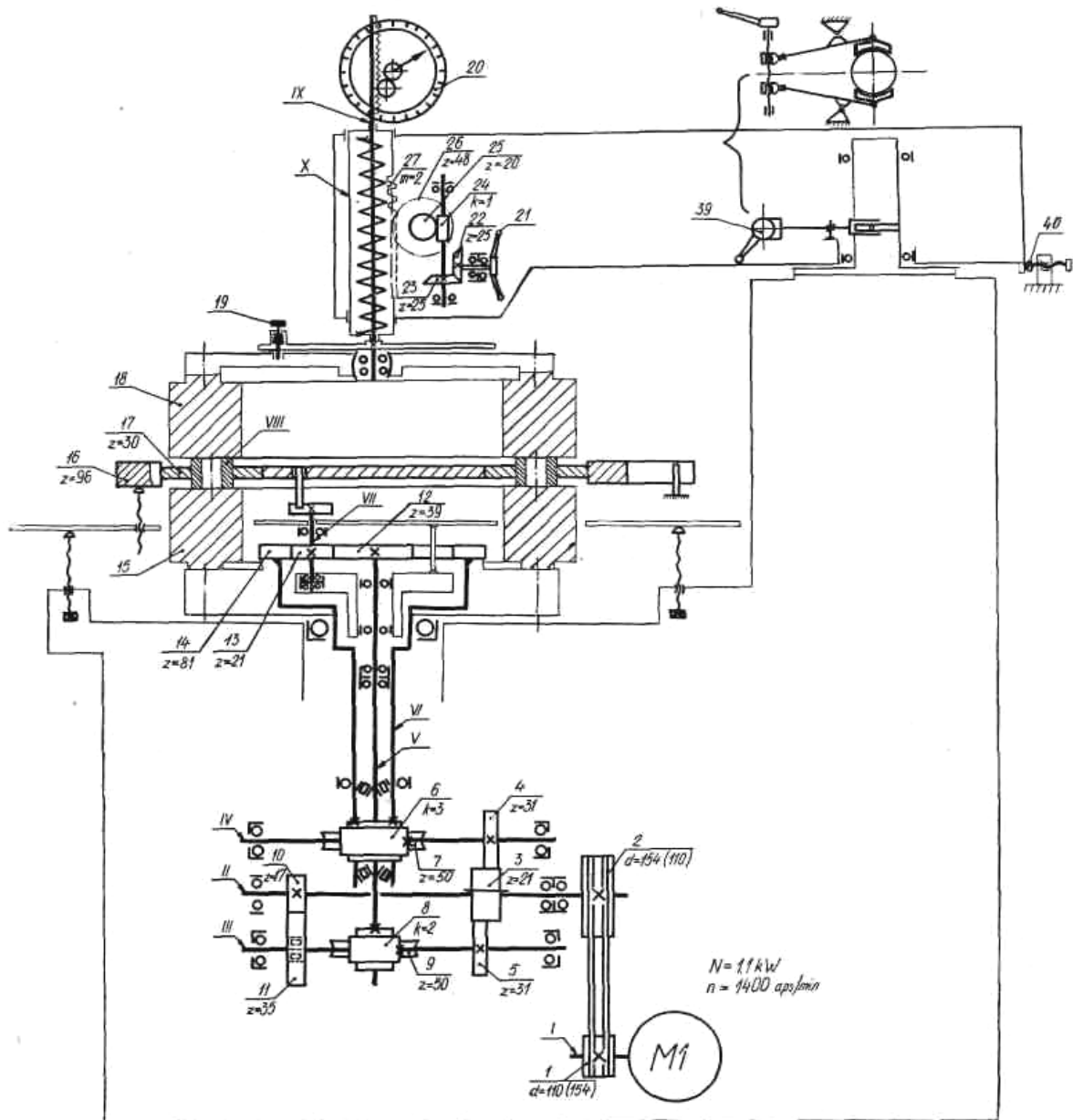


Рис. 3.44. Кинематическая схема универсального притирочного станка модели 3Б814

Группа скорости резания (главное движение) $\Phi_v(B_1)$. Ее внутренняя связь:
*подшипниковые опоры станины → шпиндель VI планшайбы
нижнего притира (B_1).*

Внешняя связь:

$M1 \rightarrow$ *клиноременная передача 110/154 → 21/31 → 3/50 → шпиндель VI
планшайбы нижнего притира (B_1).*

Группа настраивается на скорость – перестановкой шкивов клиноременной передачи. Таким образом, планшайба имеет следующие два значения частоты вращения:

$$n_1 = 1430 \cdot \frac{110}{154} \cdot \frac{21}{31} \cdot \frac{3}{50} = 41,5 \text{ мин}^{-1}; \quad n_2 = 1430 \cdot \frac{154}{110} \cdot \frac{21}{31} \cdot \frac{3}{50} = 81 \text{ мин}^{-1};$$

Группа вращения сепаратора $\Phi_{s1}(B_2)$. Ее внутренняя связь:
*рабочие поверхности нижнего 15 и верхнего 18 притиров →
→ сепаратор притираемых деталей VIII (B_2).*

Кинематической структурой предусмотрены три варианта внешних связей, объединенных общим электродвигателем $M1$ и общей клиноременной передачей, имеющей два значения передаточного отношения. Каждая внешняя связь обеспечивает два значения круговой частоты сепаратора.

Первая внешняя связь (вал IV отключен посредством смещения колеса 3 влево) имеет вид:

$M1 \rightarrow$ *клиноременная передача (110/154 или 154/110) →
→ 21/31 → 2/50 → вал V → $i_{1\Sigma}$ → вал VII → сепаратор (B_2).*

Вторая внешняя связь (вал III отключен посредством смещения колеса 3 вправо) имеет вид:

$M1 \rightarrow$ *клиноременная передача (110/154 или 154/110) →
→ 21/31 → 3/50 → шпиндель VI → $i_{2\Sigma}$ → вал VII → сепаратор (B_2).*

Третья внешняя связь (валы III и IV включены посредством смещения колеса 3 в среднее положение) имеет вид:

$M1 \rightarrow$ *клиноременная передача (110/154 или 154/110) →
→ [(21/31 → 2/50 → вал V → $i_{1\Sigma}$) – (21/31 → 3/50 → шпиндель VI → $i_{2\Sigma}$)] →
→ вал VII → сепаратор (B_2).*

На валу VII , смонтированном на торце водила планетарного механизма, устанавливается сменный эксцентрик, палец которого сопрягается с отверстием центрального колеса сепаратора. Диапазон эксцентриситетов сменных эксцентриков равен 0 – 20 мм. В результате при нулевом эксцентриситете сепаратору сообщается вращательное движение, а при ином значении – плоскопараллельное движение с амплитудой равной значению эксцентриситета.

Рассмотренные варианты внешних связей и расчетные цепи для вывода ФН совпадают. Следовательно, РП имеют вид:

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_c (B_2) \text{ мин}^{-1}.$$

УКЦ для первого варианта внешней связи:

$$n_c = 1430 \cdot \left(\frac{110}{154} \text{ или } \frac{154}{110} \right) \cdot \frac{21}{31} \cdot \frac{2}{50} \cdot (i_{1\Sigma} = \frac{39}{39+81}).$$

Откуда,

$$n_{c1} = 9 \text{ мин}^{-1}; n_{c2} = 18 \text{ мин}^{-1}.$$

УКЦ для второго варианта внешней связи:

$$n_c = 1430 \cdot \left(\frac{110}{154} \text{ или } \frac{154}{110} \right) \cdot \frac{21}{31} \cdot \frac{3}{50} \cdot (i_{1\Sigma} = \frac{81}{39+81}).$$

Откуда,

$$n_{c3} = 28 \text{ мин}^{-1}; n_{c4} = 54 \text{ мин}^{-1}.$$

Вычитая из значений n_{c3} и n_{c4} значения n_{c1} и n_{c2} соответственно, получим еще два значения частоты вращения сепаратора, соответствующие третьему варианту внешней связи:

$$n_{c5} = 17 \text{ мин}^{-1}; n_{c6} = 36 \text{ мин}^{-1}.$$

Для обеспечения усилия прижима в структуре станка предусмотрена ненастраиваемая, вспомогательная группа $Bc(П_3)$. Ее внутренняя связь:

$$\text{направляющие консоли} \rightarrow \text{пиноль } X (П_3).$$

Внешняя связь:

$$\text{маховик } 21 \rightarrow 25/45 \rightarrow 1/20 \rightarrow (ТВ, шаг \pi t z) \rightarrow \text{пиноль } X (П_3).$$

В пиноле X размещена зубчатая штанга IX динамометра 20, посредством которого устанавливают усилие прижима притираемых деталей к верхнему 15 и нижнему 18 притирам.

3.5. Станки строгально-протяжной группы

К данной группе относят станки, имеющие прямолинейное движение резания независимо от того каким инструментом они работают: резцами (строгальные и долбежные станки) или протяжками и прошивками (протяжные станки). В строгальных и долбежных станках движение подачи осуществляется резцом или заготовкой. Эти станки предназначены для обработки линейчатых поверхностей, описанных прямой, перемещающейся по направляющей. Относительное перемещение заготовки и инструмента по направляющей обеспечивается движением подачи, а по образующей – движением резания. В протяжных станках движение подачи заложено в конструкцию протяжки, в которой каждый последующий режущий зуб выступает над предыдущим.

3.5.1. Стругальные станки

Различают поперечно-строгальные, продольно-строгальные и долбежные станки. Движение резания в поперечно- и продольно-строгальных станках всегда горизонтальное, а в долбежных – всегда вертикальное.

Поперечно-строгальные и долбежные станки применяют в единичном и серийном производстве для обработки небольших по размерам заготовок. Продольно-строгальные станки используют в серийном производстве для обработки крупногабаритных деталей, например, станин металлорезающих станков или для одновременного строгания нескольких заготовок среднего размера. На этих станках возможно одновременное строгание несколькими резцами с разных суппортов.

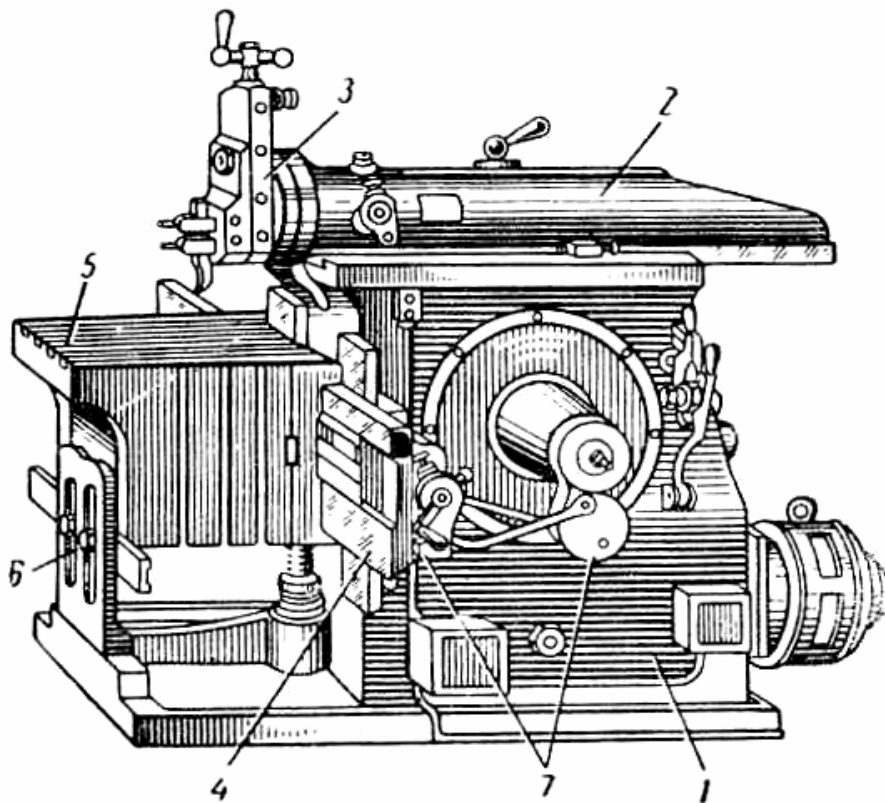


Рис. 3.45. Поперечно-строгальный станок

На рис. 3.45 показан общий вид поперечно-строгального станка. В верхних направляющих станины 1 смонтирован ползун 2, совершающий при строгании поступательно-возвратное движение резания. На левом конце ползуна установлен суппорт 3, состоящий из поворотного диска и салазок, периодически получающих вертикальную подачу от передачи винт-гайка при ручном повороте винта посредством маховика. На салазках смонтирована резцовая каретка с откидной планкой и резцедержателем. На

вертикальных направляющих станины находится поперечина 4, на которой в горизонтальной плоскости перемещается стол 5 (движение подачи). На верхнюю плоскость стола 5 устанавливают заготовки или тиски и закрепляют их с помощью болтов, устанавливаемых в Т-образные пазы стола.

Характерным размером поперечно-строгальных станков является длина хода ползуна, которая составляет 200 – 2400 мм. Поступательно-возвратное движение ползуна осуществляется посредством кулисного механизма, являющегося конечным звеном внешней связи группы скорости резания. А в станках с длиной хода 700 – 1000 мм это движение гидрофицировано.

Плоскости обрабатывают следующим образом. Стол 5 вместе с поперечиной устанавливают на определенной высоте в зависимости от вертикального размера заготовки. Для большей жесткости стол дополнительно закрепляют в стойке 6. Процесс строгания происходит при движении ползуна влево. По окончании рабочего хода ползун возвращается вправо, совершая ускоренный холостой ход, в конце которого механизм 7 осуществляет периодическую подачу стола вдоль направляющих поперечины. При отрезных операциях или при обработке вертикальных плоскостей периодическую подачу сообщают вручную суппорту 3.

Размерной характеристикой продольно-строгальных станков являются наибольшие размеры обрабатываемых деталей (ширина × длина × высота). Выпускают станки от 630 × 2000 × 550 до 5000 × 12500 × 4500 мм. У этих станков подвижной частью является стол с закрепленной на нем заготовкой. Различают одностоечные и двухстоечные станки.

В двухстоечном продольно-строгальном станке (рис. 3.46) на направляющих 1 станины 2 размещен стол 3, на котором закрепляют обрабатываемые заготовки. На двух стойках 4 и 5, скрепленных для жесткости балкой 6, установлена траверса, несущая два суппорта 8. В направляющих правого портала может иметь вертикальные перемещение боковой суппорт. В коробке 10 расположен привод группы скорости резания, а в коробках 7 и 9 – приводы групп подач вертикальных и бокового суппортов. При строгании стол совершает поступательно-возвратное движение скорости резания. В конце рабочего хода осуществляется периодическая поперечная подача верхних суппортов 8 в горизонтальном, а боковых суппортов 9 – в вертикальном направлении. Таким образом, резцы, установленные в резцедержателях суппортов 8, обрабатывают горизонтальные плоскости, а резцы, установленные в резцедержателях суппортов 9 обрабатывают боковые поверхности.

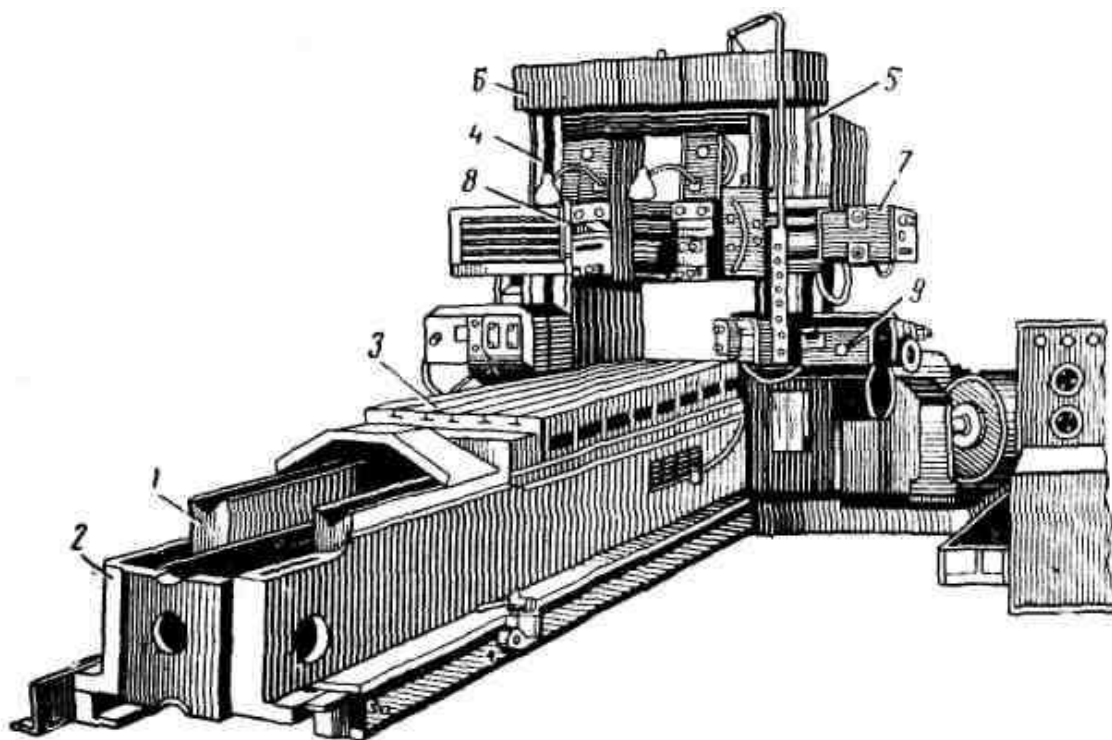


Рис. 3.46. Продольно-строгальный станок

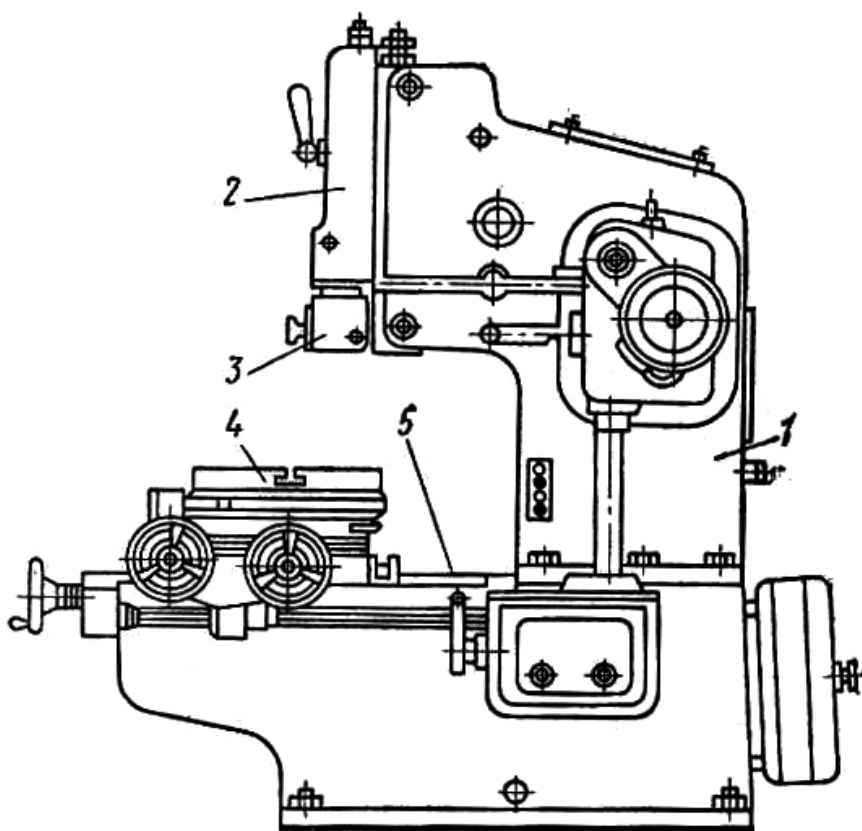


Рис. 3.47. Долбежный станок

Долбежные станки предназначены для наружного и внутреннего долбления плоских и фасонных поверхностей, вырезов, канавок, а также долбления с поднутрением до 10° . Характерными размерами долбежных станков являются ход ползуна (100 – 1600 мм) и диаметр стола (240 – 1600 мм).

В станине 1 долбежного станка (рис. 3.47) расположены механизмы кинематических групп станка. По вертикальным направляющим станины перемещается ползун 2, несущий резцедержатель 3. При движении ползуна вниз осуществляется рабочий ход, а при его движении вверх – холостой ход. Обрабатываемые детали устанавливаются на столе 4, перемещающемся по горизонтальным направляющим 5. В современных конструкциях долбежных станков предусмотрено также поперечное и вращательное движение стола.

Долбежный станок модели 7Д430. Предназначен для выполнения всех видов работ характерных для долбежных станков.

Техническая характеристика. Наибольший ход долбяка 320 мм; диаметр рабочей поверхности стола 630 мм; диапазон скоростей долбяка 3 – 38 м/мин. Диапазон подач стола на двойной ход долбяка: продольных и поперечных 0,1 – 2,5 мм; круговых 0,1 – 1,4 мм.

Кинематическая структура станка (рис. 3.48) содержит следующие формообразующие группы: скорости резания $\Phi_v(P_1)$, продольной подачи $\Phi_{s1}(P_2)$, поперечной подачи $\Phi_{s2}(P_3)$, круговой подачи $\Phi_{s3}(B_4)$

Группа скорости резания $\Phi_v(P_1)$ воспроизводит поступательно-возвратное движение ползуна В, несущего долбяк. Ее внутренняя связь: *вертикальные направляющие станины Г → ползун В долбяка (P₁).*

Внешняя связь:

*М1 → сдвоенный лопастной насос → гидропанель Д →
→ гидроцилиндр Ц1 → ползун В долбяка (P₁).*

Для обеспечения реверсирования ползуна в конце каждого хода в группе предусмотрена обратная связь, переключающая гидрораспределитель управления гидропанели Д, выполненная в виде кинематической цепи:

*Рейка (m = 2,5 mm) → 28 → 20/36 → вал II → 26/36 → вал III (вид Ж) →
→ кулачки 7 → рычаг 4 управления гидрораспределителем.*

Группа настраивается: на скорость – ступенчато дросселем гидросистемы управления: на путь и исходное положение – положением кулачков 7 на валу III. Причем угол между кулачками, задающий путь, определяется по формуле:

$$\alpha = (L/\pi \cdot 28 \cdot 2,5) \cdot 20/36 \cdot 26/36 \cdot 360^\circ = 0,505^\circ L,$$

где L – длина хода долбяка.

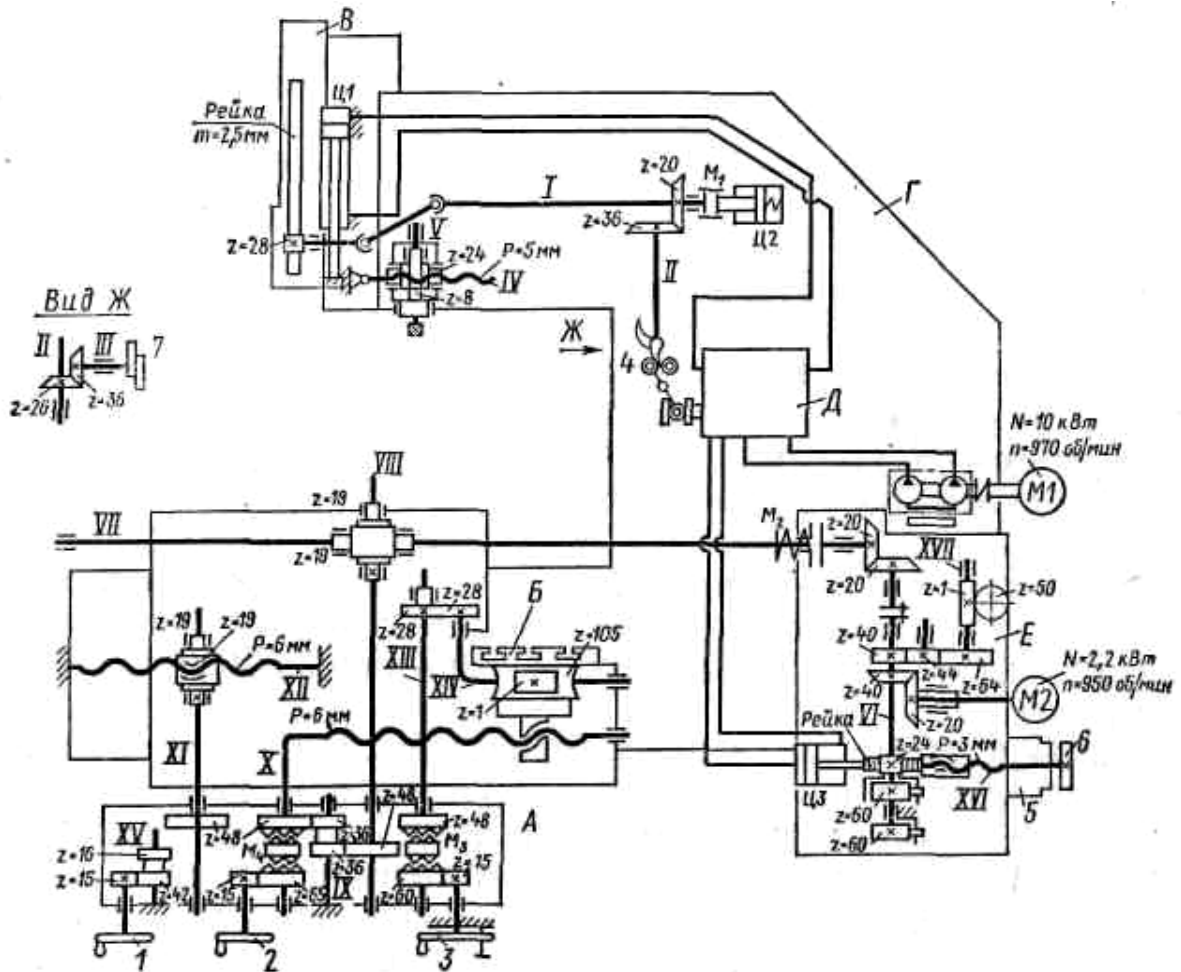


Рис. 3.48. Кинематическая схема долбежного станка модели 7Д430

Группа работает следующим образом. При поступлении масла в верхнюю полость цилиндра Ц1 ползун перемещается вниз (рабочий ход) вместе с рейкой, которая по цепи обратной связи вращает кулачки 7. В конце рабочего хода кулачок, управляющий параметром «путь», нажимает на рычаг 4, переключая гидрораспределитель управления. Тогда масло будет поступать в нижнюю полость цилиндра Ц1, поднимая ползун вверх. При этом вал III будет вращаться в обратную сторону и кулачок, управляющий параметром «исходное положение», нажимая на рычаг 4, вновь переключит гидрораспределитель управления на рабочий ход, и цикл повторится.

Дополнительный гидроцилиндр Ц2 в рассматриваемой группе осуществляет торможение ползуна. Одна зубчатая полумуфта M1 вращается вместе с валом I, а другая – удерживается от вращения штоком гидроцилиндра. При остановке станка пружина смещает поршень влево и соединяет обе полумуфты, тем самым предотвращая самопроизвольное опускание ползуна под действием собственной массы.

В резцедержателе долбяка (не показан) расположен механизм автоматического отвода долбяка при ходе ползуна вверх.

Группа продольной подачи $\Phi_{s1}(П_2)$ обеспечивает прерывистую (дискретную) продольную подачу стола. Ее внутренняя связь:

продольные направляющие станины → продольная каретка стола Б (П₂).

Внешняя связь:

М1 → сдвоенный лопастной насос → гидрпанель Д → ЦЗ → рейка/24 → колесо 60 храпового механизма → 20/20 → М₂ → 19/19 → 48/36 → → 36/48 → 48/48 → 19/19 → ТВ XII → продольная каретка стола Б (П₂).

Другой храповик, также расположенный на валу VI, противодействует вращению этого вала в обратную сторону во время зарядки механизма.

Группа настраивается: на скорость (продольную подачу) – количеством зубьев храпового колеса 60, захватываемых собачкой храпового механизма, на исходное положение – маховиком 1 (колесо 48 на валу XI смещено вниз по схеме и зацеплено с колесом 16 вала XV). Путь (величина подачи) зависит от хода поршня цилиндра ЦЗ и устанавливается маховиком 6 через винт-гайку XVI. Отсчет этого параметра осуществляется по лимбу 5.

Во внешней связи группы предусмотрена дополнительная кинематическая цепь для ускоренных перемещений стола. Ее структура имеет вид:

М2 → 20/40 → далее по основной цепи внешней связи до исполнительного органа (продольной каретки стола).

Группа поперечной подачи $\Phi_{s2}(П_3)$ обеспечивает прерывистую (дискретную) поперечную подачу стола. Ее внутренняя связь:

направляющие продольной каретки → поперечная каретка стола Б (П₃).

Внешняя связь:

М1 → сдвоенный лопастной насос → гидрпанель Д → ЦЗ → рейка/24 → → колесо 60 храпового механизма → 20/20 → М₂ → 19/19 → 48/36 → 36/48 → М₄ → ТВ X → поперечная каретка стола Б (П₃).

Группа настраивается: на скорость (поперечную подачу) – количеством зубьев храпового колеса 60, захватываемых собачкой храпового механизма, на исходное положение – маховиком 2 (муфта М₄ включена вниз по схеме). Путь (величина подачи) зависит от хода поршня цилиндра ЦЗ и устанавливается также как и при продольной подаче.

Во внешней связи группы предусмотрена дополнительная кинематическая цепь для ускоренных перемещений стола. Ее структура имеет вид:

М2 → 20/40 → далее по основной цепи внешней связи до исполнительного органа (поперечной каретки стола).

Группа круговой подачи $\Phi_{s_3}(B_4)$. Ее внутренняя связь:

подшипниковые опоры поперечной каретки → стол Б (B₄).

Внешняя связь:

*M₁ → сдвоенный лопастной насос → гидрпанель Д → ЦЗ → рейка/24 →
→ колесо 60 храпового механизма → 20/20 → M₂ → 19/19 →
→ 48/48 → M₃ → 28/28 → 1/105 → стол Б (B₄).*

Группа настраивается: на скорость (круговую подачу) – количеством зубьев храпового колеса 60, захватываемых собачкой храпового механизма, на исходное положение – маховиком 3 (муфта M₃ включена вниз по схеме). Путь (величина подачи) зависит от хода поршня цилиндра ЦЗ и устанавливается так же, как при продольной и поперечной подачах.

Во внешней связи группы предусмотрена дополнительная кинематическая цепь для ускоренных перемещений стола. Ее структура имеет вид:

*M₂ → 20/40 → далее по основной цепи внешней связи до
исполнительного органа (стола Б).*

Данную группу можно рассматривать также как простую группу деления с ручным управлением.

Кинематические группы, составляющие общую структуру станка, соединены общим источником энергии и гидрпанелью Д. А группы подач имеют общий участок внешних связей от источника энергии до вала VII. При этом коробка E является общим органом настройки на подачу и путь, а коробка A – общим органом настройки исходного положения и коммутатором подач.

УКЦ для продольной, поперечной и круговой подач соответственно:

$$s_{np} = a/60 \cdot 20/20 \cdot 19/19 \cdot 48/36 \cdot 36/48 \cdot 48/48 \cdot 19/19 \cdot 6 \text{ мм/дв. ход};$$

$$s_{non} = a/60 \cdot 20/20 \cdot 19/19 \cdot 48/36 \cdot 36/48 \cdot 6 \text{ мм/дв. ход};$$

$$s_{кр} = a/60 \cdot 20/20 \cdot 19/19 \cdot 48/36 \cdot 36/48 \cdot 28/28 \cdot 1/105 \cdot 360^\circ / \text{дв. ход},$$

где a – количество зубьев храпового колеса 60, захватываемых собачкой храпового механизма.

3.5.2. Протяжные станки

Протяжные станки предназначены для обработки как внутренних, так и наружных поверхностей различной формы в условиях крупносерийного и массового производства. Эти станки имеют большую производительность, обеспечивают высокую точность обработки и при этом просты по конструкции и в работе. Различают протяжные станки по степени универсальности – общего назначения и специальные, а по направлению и характеру движения резания – горизонтальные и вертикальные. В машино-

строении наибольшее распространение получили горизонтальные станки общего назначения.

Характерные параметры протяжных станков: наибольшая тяговая сила 6,3 – 1470 кН; максимальная длина хода протяжки 400 – 3200 мм.

На рис. 3.49 показана протяжная операция. Хвостовик 6 протяжки пропускают через отверстие заготовки 11 и втулку 10 опорного приспособления, а затем закрепляют в патроне, состоящем из корпуса 2 и сменной втулки 5, с внутренним диаметром, соответствующим диаметру хвостовика. Протяжку закрепляют с помощью клина 4, фиксируемого поперечным штифтом 3. Хвостовик патрона ввернут в муфту 1 штока силового цилиндра протяжного станка. Заготовка 11 левым торцом упирается во втулку 10, которая вставлена в подвижную опору 9 приспособления и прижимается к ней с помощью силовой пружины 7. Подвижная опора своей выпуклой шаровой поверхностью контактирует с плитой 12, смонтированной в корпусе 8 станины станка. Когда шток силового цилиндра вместе с патроном и протяжкой перемещается влево при неподвижном суппорте, происходит обработка отверстия. Его форма может быть круглой шлицевой, в виде шпоночного паза и др.

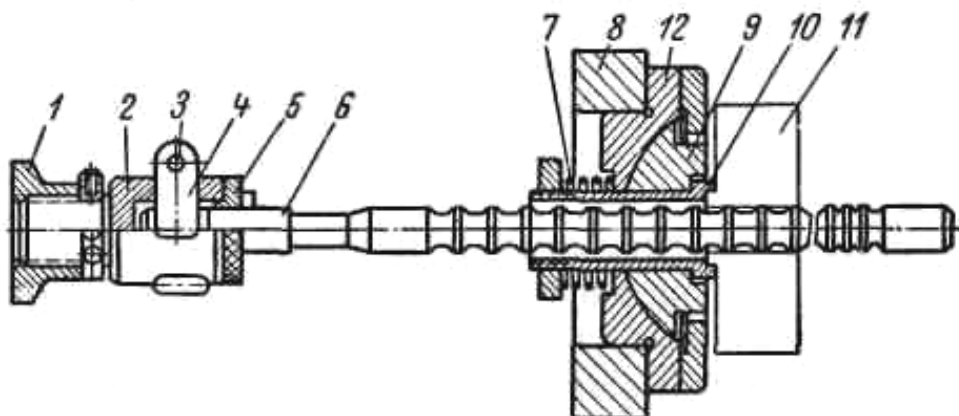


Рис. 3.49. Схема протяжной операции

Известны и другие конструкции приспособлений для установки деталей и закрепления протяжек.

Типовая компоновка современного горизонтально-протяжного станка показана на рис. 3.50. В полой части станины 1 коробчатой формы смонтированы основные агрегаты гидравлического привода. Слева расположен силовой цилиндр 2. Шток его поршня связан с рабочими салазками, которые, перемещаясь в направляющих вдоль оси станка, служат дополнительной опорой. На конце штока насажена втулка с патроном для закрепления протяжки 3, правый конец которой поддерживается люнетом 4.

Приспособление для установки заготовки и сама деталь упираются в неподвижный корпус 5 станины.

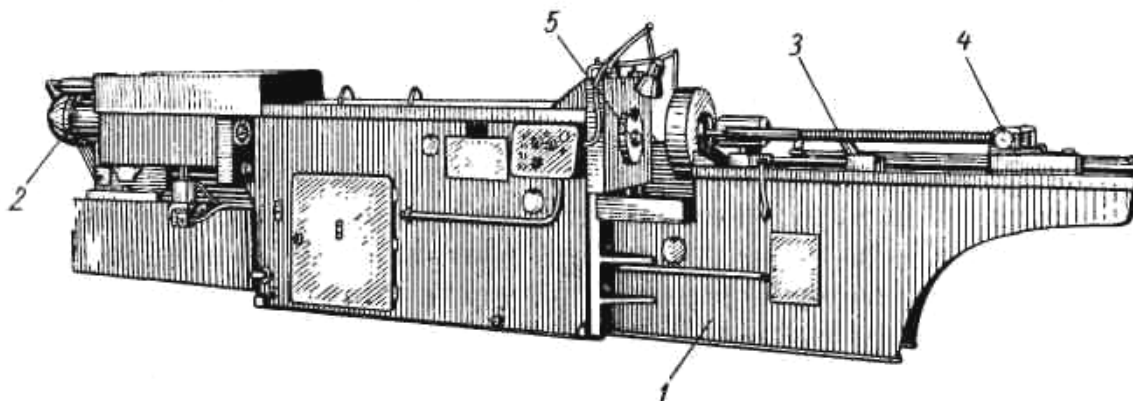


Рис. 3.50. Горизонтально-протяжной станок

Горизонтально-протяжной станок модели 7Б510. Предназначен преимущественно для внутреннего протягивания.

Техническая характеристика. Максимальная тяговая сила 100 кН; диапазон скоростей резания 1,5 – 9 м/мин; скорость обратного хода 25 м/мин.

Станок работает по полному и неполному циклам. При полном цикле осуществляется подвод протяжки, замедленный рабочий ход, настроенный рабочий ход, замедленный рабочий ход при работе калибрующих зубьев, стоп, замедленный ход в обратном направлении и отвод протяжки. При неполном цикле подвод и отвод протяжки отсутствует.

Кинематическая структура станка (рис. 3.51) состоит из формообразующей группы скорости резания $\Phi_v(P_1)$, воспроизводящей направляющую обрабатываемой поверхности, и вспомогательной группы $\Phi_s(P_2)$, предназначенной для подвода и отвода протяжки (движение позиционирования).

Группа $\Phi_v(P_1)$. Ее внутренняя связь:

направляющие станины → рабочие салазки (P_1).

Внешняя связь содержит гидравлические агрегаты и трубопроводы и имеет вид:

электродвигатель (не показан) → регулируемый радиально-поршневой насос НП → дифференциальный золотник ДЗ → трубопроводы → рабочий цилиндр РЦ → рабочие салазки (P_1).

Группа настраивается: на скорость – изменением производительности насоса *НП*; на исходное положение и путь – кулачками, воздействующими на конечные выключатели системы управления.

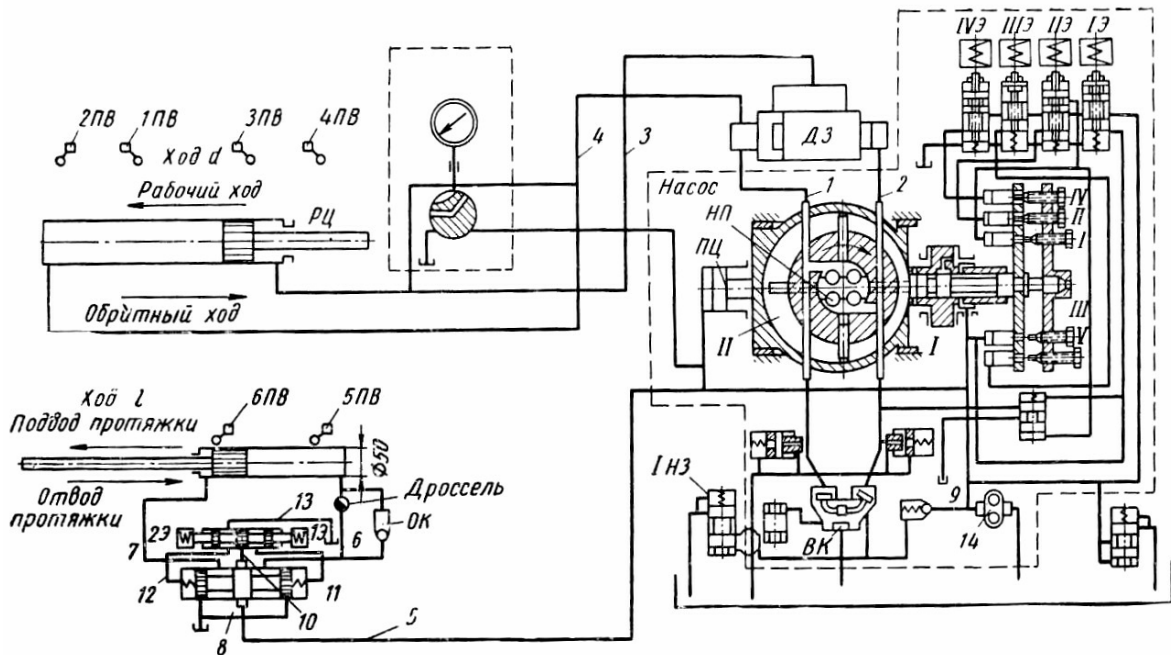


Рис. 3.51. Гидравлическая схема станка модели 7Б510

Группа $\Phi_s(P_2)$. Ее внутренняя связь:

направляющие станины → *вспомогательные салазки* (P_2).

Внешняя связь:

электродвигатель (не показан) → *шестеренный насос 14, конструктивно совмещенный с насосом НП* → *вспомогательные салазки* (P_2).

Группа настраивается на исходное положение и путь – кулачками, воздействующими на конечные выключатели системы управления.

Станок оснащен путевой, электрогидравлической системой управления циклом обработки. Радиально-поршневой насос *НП* высокого давления (на схеме показан условно) осуществляет рабочий и обратный ходы рабочих салазок. Вспомогательный гидропривод, служащий для отвода и подвода вспомогательных салазок (протяжки), состоит из шестеренного насоса *14*, встроенного в поршневой насос *НП*, и из вспомогательного цилиндра. От насоса *14* масло подается в подпорный цилиндр *ПЦ*, затем в центральный гидрораспределитель и далее к механизму управления, в котором расположены четыре гидрораспределителя, управляемых электромагнитами *IЭ, IIЭ, IIIЭ, IVЭ*. В диске механизма управления установлено пять винтов. Эти винты регулируют подачу насоса *НП* посредством смещения его статора. При подаче давления под поршни, расположенные оппозитно винтам *I, II, III, IV, V*, они штоками упрутся в эти винты и ограничат перемещение диска механизма управления и соответственно гидрораспределителя, соединенного с поршнем подпорного цилиндра *ПЦ*.

Рассмотрим работу гидравлической схемы станка для полного цикла. В исходном положении рабочие салазки находятся в крайнем правом положении. Протяжка – в отведенном положении.

Нажатием кнопки «Пуск» на пульте управления включается вспомогательный (шестеренный) насос 14. При этом все четыре электромагнита IЭ, IIЭ, IIIЭ, IVЭ выключены и поршневой насос главного гидропривода НП не качает масло.

Подвод протяжки осуществляется нажатием соответствующей кнопки на пульте управления. При этом включается электромагнит IЭ. Вспомогательный золотник 13 передвигается влево и соединяет трубопроводы 10 и 11. Масло от шестеренного насоса 14 по трубопроводу 5, через расточку в корпусе золотника, трубопроводы 10 – 11 поступает под правый торец основного золотника 8 и перемещает его в крайнее левое положение, соединяя трубопроводы 5 и 6. Масло поступает в бесштоковую полость вспомогательного цилиндра и перемещает вспомогательные салазки с протяжкой. В конце подвода протяжки срабатывает путевой выключатель 6ПВ, который выключает электромагнит IЭ и включает электромагнит IIЭ. Масло пойдет под поршень подпорного цилиндра и сместит статор насоса НП влево. Одновременно протяжка левым концом попадет в патрон, закрепленный на штоке рабочего цилиндра РЦ.

Замедленный рабочий ход осуществляется смещением ротора насоса НП вправо в положение, отрегулированное винтом III. Полость I насоса становится нагнетательной, полость II – всасывающей.

Масло по трубопроводу 2 поступает под правый торец дифференциального золотника Д2 и смещает его влево до упора. Трубопровод 2 сообщается с трубопроводом 3, и масло поступает в штоковую полость рабочего цилиндра РЦ и смещает его влево до упора. Происходит замедленный рабочий ход протяжки. Масло, вытесняемое из бесштоковой полости, по трубопроводу 4 – 1 поступает во всасывающую полость II поршневого насоса. Излишки масла, обусловленные разностью площадей штоковой и бесштоковой полостей рабочего цилиндра, сливаются через напорный золотник 1НЗ, который поддерживает постоянный подпор в обратной полости цилиндра.

Рабочий (настроенный) ход. При нажатии кулачка на путевой выключатель 3ПВ срабатывает электромагнит IIIЭ. Происходит дальнейшее смещение ротора насоса НП, увеличиваются производительность насоса и скорость перемещения рабочих салазок.

При входе первых калибрующих зубьев протяжки в заготовку, кулачок салазок нажимает на путевой выключатель *IIIВ*, который выключит *IIIЭ*. Начнется замедленный рабочий ход вследствие уменьшения производительности насоса *III*, так как эксцентриситет ротора насоса уменьшается.

В конце рабочего хода при срабатывании путевого выключателя *2ПВ* отключится электромагнит *IЭ*, и произойдет останов рабочих салазок.

Обратный ход осуществляется при включении электромагнита *IIЭ*. Ротор насоса смещается влево, трубопровод *1* становится нагнетательным, а трубопровод *2* – всасывающим.

Масло по трубопроводу *1* поступает под левый торец дифференциального золотника *ДЗ* и перемещает его в крайнее правое положение. Трубопровод *1* соединяется с трубопроводами *3* и *4*, и обе полости рабочего цилиндра сообщаются таким образом с линией нагнетания насоса. Ввиду неодинаковых площадей, находящихся под давлением, поршень цилиндра перемещается вправо до тех пор, пока путевой переключатель *3ПВ* не включит электромагнит *IVЭ*. Из-за уменьшения подачи насоса начнется замедленный ход.

В конце рабочего хода срабатывает путевой переключатель *4ПВ*, выключаящий электромагниты *IIЭ* и *IVЭ*. Рабочие салазки остановятся, левый конец протяжки освободится, а правый зажмется в патроне.

Отвод протяжки. Путевой выключатель *4ПВ* включает электромагнит *2Э*, и золотник, управляемый этим электромагнитом, займет крайнее правое положение и соединит трубопроводы *10* и *12*. Масло от шестеренного насоса по трубопроводу *5* через расточку в корпусе золотника, трубопроводы *10* и *12* поступает под левый торец основного золотника *8* и перемещает его в крайнее правое положение, соединяя трубопроводы *5* и *7*. По этим трубопроводам масло поступает в штоковую полость вспомогательного цилиндра и перемещает протяжку до тех пор, пока конечный выключатель *5ПВ* не выключит электромагнит *2Э*. Произойдет останов вспомогательных салазок с протяжкой.

3.6. Группа станков для обработки зубчатых колес

Метод формообразования поверхности зубьев зависит от формы вспомогательного элемента (характеристического образа) инструмента, метода воспроизведения образующей и направляющей и от их сочетания.

Поверхность зубьев в соответствии со стандартом характеризуется профилем зубьев и линией зуба по длине. В большинстве случаев профиль зуба – эвольвента, а линия зуба – прямая линия, винтовая линия, дуга ок-

ружности. Как правило, профиль зуба получают или копированием, или обкатом. При использовании метода копирования применяют инструмент, режущие кромки которого имеют очертание, соответствующее контуру впадины нарезаемых зубьев. В качестве инструмента применяют модульные фрезы (дисковые и пальцевые), фасонные резцы, фасонные шлифовальные круги.

При использовании метода обката режущие кромки инструмента профилируются по профилю зуба такой детали, которая может находиться в зацеплении с нарезаемым колесом. Такой деталью может быть зубчатое колесо, червяк, зубчатая рейка. Профиль зуба образуется в этом случае за счет сложного относительного движения инструмента и заготовки – движения обката, воспроизводящего зубчатое, реечное или червячное зацепление. Инструмент по форме может соответствовать реальному зубчатому колесу, рейке, червяку или представлять собой только один зуб или впадину воображаемого производящего колеса.

Линию зуба по длине на зуборезных станках получают или методом касания, или методом следа. Метод касания обеспечивается фрезерованием и шлифованием, а метод следа – долблением и протягиванием. При холодной и горячей накатке зубьев (обработка поверхностным пластическим деформированием) используют метод копирования. Однако обработка зубчатых колес пластическим деформированием менее распространена, чем обработка резанием. Сочетание метода образования профиля зубьев копированием с методами образования линии зуба касанием или следом реализовано в фасонном фрезеровании, фасонном шлифовании, фасонном долблении и фасонном протягивании.

3.6.1. Фасонное зубофрезерование зубчатых колес

На рис. 3.52 представлены схемы способов фасонного зубофрезерования. При фрезеровании впадин фрезе сообщают движение скорости резания $\Phi_v(B_1)$ и движение подачи $\Phi_s(P_2)$. Обратный отвод фрезы в исходное положение производят на ускоренном ходу. Затем движением деления $D(B_3)$ заготовку поворачивают на угловой шаг зубьев.

Дисковые модульные фрезы используют для нарезания цилиндрических и прямозубых конических колес, а пальцевые – для нарезания цилиндрических и шевронных колес.

Основное достоинство рассматриваемых схем – простота кинематики станков из-за отсутствия в их структуре сложных групп формообразования профиля зубьев.

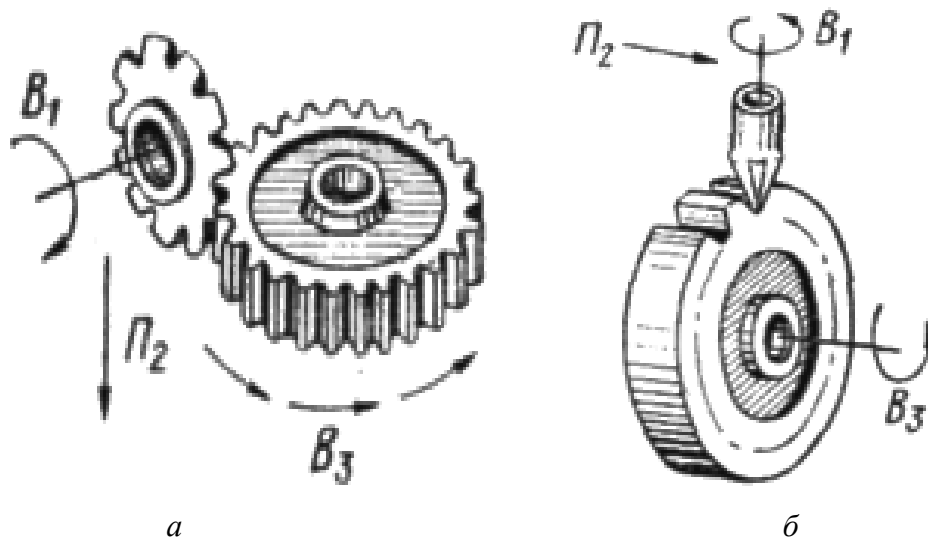


Рис. 3.52. Формообразование зубьев цилиндрических колес модульными фрезами: *а* – фасонной дисковой; *б* – фасонной пальцевой

Недостаток – потребность в большом количестве фрез одинакового модуля из-за изменения профиля впадины для разного числа зубьев нарезаемых колес. Частично этот недостаток компенсируется посредством использования различных комплектов фрез. Для каждого модуля эти комплекты насчитывают 8, 15 и 26 фрез.

Фасонное зубофрезерование модульными фрезами является неточным и мало производительным. Погрешность профиля фрезы полностью копируется деталью. Угловой шаг и форма впадины между зубьями зависят от диаметра колеса и точности делительных устройств. Низкая производительность вызывается прерывистым характером обработки. Поэтому рассматриваемые схемы используют в единичном и ремонтном производствах. Процесс зубонарезания осуществляют на горизонтальных или вертикальных фрезерных станках с использованием делительных головок. Делительная головка, установленная на фрезерном станке, выполняет функцию группы деления. Делительные головки бывают простые и универсальные, лимбовые и безлимовые. В простых делительных головках шпиндель расположен горизонтально, в универсальных – шпиндель помещен в поворотный корпус и может располагаться под углом.

Универсальная делительная головка (УДГ) выполнена в виде шпиндельной бабки (рис. 3.53), несущей поворотный корпус 5, в котором смонтирован шпиндель 7, кинематически связанный с рукояткой 1 и лимбом 4. Лимб имеет несколько рядов отверстий, равномерно расположенных на концентрических окружностях. Для удобства отсчета используется раздвижной сектор 3. Рукоятка 1, поворачиваемая при делении относительно

лимба, оснащена фиксатором 2, который можно вставлять в любое отверстие лимба. В комплект головки входит также задняя бабка 9 и гитара сменных зубчатых колес, используемая при дифференциальном делении, нарезании косозубых колес и винтовых канавок. В ряде конструкций для непосредственного деления используют диск 8 и фиксатор 6.

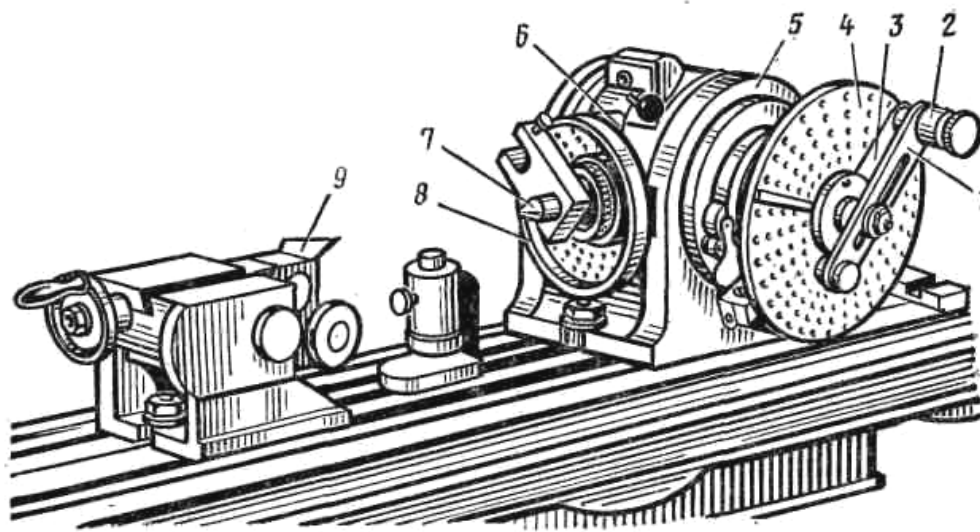


Рис. 3.53. Универсальная лимбовая делительная головка

Основным техническим параметром УДГ является характеристика, определяемая числом оборотов N рукоятки управления, необходимым для одного полного оборота ее шпинделя. Обычно характеристика УДГ, в зависимости от конструкции, равна передаточному числу делительной червячной передачи: 40, 60, 80 или 120.

Лимб УДГ имеет различное число отверстий a на делительных окружностях с обеих сторон: первая сторона – 24, 25, 28, 30, 34, 37, 38, 39, 41, 42, 43; вторая сторона – 46, 47, 49, 51, 53, 54, 57, 58, 59, 62, 66. В гитару входит комплект сменных зубчатых колес с числами зубьев: 25 (2), 30, 35, 40, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100.

Деталь устанавливают в центрах шпиндельной и задней бабок или в трехкулачковом патроне, наворачиваемом на резьбовой конец шпинделя.

Простое деление (рис. 3.54, а) используется тогда, когда можно подобрать на лимбе окружность с нужным числом отверстий. Это деление осуществляют при зафиксированном лимбе 1 и снятой гитаре i_d . Простое деление осуществляют поворотом рукоятки 2 на b отверстий относительно лимба, на окружности которого расположено, a отверстий, т.е. рукоятку поворачивают на угол b/a . Если $b < a$, поворот рукоятки составляет меньше 360° ; если $b = a$, то 360° (один оборот); если $b > a$, то больше 360° .

Для расчетной цепи деления, совпадающей с внешней связью кинематической группы деления, РП имеют вид:

n об. рукоятки $\rightarrow 1/z$ поворота шпинделя.

УКЦ:

$$\frac{1}{z} = n \cdot 1 \cdot \frac{1}{(N = \frac{z_2}{z_1})}$$

где z – число частей, на которое требуется выполнить деление.

Следовательно, ФН:

$$n = N/z.$$

Выделим из ФН целое число оборотов A . Тогда:

$$n = A + \frac{b}{a} \cdot m.$$

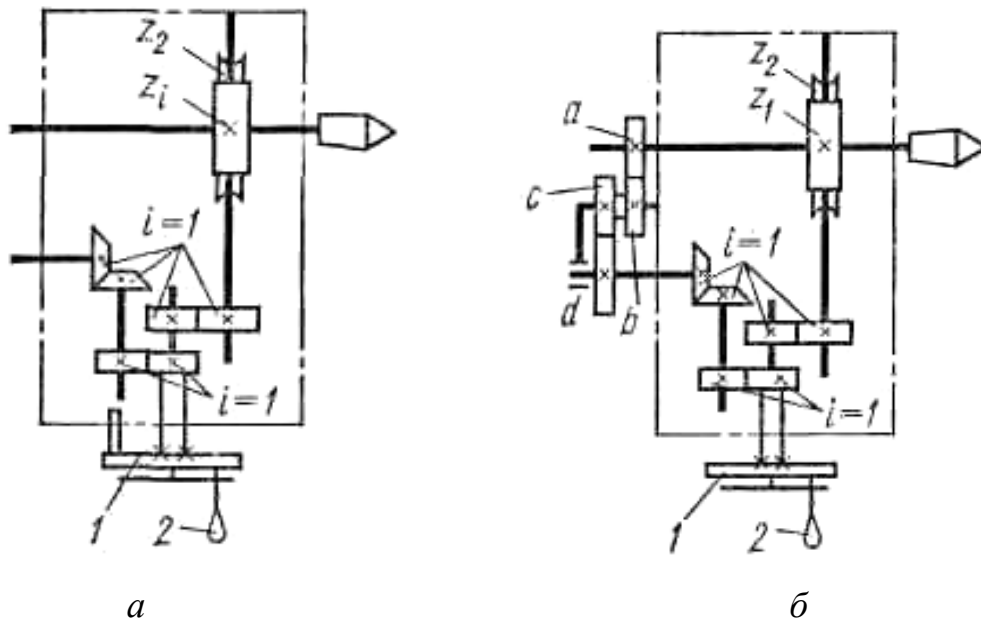


Рис. 3.54. Схемы настройки лимбовой УДГ

В полученном выражении m подбирают таким, чтобы am соответствовало числу отверстий на одной из окружностей лимба. Тогда, при делении рукоятку УДГ поворачивают на A (целое число) раз и дополнительно на часть оборота, соответствующую bm отверстий на окружности am лимба. При отсчете числа b отверстий на лимбе используют раздвижной сектор (см. рис. 3.53), состоящий из двух радиальных раздвижных линеек.

Дифференциальное деление (рис. 3.54, б) применяют тогда, когда не удается разделить число зубьев заготовки простым делением. В этом случае необходимо лимб головки расфиксировать и подобрать, кроме угла поворота рукоятки b/a , еще и сменные зубчатые колеса для гитары $i_d = a/b \cdot c/d$. Тогда

при повороте рукоятки относительно лимба на угол b/a через гитару i_∂ и конические колеса с передаточным отношением $i = 1$ лимб при делении будет поворачиваться, а вместе с ним и фиксирующее гнездо, в которое необходимо вставить фиксатор рукоятки.

При расчете настройки задают z_ϕ , близкое к z , для которого можно подобрать на лимбе окружность с требуемым количеством отверстий. Пользуясь ФН для простого деления, определяют:

$$n_\phi = \frac{N}{z_\phi} = A + \frac{b}{a} \cdot m,$$

по которому устанавливают угол поворота рукоятки. В итоге при каждом делении возникает ошибка:

$$\Delta = \pm (N/z - N/z_\phi) = \pm N (z_\phi - z) / z_\phi \cdot z,$$

которую необходимо компенсировать дополнительным поворотом лимба в зависимости от знака ошибки. Компенсация обеспечивается соответствующим подбором сменных зубчатых колес для гитары i_∂ . РП для расчетной цепи, соединяющей шпindel с лимбом l , имеют вид:

$1/z$ об. шпинделя $\rightarrow N (z_\phi - z) / z_\phi \cdot z$ дополнительного поворота лимба.

УКЦ:

$$\frac{N(z_\phi - z)}{z_\phi \cdot z} = \frac{1}{z} \cdot i_\partial \cdot 1 \cdot 1.$$

ФН:

$$i_\partial = \frac{N(z_\phi - z)}{z_\phi}.$$

Пример. Настроить УДГ ($N = 40$) для нарезания на заготовке 67 зубьев. Примем $z_\phi = 60$. По ФН для простого деления

$$n_\phi = \frac{N}{z_\phi} = A + \frac{b}{a} \cdot m = 0 + \frac{40}{60}.$$

По полученному значению раздвигаем радиальные линейки подвижного сектора на 40 отверстий на окружности лимба, состоящей из 60 отверстий.

По ФН для гитары сменных зубчатых колес:

$$i_\partial = \frac{N(z_\phi - z)}{z_\phi} = \frac{40(60 - 67)}{60} = -\frac{14}{3} = -\frac{3,5}{1,5} \cdot \frac{4}{2}.$$

Знак минус показывает, что при делении лимб должен вращаться в противоположном направлении к вращению рукоятки. В этом случае в гитаре настройки необходимо ввести промежуточную шестерню, например,

$z = 25$. По полученному значению из имеющегося набора устанавливаем сменные зубчатые колеса $\frac{70}{30} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{80}{40}$.

При делении, поворачивая рукоятку на установленные посредством раздвижного сектора 40 отверстий на лимбе с 60 отверстиями, шпиндель с заготовкой повернется на $1/67$.

Рассмотренная УДГ, по существу, – это дифференциал, осуществляющий при дифференциальном делении алгебраическое сложение двух движений на одном исполнительном звене – шпинделе. Первый вход дифференциала – рукоятка, второй вход – лимб. При этом движение на второй вход сообщается от общего исполнительного звена – шпинделя. Такой дифференциал называют замкнутым.

Простая безлимбовая делительная головка (рис. 3.55) состоит из делительной червячной передачи, червячное колесо 1 которой установлено на шпинделе 2 головки, а вал червяка 3 через гитару сменных зубчатых колес соединен с рукояткой 4, которую при делении поворачивают на один оборот. Настройку головки для деления на разное число z осуществляют подбором сменных зубчатых колес гитары. РП для вывода ФН:

1 об. рукоятки 4 \rightarrow $1/z$ поворота шпинделя.

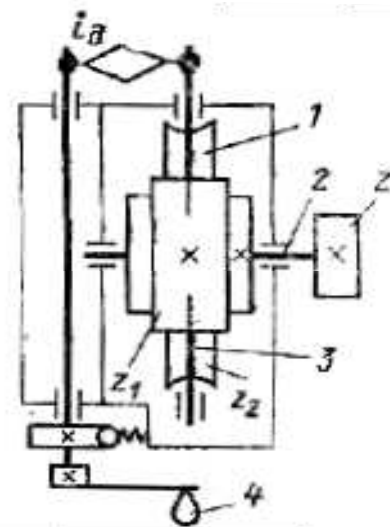


Рис. 3.55. Безлимбовая УДГ

УКЦ:

$$1/z = 1 \cdot i_{\partial} \cdot z_1/z_2,$$

где z_1 – число заходов червяка, равное, как правило, 1;

z_2 – число зубьев червячного колеса (характеристика головки).

ФН:

$$i_{\partial} = z_2/z = N/z.$$

Возможности простой безлимбовой головки ограничены простым делением. Известны также безлимбовые УДГ, отличающиеся от лимбовой (см. рис. 3.54) тем, что в них вместо лимба установлена гитара деления и планетарный дифференциал. Гитара деления связывает рукоятку с водилом (первый вход дифференциала), а шпиндель головки соединен посредством гитары, используемой при дифференциальном делении, с центральным колесом (второй вход дифференциала).

Методика вывода ФН для безлиम्бовой УДГ аналогична рассмотренной выше для лимбовой головки.

Лимбовые и безлиम्бовые УДГ используют также при фрезеровании винтовых канавок на сверлах, зенкерах, фрезах и нарезании косозубых колес. На рис. 3.56 приведена схема фрезерования стружечных канавок на универсальных фрезерных станках с применением лимбовой УДГ. Заготовка 4 закреплена в шпинделе делительной головки 1, установленной на столе 3 горизонтально-фрезерного станка. Стол развернут на угол α подъема винтовой линии стружечной канавки. Вал 2 делительной головки через гитару i_D сменных зубчатых колес соединен с ходовым винтом продольной подачи стола. При фрезеровании столу сообщается продольная подача относительно вращающейся фрезы 5, при этом от ходового винта вращение передается через гитару i_D шпинделю с заготовкой.

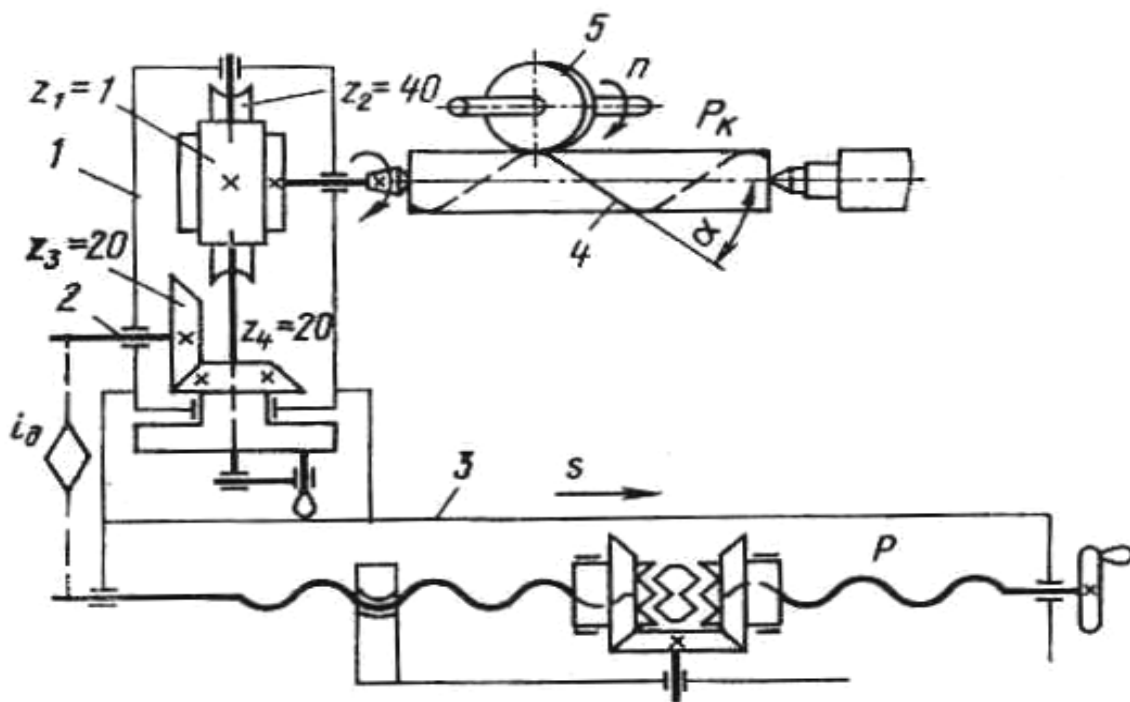


Рис. 3.56. Схема фрезерование стружечных канавок

Угол α определяют из выражения:

$$\operatorname{tg} \alpha = \pi D / t_k,$$

где D – диаметр заготовки;

t_k – шаг винтовой канавки.

За один оборот заготовки стол должен переместиться на шаг винтовой канавки. Следовательно, УКЦ можно записать в виде:

$$t_k = 1 \frac{40}{1} \frac{20}{20} \frac{1}{i_\partial} t_{TB},$$

где t_{TB} – шаг ходового винта станка.

ФН:

$$i_\partial = 40 t_{m6} / t_k.$$

Деление для фрезерования следующей канавки осуществляется поворотом рукоятки головки. Методика определения угла поворота рукоятки и его установка приведены при описании лимбовой УДГ.

Приведенная ФН для фрезерования винтовых канавок используется также при нарезании косозубых колес. В этом случае шаг винтовой канавки определяют из выражения:

$$t_k = \frac{\pi D_0}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{\pi m z}{\operatorname{tg} \beta \cos \beta} = \frac{\pi m z \cos \beta}{\sin \beta \cos \beta} = \frac{\pi m z}{\sin \beta},$$

где z – число зубьев нарезаемого колеса;

m – модуль.

На фрезерных станках с применением УДГ можно фрезеровать плоские кулачки, у которых рабочий профиль выполняется по архимедовой спирали. В этом случае при использовании горизонтально-фрезерного станка шпиндель головки устанавливается вертикально. ФН для гитары i_∂ имеет вид:

$$i_\partial = 40 t_{m6} / h,$$

где h – шаг архимедовой спирали, равный разности большего и меньшего радиусов рабочего профиля кулачка. Если для заданного шага архимедовой спирали невозможно подобрать сменные зубчатые колеса, задают h_ϕ , а шпиндель поворачивают на угол γ от вертикального положения. Его значение определяют из выражения:

$$\gamma = \arccos h/h_\phi.$$

При использовании УДГ для обработки винтовых профильных поверхностей головка выполняет на универсальных фрезерных станках две функции: группы деления D (B) и исполнительного звена винторезной группы Φ_s ($B \Pi$), получаемой из группы продольной подачи $\Phi_s(\Pi)$ фрезерного станка. Внутренняя связь этой группы – кинематическая цепь, связывающая стол фрезерного станка со шпинделем делительной головки. Винтовое движение воспроизводимое этой группой имеет незамкнутую траекторию, и настраивается по пяти параметрам: на траекторию – гитарой i_∂ , на скорость – коробкой подач фрезерного станка, на направление – реверсом, установленном на ходовом винте станка, на путь и исходную точку – по упорам.

В крупносерийном производстве фасонное зубофрезерование используют для черновой прорезки впадин прямозубых цилиндрических и конических колес на многошпиндельных полуавтоматах, например, ЕЗ-5 и ЕЗ-40. Этот вид обработки используется также в инструментальном производстве для прорезки винтовых канавок при обработке сверл, зенкеров, метчиков. Для этого используют специальные фрезерные станки, полуавтоматы и автоматы. Например, полуавтомат для фрезерования сверл модели 679У.

3.6.2. Зубофрезерные станки

На зубофрезерных станках червячными фрезами нарезают цилиндрические колеса с прямыми и винтовыми зубьями внешнего зацепления и червячные колеса. На рис. 3.57 приведены схемы взаимодействия червячной фрезы и нарезаемого колеса. При зубофрезеровании профилирование цилиндрических колес с прямыми и винтовыми зубьями и червячных колес осуществляется движением обката $\Phi_v (B_1 B_2)$, состоящим из двух элементарных согласованных вращательных движений: B_1 – вращения фрезы и B_2 – вращения заготовки, воспроизводящих червячное зацепление. При таком методе профилирования зубьев колес нет необходимости в отдельной группе деления. Линия зуба по длине воспроизводится методом касания, но для каждой из рассматриваемых схем по-разному.

При нарезании цилиндрического прямозубого колеса (рис. 3.57, а) вместе с движением B_1 скорости резания фрезе сообщается также формообразующее движение подачи $\Phi_s (П_3)$. Таким образом, функционально несвязанные между собой движения фрезы B_1 и $П_3$ методом касания воспроизводят прямую линию зуба цилиндрического колеса. Следовательно, формообразующая часть кинематической структуры зубофрезерного станка для нарезания прямозубых колес должна содержать две группы – сложную $\Phi_v (B_1 B_2)$ и простую $\Phi_s (П_3)$.

У цилиндрического колеса с винтовыми зубьями линия зуба имеет винтовую форму. Ее воспроизведение осуществляется сложным формообразующим движением $\Phi_s (П_3 B_4)$, состоящим из двух согласованных элементарных движений: $П_3$ фрезы и B_4 заготовки нарезаемого колеса. Следовательно, формообразующая часть кинематической структуры станка для нарезания колес с винтовым зубом должна содержать две сложных группы – $\Phi_v (B_1 B_2)$ и $\Phi_s (П_3 B_4)$.

При формообразовании червячных колес используют две основные схемы: классическую пионерную с радиальным врезанием фрезы и произ-

водную с касательным (тангенциальным) врезанием. При нарезании червячных колес с радиальным врезанием (рис. 3.57, б) одновременно с движением обката фрезе дополнительно сообщают элементарное движение радиального врезания $V_{p_s}(П_7)$ на высоту зуба. После завершения врезания это движение отключают, и затем в течение одного оборота заготовки колеса профилируют его зубья. Таким образом, линия зуба червячного колеса воспроизводится вращательным движением B_1 фрезы. А формообразующая часть кинематической структуры станка для нарезания червячных колес при радиальном врезании должна содержать одну формообразующую группу $\Phi_v(B_1B_2)$ и группу врезания $V_{p_s}(П_7)$.

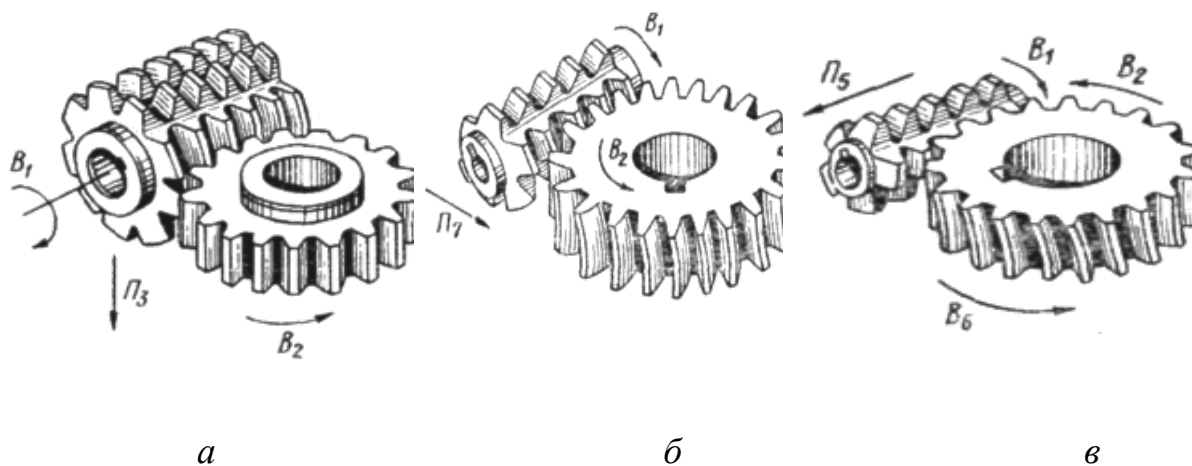


Рис. 3.57. Зубофрезерование при профилировании обкатом:
 а – цилиндрического прямозубого колеса; б, в – червячного колеса

Более производительной при нарезании червячных колес является схема с касательным врезанием (рис. 3.57, в). В этом случае используют длинные фрезы с заборным конусом. При обработке червячных колес наряду с движением обката фрезе на этапе врезания сообщают движение $П_5$ по касательной к начальной окружности нарезаемого колеса, которое согласовывают с дополнительным движением B_6 . Таким образом, движение касательного врезания осуществляется сложным движением $V_p(П_5B_6)$. Как и в схеме с радиальным врезанием, после завершения этапа врезания это движение отключают, и затем в течение одного оборота заготовки профилируют зубья колеса.

Следовательно, формообразующая часть станка для нарезания червячных колес при касательном врезании, в отличие от предыдущей схемы, будет содержать сложную группу врезания. Рассмотренная схема используется для нарезания более точных червячных колес за счет заборной части фрезы.

Каждая из рассмотренных схем реализуется частной кинематической структурой зубофрезерного станка. Обычно при проектировании станков частные кинематические структуры объединяют в структуру универсального зубофрезерного станка. А выбор конкретной схемы обработки осуществляют соответствующей коммутацией в кинематической схеме станка. При изготовлении станков по индивидуальным заказам под конкретную деталь используют ту или иную частную кинематическую структуру.

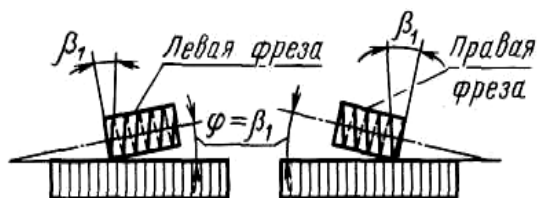


Рис. 3.58. Расположение червячной фрезы при зубофрезеровании прямозубого колеса

При зубофрезеровании исходное положение червячной фрезы зависит от заданного положения зубчатого венца на заготовке. При фрезеровании цилиндрических колес с прямыми зубьями (рис. 3.58) червячную фрезу устанавливают под углом φ , равным углу β_1 подъема винтовой нарезки червячной фрезы, к торцовой плоскости нарезаемого колеса.

При нарезании цилиндрических колес с винтовыми зубьями ось червячной фрезы устанавливают в зависимости от углов наклона винтовых нарезок фрезы и обрабатываемого колеса следующим образом:

– если углы наклона винтовых нарезок червячной фрезы β_1 и нарезаемого колеса β_d одноименны (оба левые или оба правые), то угол установки оси фрезы равен $\varphi = \beta_d - \beta_1$ (рис. 3.59, а);

– если углы наклона винтовых нарезок червячной фрезы β_1 и нарезаемого колеса β_d разноименны (фреза левая, а колесо правое и наоборот), то угол установки оси фрезы равен $\varphi = \beta_d + \beta_1$ (рис. 3.59, б).

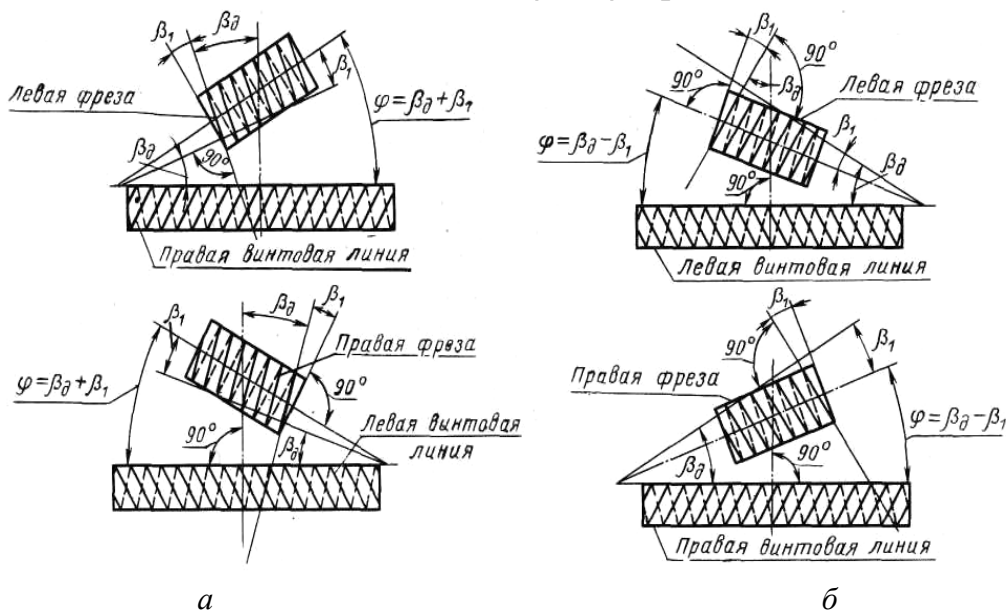


Рис. 3.59. Взаимное расположение червячной фрезы и заготовки при нарезании цилиндрического колеса с винтовой нарезкой

Рекомендуется выбирать червячную фрезу с тем же направлением винтовой нарезки, что и обрабатываемого колеса. При нарезании червячных колес ось червячной фрезы устанавливается параллельно торцовой плоскости нарезаемого колеса, т.е. угол $\varphi = 0$.

Рассмотрим реализацию описанных схем обработки в частных кинематических структурах универсального зубофрезерного станка (рис. 3.60). Выбор конкретной структуры осуществляют при наладке станка посредством соответствующих переключений.

Частная кинематическая структура для нарезания цилиндрических колес с прямыми зубьями. Рассматриваемая структура содержит две формообразующие группы: скорости резания (обката) $\Phi_v(B_1B_2)$ и вертикальной подачи $\Phi_s(I_3)$.

Группа Φ_v – сложная. Ее внутренняя связь, называемая цепью обката, профилирования или деления:

$$B_1 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_{обк} \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow B_2.$$

Внешняя связь:

$$M \rightarrow i_v \rightarrow 2,$$

где 2 – звено соединения связей.

Группа настраивается: на траекторию органом настройки $i_{обк}$, как правило, – это 4-х или 6-ти колесная гитара сменных зубчатых колес; на скорость органом i_v – это 2-х колесная гитара сменных зубчатых колес, реже простая коробка скоростей.

Группа Φ_{s1} – простая. Ее внутренняя связь:

вертикальные направляющие стойки – суппорт фрезы.

Внешняя связь – кинематическая цепь:

$M \rightarrow i_v \rightarrow 2 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_{обк} \rightarrow 3 \rightarrow i_s \rightarrow 6 \rightarrow 5 \rightarrow \text{тяговый вал} \rightarrow \text{суппорт фрезы}$, где *суппорт фрезы* является звеном соединения связей, а функцию тягового вала выполняет передача вертикальный винт – гайка.

Группа настраивается: на скорость органом настройки i_s (гитара сменных зубчатых колес или простая коробка подач); на путь и исходную точку по упорам системы путевого управления.

Обе группы соединены между собой общим электродвигателем и частью передач структурных связей. Во внутренней связи группы обката, часть которой одновременно входит во внешнюю связь группы подачи, расположен планетарный дифференциал Σ . В данной структуре он используется как зубчатая передача.

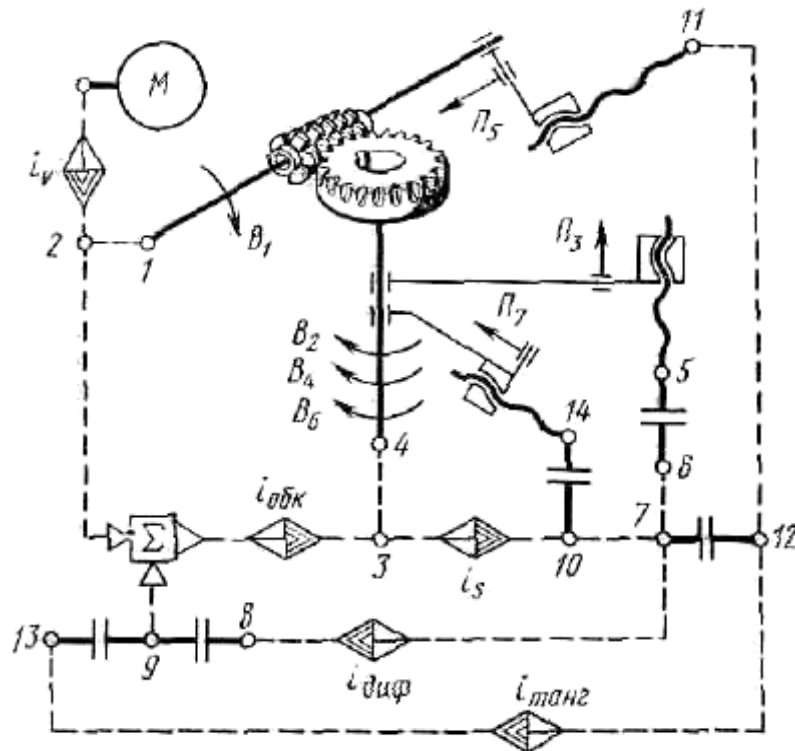


Рис. 3.60. Структурная схема универсального зубофрезерного станка

Выведем ФН для кинематических органов настройки рассматриваемой частной структуры.

РП для органа настройки $i_{обк}$ запишем в виде:

$$1 \text{ об. фрезы } (B_1) \rightarrow k/z \text{ об. заготовки } (B_2),$$

где k – число заходов фрезы;

z – число зубьев нарезаемого колеса.

Тогда, УКЦ:

$$k/z = 1 \cdot i_{01} \cdot i_{\Sigma}^6 \cdot i_{обк},$$

где i_{01} – произведение передаточных отношений передач расчетной цепи (константа конкретной модели станка).

Откуда, ФН:

$$i_{обк} = c_0 \cdot k/z,$$

где $c_0 = 1/i_{01} \cdot i_{\Sigma}^6$ – константа.

РП для органа настройки i_v :

$$n_M \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{\phi} \text{ фрезы } (B_1) \text{ мин}^{-1}.$$

Тогда, УКЦ:

$$n_{\phi} = n_M \cdot i_{02} \cdot i_v.$$

ФН:

$$i_v = n_{\phi} / i_{02} \cdot n_M,$$

где i_{02} – константа.

РП для органа настройки i_s :

1 об. заготовки $\rightarrow s_g$ перемещения фрезы (Π_3),

где s_g – вертикальная подача фрезы на 1 об.

УКЦ:

$$s_g = 1 \cdot i_{03} \cdot i_s \cdot t_{TB},$$

где t_{TB} – шаг тягового вала.

ФН:

$$i_s = s_g / i_{03} \cdot t_{TB},$$

где $i_{03} \cdot t_{TB}$ – константа.

Встречаются станки, в которых группа вертикальной подачи Φ_s имеет отдельный электродвигатель M_1 . В таком варианте орган настройки i_s устанавливается между кинематическим звеном б и электродвигателем M_1 , и внешняя связь группы становится короче:

$M_1 \rightarrow i_s \rightarrow б \rightarrow \text{тяговый вал} \rightarrow \text{суппорт фрезы}$.

А условие согласования перемещений исполнительных звеньев расчетной цепи, т.е. РП будут иметь вид:

$n_{m1} \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя } M_1 \rightarrow s_g \text{ мм/мин перемещения фрезы } (\Pi_3)$.

Частный вариант структуры внутренней связи группы $\Phi_v (B_1 B_2)$. При нарезании прямозубых колес с простым числом зубьев встречаются случаи, когда невозможно, при имеющемся наборе сменных колес, точно настроить гитару $i_{обк}$. Тогда во внутренней связи группы Φ_v параллельно гитаре $i_{обк}$ посредством планетарного дифференциала Σ подключается гитара $i_{диф}$. В итоге внутренняя связь группы имеет вид:

$$\begin{array}{ccccccc} B_1 & \rightarrow & 1 & \rightarrow & 2 & \rightarrow & \Sigma & \rightarrow & i_{обк} & \rightarrow & 3 & \rightarrow & 4 & \rightarrow & B_2 \\ & & & & & & \uparrow & & & & \downarrow & & & & \\ & & & & & & 9 & \leftarrow & i_{диф} & \leftarrow & 7 & \leftarrow & i_s & & \end{array}$$

Рассмотрим особенности вывода ФН для гитар $i_{обк}$ и $i_{диф}$ для этого случая настройки. Задают z_ϕ близкое к z нарезаемому, но удобное для настройки гитары $i_{обк}$.

Настройка гитары $i_{обк}$ по z_ϕ дает погрешность:

$$\Delta z = \pm (z - z_\phi).$$

Эта погрешность уточняется в зависимости от s_g по выражению:

$$\Delta z = (1/5 - 1/10)s_g.$$

После этого окончательно устанавливают:

$$z_\phi = z \pm \Delta z.$$

Затем выражают z/k через z_ϕ . В результате окончательно получают:

$$z/k = z_\phi/k \pm \Delta z/k.$$

По z_ϕ/k настраивают гитару $i_{обк}$, а по $\Delta z/k$ гитару $i_{диф}$.

ФН для гитары $i_{обк}$ имеет вид:

$$i_{обк} = c_1 \cdot k/z_{ф}.$$

Выведем ФН для гитары $i_{диф}$. Расчетная цепь для этой гитары:

$$1 - 2 - \Sigma - 9 - i_{диф} - 7 - i_s - 3 - 4.$$

Тогда, РП:

1 об. фрезы (B_1) $\rightarrow k/\Delta z$ дополнительного поворота заготовки (B_2).

УКЦ:

$$k/\Delta z = 1 \cdot i_{04} \cdot i_{\Sigma}^z \cdot i_s \cdot i_{диф}.$$

Подставляя в полученное уравнение значение i_s , после преобразований получим ФН:

$$i_{диф} = c_1 \cdot k \cdot s_g / \Delta z.$$

В формулу входит значение вертикальной подачи s_g . Поэтому гитара подач в рассматриваемом варианте настраивается точно.

Частная кинематическая структура для нарезания цилиндрических колес с винтовым зубом. Данная структура содержит две сложных группы: скорости резания (обката) $\Phi_v(B_1B_2)$ и вертикальной подачи $\Phi_{s1}(P_3B_4)$. При рассмотрении способов обработки зубчатых колес было отмечено, что во всех вариантах профилирование зубьев осуществляется одной и той же группой Φ_v . Эта группа рассмотрена при описании предыдущей частной структуры.

Группа $\Phi_s(P_3B_4)$ – сложная, двухэлементарная. Ее внутренняя связь:

$$P_3 \rightarrow TV \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow i_{диф} \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_{обк} \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow B_4.$$

Внешняя связь:

$$M \rightarrow i_v \rightarrow 2 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_{обк} \rightarrow i_s \rightarrow 7.$$

Группа настраивается на траекторию – гитарой $i_{диф}$, на скорость – гитарой или простой коробкой подач i_s , на путь и исходную точку по упорам системы управления.

В рассматриваемой структуре делительный стол заготовки является исполнительным звеном обеих формообразующих групп. Поэтому внутренние связи обеих групп соединены планетарным суммирующим механизмом Σ , осуществляющим физическое сложение движений B_1 и B_4 . Выведем ФН для органов настройки $i_{диф}$ и i_s .

Расчетная цепь для гитары $i_{диф}$ совпадает с внутренней связью группы. Поэтому РП для расчетной цепи, называемой цепью дифференциала, обеспечивающей согласование перемещения фрезы вдоль заготовки с ее дополнительным вращением, записываются в виде:

$$T \text{ мм перемещения фрезы } (P_3) \rightarrow 1 \text{ об. заготовки } (B_4),$$

где T – шаг винтовой линии зуба колеса.

Тогда, УКЦ:

$$1 = T/t_{TB} \cdot i_{04} \cdot i_{диф} \cdot i_{\Sigma}^z \cdot i_{обк}.$$

Откуда, ФН:

$$i_{диф} = c_2/T \cdot i_{обк},$$

где $c_2 = t_{TB}/i_{01} \cdot i_{\Sigma}^z$ – константа.

В полученном выражении для ФН заменим T и $i_{обк}$ их значениями. Из развертки зубчатого колеса с винтовым зубом:

$$T = \frac{\pi m_s z}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{\pi m_n z}{\cos \beta} = \frac{\pi m_n z}{\sin \beta},$$

где m_s – модуль осевой;

m_n – модуль нормальный;

z – число зубьев нарезаемого колеса;

β – угол наклона винтового зуба.

После замены, окончательно получим:

$$i_{диф} = \frac{c_2 \sin \beta}{\pi k m_n}.$$

По полученной ФН передаточное отношение $i_{диф}$ вычисляют с точностью до пятого знака после запятой.

Расчетная цепь для органа настройки i_s такая же, как и при нарезании прямозубых колес. Поэтому, полученная в соответствующей структуре ФН, используется также и в рассматриваемой частной структуре.

Частная кинематическая структура для нарезания червячных колес при радиальном врезании. Данная структура содержит общую для всех рассматриваемых частных структур группу обката $\Phi_v (B_1 B_2)$, воспроизводящую профиль зубьев, и простую группу радиального врезания $Vp_s (П_7)$ на высоту зубьев.

Внутренняя связь группы радиального врезания:

горизонтальные направляющие → стол или стойка суппорта ($П_7$).

Внешняя связь: кинематическая цепь, связывающая электродвигатель M со звеном соединения связей (стол или стойка суппорта), т.е.

$$M \rightarrow i_v \rightarrow \Sigma \rightarrow i_{обк} \rightarrow i_s \rightarrow 10 \rightarrow 14 \rightarrow TB (П_7).$$

Группа настраивается на скорость (радиальную подачу) – общим для всех, рассматриваемых частных структур, органом настройки i_s , на путь и исходную точку по упорам системы управления. Выведем ФН для органа настройки i_s . Расчетная цепь, называемая цепью радиальных подач,

$$4 - 3 - i_s - 10 - 14 - TB.$$

РП: 1 об. стола → s_p перемещения стойки суппорта ($П_7$),

где s_p – радиальная подача на 1 об.

УКЦ:

$$s_p = i_{05} \cdot i_s \cdot t_{TB}.$$

ФН:

$$i_s = s_p / i_{05} \cdot t_{TB} = c_3 \cdot s_p,$$

где $c_3 = 1/i_{05} \cdot t_{TB}$ – константа.

Частная кинематическая структура для нарезания червячных колес при тангенциальном (осевом) врезании. Эта структура содержит рассмотренную выше группу формообразования Φ_v . Поэтому рассмотрим только кинематическую группу тангенциального, или осевого врезания $Vp_0 (П_5 B_6)$. Эта группа сложная двухэлементарная, обеспечивающая функциональную связь между осевым перемещением $П_5$ и дополнительным поворотом заготовки B_6 . Ее внутренняя связь:

$$П_5 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow i_{танг} \rightarrow 13 \rightarrow 9 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_{обк} \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow B_6.$$

Внешняя связь:

$$M \rightarrow i_v \rightarrow \Sigma \rightarrow i_s \rightarrow 12.$$

Планетарный дифференциал Σ является звеном соединения связей. Группа настраивается на траекторию – гитарой $i_{танг}$, на скорость – органом настройки i_s , на путь и исходную точку – упорами системы управления. Выведем ФН для обоих органов настройки группы.

Гитара сменных колес $i_{танг}$. Расчетная цепь совпадает с внутренней связью. Поэтому РП:

$$L \text{ тангенциального перемещения фрезы } (П_5) \rightarrow L/\pi m z \text{ об. заготовки } (B_6).$$

Тогда, УКЦ:

$$\frac{L}{\pi m z} = \frac{L}{t_{TB}} \cdot i_{06} \cdot i_{танг} \cdot i_{\Sigma} \cdot i_{обк}.$$

В полученное уравнение входит иррациональное число π и шаг тягового вала t_{TB} . Поэтому винт тангенциального перемещения протяжного суппорта фрезы, с целью устранения иррациональности при определении передаточного отношения гитары $i_{диф}$, изготавливают с модульной резьбой. Учитывая это обстоятельство, а также заменяя передаточное отношение $i_{обк}$ его значением, полученным при рассмотрении кинематической структуры для нарезания прямозубых колес, после элементарных преобразований, получим ФН:

$$i_{танг} = c_4 k m,$$

где c_4 – константа;

k – количество заходов фрезы;

m – модуль.

Орган настройки i_s : Расчетная цепь, включающая орган настройки, связывает делительный стол заготовки с тяговым валом тангенциального перемещения фрезы. Тогда РП:

$$1 \text{ об. заготовки} \rightarrow s_0 \text{ перемещения фрезы (} I_5 \text{)},$$

где s_0 – тангенциальная подача на 1 об.

УКЦ:

$$s_0 = 1 \cdot i_{07} \cdot i_s \cdot t_{TB}$$

ФН:

$$i_s = c_5 \cdot s_0,$$

где c_5 – константа.

Кинематическая структура для нарезания червячных колес при тангенциальном врезании используется, преимущественно, в крупносерийном и массовом производствах. Здесь наиболее полно проявляются преимущества такого способа обработки – большой период стойкости фрезы и повышенная точность обработки. Объясняется это тем, что зубья фрезы, расположенные на заборном конусе, срезают основную часть металла заготовки.

При нарезании цилиндрических колес с винтовым зубом и червячных колес при тангенциальном врезании делительный стол заготовки совершает суммарное вращение соответственно $B_2 \pm B_4$ или $B_2 \pm B_6$, так как является исполнительным звеном одновременно работающих двух исполнительных групп. Два движения на одном исполнительном звене физически складываются планетарным дифференциалом. Поэтому кинематическую структуру зубофрезерных станков, имеющих дифференциалы, и их кинематическую настройку называют дифференциальными.

В обоих вариантах слагаемые элементарные движения имеют одинаковую скоростную характеристику, продолжительность их одинакова и создаются они одним источником движения. Движения, удовлетворяющие названным условиям можно складывать математически без дифференциала. Поэтому указанные виды колес можно нарезать также на зубофрезерных станках, не имеющих дифференциалов и соответственно внутренних связей с органами настройки $i_{диф}$ и $i_{танг}$, воспользовавшись методом математического сложения движений при бездифференциальной настройке. Сущность этого метода сводится к тому, что условия кинематического согласования перемещений исполнительных звеньев расчетных цепей с гитарами $i_{диф}$ и $i_{танг}$ учитываются в расчетных перемещениях цепи обката с гитарой $i_{обк}$.

При нарезании цилиндрического колеса с винтовыми зубьями РП будут иметь вид:

$$1 \text{ об. заготовки } (B_1) \rightarrow \frac{z}{k} \left(1 \pm \frac{s_g}{T}\right) \text{ об. фрезы } (B_2),$$

а при нарезании червячного колеса при тангенциальном врезании

$$1 \text{ об. заготовки } \rightarrow \frac{z}{k} \left(1 + \frac{s_0}{\pi m z}\right) \text{ об. фрезы } (B_2).$$

Знаки «+» или «-» берут в зависимости от сочетания направлений винтовых линий на нарезаемом колесе и фрезе.

Пример бездифференциального станка – шлицефрезерный станок модели 5350, на котором можно нарезать шлицевые валы и зубчатые колеса с прямыми и винтовыми шлицами и зубьями.

Червячные фрезы весьма сложный и дорогостоящий инструмент. Стоимость таких фрез составляет до 50 % стоимости зуборезной операции. При зубофрезеровании фрезы изнашиваются на небольшом участке, так как контакт инструмента с заготовкой небольшой по сравнению с длиной фрезы. Обычно из нескольких десятков зубьев фрезы изнашиваются 3 – 5 зубьев. Поэтому для более полного использования червячных фрез необходимо осуществлять ее периодическую осевую передвижку. Такое перемещение способствует выравниванию износа и увеличивает период размерной стойкости фрез, а следовательно, и срок их службы. Для этого в кинематическую структуру зубофрезерных станков введена вспомогательная группа осевой передвижки фрезы в конце цикла обработки очередного колеса, что позволяет периодически включать в резание очередные зубья фрезы. Эта группа имеет отдельный электродвигатель. Величина передвижки в конце каждого цикла регулируется временем работы электродвигателя, устанавливаемым посредством реле времени в схеме системы управления циклом зубофрезерования, а общий путь передвижки задается электроупорами. Еще больший эффект достигается при зубофрезеровании с диагональной подачей, обеспечивающей непрерывное осевое перемещение фрезы во время обработки. В этом случае к рассмотренной выше схеме нарезания цилиндрических колес двумя формообразующими группами Φ_v и Φ_{s1} добавляется третья – Φ_{s2} , являющаяся аналогом группы тангенциального врезания при зубофрезеровании червячных колес. В итоге за цикл обработки фреза будет перемещаться по диагонали, и все ее зубья последовательно пройдут зону обработки. При зубофрезеровании цилиндрических колес с диагональной подачей (рис. 3.61) используют по сравнению со стандартными более длинные червячные фрезы.

При этом методе обработки вертикальную подачу выбирают по режимам резания также, как при обработке по традиционной схеме, а осевую подачу определяют на основе следующей пропорции.

Когда фреза 1 пройдет путь вдоль своей оси, равный l_p , а по вертикали – B , заготовка 2 сделает $l_p/s_0 = B/s_g$ оборотов. Откуда:

$$s_0 = s_g l_p / B,$$

где s_g – вертикальная подача, мм/об;

s_0 – осевая подача, мм/об;

l_p – рабочая длина фрезы, величину которой можно принимать на два витка меньшей общей длины фрезы;

B – высота зубчатого колеса.

При зубофрезеровании колес с винтовым зубом с диагональной подачей фрезы делительный стол совершает суммарное вращение $B_2 \pm B_4 \pm B_6$, так как является исполнительным звеном трех кинематических групп, работающих одновременно. Для физического сложения трех движений на одном исполнительном звене необходимы два дифференциала для последовательного сложения движений. В рассматриваемой кинематической структуре есть только один дифференциал. Поэтому воспользуемся математическим сложением движений B_4 и B_6 . Это позволяет следующим образом модифицировать группы формообразования: $\Phi_v (B_1 B_2)$, $\Phi_{s1} (П_3 B_4 \pm B_6)$, $\Phi_{s2} (П_5)$. При этом кинематическая структура и расчетные цепи сложных групп Φ_v и Φ_{s1} , соединенных планетарным дифференциалом, остаются такими же, как и при обработке колес с винтовым зубом. Однако в РП для гитары $i_{дуф}$, расположенной в группе Φ_{s1} , необходимо внести поправку, учитывающую математическое сложение движений.

При вертикальном перемещении фрезы на величину s_g для получения винтового зуба делительный стол в движении (B_4) должен повернуться на s_g/T оборота, а при осевом (тангенциальном) перемещении фрезы на s_0 этот стол в движении (B_6) дополнительно повернется на $\pm s_0 \cdot k/z \cdot T_{фр}$, где T – шаг винтовой линии зуба нарезаемого колеса; $T_{фр} = \pi m_n k / \cos \gamma$ – ход фрезы; k – число заходов фрезы; z – число нарезаемых зубьев.

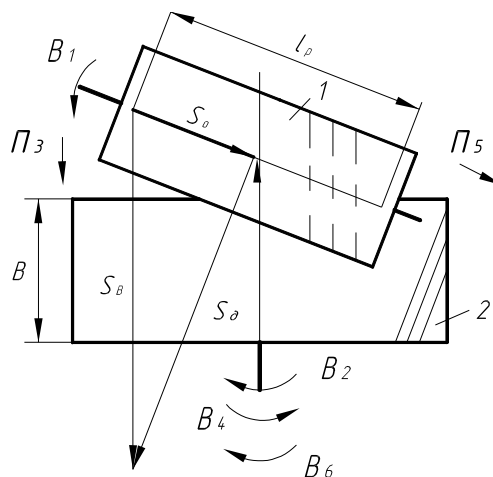


Рис. 3.61. Схема диагонального зубофрезерования

Следовательно, РП для расчетной цепи дифференциала можно представить в виде:

$$s_0 \text{ мм перемещ. фрезы (} P_3 \text{)} \rightarrow s_0/T \pm s_0 \cdot k/z \cdot T_{фр} \text{ об. дел. стола (} B_4 \pm B_6 \text{)}.$$

По данным РП составим УКЦ:

$$s_0/T \pm s_0 \cdot k/z \cdot T_{фр} = s_0/t_{ТВ} \cdot i_{08} \cdot i_{диф} \cdot i_{\Sigma}^z \cdot i_{обк}.$$

Откуда:

$$i_{диф} = (s_0/T \pm s_0 \cdot k/z \cdot T_{фр}) t_{ТВ} / i_{08} i_{\Sigma}^z i_{обк}.$$

Заменив в полученном выражении T , $T_{фр}$, s_0 , $i_{обк}$ их значениями и объединив постоянные коэффициенты в константы, получим ФН:

$$i_{диф} = c_6 \frac{\sin \beta}{k m_n} \pm c_7 \frac{l_p}{B} \cdot \frac{\cos \gamma}{k m_n}.$$

Из полученной ФН следует, что цепь дифференциала при зубофрезеровании колес с винтовым зубом при касательном врезании выполняет две функции: обеспечивает образование винтового зуба (первая составляющая ФН) и компенсирует осевое (тангенциальное) перемещение фрезы (вторая составляющая ФН).

В ряде ранее выпускавшихся универсальных зубофрезерных станков, например, 5К32, оснащенных дополнительным суппортом для осевой (тангенциальной) подачи фрезы, во внутренней связи цепи обката используется передача с винтовыми зубьями, ведомое колесо которой сообщает вращение фрезе. Поэтому при осевом перемещении колеса с винтовым зубом в приводе фрезы образуется скрытый дифференциал. При осевой подаче фрезы s_0 ведомое колесо вместе с фрезой получает дополнительный поворот, равный $s_0 \sin \beta / \pi m_n z_k$, где β , z_k , m_n – угол подъема винтовой линии зуба, число зубьев и модуль нормальный ведомого колеса. Поэтому для обеспечения полученного выше передаточного отношения цепи обката заготовке по цепи дифференциала необходимо сообщить дополнительно $s_0 \sin \beta \cdot k / \pi m_n z_k z$ оборота, или, заменяя параметры ведомого колеса константой – $c_{\kappa} k s_0 / z$. Следовательно, дополнительные РП для $i_{диф}$ будут иметь вид:

$$s_0 \text{ перемещения фрезы (мм)} \rightarrow c_{\kappa} k s_0 / z \text{ дополнительного оборота заготовки.}$$

Составив УКЦ по данным РП, получим дополнительную составляющую ФН для цепи дифференциала в рассматриваемом случае.

В последующих моделях скрытый дифференциал отсутствует, так как передача с винтовыми зубьями заменена шлицевым соединением ведомое колесо – оправка.

Группа $\Phi_s (P_5)$ – простая. Ее внутренняя связь:

дополнительный (тангенциальный) суппорт – направляющие.

Внешняя связь – кинематическая цепь, соединяющая электродвигатель M с суппортом, являющимся звеном соединения связей.

Группа настраивается на скорость гитарой $i_{танг}$, на путь и исходную точку – упорами системы управления.

Для гитары $i_{танг}$ расчетная цепь:

делительный стол с заготовкой – 3 – i_s – 7 – $i_{диф}$ – 13 – $i_{танг}$ – 12 – 11 – $t_{ТВ}$.

РП:

1 об. дел. стола $\rightarrow s_0$ перемещения фрезы.

УКЦ:

$$s_0 = 1 \cdot i_{09} \cdot i_s \cdot i_{диф} \cdot 1/i_{танг} \cdot t_{ТВ}.$$

ФН:

$$i_{танг} = c_8 \cdot i_s \cdot i_{диф},$$

где $c_8 = i_{09} \cdot t_{ТВ}$ – константа конкретной модели станка, а ФН для i_s и $i_{диф}$ получены выше.

Рассмотренная универсальная (обобщенная) кинематическая структура зубофрезерного станка реализована в ряде базовых моделей станков, например, 5К32, 53А50 и др., имеющих типовую компоновку (рис. 3.62). В стойке 3 с пультом управления, в которой находятся гитары обката и дифференциала. По вертикальным призматическим направляющим стойки перемещается каретка 4 с поворотным фрезерным суппортом 6. Его установка на требуемый угол осуществляется вращением валика 5. С правой стороны на V-образных направляющих основания установлен стол 9 с задней стойкой 8, по направляющим которой перемещается контр-поддержка 7, управляемая рукояткой 10. На корпусе стола размещены рукоятки 11 ручного насоса смазки и рукоятки 12, 13 для перемещения стола и установки его упоров. На основании в коробке 14 помещены бесконтактные конечные выключатели. Станок оснащен путовой системой управления. Настройка цикла работы осуществляется переставными упорами и соответствующими переключателями пульта управления.

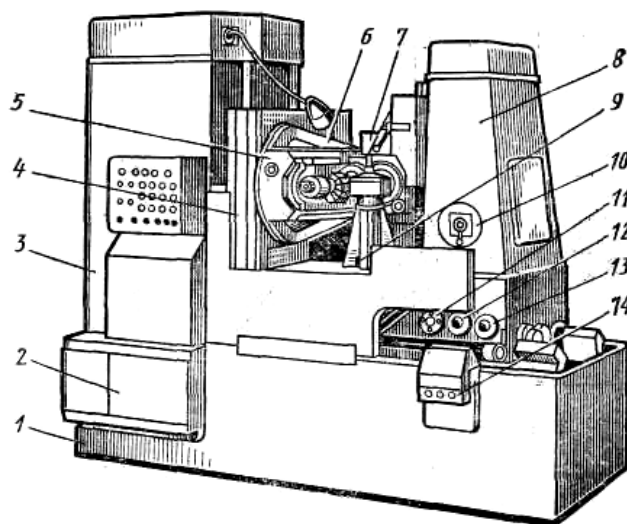
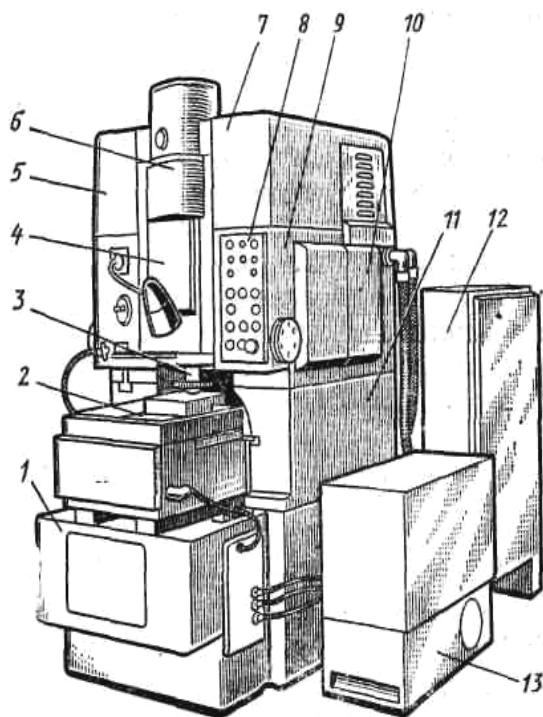


Рис. 3.62. Универсальный зубофрезерный полуавтомат

3.6.3. Зубодолбежные станки



Зубодолбежный полуавтомат

К этой группе относятся зубодолбежные, рейкодолбежные и долбежно-реечные станки. На этих станках зуборезными долбяками и гребенками обрабатывают при профилировании обкатом цилиндрические зубчатые колеса с прямыми и винтовыми зубьями, шевронные колеса, зубчатые секторы и рейки. На них удобно нарезать блоки зубчатых колес с близким расположением зубчатых венцов. Зуборезные долбяки и гребенки имеют форму соответственно зубчатого колеса и зубчатой рейки, зубья которых выполнены с углами, обеспечивающими процесс резания.

Выше, в разделе 1 (рис. 1.3) рассмотрено зубонарезание цилиндрического колеса с прямыми зубьями зуборезным долбяком, а в разделе 2 (рис. 2.13) – типовая кинематическая структура зубодолбежного станка для нарезания прямозубого колеса и типовая модификация ее группы скорости резания (рис. 2.14) для обработки цилиндрических колес с винтовыми зубьями. Рассмотренная структура положена в основу ряда базовых моделей зубодолбежных станков, например, 5122, ВС-122 и др., имеющих типовую компоновку (см. Зубодолбежный полуавтомат).

Выше, в разделе 1 (рис. 1.3) рассмотрено зубонарезание цилиндрического колеса с прямыми зубьями зуборезным долбяком, а в разделе 2 (рис. 2.13) – типовая кинематическая структура зубодолбежного станка для нарезания прямозубого колеса и типовая модификация ее группы скорости резания (рис. 2.14) для обработки цилиндрических колес с винтовыми зубьями. Рассмотренная структура положена в основу ряда базовых моделей зубодолбежных станков, например, 5122, ВС-122 и др., имеющих типовую компоновку (см. Зубодолбежный полуавтомат).

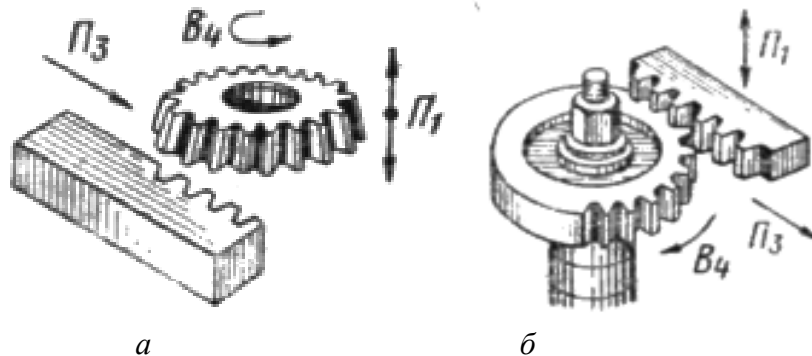


Рис. 3.63. Формообразование при нарезании зубьев цилиндрических колес и реек:
а – зуборезной гребенкой; б – зуборезным долбяком

На станине 1 смонтирован стол 2 для нарезаемых заготовок. На вертикальных направляющих стойки 7 установлен суппорт 6, несущий штоссель (шпиндель) 3 долбяка. Кулисный привод штосселя закрыт крышкой 4. В стойке 7 смонтированы коробка круговых подач 5, главный привод 9 с органом настройки на скорость резания и гитара обката 10. На передней панели стойки размещен пульт управления. Элементы электро- и гидроавтоматики смонтированы в прокладке 11 электрошкафу 12 и гидростанции 13.

На рис. 3.63 приведены схемы обработки цилиндрических колес зуборезной гребенкой и реек долбяком. Зуборезной гребенкой нарезают цилиндрические колеса с прямыми и винтовыми зубьями (рис. 3.63, *a*). При использовании зуборезных гребенок с числом зубьев равным или большим числа нарезаемых зубьев, процесс обработки осуществляется двумя движениями: скорости резания $\Phi_v(P_1)$ и обката $\Phi_s(P_3V_4)$, воспроизводящего зубчато-реечное зацепление. Причем поступательно-возвратное движение P_1 образует линию зуба (образующую зубчатого венца), а сложное движение обката (P_3V_4) – профиль (направляющую венца). При холостом ходе в движении P_1 колесо вспомогательным движением (на схеме не показано) отводится от рейки как, и при зубодолблении долбяком, на небольшую величину, обеспечивающую устранение явления затирания. Перед обработкой зуборезную гребенку устанавливают относительно колеса на высоту нарезаемых зубьев. Нарезку зубьев осуществляют за один проход (обкат) колеса по гребенке. В этом случае нет необходимости в отдельных группах врезания и деления, что упрощает кинематическую структуру станка. При нарезании колес с винтовыми зубьями заготовке сообщают дополнительное вращение, согласованное с движением P_1 . В результате движение Φ_v преобразуется в сложное двухэлементарное.

При нарезании колес гребенками с числом зубьев меньшим числа нарезаемых зубьев в кинематику формообразования вводится дополнительная группа деления. Эта группа в конце цикла обработки i -того количества зубьев на ускоренной подаче движением, противоположным движению P_3 , возвращает гребенку в исходное положение для последовательного повторения очередного цикла. Таким образом в этом случае кинематика зубообработки усложняется, и, следовательно, усложняется кинематическая структура станка.

Зубообрабатывающие станки, работающие зуборезными гребенками, сложнее зубодолбежных, работающих долбяками, и менее универсальны. Однако точность обработки колес на них выше. Особенно заметно это проявляется при нарезании крупномодульных колес. Кроме того, зуборезные

гребенки проще и, как правило, дешевле долбяков. Основным производителем высокоточных зубообрабатывающих станков для нарезания колес с небольшими модулями гребенками является Швейцарская фирма «МАОГ». Тяжелые зубообрабатывающие станки для нарезания крупномодульных колес трехзубой гребенкой выпускает Коломенский завод тяжелого станкостроения (Россия).

Зуборезными долбяками, наряду с нарезанием цилиндрических колес, нарезают также зубчатые рейки с прямыми и косыми зубьями (рис. 3.63, б). При обработке прямозубых реек формообразования зубьев осуществляют движением скорости резания $\Phi_v(P_1)$, сообщаемым долбяку, и движением круговой подачи $\Phi_s(P_3B_4)$, состоящим из функционально согласованных элементарных движений P_3 нарезаемой рейки и B_4 долбяка. Долбяку при холостом ходе в движении P_1 сообщают также движение отвода на небольшую величину (на схеме не показано) для устранения явления затирания. При нарезании косозубых реек простое движение Φ_v преобразуют в сложное двухэлементарное, перемещающее долбяк по винтовой линии (см. рис. 2.14).

Стандартом предусмотрено 4 вида косозубых долбяков: два для колес с винтовым зубом внешнего зацепления и косозубых реек и два для колес внутреннего зацепления. Углы наклона (подъема винтовой линии) зуба – 15° и 23° . Следовательно, для каждого вида долбяков независимо от модуля шаг подъема винтовой линии зуба T_θ есть величина постоянная. Это сокращает номенклатуру винтовых направляющих для группы Φ_v и одновременно ограничивает универсальность станков. Поэтому в случае необходимости нарезания зубьев с иным наклоном зубьев можно изготовить соответствующие долбяк и винтовые направляющие, пользуясь соотношением:

$$T_k = \frac{\pi m_n z}{\sin \beta},$$

где T_k – шаг винтовых направляющих и зубьев долбяка;

m_n – модуль нормальный;

z – число зубьев долбяка;

β – угол наклона зубьев долбяка.

Долбежно-реечные станки проектируют на основе зубодолбежных станков.

Долбежно-реечный станок модели ЕЗ-9А. Предназначен для нарезания прямозубых и косозубых реек.

Техническая характеристика. Максимальная длина нарезаемых реек 1100 мм; максимальный модуль 8 мм; максимальная длина линии зубьев 170 мм.

Формообразующая часть кинематической структуры станка (рис. 3.64) при нарезании прямозубых реек состоит из двух формообразующих групп: $\Phi_v(\Pi_1)$ и $\Phi_s(B_2 \Pi_3)$.

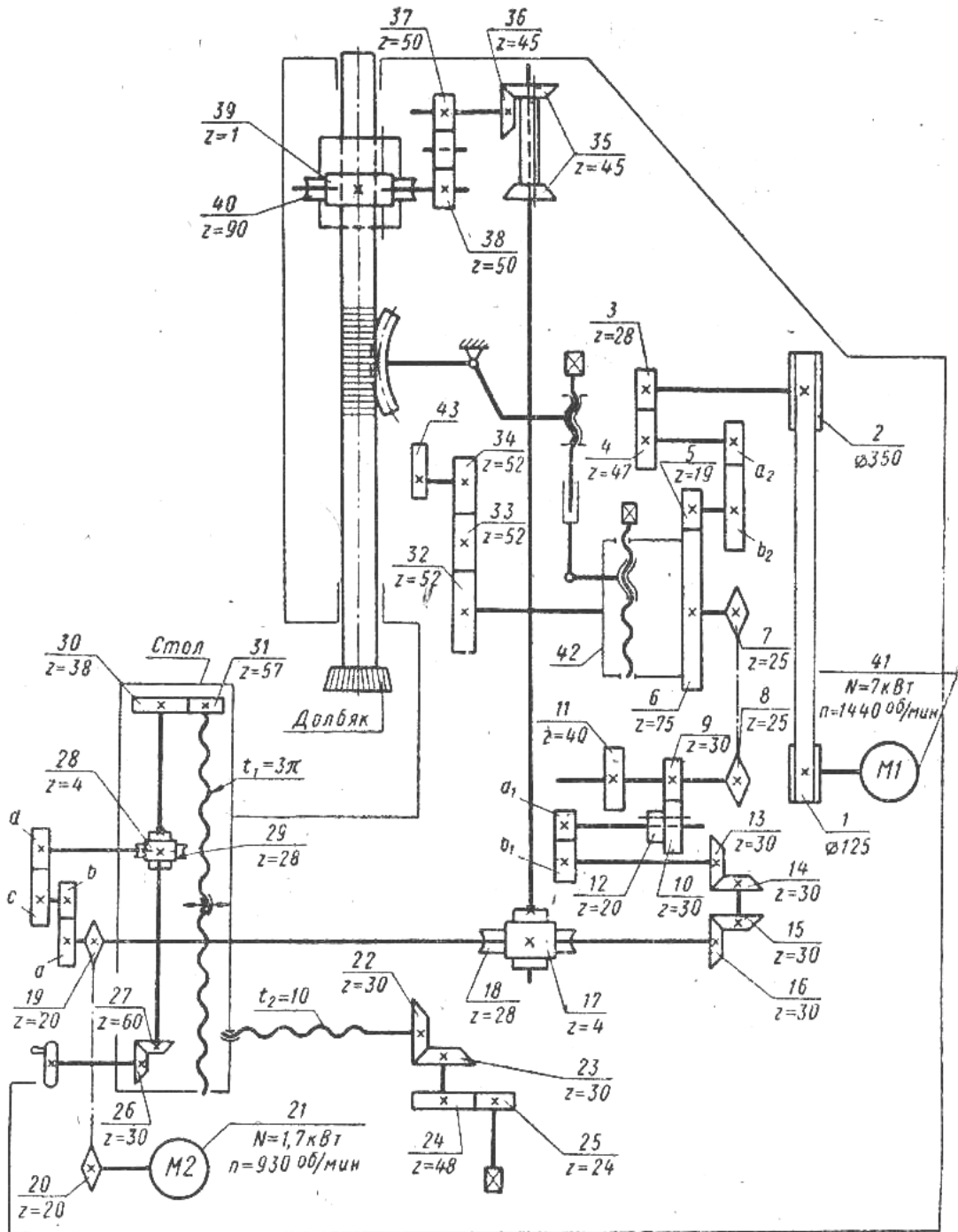


Рис. 3.64. Кинематическая схема долбежно-реечного станка

Группа скорости резания Φ_v воспроизводит линию зуба рейки. Ее внутренняя связь – элементарная поступательная пара:
прямолинейные направляющие корпуса → шпиндель долбяка (Π_1).

Внешняя связь – кинематическая цепь:

$M_1 \rightarrow 1/2 \rightarrow 3/4 \rightarrow (i_v = a_2/b_2) \rightarrow 5/6 \rightarrow \text{кривош.-ползун. мех.} \rightarrow \text{шпиндель,}$
соединяющая электродвигатель M_1 со звеном соединения связей.

Группа настраивается на скорость – гитарой i_v , на путь и исходную точку – изменением плеч кривошипно-ползунного механизма.

Группа обката Φ_s – сложная. Ее внутренняя связь – кинематическая цепь:

$B_2 \rightarrow 40/39 \rightarrow 38/37 \rightarrow R\ 36/35 \rightarrow 17/18 \rightarrow i_x \rightarrow 28/29 \rightarrow 30/31 \rightarrow t_1 \rightarrow P_3,$
соединяющая шпиндель со столом.

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow 1/2 \rightarrow 3/4 \rightarrow i_v \rightarrow 5/6 \rightarrow 7/8 \rightarrow 9/10(11/12) \rightarrow i_s \rightarrow 13/14 \rightarrow 15/16 \rightarrow 17/18,$
где червячная передача $17/18$ является звеном соединения связей.

Группа настраивается на траекторию – гитарой i_x ; на скорость – гитарой i_s и блоком $10 \leftrightarrow 12$; на направление – реверсом R ; на путь и исходную точку – упорами системы управления.

В группе обката предусмотрены дополнительные внешние связи. Первая из этих связей $M_2 \rightarrow 20/19$ в конце цикла обработки рейки возвращает продольный стол на ускоренной подаче в исходное положение, а вторая – *рукоятка* $\rightarrow 26/27$ обеспечивает при наладке станка установочное перемещение стола в продольном направлении вручную.

Вывод ФН для гитары скорости резания i_v , гитары обката i_x и гитары подачи i_s .

Гитара i_v . РП:

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_d \text{ дв. ход. долбяка в мин.}$$

УКЦ:

$$n_d = n_{m1} \cdot i_{01} \cdot i_v. \text{ ФН: } i_v = n_d/c_1,$$

где i_{01} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

c_1 – константа рассматриваемой модели станка, равная 76.

Гитара i_x . Возможные РП:

$$1 \text{ об. долбяка } (B_2) \rightarrow \pi t z (P_3);$$

$$1/z \text{ об. долбяка } (B_2) \rightarrow t (P_3) \text{ мм перемещения рейки};$$

$$L (P_3) \text{ мм перемещения рейки} \rightarrow L/\pi t z (B_2),$$

где $t = \pi t$ – шаг зубьев рейки;

t и z – соответственно модуль и число зубьев долбяка;

L – произвольное число.

УКЦ по первому из РП имеет вид:

$$\pi t z = 1 \cdot i_{02} \cdot i_x \cdot t_{TB}.$$

Тогда, ФН:

$$i_x = m z / c_2.$$

Гитара i_x : возможные РП:

$$1 \text{ об. долбяка } (B_2) \rightarrow \pi m z (П_3);$$

$$1/z \text{ об. долбяка } (B_2) \rightarrow t (П_3) \text{ мм перемещения рейки};$$

$$L (П_3) \text{ мм перемещения рейки} \rightarrow L/\pi m z (B_2),$$

где $t = \pi m$ – шаг зубьев рейки;

m и z – соответственно модуль и число зубьев долбяка;

L – произвольное число.

УКЦ по первому из РП имеет вид:

$$\pi m z = 1 \cdot i_{02} \cdot i_x \cdot t_{TB}.$$

Тогда, ФН:

$$i_x = m z / c_2,$$

где i_{02} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

c_2 – константа, равная 1/180.

Гитара i_s . Обычно при зубодолблении под подачей принимают дуговой поворот долбяка за его один двойной ход. Поэтому РП записывают в виде:

$$1 \text{ дв. ход долбяка} \rightarrow s_{кр} / \pi m z \text{ об. долбяка.}$$

Возможно также представление РП в виде:

$$1 \text{ дв. ход долбяка} \rightarrow s_{кр} \text{ мм перемещения по дуге,}$$

где для обеих форм представления $s_{кр}$ – круговая подача (мм/дв. ход).

УКЦ по второй форме записи РП:

$$s_{кр} = 1 \cdot i_{03} \cdot (i_n = 1 \text{ или } 2) \cdot i_s \cdot \pi m z.$$

ФН:

$$i_s = c_3 \cdot s_{кр} / m z,$$

где i_{03} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

i_n – передаточное отношение при переключении блока 10 ↔ 12;

c – константа, при $i_n = 1$ $c_3 = 200$, при $i_n = 2$ $c_3 = 100$.

В кинематической структуре станка предусмотрены также две вспомогательные группы $Bc(П_4)$ и $Bc(П_5)$. Ненастраиваемая группа $Bc(П_4)$ используется при наладке станка для установочных перемещений стола с заготовкой в радиальном направлении. Ее внутренняя связь – поступательная пара:

радиальные направляющие станины – стол.

Внешняя связь:

рукоятка → 25/24 → 23/22 → тяговый вал t_2 .

Группа $Bc(II_5)$ осуществляет радиальный отвод долбяка от заготовки при холостом ходе долбяка. Эта группа аналогична такой же группе, рассмотренной при описании зубодолбежного станка для обработки зубчатых колес (см. рис. 2.13).

Для обработки косозубых реек группу Φ_v необходимо переналадить по схеме, приведенной в разделе 2 при описании кинематической структуры зубодолбежного станка. Такая переналадка заключается в замене прямолинейных направляющих шпинделя долбяка на винтовые.

3.6.4. Станки для зуботочения цилиндрических зубчатых колес

При рассмотрении зацепления двух цилиндрических колес с винтовыми зубьями, работающими с перекрещивающимися осями, наблюдается скольжение боковой поверхности зубьев одного колеса относительно другого. Это условие и было использовано для зуботочения цилиндрических колес. Одно из двух сцепляющихся винтовых колес заменили обкатным резцом, инструментом типа зуборезного долбяка, а другое – заготовкой. В данном случае инструмент можно представить как многозаходную червячную фрезу. Зуботочением можно нарезать как косозубые, так и прямозубые цилиндрические колеса. Причем прямозубые колеса необходимо нарезать обязательно косозубым инструментом, так как только в этом случае угол скрещивания осей не будет равен нулю.

На рис. 3.65 приведены три схемы нарезания цилиндрических зубчатых колес зуботочением при следующих условиях перекрещивания осей нарезаемого колеса и инструмента:

- нарезаемое зубчатое колесо прямозубое, инструмент – обкатной косозубый резец (рис. 3.65, а);
- нарезаемое зубчатое колесо косозубое, инструмент – обкатной прямозубый резец (рис. 3.65, б);
- нарезаемое зубчатое колесо косозубое, инструмент – обкатной косозубый резец (рис. 3.65, в).

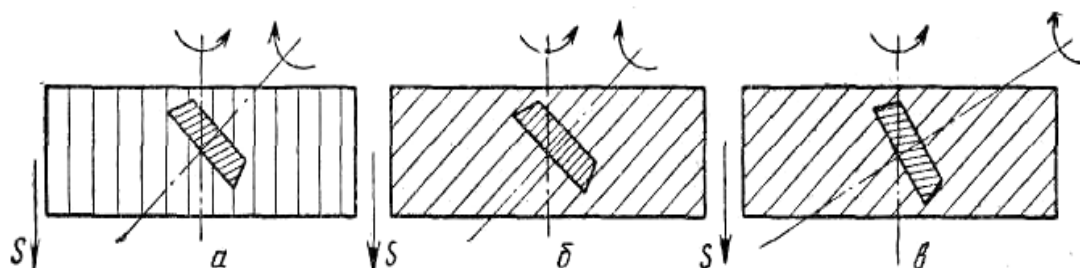


Рис. 3.65. Возможные схемы зуботочения цилиндрических колес

При зуботочении скорость резания определяется относительным скольжением боковых поверхностей зубьев и зависит от угла скрещивания

осей инструмента и нарезаемой заготовки. Наивыгоднейший угол скрещивания осей 90° .

Производительность зуботочения выше производительности зубофрезерования червячными фрезами и зубодолбления зуборезными долбяками в 3 – 5 раз. В машиностроении используются станки для зуботочения цилиндрических колес моделей ЕЗ-13, ЕЗ-24, ЕЗ-165 и др., различающиеся между собой, в основном, предельными размерами нарезаемых зубчатых колес. В [9] по методике, принятой в данном УМК, подробно рассмотрена кинематическая схема станка модели ЕЗ-13 для зуботочения цилиндрических колес диаметром до 320 мм и модулем до 5 мм.

3.7. Станки для чистовой обработки зубчатых колес

Среди методов чистовой обработки зубчатых колес наиболее распространены обкатка, шевингование, зубохонингование и шлифование. Обкатка – это уплотнение боковых поверхностей зубьев незакаленных колес поверхностным пластическим деформированием. Для этого колесо обкатывается под нагрузкой с одним, двумя или тремя закаленными эталонными колесами. Шевингование – это обработка незакаленных зубчатых колес специальным режущим инструментом – шевером. Съём припуска до 15 мкм. Процесс шевингования обеспечивает снижение шероховатости поверхности и повышение точности профиля зубьев. Зубохонингование – процесс для обработки зубчатых колес после шевингования и термообработки. При этом устраняются дефекты поверхности закаленных зубьев. Съём припуска до 10 мкм. В качестве инструмента используют зубчатый хон, выполненный в виде зубчатого колеса из пластмассы с абразивной смесью. Относительные движения те же, что и при шевинговании, но окружные скорости в 2 раза превышают скорость шевера. Зубошлифование применяют для обработки высокоточных закаленных колес. В качестве инструмента используют дисковые, тарельчатые, чашечные и червячные абразивные круги.

3.7.1. Зубошевинговальные станки

Шевер представляет собой эталонное зубчатое колесо, у которого для образования режущих кромок зубья прорезаны поперечными канавками (рис. 3.6б, а). При вращении шевера и шевингуемого колеса, находящихся в зацеплении, происходит боковое скольжение зубьев вдоль их длины, и режущие кромки канавок на профилях зубьев шевера срезают (соскабливают) тонкие стружки с профилей зубьев. Срезание стружек происходит в результате скрещивания осей шевингуемого колеса и шевера.

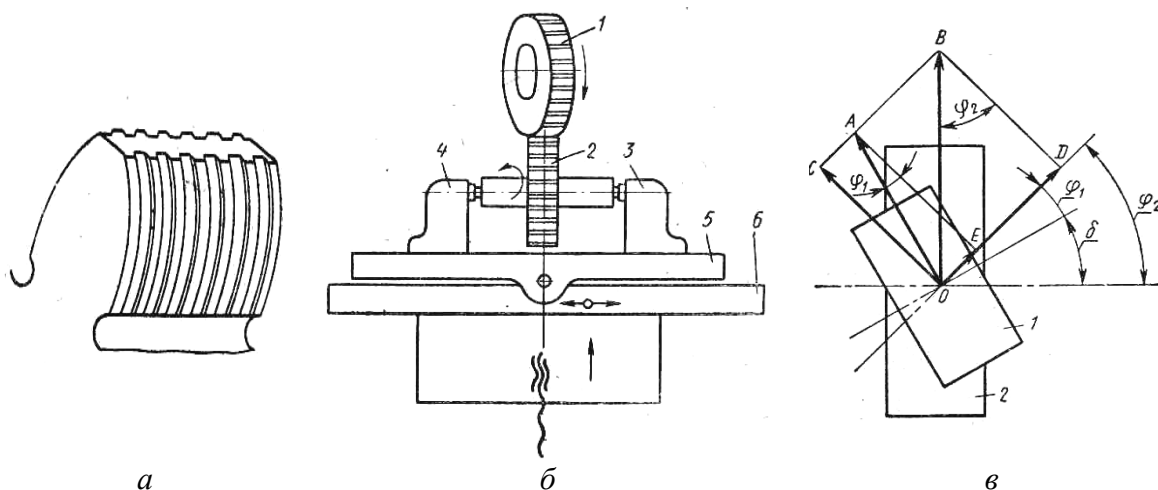


Рис. 3.66. Формообразование при зубошевинговании:
 а – зуб шевера; б – схема шевингования;
 в – схема для расчета круговой частоты вращения шевера

Рассмотрим принципиальную схему шевингования зубчатого колеса (рис. 3.66, б). Шевер 1 вращается от электродвигателя и принудительно вращает обрабатываемое колесо 2, установленное в центрах бабки 3, 4. Бабка установлена на столе 5, который шарнирно связан с продольным столом 6, получающим поступательно-возвратное движение. В конце каждого двойного хода стол совершает вертикальную подачу. Таким образом, зубошевингование происходит при следующих двух формообразующих движениях и движении врезания: принудительном от шевера вращении колеса, поступательно-возвратном движении колеса и прерывистом перемещении колеса в радиальном направлении к шеверу.

Недостатком шевингования является отсутствие жесткой кинематической связи между шевером и обрабатываемым колесом, вследствие чего накопленная ошибка очередного шага исправляется в небольшой степени. Точность обработки шевингованием в значительной степени зависит от качества зубонарезания и припуска под шевингование.

Зубошевинговальный станок модели 5702. Кинематическая схема (рис. 3.67) включает две формообразующие группы – $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_s(\Pi_2)$ и группу врезания $Vp(\Pi_3)$.

Группа Φ_v простая. Ее внутренняя связь:

корпус шевинговальной головки → шпиндель шевера.

Внешняя связь – кинематическая цепь:

$M_1 \rightarrow 2/28 \rightarrow (i_v = a/b) \rightarrow 4/5 \rightarrow 8/9 \rightarrow 10/11 \rightarrow \text{шевер } (B_1).$

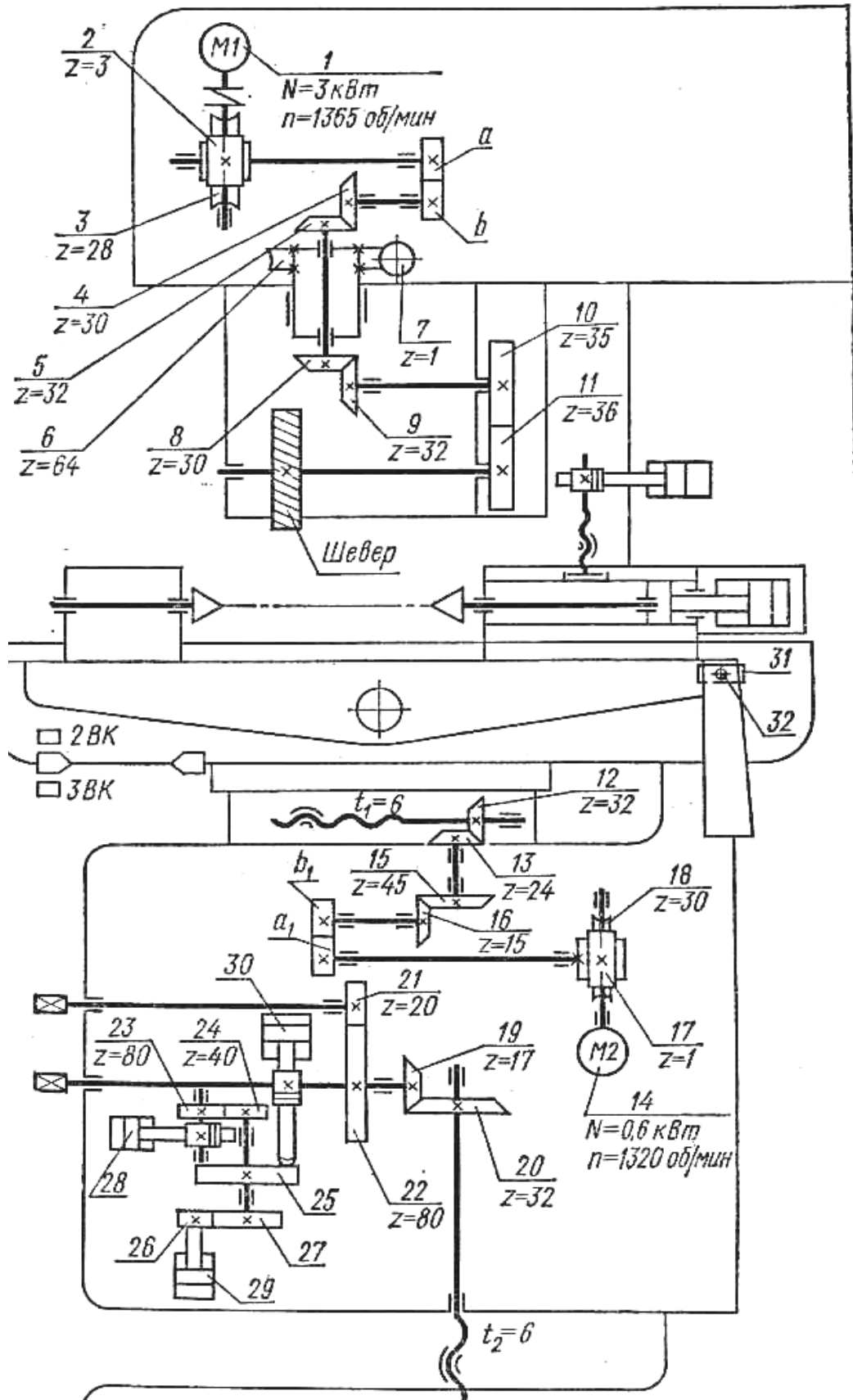


Рис. 3.67. Кинематическая схема зубошвинговального станка модели 5702

Группа настраивается на скорость – двухколесной гитарой i_v , на направление – реверсом, функцию которого выполняет конечный выключатель 2ВК, реверсирующий направление вращения электродвигателя.

Группа Φ_s – простая. Ее внутренняя связь:

горизонтальные направляющие → *продольный стол*.

Внешняя связь – кинематическая цепь:

$M_2 \rightarrow 1/30 \rightarrow (i_s = a_1/b_1) \rightarrow 16/15 \rightarrow 13/12 \rightarrow TB_{t1} \rightarrow \text{продольный стол } (P_2)$.

Группа настраивается на скорость – двухколесной гитарой i_s , на путь, направление и исходную точку – упорами, расположенными на продольном столе и управляющими конечным выключателем 2ВК. Этот выключатель синхронно реверсирует движения B_1 и P_2 в конце хода продольного стола. Конечный выключатель 3ВК является аварийным и отключает станок, если не срабатывает конечный выключатель 2ВК.

Группа Vp простая. Ее внутренняя связь – поступательная пара:

вертикальные направляющие → *консоль, несущая продольный стол*.

Внешняя связь:

гидроцилиндр 28 → *реечная передача* → 23/24 → *валик несущий кулак 25 радиальной подачи врезания и барабан управления 27* → *шток-рейка гидроцилиндра 30* → *реечная передача* → 19/20 → TB_{t2} → *консоль* (P_3).

Группа настраивается на скорость (прерывистую радиальную подачу) – кулаком 25, на путь и исходную точку – винтом, посредством которого через коническую передачу поворачивают TB_{t2} , перемещающий консоль. Для установочных перемещений консоли используется винт, поворачивающий через передачи 21/22 и 19/20 тяговый вал.

Рассмотрим вывод ФН для органов настройки станка.

Гитара i_v . Для расчета частоты вращения шевера необходимо взять скорость резания, за которую принимают скорость $v_{ск}$ бокового скольжения зубьев шевера относительно зубьев шевингуемого колеса.

На рис. 3.66, в показаны начальные цилиндры 1 шевера и 2 обрабатываемого колеса. OA и OB – векторы окружных скоростей соответственно шевера и колеса; OE – линия соприкосновения зубьев; φ_1 и φ_2 – углы наклона зубьев; δ – угол скрещивания осей. Проекция окружных скоростей на линию OC , перпендикулярную к линии зуба, должны быть $AE = BD = CO$. Тогда:

$$OA \cos \varphi_1 = OB \cos \varphi_2.$$

Скорость бокового скольжения:

$$v_{ск} = OD - OE = OB \sin \varphi_2 - OA \sin \varphi_1.$$

Подставляя $OB = OA (\cos \varphi_1 / \cos \varphi_2)$, получим:

$$v_{ск} = OA \left(\frac{\sin \varphi_2 \cdot \cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} - \sin \varphi_1 \right) = v \frac{\sin \delta}{\cos \varphi_2}.$$

Таким образом, скорость резания при шевинговании пропорциональна синусу угла скрещивания осей шевра и колеса.

Если у колеса прямые зубья, т.е. $\varphi_2 = 0$ и $\cos \varphi_2 = 1$, то $\varphi_1 = \delta$. Тогда:

$$v_{ск} = v \sin \delta.$$

Пример. Допустим при шевинговании прямозубого колеса окружная скорость шевра $v = 120$ м/мин, угол скрещивания осей $\delta = 15^\circ$. Тогда скорость резания:

$$v_{ск} = 120 \sin 15^\circ \approx 31 \text{ м/мин.}$$

Зная диаметр шевра и скорость резания можно определить круговую частоту вращения шевра:

$$n_{ш} = \frac{1000 v_{ск}}{\pi d_{ш}} \text{ мин}^{-1}.$$

РП для гитары i_v :

$$n_{м1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{ш} \text{ мин}^{-1}.$$

УКЦ для расчетной цепи, совпадающей с внешней связью:

$$n_{ш} = n_{м1} i_{01} (i_v = a/b),$$

где i_{01} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

ФН:

$$i_v = n_{ш} / c_1,$$

где c_1 – константа, равная примерно 140.

Гитара i_s : При зубошевинговании под подачей s_{np} понимают величину перемещения продольного стола за один оборот заготовки. При минутной подаче s_m и частоте вращения заготовки n_3

$$s_{np} = s_m / n_3 \text{ или } s_m = s_{np} n_3,$$

где $n_3 = n_{ш} (z_{ш} / z_3)$.

РП:

$$n_{м2} \text{ мин}^{-1} \rightarrow s_m \text{ мм/мин.}$$

УКЦ:

$$s_m = n_{м2} i_{02} (i_s = a_1 / b_1) t_{ТВ}.$$

ФН:

$$i_s = s_m / c_2,$$

где c_2 – константа, равная 110.

Настройка на радиальную подачу врезания. Эта подача осуществляется в конце каждого хода продольного стола.

Угол поворота кулака 25 ограничивается винтами-упорами, расположенными в шахматном порядке и опирающимися на собачку 26, которая перебрасывается гидроцилиндром 29. Кулак имеет ступеньки по торцу с перепадом 1,45 мм, т.е. при повороте кулака на минимальный угол 12° шток-рейка гидроцилиндра 30, упираясь в площадку кулака, получает возможность перемещения на 1,45 мм. Тогда, РП:

1,45 n мм перемещения штока-рейки $\rightarrow s_p$ мм/ход стола ($П_3$).

УКЦ (ФН):

$$s_p = (1,45 n / \pi m z) (19/20) t_{TB} = c_3 n,$$

где n – число интервалов между соседними упорами: рекомендуется $n = 1 - 3$;

m, z – модуль и число зубьев колеса, находящегося в зацеплении со шток-рейкой;

c_3 – константа, равная 0,02.

На рассматриваемой модели станка можно шевинговать также колеса с бочкообразной формой зуба. Это осуществляется посредством поворота копира 31 на определенный угол. При поступательном движении палец 32, скользящий в пазу копира, через кронштейн, повернутый к столу, сообщает ему качание в вертикальной плоскости вокруг центральной оси. Обработываемое колесо, установленное в центрах бабок на столе, также качается. При этом ось колеса наклоняется по отношению к оси шевера, поэтому у торцов шевер снимает больший слой металла, чем в средней части зубьев. В итоге обеспечивается бочкообразная форма зубьев шевингуемого колеса.

3.7.2. Зубошлифовальные станки

При зубошлифовании используют те же методы формообразования боковых поверхностей зубьев, что и при их фрезеровании. Копирование в сочетании с касанием используют при шлифовании зубьев колес профильным кругом. Кинематическая структура станков, работающих таким кругом наиболее простая, так как содержит две простые группы формообразования и группу деления. Более широко используют сочетание обката с касанием. При таком сочетании зубья колес шлифуют дисковым обкатным кругом, двумя обкатными тарельчатыми кругами и червячными кругами.

На рис. 3.68 приведена схема шлифования зубчатой поверхности прямозубых цилиндрических колес дисковым шлифовальным кругом. По-

средством движений $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_{s1}(\Pi_2)$ методом касания воспроизводится линия зуба по длине, а движением обката $\Phi_{s2}(\Pi_3 B_4)$ – профиль зуба.

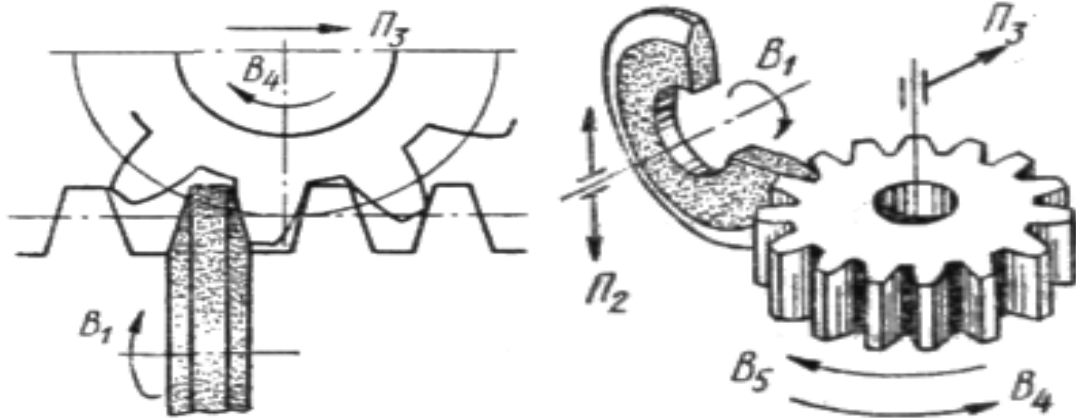


Рис. 3.68. Схема взаимодействия шлифовального круга с прямозубым цилиндрическим колесом

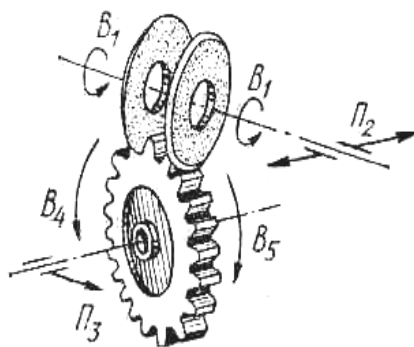


Рис. 3.69. Формообразование зубьев двумя тарельчатыми кругами

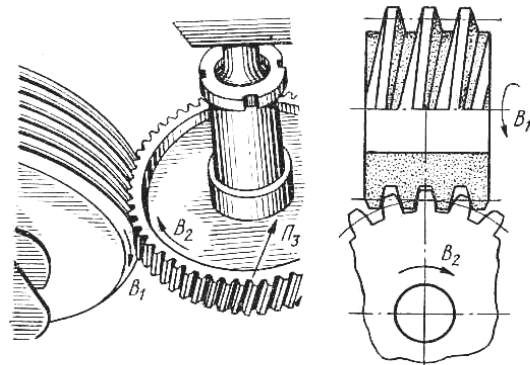


Рис. 3.70. Формообразование зубьев червячным кругом

Рабочая поверхность шлифовального круга (вспомогательный элемент или характеристический образ инструмента) образует профиль зуба воображаемой рейки, по которой катится без скольжения шлифуемое колесо. Боковые поверхности каждого зуба шлифуются последовательно. Поэтому после обработки одной боковой поверхности движение обката реверсируется для обработки другой боковой поверхности в той же впадине колеса. По циклу обработки, шлифование боковых поверхностей зубьев колеса осуществляется последовательно от одной впадины к другой. Поэтому схемой обработки предусмотрено движение деления D (B_5), периодически поворачивающее колесо на угловой шаг.

При шлифовании зубьев колеса двумя, установленными на общем шпинделе, тарельчатыми кругами (рис. 3.69) их размещают в соседних

впадинах. При этом схема элементарных движений шлифуемого колеса и шлифовальных кругов, образующих движения формообразования Φ_v , Φ_{s1} , Φ_{s2} и движение деления D , остается такой же, как и при шлифовании дисковым кругом. Цикл шлифования также не изменяется. При шлифовании крупномодульных колес возможно размещение двух тарельчатых кругов в одной впадине.

На рис. 3.70 показана схема шлифования зубчатого колеса червячным шлифовальным кругом. Посредством формообразующего движения $\Phi_v(B_1B_2)$ воспроизводится профиль зубьев, а посредством формообразующего движения $\Phi_s(\Pi_3)$ – линия зубьев прямозубого колеса по длине. При шлифовании колес с винтовыми зубьями движение Φ_s преобразуется в сложное $\Phi_s(\Pi_3B_4)$, где B_4 – дополнительное вращательное движение шлифуемого колеса.

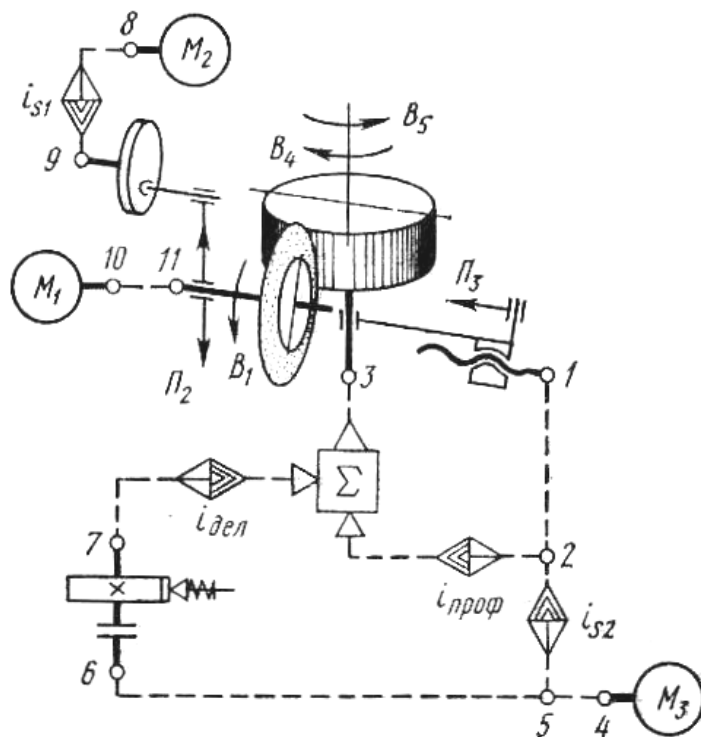


Рис. 3.71. Схема зубошлифовального станка

Рассмотрим одну из типовых структурных схем зубошлифовальных станков, работающего дисковыми и тарельчатыми шлифовальными кругами (рис. 3.71). Группа $\Phi_v(B_1)$. Ее внутренняя связь вращательная кинематическая пара подшипниковые опоры → шпиндель шлифовального круга, а внешняя связь $M_1 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow$ шпиндель $\rightarrow B_2$. Движение B_1 имеет замкнутую траекторию. Поэтому теоретически это движение можно настраивать только по двум параметрам – скорости и направлению. Однако практической необходимости

в настройке этих параметров нет, и поэтому данное движение, как правило, не настраивают.

Группа $\Phi_{s1}(\Pi_2)$. Ее внутренняя связь – поступательная кинематическая пара:

направляющие → ползун, несущий шпиндель шлифовального круга (Π_2).

Внешняя связь:

$$M_2 \rightarrow 8 \rightarrow i_{s1} \rightarrow 9 \rightarrow \text{кривошипно-ползунный механизм } (П_2).$$

Группа настраивается на скорость – органом настройки i_{s1} , на путь – изменением радиуса кривошипа, исходную точку – изменением длины шатуна.

Группа $\Phi_{s2}(П_3B_4)$ – сложная. Ее внутренняя связь – кинематическая цепь $П_3 \rightarrow ТВ \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow i_{проф} \rightarrow \Sigma \rightarrow 3 \rightarrow B_4$, воспроизводящая станочное зубчато-реечное зацепление.

Внешняя связь:

$$M_3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow i_{s2} \rightarrow 2,$$

где 2 – звено соединения связей.

Группа настраивается на траекторию – органом настройки $i_{проф}$, на скорость – органом настройки i_{s2} ; на направление – реверсом, располагаемым, как правило, перед органом настройки i_{s2} ; на путь и исходную точку – по упорам системы управления.

Группа деления $D(B_5)$ простая. Ее внутренняя связь вращательная пара:

$$\text{каретка} \rightarrow \text{делительный стол}.$$

Внешняя связь:

$$M_3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow \text{мех-м деления} \rightarrow 7 \rightarrow i_{дел} \rightarrow \Sigma \rightarrow 3 \rightarrow \text{дел. стол } (B_5).$$

Группа настраивается на путь – органом настройки $i_{дел}$.

Так как делительный стол является исполнительным звеном двух групп Φ_{s2} и D , то эти группы должны быть кинематически соединены между собой. Для их соединения может быть использован один из способов – последовательный, параллельный или смешанный.

Вывод ФН. Орган настройки $i_{проф}$. Расчетная цепь для этого органа настройки совпадает с внутренней связью группы. Поэтому РП:

$$1 \text{ об. заготовки } (B_4) \rightarrow \pi t z \text{ мм перемещения каретки } (П_3),$$

где t и z – модуль и число зубьев шлифуемого колеса.

УКЦ:

$$\pi t z = (1/t_{ТВ}) \cdot i_{01} \cdot i_{\Sigma} \cdot i_{проф},$$

где $t_{ТВ}$ – шаг тягового вала;

i_{01} – произведение постоянных передач расчетной цепи;

i_{Σ} – передаточное отношение дифференциала.

ФН:

$$i_{проф} = (\pi t z t_{ТВ}) / i_{01} i_{\Sigma}.$$

Орган настройки i_{s1} . РП:

$$n_{M2} \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя} \rightarrow s \text{ инструмента } (П_2) \text{ (мм/дв. ход)}.$$

УКЦ:

$$s = n_{M2} i_{02} i_{s1}.$$

ФН:

$$i_{s1} = \frac{s}{n_{M2} i_{02}}.$$

Орган настройки i_{s2} . РП:

$n_{M3} \text{ мин}^{-1}$ электродвигателя $\rightarrow s_m \text{ мм/мин}$ перемещения каретки,

где s_m – минутная подача.

УКЦ:

$$s_m = n_{M3} i_{03} i_{s2} t_{TB}.$$

ФН:

$$i_{s2} = s_m / n_m i_{03} t_{TB}.$$

Орган настройки $i_{дел}$. РП:

n об. делительного диска $\rightarrow 1/z$ (или z_i/z) об. заготовки,

где z_i – число зубьев заготовки, пропускаемых за один делительный цикл при смешанном соединении групп Φ_{s2} и D ;

z – число зубьев заготовки;

n – число оборотов делительного диска за делительный цикл.

УКЦ:

$$1/z \text{ (или } z_i/z) = n i_{04} i_{дел} i_{\Sigma}.$$

ФН:

$$i_{дел} = \frac{1 \text{ или } \frac{z_i}{z}}{n i_{04} i_{\Sigma}}.$$

Рассмотренная типовая структурная схема реализована в конструкции зубошлифовальных станков моделей 5831 и 5А831. В [9] рассмотрена кинематическая схема станка модели 5А831.

Зубошлифовальные станки, работающие дисковыми и тарельчатыми абразивными кругами, имеют относительно невысокую производительность. Поэтому для ее повышения все большее применение получают способы абразивной обработки червячными кругами. Кинематическая структура формообразующей части станков, работающих червячными кругами, аналогична кинематической структуре зубофрезерных и шлицефрезерных станков, работающих червячными фрезами.

Зубошлифовальный станок модели 5В833. Предназначен для шлифования цилиндрических зубчатых колес с прямыми и винтовыми зубьями.

Техническая характеристика. Диаметр шлифуемых зубчатых колес 20 – 200 мм; модуль шлифуемых колес 0,3 – 3 мм; наибольшая высота ко-

леса при $\beta = 0$ равна 100 мм. Наибольший диаметр абразивного червяка 400 мм.

Кинематическая структура станка (рис. 3.72) состоит из двух частных структур, из которых одна предназначена для обработки колес с прямыми зубьями, а другая – для обработки колес с винтовыми зубьями.

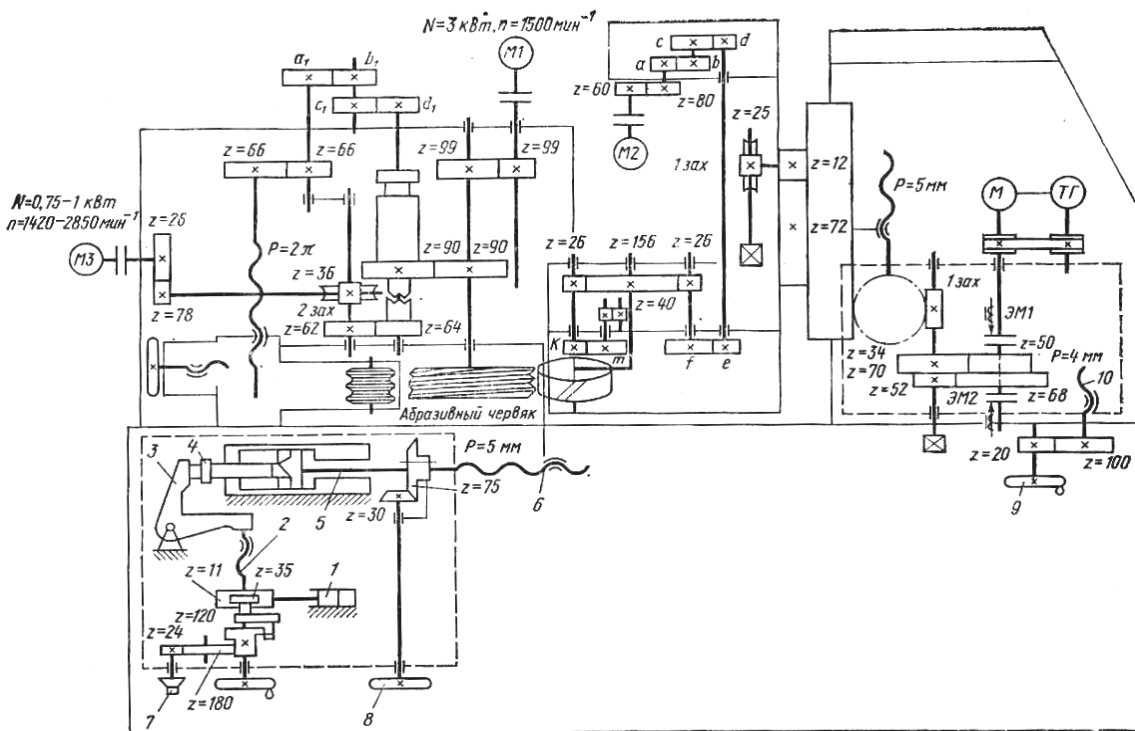


Рис. 3.72. Кинематическая схема зубошлифовального станка модели 5B833

Формообразующая часть первой из названных частных структур включает сложную группу скорости резания $\Phi_v(B_1B_2)$, воспроизводящей профиль зубьев, и группу вертикальной подачи $\Phi_s(P_3)$, воспроизводящей прямую линию зуба по длине. Формообразующая часть другой частной структуры должна состоять из двух сложных групп: $\Phi_v(B_1B)_2$, воспроизводящей профиль зубьев, и $\Phi_s(P_3B_4)$, воспроизводящей винтовую линию зуба. Следовательно, в структуре станка должен быть дифференциал для физического сложения движений B_2 и B_4 на одном исполнительном звене – делительном столе, входящем в обе формообразующие группы. Однако в станке нет дифференциала. Поэтому сложение этих движений осуществляется алгебраически. Условия такого сложения приведены выше при анализе кинематики шлицефрезерного и зубофрезерного станков. В итоге обе группы обсуждаемой структуры трансформируются к виду $\Phi_v(B_1B_2 \pm B_4)$ и $\Phi_s(P_3)$.

Группа обката Φ_v при профилировании воспроизводит станочное зацепление червяк – червячное колесо. Ее особенность – применение двух

синхронных электродвигателей и синхронной электрической связи между ними, осуществляющей согласование круговых частот абразивного червяка и шлифуемого колеса.

Внутренняя связь группы:

$$\text{абразивный червяк } (B_1) \rightarrow 99/99 \rightarrow M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow 60/80 \rightarrow [i_x = (a/b) (c/d) (e/f)] \\ \rightarrow 26/156 \rightarrow \text{шлифуемое колесо } (B_2) \text{ или } (B_2 \pm B_4).$$

Внешних связей, обеспечивающих внутреннюю связь энергией движения, две.

Первая внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow 99/99 \rightarrow \text{абразивный червяк.}$$

Вторая внешняя связь:

$$M_2 \rightarrow 60/80 \rightarrow i_x \rightarrow 26/156 \rightarrow \text{шлифуемое колесо.}$$

Звено соединения связей – «электрический вал», или система синхронизации, связывающая оба электродвигателя.

Группа настраивается на траекторию – гитарой сменных зубчатых колес i_x . Орган настройки на скорость не предусмотрен. Поэтому скорость резания зависит только от диаметра абразивного круга.

Выведем ФН для гитары i_x . РП при шлифовании прямозубого колеса: 1 об. абразивного червяка (B_1) $\rightarrow k/z$ об. шлифуемого колеса (B_2).

УКЦ:

$$k/z = 1 \cdot (99/99) \cdot (n_{M1} = 1500/n_{M2} = 1500) \cdot (60/80) \cdot [i_x = (a/b) (c/d) (e/f)] \cdot (26/156).$$

ФН при однозаходном абразивном червяке ($k = 1$):

– для $z = 12 - 24$ при $e/f = 58/58$, $i_x = (a/b) (c/d) = 8/z$;

– для $z = 24 - 200$ при $e/f = 29/87$, $i_x = (a/b) (c/d) = 8/3z$.

РП при шлифовании колеса с винтовым зубом:

1 об. абразивного червяка (B_1) $\rightarrow z/k (1 \pm s_g/T)$ об. шлифуемого колеса ($B_2 \pm B_4$), где T – шаг винтовой линии зуба шлифуемого колеса;

s_g – вертикальная подача червяка.

УКЦ:

$$z/k (1 \pm s_g/T) = 1 \cdot (99/99) \cdot (1500/1500) \cdot i_x.$$

ФН при $e/f = 58/58$:

$$i_x = (a/b) (c/d) = 8/[z(1 \pm s_g/T)].$$

Правила выбора знаков «+» или «-» и установки абразивного червяка такие же как и при установки червячной фрезы при обработке цилиндрических зубчатых колес.

Для создания постоянного момента на шпинделе шлифуемого колеса и выборки зазора кинематической цепи электродвигатель M_2 – шпиндель установлен гидротормоз, вращающийся от шпиндельной шестерни 156, через шестерню 26 и сменные шестерни k и m .

Группа $\Phi_s(P_3)$ сообщает поступательно-возвратное движение вертикальной подачи суппорту шлифуемого колеса. Внутренняя связь группы:
вертикальные направляющие → суппорт.

Внешняя связь – кинематическая цепь:

$M \rightarrow 50/70$ (или $68/52$) → $1/34$ → TB → суппорт (P_3).

В этой группе используется регулируемый электродвигатель. Диапазон его регулирования совместно с двухступенчатым перебором, переключаемым электромагнитными муфтами ЭМ1 и ЭМ2, обеспечивает подачу 3,78 – 165 мм/мин. Другие параметры настройки: исходная точка, путь и направление устанавливаются по упорам, обеспечивающим соответствующие переключения в схеме электроавтоматики. Одновременно с изменением направления движения вертикальной подачи синхронно изменяется направление движения Φ_v .

В станке предусмотрены также кинематические группы врезания и правки абразивного круга. Группа врезания $Vp(P_4)$ – простая. Ее внутренняя связь:

горизонтальные направляющие → шлифовальная бабка.

Внешняя связь:

гидроцилиндр 1 → шестерня 35 → храповой механизм →
→ винт 2 → рычаг 3 → следящий золотник 4 → гидроцилиндр 5
с поршнем-винтом 6 → шлифовальная бабка (P_4).

Группа работает следующим образом. По команде от системы управления рейка-поршень гидроцилиндра 1 сообщает качательное движение шестерне 35, связанной с водилом собачки храпового механизма. Собачка поворачивает храповое колесо 120, а вместе с ним винт 2, который через рычаг 3 перемещает следящий золотник 4, перемещающий поршень-винт 6 гидроцилиндра 5 вместе с шлифовальной бабкой. Подачу врезания (параметр «скорость») настраивают по лимбу 7 через зубчатую передачу 24/180 на храповое колесо 120. Диапазон радиальной подачи врезания на один ход суппорта 0,02 – 0,08 мм. Команда на радиальное смещение шлифовальной бабки осуществляется от гидроэлектрического золотника, управляющего рейкой-поршнем, при подаче сигналов от конечного выключателя, установленного на стойке и регистрирующего крайнее положение при ходе суппорта шлифуемого колеса. Наладочное радиальное перемещение шлифовальной бабки осуществляют вручную от маховика 8 через передачу 30/75 на винт 6.

Вспомогательная группа правки абразивного червяка $Bc(B_5\Pi_6)$ – сложная. Ее внутренняя связь:

$$(B_5) \text{ накатник} \rightarrow \text{абразивный червяк} \rightarrow 90/90 \rightarrow \\ \rightarrow 1/[i_y = (a_1/b_1) (c_1/d_1)] \rightarrow 66/66 \rightarrow TB (\Pi_6).$$

Внешняя связь:

$$M_3 \rightarrow 26/78 \rightarrow 2/36 \rightarrow 62/64 \rightarrow \text{вал, несущий колесо } z = 90.$$

Группа настраивается на траекторию – гитарой i_y ; на скорость – изменением круговой частоты двухскоростного электродвигателя M_3 ; на путь и исходную точку – упорами системы управления.

Гитара i_y . РП:

1 об. абразивного червяка $\rightarrow \pi t_n$ перемещения накатника на шаг червяка, где t_n – модуль нормальный абразивного червяка.

УКЦ:

$$\pi t_n - 1 (90/90) i_y (66/66) (t_{TB} = 2\pi). \text{ ФН: } i_y = t_n/2.$$

Модуль многониточного накатника равен или больше в целое число раз нормального модуля абразивного червяка.

Абразивный червяк правится при малых скоростях и выключенном электродвигателе M_1 по расчетной кинематической цепи (УКЦ):

$$n = 1420 \text{ или } 2850 (26/78) (2/36) (62/64) (90/90) = 25 \text{ или } 50 \text{ мин}^{-1}.$$

Первое значение круговой частоты абразивного круга используется при правке на рабочем ходе, второе значение – при правке на ускоренном ходе. Правка абразивного червяка бывает предварительная и окончательная и выполняется многониточным накатником или алмазными резцами. Накатник приводится во вращение абразивным червяком. Алмазные резцы устанавливаются вдоль образующих профиля червяка в одной плоскости. Контроль профиля витка абразивного червяка осуществляют микроскопом, устанавливаемым на салазках механизма правки.

Поворот суппорта на угол наклона зуба шлифуемого колеса осуществляют вручную квадратом однозаходного червяка червячного колеса 25. Смещение стойки с суппортом в горизонтальной плоскости для использования рабочей ширины абразивного червяка при шлифовании зубчатых колес осуществляют вручную маховиком 9 через передачу 20/100 и передачу винт-гайка 10. Гидросистема станка обеспечивает зажим шлифуемых колес, поджим заднего подшипника шпинделя абразивного червяка, выбор зазора в делительной цепи гидротормоза и отвод шлифовальной бабки.

3.8. Станки для обработки конических зубчатых колес

Конические зубчатые колеса используют для передачи вращательного движения между пересекающимися и скрещивающимися осями. Форма зубьев конических колес по длине может быть прямолинейной или криволинейной, наклоненной к образующей начального конуса под некоторым углом. Из криволинейных зубьев чаще всего применяют круговой, так как его проще нарезать, кроме того, круговой зуб с углом наклона на малом диаметре колеса $\beta = 0$ воспринимает меньшее осевое давление. Станки для обработки конических колес, как правило, содержат две частных кинематических структуры, одна из которых реализует метод формообразования зубчатой поверхности копирование + след, а другая – след + обкат.

Обработка зубьев конических колес при профилировании обкатом основана на представлении о производящем колесе, т.е. воображаемом плоском или плосковершинном коническом колесе, с которым обкатывается в процессе обработки заготовка. Рассмотрим понятие о производящем колесе на примере обработки прямозубого колеса. Характерным для плоского колеса является угол при вершине начального конуса $2\varphi_0 = 180^\circ$ (рис. 3.73, а), благодаря чему дополнительный конус превращается в цилиндр с осью ZZ и образующей ab . При развертке цилиндра на плоскость зубья колеса образуют прямобочную зубчатую рейку. Процесс формообразования зубьев на заготовке можно представить следующим образом. Предположим, что заготовка выполнена из идеального пластичного материала. Если ее перекачивать без скольжения по стальному плоскому коническому производящему колесу, то его зубья на поверхности заготовки будут формировать впадины. После одного оборота заготовки вокруг своей оси образуется зубчатый венец, зубья которого будут очерчены по октоидальному профилю. Он мало отличается от принятого эвольвентного и вполне удовлетворяет практическим требованиям. То же самое произойдет и в случае, если, перекачивая заготовку, вместе с ней вращать производящее колесо. Вращение заготовки и производящего колеса должны быть кинематически согласованы и происходить без скольжения по начальным конусам. В рассматриваемом случае, имея в виду плоское коническое колесо ($2\varphi_0 = 180^\circ$), начальный конус нарезаемого колеса должен катиться по начальной плоскости xx .

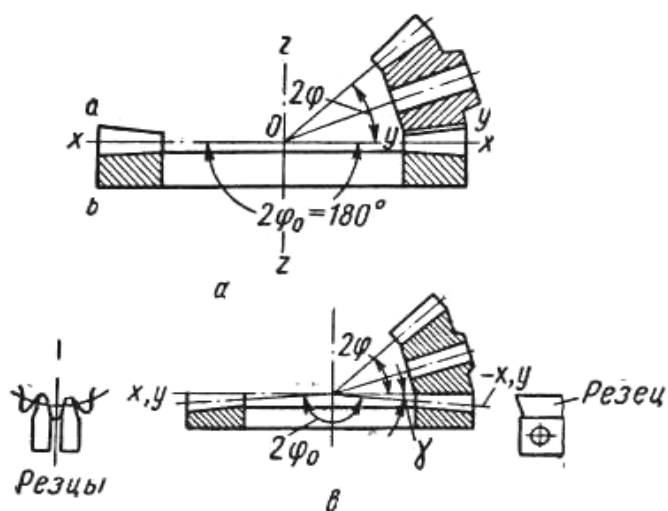


Рис. 3.73. Производящее колесо:
a – плоское; *b* – плосковершинное

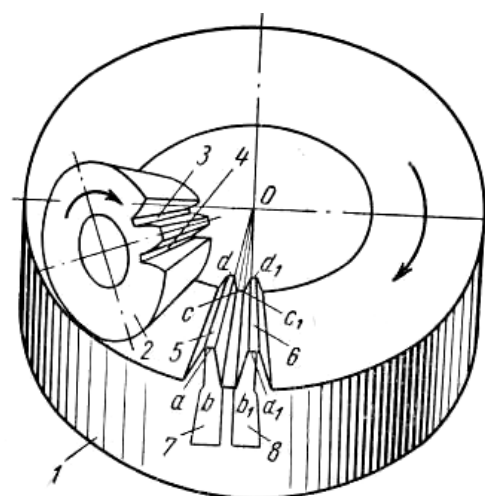


Рис. 3.74. Схема образования зубьев
 конического колеса

Оставим на производящем колесе 1 только два зуба (рис. 3.74). Сообщим заготовке 2 и производящему колесу 1 вращение в направлении стрелок. После того как заготовка перекатится через два зуба, реверсируем вращение и возвращаем оба колеса в исходное положение. В результате этих перемещений два зуба производящего колеса образуют на заготовке две впадины: зуб 5 – впадину 4, а зуб 6 – впадину 3. Таким образом, будет получен первый зуб на заготовке.

Повернем заготовку в исходное положение вокруг своей оси против часовой стрелки на угол, соответствующий шагу зацепления, и повторим весь цикл предыдущих движений. Тогда зуб 5 образует на заготовке новую впадину, а зуб 6 будет входить в контакт с уже имеющейся впадиной 4. В итоге второго цикла движений получим второй зуб на заготовке и так далее, до тех пор, пока не будут образованы все зубья. Таким образом, процесс формообразования профиля зубьев совершается в результате ряда чередующихся циклов движений. Каждый же цикл состоит из:

- обкатного движения производящего колеса и заготовки, в процессе которого зубья колеса внедряются в материал заготовки, образуя впадины;
- реверсирования движения обката в обратном направлении;
- движения деления в конце обратного хода, когда заготовка поворачивается на один зуб.

Зубья 5 и 6 производящего колеса заменяют двумя резцами 7 и 8. Резцы попеременно совершают прямолинейное поступательно-возвратное

движение в радиальном направлении. Режущие кромки ab и a_1b_1 в своем поступательном движении в плоскостях $abcd$ и $a_1d_1c_1d_1$ образуют впадину производящего колеса. Поэтому, если наряду с прямолинейным перемещением сообщить резцам вращение вместе с производящим колесом вокруг точки O , то в обкатном движении резцы, врезаясь в заготовку, выстраивают в ней впадины. Режущие кромки ab и a_1b_1 в своем относительном движении огибают боковые поверхности зуба нарезаемого колеса. Так как толщина резцов меньше толщины зуба производящего колеса, то впадины 3 и 4 при первом контакте с резцами не будут иметь полной ширины.

Таким образом, при формообразовании зубьев конических колес необходимо осуществлять следующие движения:

- движение скорости резания – прямолинейное поступательно-возвратное движение резцов при обработке прямозубого колеса или вращательное движение резцовой головки при обработке колеса с дуговым зубом;
- движение обката (круговой подачи), состоящее из согласованных вращательных движений заготовки и производящего колеса;
- движение деления – поворот заготовки в конце обратного хода.

При обработке впадины необходимо вершины резцов перемещать вдоль образующей uu дна впадины нарезаемого колеса, т.е. под углом к плоскости перпендикулярной к оси вращения производящего колеса (см. рис. 3.73, *a*). Этот угол различен для разных колес. Следовательно, траекторию движения резцов необходимо настраивать по этому углу, что усложняет конструкцию резцового узла и снижает его жесткость.

В практике в целях упрощения конструкции резцового узла допускают отступление: образующую uu дна впадины совмещают с плоскостью xx , перпендикулярной к оси вращения производящего колеса, и вершины резцов перемещают в этой плоскости (рис. 3.73, *в*). В связи с этим величина угла $2\varphi_0$ будет меньше 180° . Из схемы следует:

$$2\varphi_0 = 180^\circ - 2\gamma,$$

где γ – угол ножки нарезаемого колеса.

Полученное таким образом производящее колесо называется плоско-вершинным.

Число зубьев производящего колеса определяется на основании известных зависимостей для конических колес. Можно написать:

$$\frac{z}{z_n} = \frac{\sin \varphi}{\sin \varphi_0} = \frac{\sin \varphi}{\sin(90^\circ - \gamma)} = \frac{\sin \varphi}{\cos \gamma},$$

где z – число зубьев нарезаемого колеса;

z_n – число зубьев производящего колеса.

Откуда число зубьев плосковершинного производящего колеса:

$$z_{плв} = \frac{z \cos \gamma}{\sin \phi}.$$

У плоского колеса угол $\gamma = 0$, следовательно, $\cos \gamma = 1$. Тогда число зубьев плоского производящего колеса:

$$z_{пл} = \frac{z}{\sin \phi}.$$

Конструктивно производящее колесо с приводом резцов или резцовой головки выполняется в виде узла, называемого люлькой.

Нарезание прямозубых конических колес осуществляется преимущественно посредством двух зубострогальных резцов, а нарезание колес с дуговым зубом – резцовыми головками, режущие зубья которых расположены на окружности. Кинематическая структура этих станков однотипна. Она содержит простую группу скорости резания $\Phi_v(\Pi_1)$ или $\Phi_v(B_1)$, обеспечивающую движение резцов или резцовой головки для получения линии зубьев по длине, сложную группу подачи $\Phi_s(B_2B_3)$, обеспечивающую обратное движение заготовки и производящего колеса, для воспроизведения профиля зубьев и группу деления $D(B_4)$. Шпиндель заготовки является общим исполнительным органом групп Φ_s и D . Поэтому эти группы должны иметь между собой кинематическую связь. Для этого применяют один из трех способов соединения кинематических групп: параллельный, последовательный и смешанный (параллельно-последовательный). В зависимости от способа соединения групп Φ_s и D видоизменяются кинематическая структура станков и их настройка. Рассмотрим типовую структуру зуборезных станков (рис. 3.75).

Структура групп $\Phi_v(\Pi_1)$ и $\Phi_v(B_1)$ простая. Внутренняя связь или поступательная пара:

направляющие люльки \rightarrow ползуны резцов (Π_1),

или вращательная пара

подшипниковые опоры на люльке \rightarrow шпиндель резцовой головки (B_1).

Внешняя связь: кинематическая цепь:

$$M \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow i_v \rightarrow 3,$$

соединяющая электродвигатель M или с ползунами резцов (Π_1), или со шпинделем резцовой головки (B_2).

Группа $\Phi_v(\Pi_1)$ настраивается по четырем параметрам: на траекторию – изменением угла между направлениями поступательно-возвратного движения резцов; на скорость – органом настройки i_v ; на путь и исходную

точку – изменением плеч механизма, преобразующего вращательное движение в поступательно-возвратное резцов.

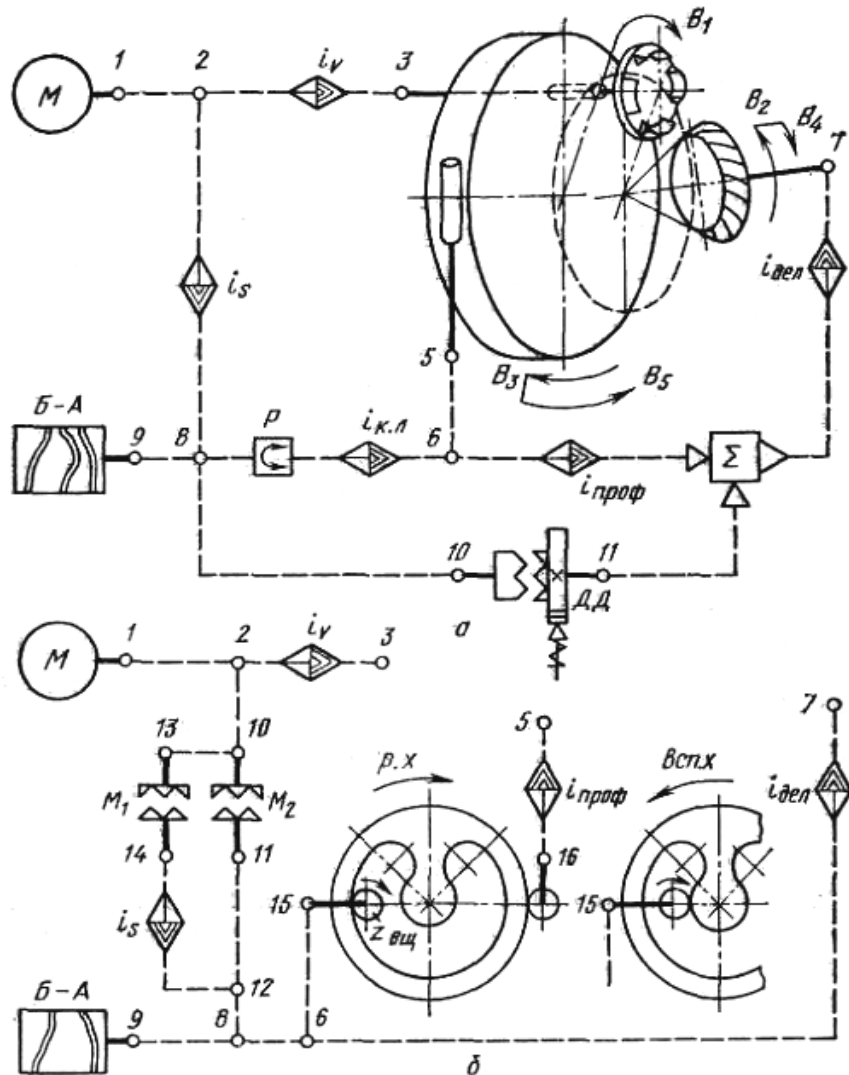


Рис. 3.75. Кинематическая структура зуборезного станка для нарезания конических колес: *a* – при параллельном соединении групп Φ_s и \mathcal{D} ; *б* – при смешанном соединении групп Φ_s и \mathcal{D}

Группа $\Phi_v(B_1)$ настраивается только по одному параметру: на скорость – органом настройки i_v .

Группа $\Phi_s(B_2B_3)$ сложная. Ее внутренняя связь – кинематическая цепь:

$$B_3 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow i_{\text{проф}} \rightarrow \Sigma \rightarrow i_{\text{дел}} \rightarrow B_2,$$

называемая цепью обката или профилирования.

Внешняя связь – кинематическая цепь:

$$M \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow i_s \rightarrow P \rightarrow i_{\text{кл}} \rightarrow 6,$$

передающая энергию движения от электродвигателя во внутреннюю связь через звено соединения связей 6.

Группа настраивается на траекторию – органом настройки $i_{проф}$; на скорость – органом настройки i_s ; на путь – угол качания Θ° люльки, необходимый для полного профилирования одного зуба нарезаемого колеса, после чего люлька должна возвратиться в исходное положение для профилирования следующего зуба – органом настройки $i_{кл}$.

Группа деления $D(B_4)$ простая. Ее внутренняя связь вращательная пара:

делительная бабка → шпиндель заготовки.

Внешняя связь при параллельном соединении групп Φ_s и D (рис. 3.75, а):

$$M \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow i_s \rightarrow 8 \rightarrow 10 \rightarrow ДД \rightarrow 11 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_{дел} \rightarrow 7 \rightarrow B_4.$$

Внешняя связь при смешанном соединении (рис. 3.75, б):

$$M \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 8 \rightarrow 6 \rightarrow i_{дел} \rightarrow 7 \rightarrow B_4.$$

Группа настраивается на путь – органом настройки $i_{дел}$. Управление делением – периодическое включение и отключение его – осуществляется распределительным валом $B - A$.

Рассмотрим общие принципы настройки станков анализируемого класса и выведем ФН для их органов настройки, которые выполняют, как правило, в виде гитар сменных зубчатых колес.

Орган настройки i_v . РП при обработке конических прямозубых колес:

$$n_M \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_P \text{ дв. ходов/мин резцов.}$$

УКЦ:

$$n_P = n_M i_{01} i_v.$$

ФН:

$$i_v = n_P / (n_M i_{01}),$$

где i_{01} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

Выразим n_P через скорость резания v :

$$n_P = 1000v / (2L),$$

где L – ход резцов в движении Π_1 , состоящий из длины линии зуба колеса и величин перебегов резца на входе и выходе из зоны резания.

После замены n_P , окончательно получим:

$$i_v = c_1 v L,$$

где c_1 – константа конкретной модели станка, равная $1000 / (2n_M i_{01} L)$.

РП при обработке конических колес с дуговым зубом:

$$n_M \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{ПГ} \text{ мин}^{-1}.$$

УКЦ:

$$n_{ПГ} = n_M i_{01} i_v.$$

ФН:

$$i_v = n_{ПГ} / (n_M i_{01}) = n_{ПГ} / c_2,$$

где c_2 – константа, равная $n_M i_{02}$.

Орган настройки $i_{проф}$. Расчетная цепь совпадает с внутренней связью группы обката Φ_s . РП:

$$1 \text{ об. люльки } (B_3) \rightarrow z_n/z \text{ об. заготовки } (B_2).$$

УКЦ при параллельном соединении групп Φ_s и D :

$$z_n/z = 1 i_{03} i_{проф} i_{\Sigma} i_{дел}.$$

ФН:

$$i_{проф} = z_n/(z i_{03} i_{\Sigma} i_{дел}) = z_n/(c_3 z i_{дел}),$$

где c_3 – константа, равная $i_{03} i_{\Sigma}$.

Орган настройки i_s . Все зуборезные станки рассматриваемого класса, являясь полуавтоматами, оснащены временной системой управления и, следовательно, работают в цикловом режиме. За время цикла принимают время обработки одного зуба (впадины.). Этим же временем условно задается подача, и поэтому ее называют цикловой. Время цикла есть сумма:

$$t_u = t_p + t_x,$$

где t_u – время цикла;

t_p – время рабочего хода люльки (ее поворот в процессе профилирования зуба);

t_x – время вспомогательного хода (ее поворот в исходное положение).

Для повышения производительности стремятся, чтобы $t_x < t_p$. Для этого нередко в зуборезных станках во внешней связи группы Φ_s применяют передачи или цепь передач, позволяющие получить ускоренное вращение люльки при вспомогательном ходе. Включение и отключение этих передач осуществляется с помощью распределительного вала, который за время цикла всегда совершает один оборот. В рассматриваемой структуре (см. рис. 3.75, б) эту функцию выполняет распределительный вал $B - A$, управляющий муфтами M_1 и M_2 .

РП для структуры по рис. 3.75, а (вариант 1):

$$1 \text{ об. распределительного вала} \rightarrow (n_M/60) t_u \text{ об. электродвигателя.}$$

Если при вспомогательном ходе люльки движение к ней передается минуя орган настройки i_s , то распределительный вал имеет две различные скорости, причем во время вспомогательного хода распределительный вал всегда вращается с постоянной скоростью. В этом случае (вариант 2) РП по рис. 3.75, б имеют иной вид:

$\delta_p^\circ/360^\circ$ об. распределительного вала $\rightarrow (n_M/60) t_p$ об. электродвигателя, где δ_p° – угол поворота распределительного вала, соответствующий времени t_p .

Угол δ_p° зависит от соотношения скоростей вращения люльки при рабочем и вспомогательном ходах и определяется для каждого конкретно-

го станка и передаточных отношений зубчатых передач механизма реверса люльки.

УКЦ по варианту 1:

$$(n_M/60) t_u = 1 i_{04} i_s.$$

ФН:

$$i_s = c_4/t_u,$$

где $c_4 = n_M/(60 i_{04})$ – константа;

i_{04} – произведение постоянных передач расчетной цепи электродвигатель – распределительный вал.

УКЦ по варианту 2:

$$(n_M/60) t_p = (\delta_p^\circ/360^\circ) i_{05} i_s.$$

ФН:

$$i_s = c_5 t_p,$$

где $c_5 = (n_M/60) (\delta_p^\circ/360^\circ) t_p$.

Настройка движения Φ_s на путь, т.е. на угол качания Θ° люльки, зависит от способа соединения групп Φ_s и D . При параллельном соединении групп периодическое делительное движение суммируется через дифференциал Σ с движением заготовки B_2 в период реверсирования движения обката Φ_s , т.е. возврата люльки в исходное положение для профилирования следующего зуба или впадины нарезаемого колеса. При этом заготовка за время реверсирования, т.е. за t_x , как правило, поворачивается на $1/z$ оборота.

При смешанном соединении групп реверсируется только люлька, а заготовка продолжает непрерывно вращаться в одну сторону. Причем за время возвращения люльки в исходное положение заготовка поворачивается на z_i/z оборота, где z_i – число зубьев заготовки, пропускаемых между двумя последовательными циклами делений. Это число, т.е. z_i не должно иметь общих множителей с z заготовки.

При обоих способах соединения групп для возврата люльки в исходное положение в структуре станка необходим реверс. При параллельном соединении для реверсирования люльки и заготовки реверс располагают во внешней связи группы Φ_s на участке 8 – 6. При смешанном соединении надо реверсировать только люльку, и поэтому реверс располагают во внутренней связи группы Φ_s на участке 6 – 15 – 16 – 5 цепи профилирования от звена присоединения внешней связи к внутренней до люльки. В этом случае наибольшее распространение получил специальный реверс в виде составного колеса, рассмотренный в разделе 2. Вращение ведущего колеса реверса в одну сторону и постоянство его зацепления с внутренним замкнутым контуром составного колеса будет сообщать последнему враща-

тельное движение то в одну, то в другую сторону и тем самым осуществлять реверсирование люльки. Ведущее колесо реверса обходит один раз полностью весь внутренний контур составного колеса за время цикла обработки одного зуба нарезаемого колеса.

При параллельном соединении групп Φ_s и \mathcal{D} настройка на путь осуществляется органом настройки $i_{кл}$. Для этого органа УКЦ имеет вид:

$$\delta_p^\circ/360^\circ \text{ об. распределительного вала} \rightarrow \Theta^\circ/360^\circ \text{ об. люльки.}$$

Угол $\Theta^\circ = \psi^\circ (z/z_n)$, где ψ° – угол поворота заготовки для полного профилирования зуба нарезаемого колеса, который выбирают по специальным номограммам в зависимости от числа нарезаемых зубьев, модуля и других параметров колеса.

УКЦ:

$$\Theta^\circ/360^\circ = \delta_p^\circ/360^\circ (i_{06} i_{кл}).$$

ФН:

$$i_{кл} = (1/i_{06})(\Theta^\circ/\delta_p^\circ),$$

где i_{06} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи распределительный вал – люлька.

При смешанном соединении групп путь движения обката Φ_s настраивают посредством органов настройки $i_{проф}$ и $i_{дел}$, в ФН которых фигурирует число z_i , являющееся функцией угла качания люльки и соответственно угла поворота ψ° заготовки. Функцию $z_i = f(\psi^\circ)$ определяют отдельно для каждого конкретного станка, используя для этого следующее соотношение: $z_i = (\Theta^\circ/\delta_p^\circ) z_n$.

Орган настройки $i_{дел}$. РП при параллельном соединении групп:

$$n_{03} \text{ об. отсчетного звена} \rightarrow 1/z \text{ об. заготовки,}$$

причем отсчетным звеном может быть, например, делительный диск $\mathcal{D}\mathcal{D}$.

УКЦ:

$$1/z = n i_{07} i_{\Sigma} i_{дел}.$$

ФН:

$$i_{дел} = c_7/z,$$

где c_7 – константа конкретной модели станка.

РП: при смешанном соединении групп:

$$1 \text{ об. распределительного вала} \rightarrow z_i/z \text{ об. заготовки.}$$

УКЦ:

$$z_i/z = 1 i_{08} i_{дел}.$$

ФН:

$$i_{дел} = c_8 z_i/z,$$

где c_8 – константа конкретной модели станка.

Зубонарезание конических колес при профилировании обкатом используется при чистовой обработке. При незначительной переналадке рассмотренные типовые кинематические структуры зуборезных станков позволяют также осуществлять профилирование зубьев по методу копирования. В этом варианте зубонарезания конических колес класс воспроизведения зубчатой поверхности копирование + след. Этот вариант используется для черновой обработки. При нарезании прямозубых колес при профилировании копированием из типовой структуры исключается группа обката, и вводится простая группа врезания $Vp(II_2)$ на высоту зуба. При нарезании конических колес с круговым (дуговым) зубом группа обката из кинематической структуры не исключается, но существенно на 2 – 3 порядка замедляется скорость движения обката, что при профилировании равнозначно остановке этого движения.

Существуют также станки для шлифования зубьев конических колес. Прямозубые колеса шлифуют двумя дисковыми кругами с продольной подачей их вдоль линии зуба. Конические колеса с круговыми зубьями шлифуют чашечным кругом. Структура такого станка аналогична структуре станка, работающего резцовой головкой.

Рассмотрим возможные циклы зубонарезания при профилировании обкатом и при профилировании копированием.

Цикл нарезания прямозубого колеса при профилировании обкатом:

- заготовка быстро подводится к резцам и устанавливается на глубину предварительной (черновой) обработки (рис. 3.76, а);
- предварительная обработка боковых поверхностей одного зуба движениями Φ_v и Φ_s (рис. 3.76, б);
- реверсирование движения Φ_s до горизонтального положения оси профиля обрабатываемого зуба и подвод заготовки на глубину окончательной (чистовой) обработки (рис. 3.76, в);
- окончательная обработка зуба движениями Φ_v и Φ_s (рис. 3.76, г);
- быстрый отвод заготовки и деление на зуб при продолжающемся движении обката;
- повторение цикла до тех пор, пока не будут обработаны все зубья.

При обработке прямозубых колес последним вращающимся звеном внешней связи группы Φ_v является кривошипный диск 5, расположенный в центре люльки (рис. 3.77). Этот диск посредством шатуна 6 сообщает качательное движение диску 7, в прямолинейном пазу которого размещены сухари, соединенные посредством пальцев с ползунами 1. Ползуны расположены в направляющих, смонтированных так, чтобы резцы 2 образовали угол $2\delta'$ с центром вращения люльки (воображаемого производящего колеса).

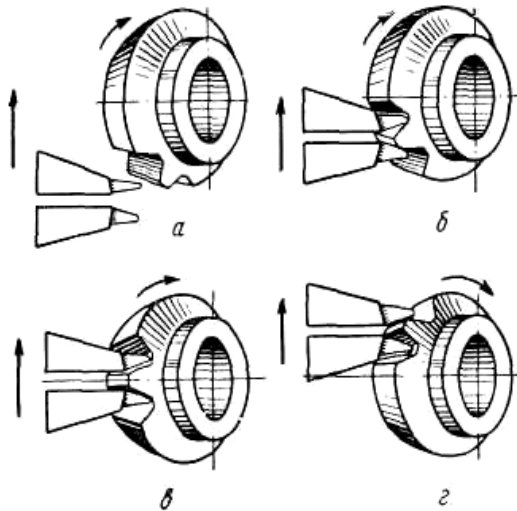


Рис. 3.76. Схема образования зубьев

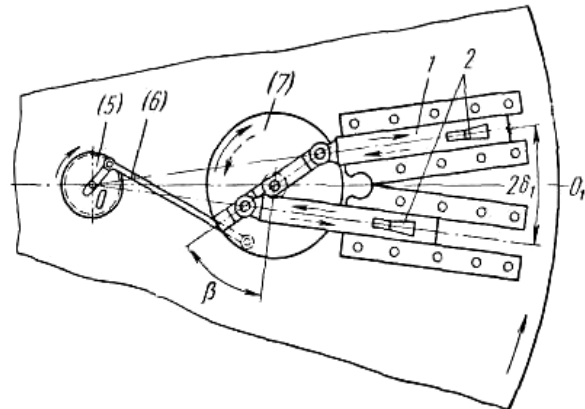


Рис. 3.77. Исполнительный механизм группы Φ_v

Угол δ_1 установки резцов определяют по формуле:

$$\delta_1 = 57,296 \left(\frac{\pi}{4f} + \operatorname{tg}\alpha \right) \operatorname{tg}\gamma,$$

где α – угол зацепления;
 γ – угол ножки зуба;
 f – коэффициент высоты зуба.

Обычно $\alpha = 20^\circ$, а $f = 1,1236$, то для этого случая $\delta_1 = 60,884 \operatorname{tg}\gamma$.

Цикл работы станка при профилировании колеса копированием:

- быстрый подвод стола с бабкой, несущей заготовку;
- врезание на высоту зуба при рабочей подаче стола;
- быстрый отвод стола из зоны резания;
- одинарное или двойное деление;
- повторение цикла до тех пор, пока не будут обработаны все зубья.

При одинарном делении используется два стандартных резца. При этом каждый резец выстрагивает свою часть впадины. При двойном делении используются нестандартные резцы. Каждый резец выстрагивает всю впадину.

На некоторых моделях станков предусмотрена также возможность обработки бочкообразных зубьев. Для этого на люльке прямолинейные направляющие для ползунов 1 заменяют соответствующими криволинейными.

При обработке конических колес с круговыми зубьями в качестве производящего колеса принимают плоское колесо 1, зубья которого направлены по дуге окружности радиуса r (рис. 3.78). Заготовка 2 в процессе обработки обкатывается с производящим колесом 1, зубья которого вос-

производятся резцовой головкой 3, вращающейся вокруг точки O_1 . Профиль резцов соответствует профилю зубьев производящего колеса. Проходя участок AA_1 , они имитируют один зуб производящего колеса.

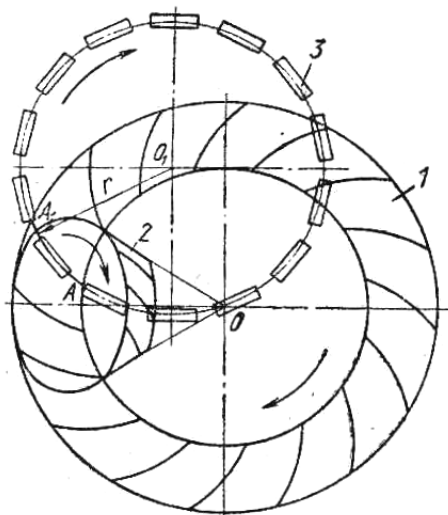


Рис. 3.78. Схема нарезания конических колес с круговыми зубьями

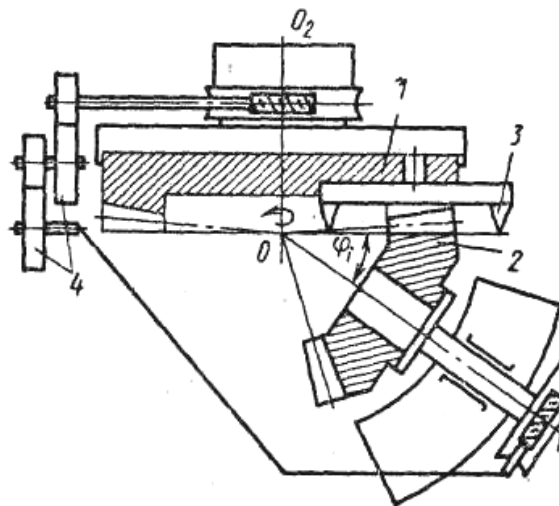


Рис. 3.79. Схема установки заготовки при нарезании круговых зубьев

Согласованность вращения люльки 1 (рис. 3.79) и заготовки 2 (станочное зацепление) обеспечивается сменными зубчатыми колесами 4, подбираемыми в зависимости от числа зубьев нарезаемого колеса. Вершины резцов 3 должны передвигаться по образующей внутреннего конуса нарезаемого колеса. Поэтому колесо необходимо установить под углом φ_i внутреннего конуса к плоскости, в которой передвигаются вершины резцов.

Заготовка должна устанавливаться относительно центра станка, под которым понимается точка пересечения горизонтальной оси OO_2 люльки, оси OO_1 шпинделя бабки и вертикальной оси O поворотного стола. Через центр стола должна проходить плоскость, в которой передвигаются вершины резцов головки, и с центром стола должна совпадать вершина начального конуса нарезаемого колеса.

Резцовая головка (рис. 3.80, а) выполняется в виде диска с пазами, в которые вставляются и крепятся резцы перпендикулярно торцовой плоскости диска. Резцы бывают наружные (рис. 3.80, б) и внутренние (рис. 3.80, в). Резцы подразделяются также на праворежущие и леворежущие, отличающиеся только расположением режущих кромок. Стандартные резцовые головки имеют диаметр 150 – 300 мм.

Возможный цикл нарезания колеса с дуговым зубом при профилировании обкатом:

- подвод заготовки к резцовой головке;

- прорезка впадины вращающейся резцовой головкой (движение резания) при согласованном вращении люльки, несущей резцовую головку, и шпинделя с заготовкой (движение обката);
- отвод заготовки от резцовой головки при продолжающемся вращении заготовки в ту же сторону, одновременно реверсирование и ускоренное обратное вращение люльки;
- подвод заготовки, реверсирование люльки и повторение цикла.

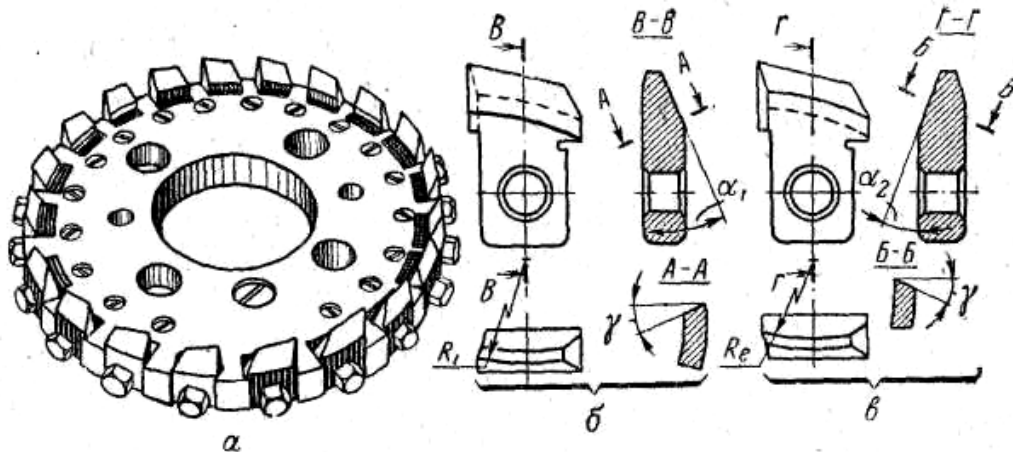


Рис. 3.80. Резцовая головка

Обработка конических зубчатых колес с дуговым зубом при профилировании обкатом используется при нарезании колес с большим углом начального конуса. В этом случае угол обката (качания) люльки велик, и профилирование обкатом становится малопроизводительным. Однако, чтобы не усложнять структуру станка введением дополнительных механизмов, а использовать те же кинематические цепи, движение обката не выключается, а только замедляется так, чтобы за время цикла обработки заготовка повернулась всего на один зуб.

Цикл обработки:

- прорезка одной впадины при рабочей подаче врезания заготовки на резцовую головку и медленном движении обката;
- отвод заготовки при продолжающемся ее вращении в ту же сторону и одновременное реверсирование и вращение люльки в обратном направлении;
- подвод заготовки, реверсирование люльки, повторение цикла прорезки соседней впадины.

За время цикла прорезки впадины люлька по-прежнему совершает одно двойное качание, а заготовка, вращаясь в одном направлении, повернется за это же время относительно люльки на один зуб (впадину).

Нарезание конических колес с круговыми зубьями при профилировании обкатом характеризуется длительным циклом обработки, так как для устранения огранки зубьев при обработке и получения высокого класса чистоты поверхности приходится увеличивать время огибания (обката). Много времени затрачивается на холостые ходы. Поэтому в крупносерийном и массовом производстве спирально-конических и гипоидных передач используется более производительный способ полуобкатной обработки. В полуобкатной передаче при профилировании обкаткой нарезают шестерню, имеющую небольшое число зубьев, а колесо нарезают резцовой головкой или круговой протяжкой при профилировании копированием.

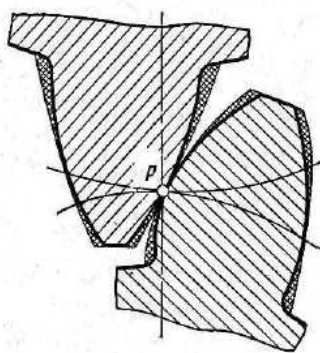


Рис. 3.81. Профили зубьев полуобкатной передачи

На рис. 3.81 жирными линиями очерчены профили зубьев полуобкатной передачи. Для сравнения тонкими линиями показаны профили зубьев обычной передачи, нарезаемой при профилировании обкатом. Профиль зуба колеса в этом случае получается полнее. Такое утолщение профиля колеса должно соответствовать утонению профиля шестерни. Это изменение профиля шестерни называют модификацией. В ряде

моделей станков рассматриваемого класса для модификации профиля шестерни используется механизм модификации, выполненный в виде дополнительной настраиваемой кинематической цепи во внутренней связи группы обката, включающей суммирующий механизм с червячной передачей, в котором равномерное вращение червяка люльки суммируется с его неравномерным поступательным перемещением.

В станочном парке технологического оборудования машиностроительного производства используются различные модификации базовых моделей станков 523, 526 для нарезания прямозубых конических колес и 525, 528 для нарезания колес с круговыми зубьями, реализующих рассмотренную обобщенную структурную схему станка для нарезания конических колес. Станки моделей 5А26 и 525 подробно описаны в [9].

3.9. Станки для обработки резьбы

Резьбообрабатывающие станки предназначены для формообразования на заготовках винтовых поверхностей, которые широко используют в машиностроении в неподвижных резьбовых соединениях, винтовых и червячных передачах, а также в большинстве режущих инструментов, применяемых при обработке винтовых поверхностей.

Резьбы (винтовые поверхности) характеризуются в продольном направлении винтовой линией и в поперечном сечении, проходящем через ось тела вращения – профилем. Профиль может быть треугольным, прямоугольным, трапецеидальным, полукруглым и т.д.

Для нарезания винтовых поверхностей в большинстве случаев используют режущие и абразивные инструменты, форма режущей кромки или контура которых совпадает с профилем нарезаемой резьбы. Поэтому основным методом образования профиля винтовых поверхностей является метод копирования, и этот метод осуществляется резьбовыми резцами (рис. 3.82, *а*), метчиками (рис. 3.82, *б*), плашками (рис. 3.82, *в*), резьбовыми гребенками (рис. 3.82, *г*), резьбонарезными головками, дисковыми резьбовыми фрезами (рис. 3.82, *д*), многоночными гребенчатыми фрезами (рис. 3.82, *е*), дисковыми (рис. 3.82, *ж*), и многоночными (рис. 3.82, *з*) шлифовальными кругами.

Для образования профиля у цилиндрических и глобоидных червяков при нарезании их чашечным обкатным резцом используют метод обката. В продольном направлении форма винтовых поверхностей образуется методом следа или касания в зависимости от применяемого инструмента.

В связи с тем, что наиболее распространенным методом образования профиля резьбы является метод копирования, не требующий движения формообразования, кинематическая структура большинства резьбообрабатывающих станков состоит только из кинематических групп, создающих движения для образования винтовой линии. При образовании винтовой линии методом следа (резцом, метчиком, плашкой, резьбовой гребенкой) требуется одно сложное винтовое движение $\Phi_v (B_1 B_2)$, а методом касания (резбонарезной головкой, фрезой, шлифовальным кругом) – два движения: одно простое $\Phi_v (B_1)$ – вращение инструмента, и второе сложное винтовое $\Phi_s (B_2 П_3)$. Таким образом, кинематическая структура резьбообрабатывающих станков в первом случае состоит из одной формообразующей группы, а во втором – из двух формообразующих групп.

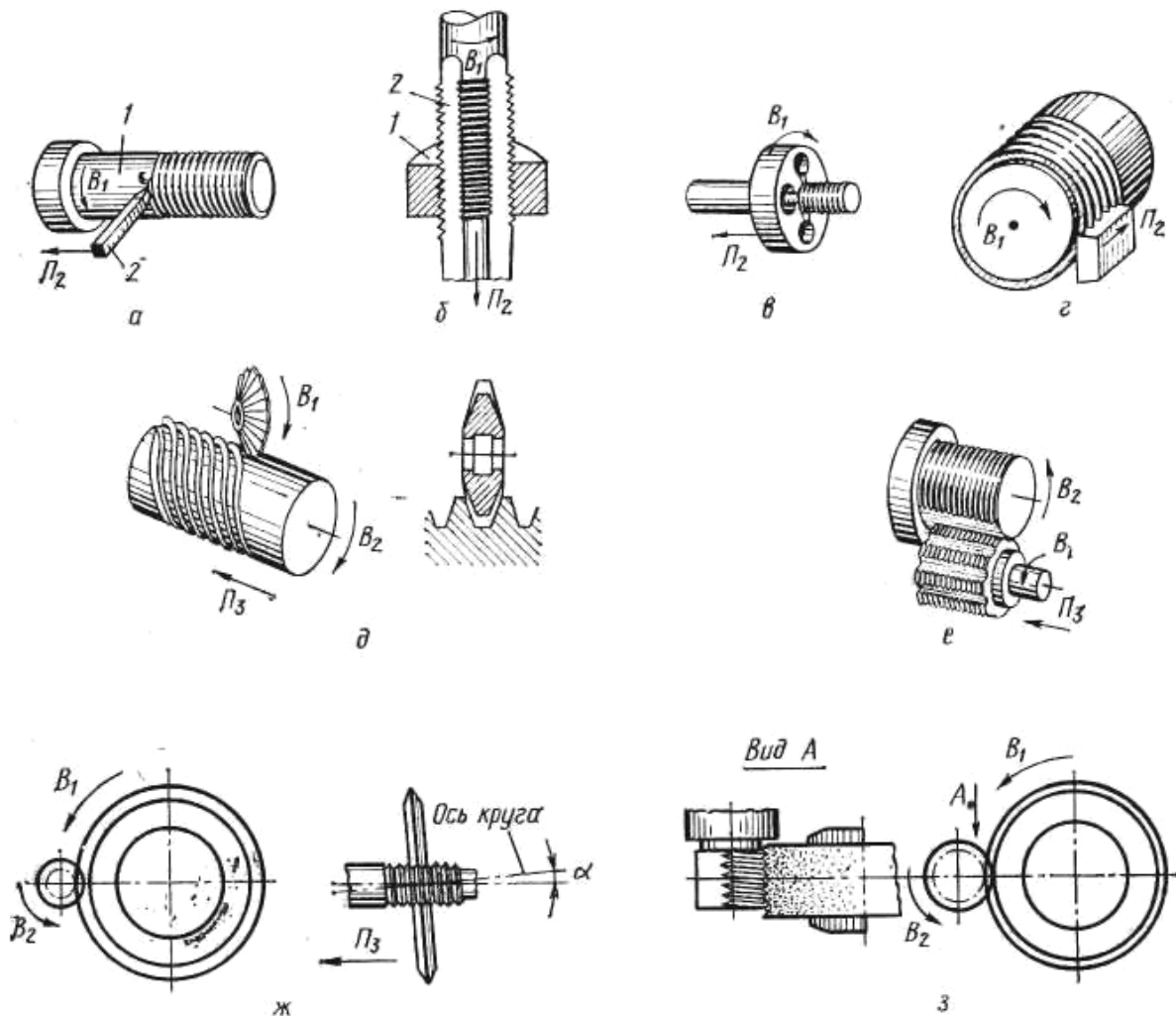


Рис. 3.82. Формообразование винтовых поверхностей на заготовках различными режущими инструментами: *а* – резцовым резцом; *б* – метчиком; *в* – плашкой; *г* – резцовой гребенкой; *д* – дисковой резцовой фрезой; *е* – многониточной гребенчатой фрезой; *ж* – дисковым шлифовальным кругом; *з* – многониточным шлифовальным кругом

В индивидуальном производстве, например, ремонтном или экспериментальном нарезание резьбы осуществляют резцовыми резцами, метчиками и плашками на универсальных токарно-винторезных станках. При нарезании резцами используется частная винторезная структура этих станков, рассмотренная в разделе 2 на примере понятия о кинематической группе и кинематической структуре станка, а также в данном разделе при анализе станка модели 16К20. При нарезании резьбы метчиками и плашками нет необходимости в использовании винторезной цепи (внутренней связи группы $\Phi_s (B_1 B_2)$). В этом случае внутренняя связь из-за особой конструкции инструмента осуществляется связью винтовой кинематической пары инструмент – заготовка. Настройка на шаг нарезаемой резьбы здесь

отпадает, так как на метчике и плашке режущие кромки расположены по винтовой линии с шагом, равным шагу нарезаемой резьбы. Это обстоятельство обеспечивает также возможность нарезания резьбы при выполнении слесарных работ. В серийном и массовом производстве для нарезания резьбы используют резьбофрезерные и резьбошлифовальные станки, обеспечивающие более высокую производительность, чем токарно-винторезные станки.

Наиболее сложными структурами резьбообрабатывающих станков являются структуры с двумя сложными группами формообразования. Это относится к станкам, нарезающим резьбу червячной резьбовой фрезой с профилем зуба, шагом и длиной, соответствующими профилю, шагу и длине нарезаемой резьбы, а также к станкам, нарезающим многозаходные цилиндрические червяки обкатным резцом. Группа обката (скорости резания) $\Phi_v (B_1B_2)$ воспроизводит профиль резьбы, а группа подачи $\Phi_s (B_3П_4)$, образующая винтовое движение, – форму резьбы по длине. Обе группы имеют общий исполнительный орган – шпиндель заготовки, а создаваемые ими сложные движения осуществляются одновременно. Поэтому внутренние связи обеих групп соединены между собой планетарным дифференциалом.

При нарезании конических резьб резьбовым резцом, дисковой фрезой или дисковым шлифовальным кругом траектория винтового движения усложняется, так как вместо цилиндрической винтовой линии необходимо воспроизвести коническую винтовую линию. В соответствии с этим усложняется кинематическая группа, создающая в станке движение с такой траекторией. Такая кинематическая группа $\Phi_v (B_1П_2П_3)$ включает не одну, а две точно настраиваемые внутренние связи.

3.9.1. Резьбофрезерные станки

Резьбы фрезируют в основном дисковыми и многониточными (групповыми) фрезами. Первые – для нарезания длинных резьб, вторые – для нарезания коротких резьб. Структурная схема резьбофрезерного станка (рис. 3.83), работающего дисковыми фрезами, отличается от кинематической структуры винторезного станка, нарезающего резьбу резьбовым резцом, в основном, наличием фрезерной головки, установленной на суппорте станка.

Формообразующая часть структуры станка состоит из двух групп Φ_v и Φ_s , воспроизводящих винтовую линию методом касания.

Группа скорости резания $\Phi_v(B_1)$ простая. Ее внутренняя связь:

подшипниковые опоры суппорта 2 → шпиндель 1 фрезы (B_1).

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow 3 \rightarrow i_v \rightarrow 4 \rightarrow \text{шпиндель } 1.$$

Группа настраивается на скорость – органом настройки i_v , выполненным в зависимости от уровня специализации или в виде простейшей шестеренчатой коробки, или в виде сменных шкивов, или в виде гитары зубчатых колес.

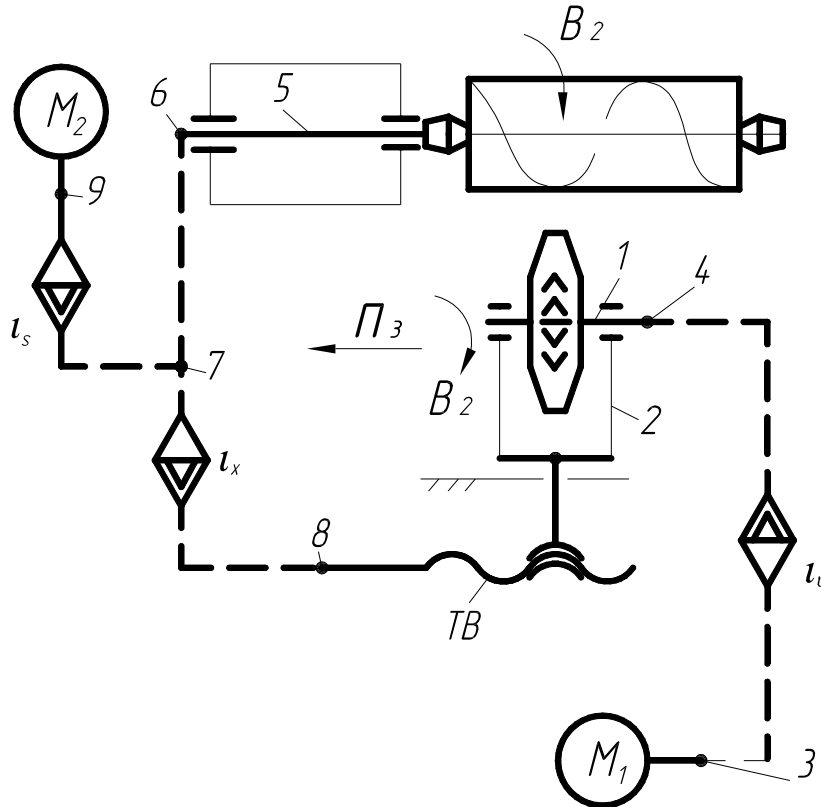


Рис. 3.83. Типовая структурная схема резьбофрезерного станка

Группа подачи $\Phi_s (B_2\Pi_3)$ сложная, винторезная. Ее внутренняя связь имеет следующий вид:

$$\text{шпиндель } 5 (B_2) \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow i_x \rightarrow 8 \rightarrow \text{ТВ} \rightarrow \text{суппорт } 2 (\Pi_3).$$

Внешняя связь:

$$M_2 \rightarrow 9 \rightarrow i_s \rightarrow 6.$$

Группа настраивается на траекторию – гитарой сменных зубчатых колес i_x ; на скорость – органом настройки i_s (шестеренчатая коробка, сменные шкивы, гитара зубчатых колес или изменением круговой частоты управляемого электродвигателя), на направление – реверсом, устанавливаемым во внутренней связи или совмещаемым с гитарой i_x ; на путь и исходную точку – по упорам системы управления.

Вывод ФН для органов настройки i_v , i_x , i_s .

РП для органа настройки i_v :

$$n_{m1} \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя } M_1 \rightarrow n_f \text{ мин}^{-1} \text{ фрезы } (B_1).$$

УКЦ:

$$n_{\phi} = n_{m1} i_{01} i_v.$$

ФН:

$$i_v = n_{\phi}/c_1,$$

где $c_1 = n_{m1} i_{01}$ – константа конкретной модели станка.

РП для гитары сменных зубчатых колес i_x :

1 об. шпинделя заготовки (B_2) \rightarrow s мм перемещения суппорта фрезы (Π_3).

УКЦ:

$$s = 1 i_{02} i_x t_{TB}.$$

ФН:

$$i_x = s/c_2,$$

где $c_2 = i_{02} t_{TB}$ – константа конкретной модели станка.

РП для органа настройки i_s :

n_{m2} мин⁻¹ электродвигателя $M_2 \rightarrow n_{ш}$ мин⁻¹ шпинделя заготовки (B_2).

УКЦ:

$$n_{ш} = n_{m2} i_{03} i_s.$$

ФН:

$$i_s = n_{ш}/c_3,$$

где $c_3 = n_{m2} i_{03}$ – константа конкретной модели станка.

В рассмотренной кинематической структуре обе группы имеют отдельные электродвигатели, а их структурные цепи не имеют общих кинематических элементов. В практике станкостроения известны также резьбофрезерные станки, в кинематической структуре которых обе формообразующие группы имеют общий электродвигатель. Известно также объединение в конкретной модели станка частных кинематических структур, реализующих принципиально различные классы формообразования поверхностей. Например, резьбофрезерный станок модели 561, содержит две частные кинематические структуры. Одна из них реализует рассмотренную структурную схему и предназначена для нарезания длинных резьб дисковыми фрезами. Другая частная кинематическая структура реализует схему зубофрезерования червячными фрезами зубчатых колес и шлицевых валов.

Резьбофрезерный полуавтомат модели 5М5Б62. Предназначен для фрезерования коротких наружных и внутренних резьб групповой (гребенчатой) фрезой в крупносерийном и массовом производстве.

Техническая характеристика. Наибольший диаметр фрезеруемой резьбы: наружный – 100 мм, внутренний – 80 мм. Наибольшая длина фрезеруемой резьбы – 75 мм. Наибольший шаг фрезеруемой резьбы при длине резьбы 50 мм равен 6 мм, при длине резьбы 75 мм равен 3 мм.

Кинематическая структура станка (рис. 3.84) состоит из двух формообразующих групп $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_s(B_2\Pi_3)$ и группы резания $Bp(\Pi_4)$.

Группа скорости резания $\Phi_v(B_1)$ – простая. Ее внутренняя связь – элементарная вращательная пара:

подшипниковые опоры – шпиндель фрезы (B_1).

Внешняя связь – кинематическая цепь:

$M_2 \rightarrow 4/34 \rightarrow i_v \rightarrow 24/24 \rightarrow$ шпиндель фрезы (B_1).

Группа настраивается только на один параметр, скорость резания – двухколесной гитарой i_v .

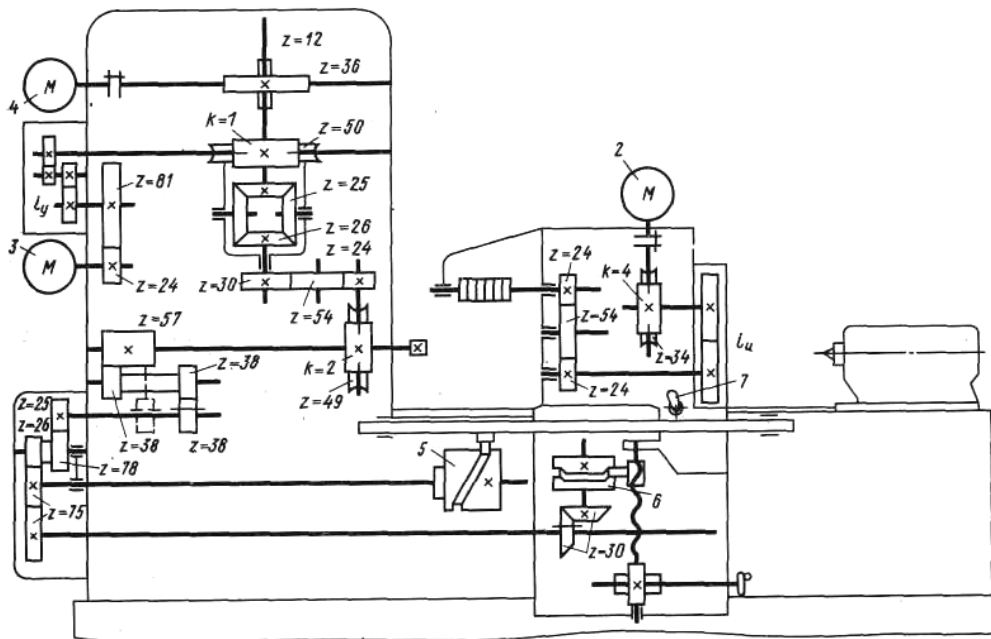


Рис. 3.84. Кинематическая схема резьбофрезерного станка для обработки коротких резьб модели 5M5B62

Сложная группа $\Phi_s(B_2\Pi_3)$ воспроизводит винтовую линию. Ее внутренняя связь:

шпиндель заготовки (B_2) $\rightarrow 57/38 \rightarrow$ реверс $\rightarrow 25/78 \rightarrow 26/15 \rightarrow$ барабан 5 (тяговый вал) \rightarrow фрезерная бабка (Π_3).

Внешняя связь:

$M_3 \rightarrow 24/81 \rightarrow i_y \rightarrow 1/50 \rightarrow \Sigma \rightarrow 30/24 \rightarrow 2/49$.

Группа настраивается на траекторию – сменными кулачками барабана 5; на скорость – гитарой i_y ; на направление – реверсом, расположенным во внутренней связи; на путь и исходную точку – упорами системы путевого управления.

Для ускоренного перемещения фрезерной бабки в исходное положение во внешней связи группы предусмотрена параллельная ненастраиваемая цепь:

$M_4 \rightarrow 36/12 \rightarrow \Sigma \rightarrow 30/24 \rightarrow 2/49$.

Группа врезания $Vp (П_4)$ осуществляет врезание в радиальном направлении на полную глубину зубофрезерования. Ее внутренняя связь:

поперечные направляющие станины → *фрезерная бабка (П₄)*.

Внешняя связь включает часть внешней и внутренней связи группы Φ_s и имеет вид:

$$M_3 \rightarrow 24/81 \rightarrow i_y \rightarrow 1/50 \rightarrow \Sigma \rightarrow 30/24 \rightarrow 2/49 \rightarrow 57/38 \rightarrow 29/26 \rightarrow 15/15 \rightarrow 30/30 \rightarrow \text{кулачок 6 (П}_4\text{)}.$$

Группа настраивается на путь врезания и на исходную точку – сменными кулачками барабана 6.

Расчет настройки станка сводится к определению передаточных отношений органов настройки, расположенных в расчетных цепях вращения фрезы и вращения заготовки, а также к подбору кулачков для барабанов 5 и 6. Исходными данными для расчета являются параметры нарезаемой резьбы и режимы резания.

Гитара i_v . Расчетная цепь совпадает с внешней связью группы Φ_v . Поэтому РП:

$$n_{M2} \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя 2} \rightarrow n_{\phi} \text{ мин}^{-1} \text{ фрезы.}$$

УКЦ:

$$n_{\phi} = (n_{M2} = 1425)(4/34) i_v 24/24.$$

ФН:

$$i_v = n_{\phi}/168.$$

Набор сменных зубчатых колес гитары обеспечивает 9 ступеней частот вращения фрезы в пределах от 75 до 375 мин⁻¹.

Гитара i_y . Расчетная цепь соединяет электродвигатель 3 со шпинделем заготовки. Круговая частота заготовки определяется минутной подачей, под которой понимают путь, проходимый фрезой по заготовке в процессе обработки за 1 мин. Следовательно, РП можно представить в виде:

$$n_{M3} \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя 3} \rightarrow s_z z_{\phi} n_{\phi} / \pi D_p \text{ мм/мин,}$$

где s_z – подача на зуб фрезы, мм/зуб;

z_{ϕ} – число зубьев фрезы;

n_{ϕ} – круговая частота фрезы;

D_p – средний диаметр нарезаемой резьбы, мм.

УКЦ:

$$s_z z_{\phi} n_{\phi} / \pi D_p = (n_{M3} = 1425) (24/81) i_y (1/50) (i_{\Sigma} = 2) (30/54) (54/24) (2/49).$$

ФН:

$$i_y = 0,37 s_z z_{\phi} n_{\phi} / D_p.$$

РП для ускоренного хода фрезерной бабки в исходное положение:

$$n_{M4} \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя 4} \rightarrow n_6 \text{ мин}^{-1} \text{ барабана 5.}$$

УКЦ (ФН):

$$n_6 = (n_{M4} = 1425)(12/36)(i_{\Sigma} = 1)(30/24)(2/49)(57/38)(25/26)(78/75) = 36 \text{ мин}^{-1}.$$

Настройка на траекторию (перемещение фрезы в осевом направлении на шаг нарезаемой резьбы) осуществляется посредством барабана 5 со сменными кулачками. Кулачок через ролик перемещает тягу, связанную с фрезерной бабкой. Положение бабки относительно тяги можно регулировать рукояткой 7. Настройка расчетной цепи подачи на шаг состоит в определении характеристики кулачка. Элементом настройки является подъем L на кулачке 5, который выполняется для всех кулачков на угле поворота барабана $\Theta = 110^\circ$.

РП для определения подъема L имеют вид:

$$1 \text{ об. заготовки} \rightarrow t \text{ мм перемещения фрезы,}$$

где t – шаг нарезаемой резьбы.

УКЦ:

$$t = 1 (57/38) (25/78) (26/75) (360^\circ/\Theta^\circ) L.$$

Откуда:

$$L = (11/6) t.$$

Перемещение фрезы в радиальном направлении на полную глубину фрезерования осуществляется от кулачка барабана 6. Кулачок имеет постоянный подъем, и настройка производится по конечному установочному перемещению фрезы посредством передачи винт – гайка, перемещающей бабку фрезы в радиальном направлении. Кулачок обеспечивает врезание с рабочей подачей в течение примерно $1/6$ оборота заготовки и быстрый отвод после завершения цикла нарезания резьбы. За полный цикл обработки барабан 6 делает один оборот.

Полный цикл обработки с учетом врезания на полную глубину осуществляется за $7/6$ оборота заготовки. Минимальная длина гребенчатой фрезы должна быть на 2 – 3 шага больше длины фрезеруемой резьбы.

Ось гребенчатой фрезы располагается параллельно оси заготовки, что приводит к некоторому искажению профиля резьбы. Величина искажения тем больше, чем больше шаг резьбы, диаметр фрезы и чем меньше диаметр резьбы. Однако при нарезании обычных треугольных резьб, имеющих небольшой наклон витков винтовой линии, такое искажение не является существенным.

Использование червячных резьбовых фрез обеспечивает резьбофрезерование без искажения профиля резьбы. Однако в этом случае для воспроизведения резьбы необходимы два сложных формообразующих движения. Соответствующая типовая, структурная схема станка приведена на рис. 3.85.

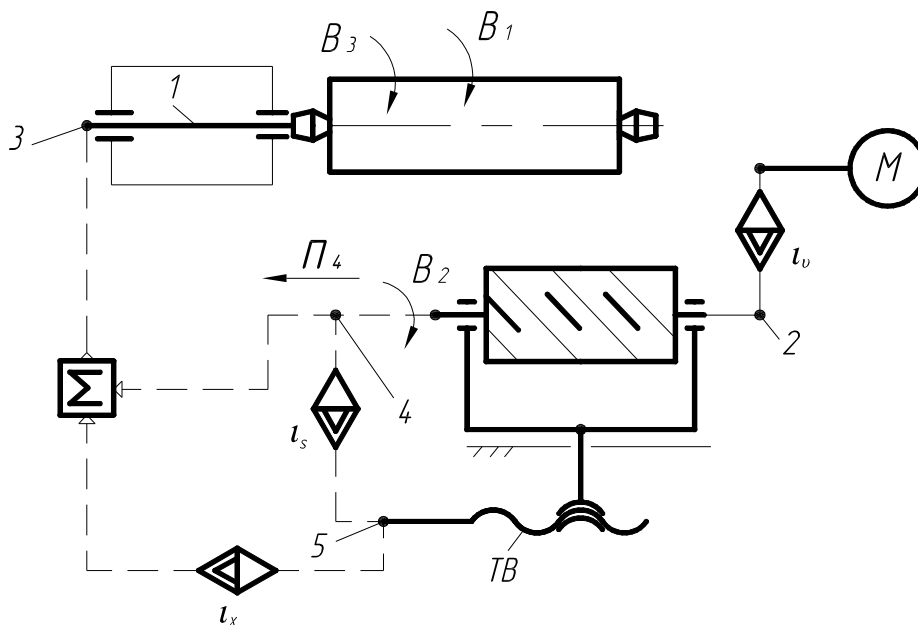


Рис. 3.85. Структурная схема станка для фрезерования резьб червячной фрезой

Формообразующая часть структуры станка состоит из двух сложных групп: скорости резания $\Phi_v(B_1B_2)$ и подачи $\Phi_s(B_3П_4)$, имеющих общий электродвигатель и общее исполнительное звено – шпиндель 1, а их внутренние связи соединены между собой планетарным дифференциалом Σ .

Группа Φ_v . Внутренняя связь группы:

шпиндель 1 заготовки (B_1) $\rightarrow 3 \rightarrow \Sigma \rightarrow 4 \rightarrow$ шпиндель 2 фрезы (B_2).

Внешняя связь:

$M \rightarrow i_v \rightarrow$ звено соединения связей – шпиндель 2 фрезы.

Группа настраивается на скорость – органом настройки i_v . Во внутренней связи группы нет органа настройки на траекторию, так как шаг нарезаемой резьбы обеспечивает инструмент – червячная резьбовая фреза.

Группа Φ_s . Внутренняя связь:

шпиндель 1 заготовки (B_3) $\rightarrow 3 \rightarrow \Sigma \rightarrow 5 \rightarrow ТВ \rightarrow$ суппорт фрезы ($П_4$).

Внешняя связь:

$M \rightarrow i_v \rightarrow$ шпиндель 2 фрезы $\rightarrow 4 \rightarrow i_s \rightarrow$ звено соединения связей 5.

Группа настраивается на траекторию – органом настройки i_x ; на скорость – органом настройки i_s ; на путь и исходное положение – упорами путевой системы управления.

Вывод ФН для органов настройки станка. Исходными данными для расчетов являются параметры обрабатываемой резьбы и червячной фрезы, а также режимы резания.

Орган настройки i_v . В современных станках это, как правило, гитара сменных зубчатых колес.

РП:

$n_M \text{ мин}^{-1}$ электродвигателя $\rightarrow n_\phi \text{ мин}^{-1}$ шпинделя 2 фрезы.

УКЦ:

$$n_\phi = n_M i_{01} i_v.$$

ФН:

$$i_v = n_\phi / i_{01},$$

где i_{01} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

Гитара i_x .

РП:

1 об. заготовки (B_3) $\rightarrow t$ мм перемещения суппорта фрезы (Π_4).

УКЦ:

$$t = 1 i_{02} i_\Sigma i_x t_{TB}.$$

ФН:

$$i_x = t / i_{02} i_\Sigma t_{TB},$$

где i_{02} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

i_Σ – передаточное отношение дифференциала;

t_{TB} – шаг тягового вала.

Орган настройки i_s . Это гитара сменных колес.

РП:

1 об. шпинделя 1 заготовки $\rightarrow s$ мм перемещения суппорта фрезы (Π_4).

УКЦ:

$$s = 1 i_{03} i_\Sigma i_s t_{TB}.$$

ФН:

$$i_s = s / i_{03} i_\Sigma t_{TB},$$

где i_{03} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

i_Σ – передаточное отношение дифференциала;

t_{TB} – шаг тягового вала.

3.9.2. Резьбонакатные станки

Накатывание резьб получило широкое распространение в крупносерийном производстве. Накатанные резьбы по сравнению с нарезанными вследствие уплотнения поверхностного слоя обладают большей усталостной прочностью и долговечностью. Процесс накатывания резьб более про-

изводителен чем резьбофрезерование, а кинематика накатных станков существенно проще кинематики резьбофрезерных станков. Накатывание наружной резьбы на деталях выполняют двумя плоскими резьбовыми плашками, резьбовыми роликами, резьбовым роликом и неподвижной сегментной плашкой.

При накатывании резьбы плоскими плашками (рис. 3.86, *а*), на рабочей поверхности которых выполнены развернутые витки резьбы, одна плашка совершает поступательно-возвратное движение относительно неподвижной плашки. Длина хода подвижной плашки зависит от диаметра накатываемой резьбы и устанавливается так, чтобы за один прямой ход плашки заготовка сделала один оборот, во время которого происходит формообразование резьбы.

При накатывании резьбы двумя роликами (рис. 3.86, *б*), им сообщают вращение в одинаковом направлении и одному из них принудительное перемещение в радиальном направлении. Формообразование резьбы происходит за несколько оборотов заготовки и один двойной ход подвижного в радиальном направлении ролика.

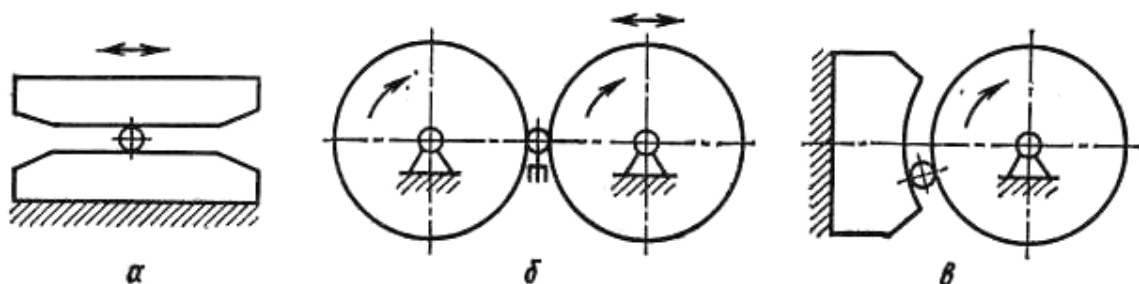


Рис. 3.86. Основные схемы накатывания резьбы

При накатывании резьбы роликом и сегментной плашкой (рис. 3.86, *в*) рабочее вращательное движение получает ролик. Полное формообразование резьбы на заготовке происходит во время прокатывания заготовки между роликом и сегментной плашкой. В процессе накатывания заготовка сделает несколько оборотов вокруг своей оси.

Наиболее производительно накатывание резьбы плашками. При накатывании роликами получают более точные резьбы. Поэтому накатывание резьб роликами получило широкое распространение, в том числе, в инструментальном производстве при накатывании резьбы на метчиках.

Универсальный резьбонакатный полуавтомат модели 5933. Предназначен для наружного накатывания метрических и дюймовых резьб двумя накатными роликами в крупносерийном производстве.

Техническая характеристика. Диаметр накатываемой резьбы 6 – 30 мм; максимальная длина резьбы 40 мм; максимальный шаг резьбы 2,5 мм. Можно накатывать правые и левые резьбы.

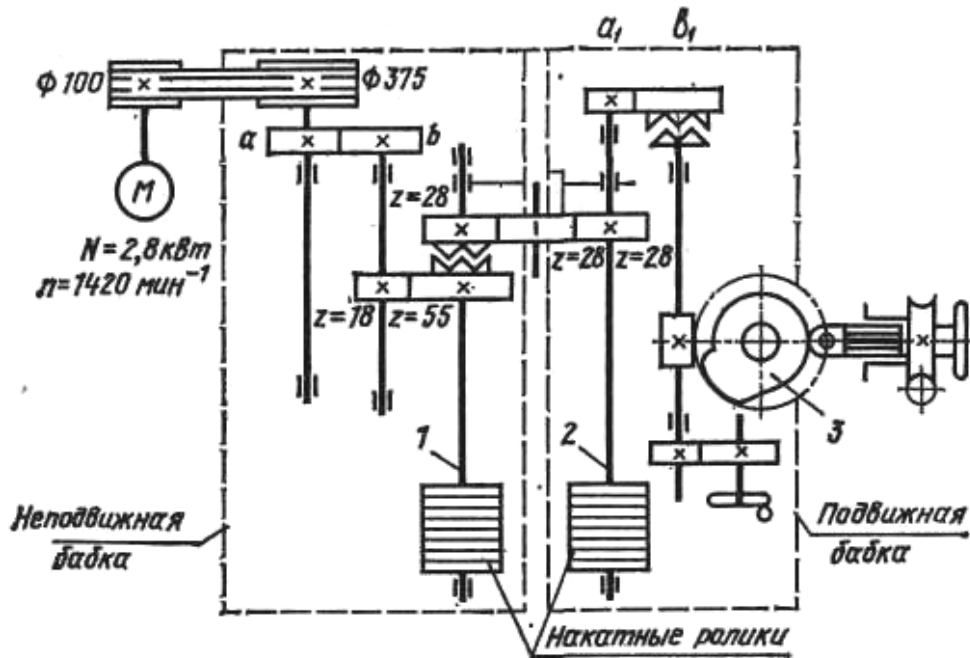


Рис. 3.87. Кинематическая схема резьбонакатного станка модели 5933

При накатывании резьбы накатываемая деталь устанавливается на ножевой опоре между накатными роликами.

Кинематическая структура станка (рис. 3.87) содержит две простые кинематические группы: скорости накатывания (аналог скорости резания) $\Phi_v(B_1)$ и радиальной подачи на высоту витка резьбы (аналог подачи врезания) $Vp_s(\Pi_2)$.

Особенностью группы Φ_v является то, что ее исполнительным органом является накатываемая деталь. В результате внутреннюю связь группы можно представить в виде:

ножевая опора → *накатываемая деталь*.

Внешняя связь:

$$M \rightarrow (100/375) \rightarrow i_v = a/b \rightarrow (18/55) \rightarrow \text{шпиндель 1} \rightarrow \text{ведущий ролик} \rightarrow$$

$$\downarrow \qquad \qquad \qquad \downarrow$$

$$(28/28) \rightarrow \text{шпиндель 2} \rightarrow \text{ведомый ролик} \rightarrow \text{деталь } (B_1).$$

Группа настраивается на траекторию (шаг накатываемой резьбы) – установкой накатных роликов соответствующего шага; на скорость – гитарой $i_v = a/b$; на направление (накатывание правой или левой резьбы) – установкой накатных роликов соответствующего направления винтовой нарезки.

Группа $Vp_s(\Pi_2)$. Ее внутренняя связь:

направляющие станины станка → *подвижная бабка*.

Внешняя связь:

$M \rightarrow (100/375) \rightarrow i_v = a/b \rightarrow (18/55) \rightarrow (28/28) \rightarrow i_s = a_1/b_1 \rightarrow \text{червячная передача} \rightarrow \text{кулачок 3} \rightarrow \text{подвижная бабка (II}_2\text{)}.$

Группа настраивается на скорость – гитарой i_s ; на путь – кулачком 3; на исходное положение – изменением положения кулачка 3 на станине.

Гитара i_v .

РП:

$n_M \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя} \rightarrow n_p \text{ мин}^{-1} \text{ накатных роликов}.$

УКЦ:

$$n_p = 1420(i_v = a/b) (100/375) (18/55).$$

ФН:

$$i_v = a/b = n_p/125.$$

Набором сменных зубчатых колес гитары можно регулировать частоту вращения роликов в пределах 39 – 265 мин⁻¹.

Гитара i_s . Круговая частота вращения кулачка устанавливается в зависимости от времени накатывания резьбы, т.е. от времени цикла обработки. Скорость вращения кулачка постоянна.

Следовательно, РП для гитары:

$(n_p/60) t_y \text{ об. накатных роликов} \rightarrow 1 \text{ об. кулачка 3}.$

УКЦ:

$$1 = (n_p/60) t_y (28/28) (i_s = (a_1/b_1)) i_{чп},$$

ФН:

$$i_s = c_1/n_p t_y,$$

где $c_1 = 60/i_{чп}$;

$i_{чп}$ – передаточное отношение червячной передачи;

t_y – время цикла накатывания резьбы, сек.

При наладке станка необходимо вершины резьб накатных роликов сместить относительно друг друга на половину шага. Это достигается поворотом одного из шпинделей при разомкнутой кулачковой муфте, расположенной на шпинделе 1. Муфта имеет 100 зубьев, следовательно, при повороте на один зуб вершины резьбы сместятся на величину 0,01 шага резьбы.

Цикл накатывания резьбы осуществляется за один оборот кулачка 3. При накатывании резьбы деталь вывинчивается из зоны обработки с самоподачей, равной шагу резьбы.

3.9.3. Резьбошлифовальные станки

Эту группу станков применяют при изготовлении ходовых винтов, резьбонарезного инструмента, резьбовых калибров, накатных роликов, червячных

фрез в мелкосерийном и серийном производстве. Шлифование резьбы производят одноконтурными и многоконтурными кругами (см. рис. 3.82, ж, з). Профиль абразивного круга соответствует профилю впадины шлифуемой резьбы. При шлифовании резьбы одноконтурным кругом его ось устанавливают под углом α к оси вращения заготовки, равным углу подъема винтовой линии резьбы. Шлифование одноконтурным кругом обеспечивает получение резьбы высокой точности различного профиля и длины.

Шлифование многоконтурными кругами целесообразно применять для резьб относительно невысокой точности с шагом до 4 мм. Так как оси круга и заготовки расположены параллельно, то при обработке резьбы получается некоторое искажение профиля. Для нормальных резьб с малым углом подъема винтовой линии резьбы это искажение незначительно.

Схемы взаимодействия резьбообрабатывающих абразивных кругов с заготовками практически не отличаются от аналогичных схем взаимодействия резьбовых фрез и фрезеруемых заготовок. Поэтому формообразующая составляющая кинематической структуры резьбошлифовальных станков аналогична такой же составляющей резьбофрезерных станков. В практике станкостроения, как правило, в одном станке объединяют резьбошлифовальные и резьбозатылочные структуры.

Универсальный резьбошлифовальный станок модели 5822М. Предназначен для шлифования точных винтов и червяков, цилиндрических и конических калибров – пробок и калибров – колец, затылования метчиков, модульных червячных фрез и др. В качестве инструмента можно использовать одно- и многоконтурные круги.

Техническая характеристика. Размеры устанавливаемых деталей: диаметр не более 200 мм; длина не более 500 мм. Диаметр шлифуемой резьбы: одноконтурным кругом 3 – 150 мм; многоконтурным кругом 10 – 120 мм. Шаг шлифуемой метрической резьбы: одноконтурным кругом 0,25 – 24 мм; многоконтурным кругом 1 – 4 мм. Шаг шлифуемой дюймовой резьбы: одноконтурным кругом 28 – 3 нитки на дюйм; многоконтурным кругом 24 – 6 нитки на дюйм.

Частная кинематическая структура (рис. 3.88) для шлифования резьбы дисковым кругом содержит две формообразующие группы: скорости резания $\Phi_v(B_1)$ и винторезной подачи $\Phi_s(B_2P_3)$.

Группа Φ_v – простая. Ее внутренняя связь – вращательная пара:
подшипниковые опоры → шпиндель шлифовального круга.

Внешняя связь:

$M_3 \rightarrow (i_v = D_1/D_1) \rightarrow \text{шпиндель шлифовального круга } (B_1).$

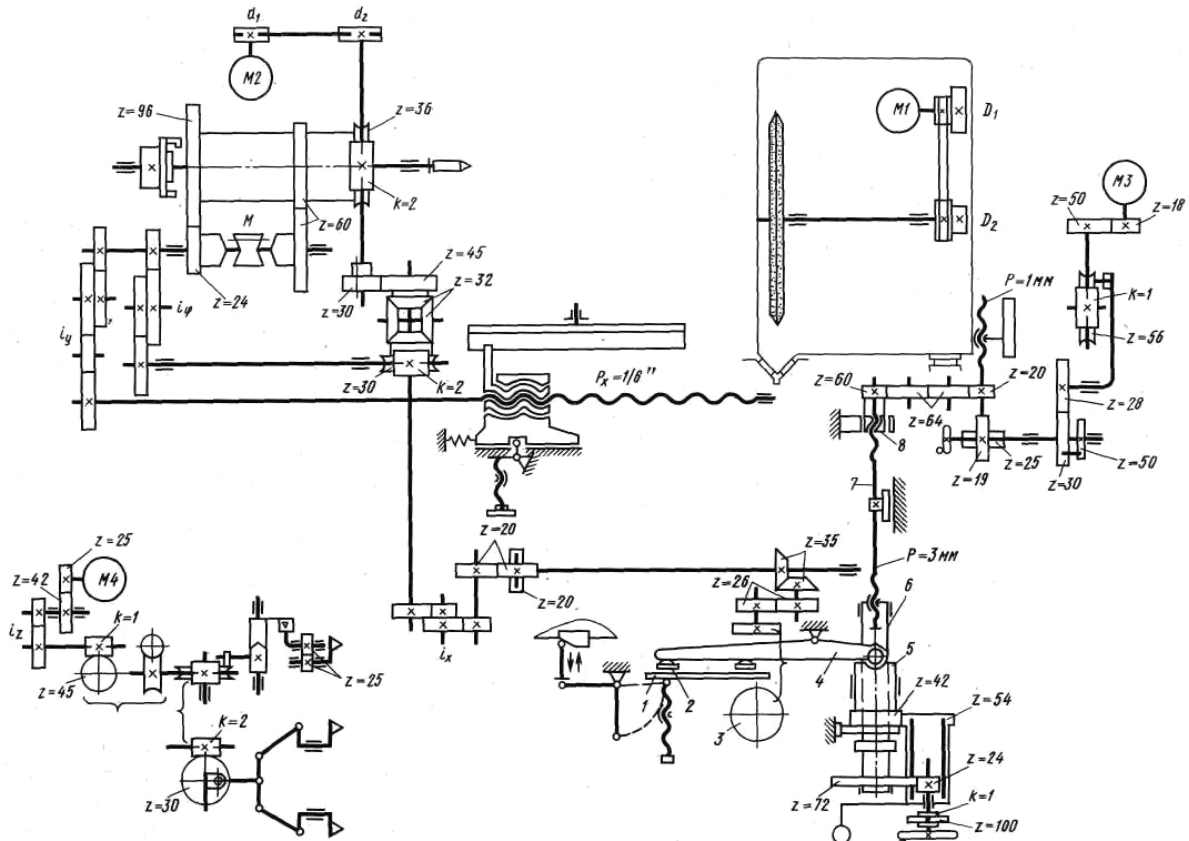


Рис. 3.88. Кинематическая схема универсального резьбошлифовального станка

Группа настраивается на скорость – ступенчатыми быстросменными шкивами i_v .

Группа Φ_s – сложная. Ее внутренняя связь:

шпиндель заготовки (B_2) \rightarrow 60/60 или 96/24 $\rightarrow i_y \rightarrow TB \rightarrow$ суппорт (Π_3).

Внешняя связь:

$$M_2 \rightarrow d_1/d_2 \rightarrow 2/36.$$

Группа настраивается на траекторию (шаг шлифуемой резьбы) – гитарой i_y ; на скорость – изменением круговой частоты управляемого электродвигателя постоянного тока M_2 ; на направление – изменением количества сменных зубчатых колес в гитаре i_y (реверсивный механизм совмещен с гитарой сменных колес). На путь и исходное положение – упорами системы управления.

Выведем ФН для органов настройки.

Сменные шкивы i_v .

РП:

n_{M1} мин⁻¹ электродвигателя $M_1 \rightarrow n_u$ мин⁻¹ шлифовального круга (B_1).

УКЦ:

$$n_u = (n_{M1} = 1500) (i_v = D_1/D_2).$$

ФН:

$$i_v = n_v/1500.$$

Сменные шкивы обеспечивают следующие частоты вращения шлифовального круга: при наружном шлифовании – 1440; 1680; 2010; 2380; при внутреннем шлифовании – 11800; 9000; 6000 сек⁻¹.

Гитара i_y .

РП:

1 об. шпинделя заготовки (B_2) → t мм перемещения суппорта (Π_3).

УКЦ:

$$t = 1 \text{ (перебор } 60/60 \text{ или } 96/24) i_Y ((t_{TB} = (1/6) 25,4)).$$

ФН:

$$i_{y1} = 6 t/25,4; \quad i_{y2} = 6 t/100,16.$$

Первое значение используют при шлифовании резьб с шагом до 8 мм, второе – с шагом более 8 мм.

Настраиваемый шаг можно в узких пределах уменьшать или увеличивать разворотом коррекционной линейки на расчетный угол. Линейка, двигаясь вместе с суппортом, поворачивает рычаг вместе с гайкой тягового вала. Гайка имеет кроме внутренней резьбы с шагом, равным шагу ходового винта, наружную резьбу с иным шагом. Поэтому при повороте гайки от коррекционной линейки происходит дополнительное смещение стола в том или ином направлении. Корпус гайки тягового вала выполнен в виде подпружиненной ползушки и смещается в продольном направлении вместе с гайкой при вращении соответствующего винта. Это необходимо для установки абразивного круга в нитку шлифуемой резьбы.

Расчетная цепь круговой подачи (вращения шпинделя детали) совпадает с внешней связью группы подачи. Круговая подача регулируется бесступенчато в диапазоне 0,3 – 45 мин⁻¹ посредством управляемого электродвигателя M_2 .

В станке предусмотрена ненастраиваемая вспомогательная группа подачи правящих устройств и компенсирующей подачи шлифовальной бабки с приводом от электродвигателя M_3 .

УКЦ для подачи правящих механизмов имеет вид:

$$s_{ПМ} = (n_{M3} = 1500) (18/50) (1/56) (20/30) (\kappa/50) (19/25) (t_{TB} = 1) = \kappa/10,$$

где $s_{ПМ}$ – подача правящих механизмов;

κ – число зубьев храпового колеса $z = 50$, захватываемых собачкой.

Одновременно вместе с подачей салазок правящих механизмов производится компенсирующая подача шлифовальной бабки.

УКЦ (ФН) для компенсирующей подачи имеет вид:

$$s_{ШБ} = (s_{ПМ}/1) (20/64) (64/60) (t_{ТВ} = 3) = \kappa/10,$$

где $s_{ШБ}$ – компенсирующая подача шлифовальной бабки.

Перемещение правящих алмазов автоматического правящего устройства осуществляется настраиваемой вспомогательной группой с приводом от электродвигателя M_4 через зубчатые колеса, кулисный механизм и систему рычагов, которые сообщают алмазам рабочее поступательно-качательное движение. Для этого движения УКЦ имеет вид:

$$n_a = (n_{M4} = 1500) (25/42) i_z (1/45) (2/30),$$

где n_a – частота поступательно-качательного движения алмазов, правящих абразивный круг, двойной ход/мин.

ФН:

$$i_z = n_a/1,32.$$

Частная кинематическая структура для врезного шлифования коротких резьб многониточным кругом, устанавливаемым вместо дискового круга, включает группу скорости резания $\Phi_v (B_1)$, группу винторезной подачи $\Phi_s (B_2П_3)$ и группу радиального врезания $Bp (П_4)$.

Кинематические группы скорости резания Φ_v и винторезной подачи Φ_s такие же, как и в частной структуре для шлифования резьбы дисковым кругом.

Простая группа врезания $Bp (П_4)$ осуществляет врезание шлифовального круга на полную глубину зубошлифования.

Внутренняя связь группы:

поперечные направляющие суппорта → шлифовальная бабка (П₄).

Внешняя связь:

$M \rightarrow d_1/d_2 \rightarrow 30/45 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_x \rightarrow 20/20 \rightarrow 35/35 \rightarrow 26/26 \rightarrow$ кулачок врезания 3 \rightarrow рычаг 1 \rightarrow ползушка 2 \rightarrow рычаг 4 \rightarrow кулак быстрого отвода 5 \rightarrow корпус 6 гайки поперечной подачи \rightarrow винт 7 поперечной подачи \rightarrow гайка 8 компенсирующей подачи \rightarrow шлифовальная бабка (П₄).

Группа настраивается на путь врезания – кулачком врезания 3 и на исходное положение – винтом 7 поперечной подачи.

Врезное шлифование осуществляется за один оборот кулачка врезания 3. При этом кулачок обеспечивает врезание с рабочей подачей в течение части оборота шпинделя заготовки. Определим необходимое количество оборотов шпинделя заготовки за полный цикл обработки с учетом врезания на полную глубину.

РП:

1 об. кулачка врезания 3 \rightarrow n об. шпинделя заготовки.

УКЦ (ФН):

$$n = 1 (26/26) (35/35) (20/20) (1/i_x) (i_\Sigma) (45/30) (2/36) = 2,$$

так как $i_\Sigma = 2$ (водило ведущее), а на гитару i_x устанавливают две пары сменных зубчатых колес 30/90 и 30/120.

Перемещение шлифовального круга в радиальном направлении на полную глубину шлифования осуществляется от кулачка 3. Настройка производится по конечному установочному перемещению шлифовального круга посредством винта 7, перемещающего шлифовальную бабку в радиальном направлении.

Частные кинематические структуры станка, используемые при заточке режущих инструментов, рассмотрены в [9].

3.10. Токарные автоматы и полуавтоматы

Автоматом называют станок, который многократно производит рабочие и вспомогательные (холостые) движения узлов по циклу обработки детали.

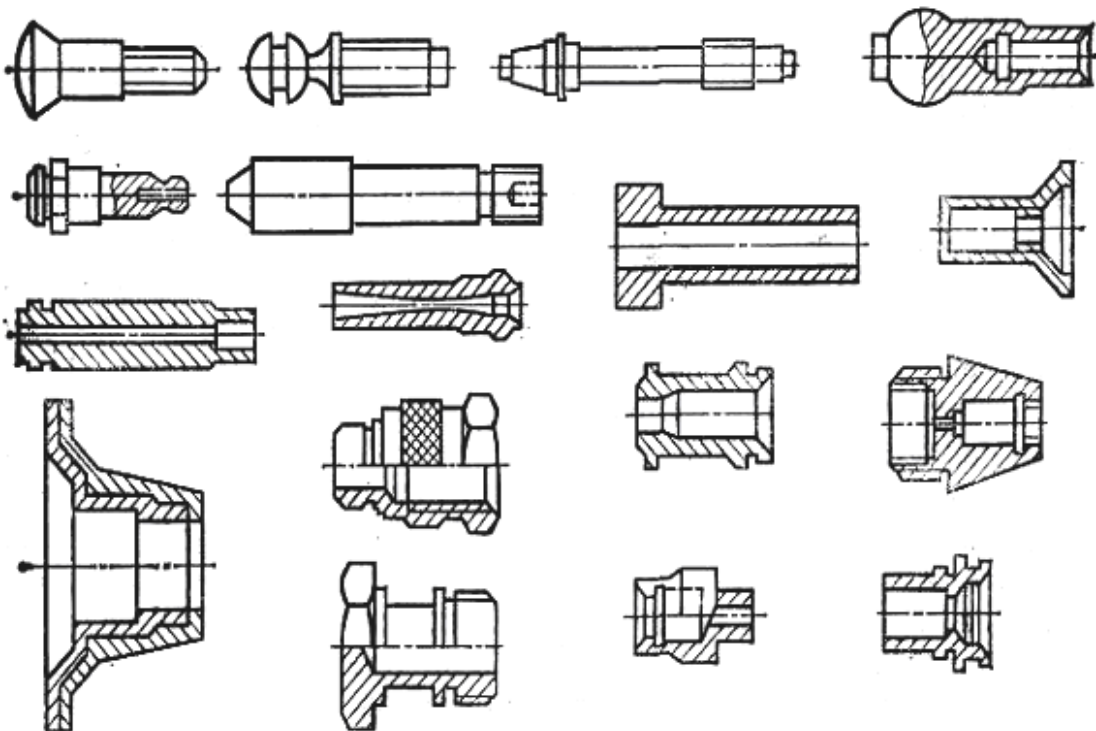


Рис. 3.89. Детали, обрабатываемые на автоматах и полуавтоматах

Полуавтоматом называют станок, работающий по автоматическому циклу, но часть вспомогательных операций выполняют вручную. Токарные автоматы и полуавтоматы используют для обработки деталей сложной фор-

мы из прутка и штучных заготовок (рис. 3.89). Обработку деталей на этих станках производят несколькими инструментами, которые устанавливают на суппортах и в специальных приспособлениях. Высокой производительности токарных автоматов и полуавтоматов достигают благодаря автоматизации рабочих и холостых ходов или их совмещению.

Однако переналадка автоматов и полуавтоматов при переходе на обработку новой детали связана с затратой времени, поэтому их применяют в массовом, крупносерийном и при подборке однотипных деталей (групповая обработка) в серийном производствах.

3.10.1. Классификация станков – автоматов и полуавтоматов

Токарные автоматы и полуавтоматы подразделяют по назначению, числу и расположению шпинделей, виду заготовки, виду работы, принципу действия и способу управления рабочим циклом. По назначению их делят на универсальные, предназначенные для обработки разных деталей, и специальные – для обработки только определенной детали. По числу шпинделей автоматы и полуавтоматы подразделяют на одношпиндельные и многошпиндельные.

По расположению шпинделей автоматы и полуавтоматы подразделяют на горизонтальные и вертикальные. Иногда встречаются станки с наклонным расположением шпинделей. По виду заготовки станки делят на прутковые, бунтовые и патронные. Для прутковых автоматов заготовками являются прутки, для бунтовых – проволока, свернутая в бунт, для патронных – штучные заготовки. Вид заготовки определяет вращение шпинделя или инструмента. Наибольшее распространение имеют токарные автоматы и полуавтоматы с вращающимся шпинделем. При обработке штучных заготовок автоматы оснащаются магазинами или загрузочными устройствами с автооператорами. Несимметричные и громоздкие детали, а также детали из проволоки, свернутой в бунт, обрабатывают вращающимся инструментом.

По виду работы автоматы и полуавтоматы подразделяют на фасонно-отрезные (движение подачи фасонного или отрезного резца происходит в поперечном направлении к оси изделия), продольно-фасонные (движение подачи в продольном и поперечном направлениях), револьверные (движение подачи револьверной головки в продольном направлении), многорезцовые и копировальные (рис. 3.90).

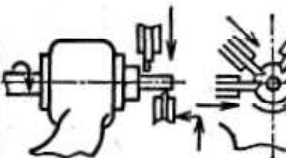
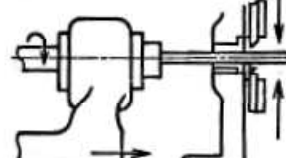
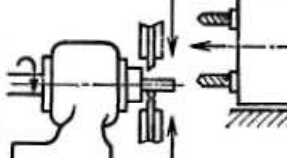
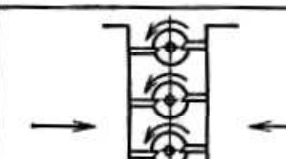
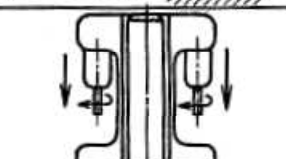
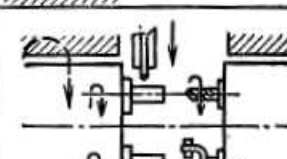
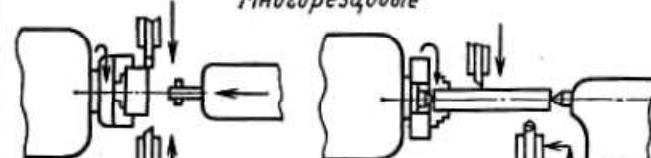
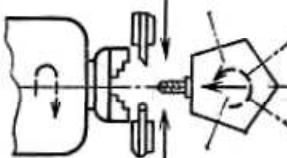
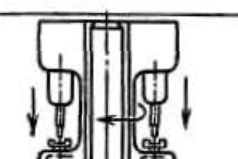
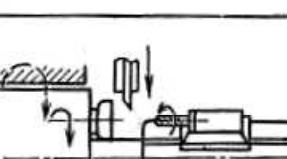
Тип станка		Вид работы		
		Фасонно-отрезные	Продольно-фасонные	Последовательные револьверные
Автоматы	Одношпиндельные			
	Многошпиндельные			
Полуавтоматы	Одношпиндельные	<i>Многорезцовые</i> 		
	Многошпиндельные			

Рис. 3.90. Классификация автоматов и полуавтоматов

По принципу действия различают многошпиндельные станки параллельного, последовательного, параллельно-последовательного и непрерывного действия. При параллельной обработке одинаковые переходы выполняют одновременно на всех позициях до получения одновременно всех деталей в готовом виде. При последовательной обработке каждую деталь на шпинделе, переходя из одной позиции в другую, подвергают различным операциям различными инструментами. При параллельно-последовательной обработке в одном автомате организуют два и более потока деталей. Непрерывное действие характеризуется загрузкой, обработкой и съемом детали при непрерывном вращении шпинделя.

По способу управления рабочим циклом автоматы и полуавтоматы подразделяют на три группы. К первой группе относят автоматы, у которых имеется один распределительный вал, равномерно вращающийся в течение цикла обработки. Рабочие и холостые ходы выполняются при неиз-

менной скорости вращения распределительного вала. Ко второй группе относят автоматы с одним распределительным валом, имеющим при обработке две скорости вращения: медленную на рабочих ходах и ускоренную на холостых ходах. Такой способ управления применяют в многошпиндельных автоматах и полуавтоматах. К третьей группе относят автоматы, имеющие распределительный и вспомогательный валы. Распределительный вал вращается медленно и управляет рабочими и холостыми ходами суппортов, вспомогательный вал вращается быстро и управляет холостыми ходами остальных механизмов.

Время рабочего цикла t_y складывается из времени рабочих, т.е. затрачиваемых на обработку детали t_p и холостых t_x ходов. Таким образом:

$$t_y = t_p + t_x.$$

Цикловая производительность автомата:

$$Q = 1/t_y = 1/(t_p + t_x) = Q_0 t_x + 1),$$

где $Q_0 = 1/t_p$ – идеальная производительность автомата непрерывного действия, у которого холостые ходы совмещены с рабочими.

Зависимости цикловой производительности от идеальной для трех групп автоматов позволяют выявить рациональные области применения каждой группы (рис. 3.91). Производительность автоматов первой группы возрастает прямо пропорционально, а производительность автоматов второй и третьей групп – с убывающей интенсивностью по мере увеличения идеальной производительности Q_0 .

При $1/t_p > Q_{03}$ рекомендуется использовать автоматы первой группы, при $Q_{01} < 1/t_p < Q_{03}$ – автоматы третьей группы, а при $1/t_p < Q_{01}$ – автоматы второй группы. Для ориентировочных расчетов можно принять $Q_{01} = 1$ шт/мин; $Q_{03} = 10$ шт/мин, т.е. для мелких и легких работ следует применять автоматы первой группы, для мелких и средних работ, требующих сложной последовательности обработки, автоматы третьей группы, для средних и тяжелых работ – автоматы и полуавтоматы второй группы.

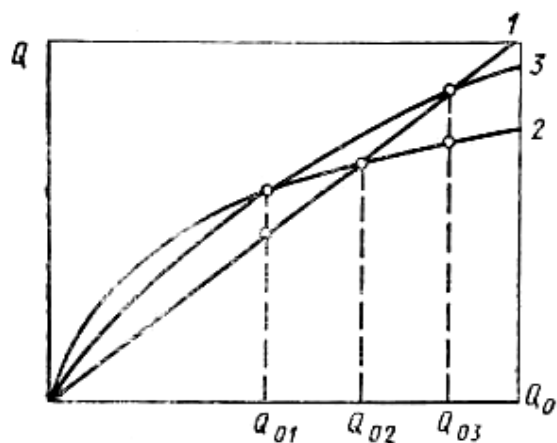


Рис. 3.91. Цикловая производительность автоматов трех групп

Действительная штучная производительность меньше цикловой из-за дополнительного вспомогательного времени на обслуживание автомата:

$$Q_{шт} = Qk_x,$$

где $k_x < 1$ – коэффициент, учитывающий долю вспомогательного времени от времени цикла обработки.

В [9] рассмотрены современные базовые прутковые автоматы: токарно-револьверный модели 1Е140 и горизонтальный шестишпиндельный последовательного действия модели 1Б240-6.

3.10.2. Многорезцовые полуавтоматы

Одним из путей повышения производительности станков токарной группы является применение многорезцовой обработки. В основу такой обработки положен принцип совмещения нескольких рабочих переходов, осуществляемых различными инструментами в один переход с использованием многорезцовых наладок (рис. 3.92). В этом случае каждый резец обрабатывает свой участок наружной поверхности заготовки. Этот принцип используется при конструировании многорезцовых токарных полуавтоматов. На станках этого типа обрабатывают многоступенчатые детали с канавками, фасками и гантелями. В качестве заготовок используют поковки, отливки и прокат. Обработку осуществляют, как правило, в центрах.

Многорезцовый токарный полуавтомат модели 1Н713. Предназначен для обработки многоступенчатых валов, втулок, фланцев, колец в патроне или в центрах при помощи многорезцовой наладки.

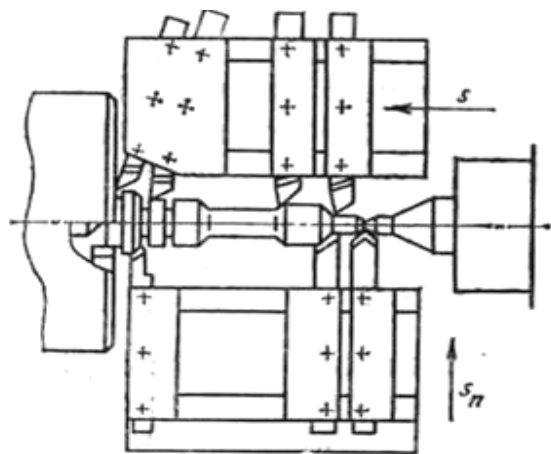


Рис. 3.92. Многорезцовая наладка

Техническая характеристика. Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки: над станиной 400 мм; над суппортом 250 мм. Наибольшая длина обрабатываемой заготовки 710 мм.

Кинематическая структура станка (рис. 3.93) содержит группу скорости резания $\Phi_v(B_1)$ и группы продольной $\Phi_{s1}(П_2)$ и поперечной $\Phi_{s2}(П_3)$ подачи.

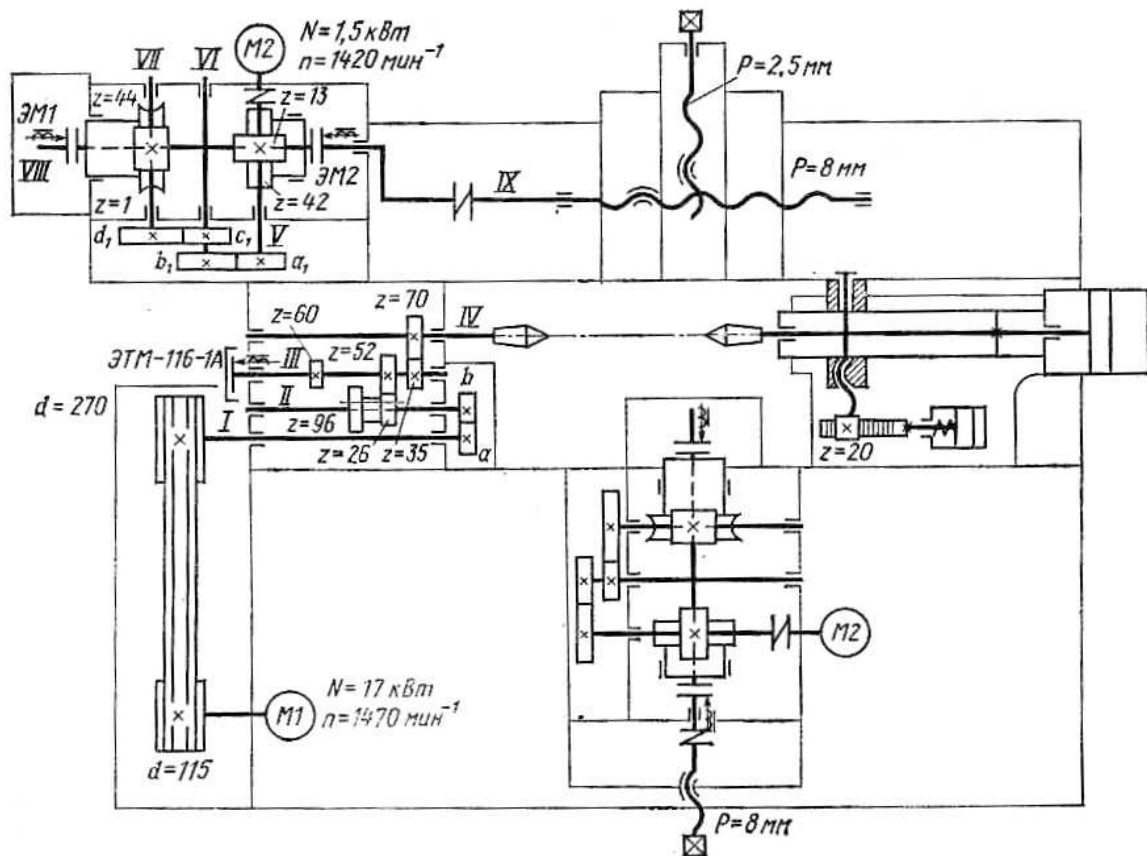


Рис. 3.93. Кинематическая схема многолезцового полуавтомата 1Н713

Кинематическая группа скорости резания $\Phi_v(B_1)$ Ее внутренняя связь:
передняя бабка → шпиндель (B_1).

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow 115/270 \rightarrow i_v = a/b \rightarrow 26/52$ или $96/60 \rightarrow 35/70 \rightarrow$ шпиндель (B_1).

Группа настраивается только на один параметр – скорость гитарой сменных колес i_v . При выключении шпинделя в конце обработки осуществляется торможение электромагнитной тормозной муфтой ЭТМ-116-1А.

РП: для гитары i_v :

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n \text{ мин}^{-1} \text{ шпинделя } (B_1).$$

УКЦ:

$$n = 1470 \frac{115}{270} \frac{a}{b} \frac{26}{52} \left(\text{или} \frac{96}{60} \right) \frac{30}{75}.$$

ФН:

$$i_{v1} = n/126; \quad i_{v2} = n/404.$$

Набор сменных зубчатых колес обеспечивает 14 ступеней частот вращения шпинделя в диапазоне 63 – 1250 мин⁻¹.

Кинематические группы продольной $\Phi_{s1}(I_2)$ и поперечной $\Phi_{s2}(I_3)$ подач конструктивно одинаковы и оснащены унифицированными коробками подач. Внутренняя связь:

направляющие (прод. или попер.) → *соответствующий суппорт (II)*.

Внешняя связь (муфта ЭМ1 включена, а муфта ЭМ2 выключена):

$$M_2 \rightarrow i_s = (a_1/b_1)(c_1/d_1) \rightarrow 1/44 \rightarrow (P = 8).$$

Группа настраивается на скорость гитарой i_s ; на путь и исходное положение упорами путевой системы управления.

Для обеих групп РП имеют вид:

$$n_{M2} \text{ мин}^{-1} \rightarrow s \text{ мм/мин (II)}.$$

УКЦ (муфта ЭМ1 включена):

$$s = (n_{M2} = 1420) (i_s = (a_1/b_1)(c_1/d_1)) 1/44 (P = 8).$$

ФН:

$$i_s = s/258.$$

Набор сменных зубчатых колес для обеих групп подач обеспечивает 13 ступеней продольных и поперечных подач в диапазоне 25 – 400 мм/мин.

Ускоренное перемещение суппортов осуществляется при включенной муфте ЭМ2 (ЭМ1 выключена) от электродвигателя М2 через зубчатые колеса с винтовыми зубьями 13/42 и ходовой винт с шагом $P = 8$ мм. Скорость быстрых перемещений суппортов 3500 мм/мин.

Смещение задней бабки в поперечном направлении при обточке конусов и перемещение пиноли при зажиме детали осуществляют от пневмоцилиндров. Станок оснащен развитой путевой системой управления. Автоматическим циклом работы полуавтомата управляет командоаппарат, содержащий путевые микропереключатели, на которые воздействуют переставные упоры, установленные на суппортах.

3.11. Станки с числовым программным управлением

В мелкосерийном и серийном многономенклатурном производстве с частой сменой объекта изготовления получили наибольшее распространение автоматизированные станки с числовым программным управлением (ЧПУ). Станок с ЧПУ позволяет осуществлять взаимное перемещение детали и инструмента по командам без применения материального аналога обрабатываемой детали (кулачков, шаблонов, копиров). Программа работы станка записывается на перфоленту, перфокарту или набирается на штекерной панели. В современных моделях станков с ЧПУ составление управляющей программы осуществляется оператором с помощью клавиатуры микро-ЭВМ, а редактирование программы – в режиме диалога с графиче-

ским дисплеем. Ввиду того, что программа составляется заранее, то благодаря быстрой смене программносителя станок с ЧПУ переналаживается за короткое время на обработку другой детали.

Основные преимущества станков с ЧПУ:

- простота модификации технологического процесса путем внесения корректирующих команд на программноситель или в запоминающее устройство микро-ЭВМ;

- оптимальные режимы обработки с использованием максимальных возможностей станка;

- исключение ручных предварительных разметочных и пригоночных работ;

- повышение точности и идентичности деталей;

- повышение производительности труда за счет сокращения вспомогательного и машинного времени обработки;

- сокращение числа перестановок деталей при обработке и сроков подготовки производства.

Функции станочника упрощаются и сводятся к установке и съему детали, контролю за циклом обработки, смене инструмента. Благодаря автоматическому позиционированию устраняются ошибки оператора при установке координат. Коэффициент использования станков с ЧПУ выше, чем универсальных, благодаря сокращению времени наладки, смены инструментов, контроля и повышению процента машинного времени в цикле работы станка (до 75 %).

3.11.1. Поколения станков с ЧПУ

Целесообразно классифицировать станки с ЧПУ по поколениям. Поколение – это понятие, которое не обязательно делит станочное оборудование на морально устаревшее и современное. Каждое из поколений станков может иметь право на существование исходя из экономической целесообразности. И относительно недорогой токарный станок или фрезерный станок с ЧПУ на базе универсального и сложные, дорогие токарные станки с адаптивными системами управления, фрезерно-расточные многоинструментальные с автоматической сменой инструмента имеют сегодня применение. Все многообразие станков с ЧПУ можно объединить в три развивающиеся поколения. Рассмотрим особенности станков с ЧПУ каждого поколения.

Станки первого поколения включают универсальные станки, переоборудованные под числовое управление. Примерами станков этого поко-

ления могут служить токарный станок модели 16К20Ф3, вертикально-фрезерный станок модели 6Р13Ф3, координатно-расточный станок модели 2Д450АМФ2 и сверлильный станок модели 2М135РФ2.

Особенностью станка с ЧПУ первого поколения является широкое использование основных базовых деталей (станин, кареток, колонн) и их компоновок из обычных станков серийных моделей прежнего выпуска. При преобразовании в станки с ЧПУ осуществляется переход в приводной части к шариковым винтовым парам повышенной жесткости и точности, вводятся измерительные устройства средств обратной связи, управление работой станка осуществляется от универсального недорогого пульта ЧПУ. К числу достоинств станков первого поколения следует отнести их относительную дешевизну и простоту. Недостатками этих станков являются обычно относительно невысокая точность, ограниченные технологические возможности вследствие работы одним инструментом (на токарных станках иногда несколькими инструментами в пределах возможностей обычных револьверных головок) и сравнительно невысокая производительность в результате небольших скоростей вспомогательных перемещений, ограниченной жесткости, невысоких допускаемых рабочих усилий, значительного подготовительного и заключительного времени.

Станки второго поколения представляют собой конструкции, специально разработанные для ЧПУ. Они характеризуются специальной конструкцией основных базовых узлов и их компоновок. Примером такого станочного оборудования могут служить вертикальный сверлильно-фрезерно-расточный станок модели 243ВМФ2 и токарный станок модели 1Р723РФ3.

Станки второго поколения имеют повышенную жесткость всех элементов. Элементы привода встраиваются в базовые детали так, что последние обеспечивают их надежное укрытие от попадания стружки и долговечность работы. Скорости холостых перемещений повышены до 5 – 10 м/мин, возможно осуществление автоматической смены инструмента, применение адаптивного управления с автоматическим выбором целесообразного количества переходов и оптимизацией режимов резания. Все это создает возможность осуществления на станках второго поколения высокопроизводительной и высокоточной обработки деталей по числовой программе. В токарных станках небольших габаритов часто применяется станина с наклонными направляющими. Большинство из них имеет одну или две резцовые или револьверные головки: одну для наружного обтачивания, а другую для внутреннего, оснащаются многоинструментальным магазином. Компоновка станка наряду с повышенной жесткостью обеспечивает обыч-

но самоотвод стружки в автономное транспортное устройство, размещенное в нижней части станка.

Преимуществами станков второго поколения является их точность и производительность, а недостатками – отсутствие комплексности обработки деталей, значительное подготовительное и заключительное время в результате ручной установки заготовки и снятия детали.

Станки третьего поколения. Характеризуются возможностью обеспечения комплексной обработки, обеспечением расширенных технологических возможностей и разветвленным транспортом. Конструкции станков третьего поколения представляют особый интерес, поскольку в них проявляются перспективы дальнейшего развития оборудования с ЧПУ. К третьему поколению можно отнести многооперационные станки моделей СМ-400Ф4.5 и АПРС-5Н.

Расширение технологических возможностей на станках третьего поколения по сравнению с многооперационными станками второго поколения достигается за счет увеличения количества управляемых по программе координат до пяти – шести посредством введения поворота обрабатываемой детали вокруг вертикальной и горизонтальной оси. В результате станочное оборудование этого поколения обеспечивает комплексную обработку самых сложных корпусных деталей, включая точное растачивание внутренних поверхностей фасонной формы, сверление и растачивание отверстий под произвольными углами в пространстве и т.п. Система управления станком имеет выход на ЭВМ более высокого порядка. Кроме того, такие станки оснащаются транспортным устройством, позволяющим автоматически по программе подавать спутник с заготовкой с запасной позиции (загрузки, выгрузки) на рабочую позицию, и наоборот. Специальное устройство осуществляет автоматизированную загрузку – выгрузку инструментов в магазине от внешнего накопителя. В результате такие станки, как правило, приспособлены для встраивания в автоматизированные производственные системы.

3.11.2. Технологические особенности станков с ЧПУ

По назначению системы ЧПУ разделяют на управляющие траекториями движения исполнительных органов и на управляющие режимом работы (рис. 3.94). Системы, управляющие траекториями движения, обеспечивают соответствие скорости и направления перемещений расчетным данным; комбинацию совместной и независимой работы агрегатов, последовательность их включения. Системы, управляющие режимами работы,

или системы адаптивного управления предназначены для оптимизации скорости резания и подачи, силы резания, точности и шероховатости обрабатываемой поверхности. Адаптивные самонастраивающиеся системы управления осуществляют автоматический поиск оптимальных параметров процесса обработки с учетом жесткости системы станок – приспособление – инструмент – деталь, изменения припуска на обработку, твердости обрабатываемого материала и др.

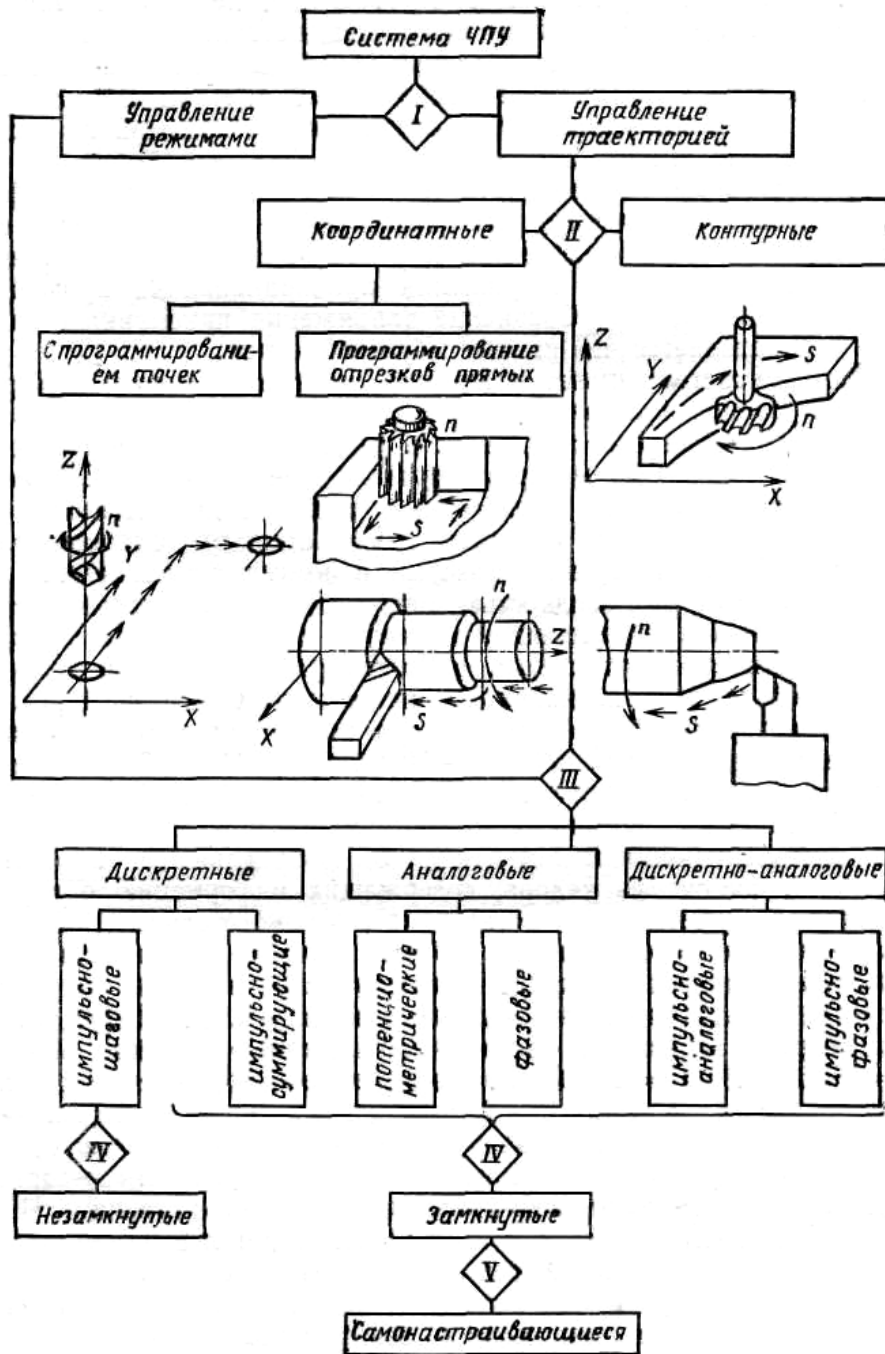


Рис. 3.94. Классификация систем ЧПУ

По технологическому признаку системы ЧПУ разделяют на координатные (позиционные) и контурные. Координатные системы используют в сверлильных, расточных и координатно-расточных станках. Цикл работы станка предусматривает позиционирование и фиксацию исполнительного узла в точке с заданными программой координатами и последующую обработку. При движении исполнительного узла отсутствует необходимость согласованного движения по координатам к заданной точке, но требуется быстрое перемещение и точный останов в заданной позиции.

Системы контурного управления применяют для токарных, расточных, фрезерных станков, осуществляющих формообразование деталей сложной формы и требующих движения исполнительных органов с переменными скоростями одновременно по двум и большему числу координат.

По виду управляющей информации системы ЧПУ могут быть разделены на дискретные и аналоговые. Дискретные системы характеризуются ступенчатой формой управляющих сигналов, а аналоговые оперируют непрерывными управляющими сигналами. Дискретно-аналоговые системы объединяют достоинства обоих классов. По наличию обратной связи между исполнительным органом и устройством для ввода программы различают системы с незамкнутой цепью управления (без обратной связи) и с замкнутой цепью управления (с обратной связью). Система с обратной связью управления обеспечивает наивысшую точность перемещения.

К дискретным системам относятся импульсно-шаговые и импульсно-суммирующие. Импульсно-шаговые системы имеют программу, задающую управляющие сигналы в виде импульсов. Импульсы поступают на обмотку статора шагового двигателя (ШД). Каждый импульс соответствует элементарному повороту ротора ШД и перемещению (шагу) рабочего органа. Частота следования импульсов определяет скорость движения рабочих органов.

Импульсно-суммирующие системы также обеспечивают элементарное перемещение на каждый импульс. Заданное число импульсов (суммарное), определяющее перемещение, непрерывно или дискретно сравнивается с числом импульсов, поступающих по каналам обратной связи от датчика обратной связи. Движение происходит, пока существует сигнал рассогласования, т.е. пока суммарное заданное число импульсов будет отличаться от суммарного отработанного числа импульсов.

К аналоговым системам относят потенциометрические и фазовые. Потенциометрические или амплитудные системы имеют программу, задаваемую физическим параметром, чаще всего напряжением тока. Амплитуда напряжения пропорциональна программируемому перемещению. Срав-

нение напряжения приемника с заданным осуществляется по каналу обратной связи.

Фазовые системы имеют программу, задаваемую в виде непрерывной синусоидальной функции физического параметра, например, силы тока. Фаза этого сигнала, т.е. угловой поворот вектора силы тока, пропорциональна программируемым перемещениям. Обработка управляющих сигналов производится с помощью следящих, т.е. использующих датчики обратной связи приводов фазового типа. Импульсно-фазовые и импульсно-аналоговые системы являются разновидностью дискретных и аналоговых систем. В этих системах управляющий сигнал и сигнал датчика обратной связи являются импульсными, а сигнал рассогласования является аналоговой величиной, например, напряжением, или наоборот.

Для кодирования информации при подготовке программы применяют международный код ISO-7bit с записью программ на восьмидорожечную перфоленту шириной 25,4 мм. В коде ISO-7bit при программировании информации может программироваться до 128 команд (рис. 3.95). Управляющая программа обработки состоит из кадров, содержащих информацию о перемещениях инструмента, технологических и вспомогательных командах. Информация о перемещениях рабочих органов станка кодируется в двоично-десятичной системе счисления, при которой сохраняют десятичные разряды.

Дорожки										Выполняемая функция	
8	7	6	5	4	с/θ	3	2	1	Обозначение		
					○					0	0
○					○				○	1	1
○					○			○		2	2
					○			○	○	3	3
					○	○				4	4
					○	○		○		5	5
					○	○	○			6	6
○					○	○	○	○		7	7
○				○	○					8	8
				○	○				○	9	9
	○				○				○	A	Человкий размер относительно: оси X
	○				○					B	
○	○				○			○		C	оси Z
○	○				○	○				F	Подача
	○				○	○	○	○		G	Подготовительная операция
○	○			○	○			○		I	Используется при обработке, дуги окружности
○	○			○	○			○		J	
	○			○	○			○	○	K	Вспомогательная операция
	○			○	○			○		M	
	○			○	○			○		N	Номер кадра
○	○		○		○			○		R	Частота вращения
	○		○		○			○	○	S	
○	○		○		○		○			T	Инструмент (смена, номер)
○	○		○	○	○					X	Перемещение: по оси X
	○		○	○	○				○	Y	по оси Y
	○		○	○	○			○		Z	по оси Z
		○		○	○			○			Знак
		○		○	○			○			Знак
○		○		○	○			○		%	начало программы
				○	○			○		LF	Конец кадра
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Del	Забой

Рис. 3.95. Условные обозначения кода ISO – 7bit

Цифры десятичной системы счисления записывают в двоичной системе счисления: $8 = 2^3$, $4 = 2^2$, $2 = 2^1$, $1 = 2^0$. Отверстие на первой дорожке перфоленты соответствует 1, на второй – 2, на третьей – 4, на четвертой – 8. Дорожки 1, 2, 3, 4 перфоленты используются для программирования размерной информации. Дорожки 5, 6, 7 совместно с первыми четырьмя дорожками используются для программирования технологических команд. Отверстие на восьмой дорожке является дополнительным и служит для контроля количества отверстий в строке по четности.

Станки с ЧПУ во всех странах имеют одинаковые значения направлений перемещений и их символику. Стандартом ISO – R841 принято за положительное направление перемещения исполнительного органа станка считать то, при котором инструмент или заготовка отходят друг от друга. Исходной осью (ось Z) является ось рабочего шпинделя. Если эта ось поворотная, ее положение выбирают перпендикулярно плоскости крепления детали. Положительное направление оси Z – от устройства крепления детали к инструменту, тогда оси X и Y расположатся так, как это показано на рис. 3.96. Примеры расположения осей на токарном, вертикально-сверлильном и горизонтально-расточном станках с ЧПУ приведены на рис. 3.97.

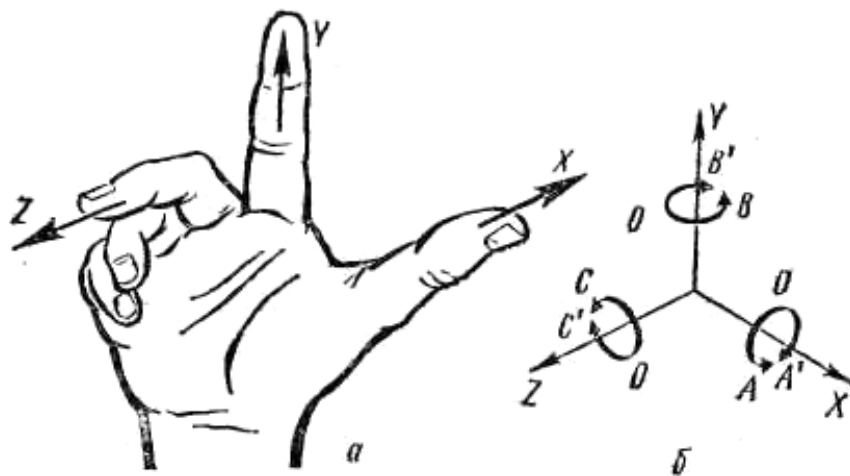


Рис. 3.96. Расположение осей координат на станках с ЧПУ:
a – правосторонняя система координат; *б* – первичные оси

Оси X , Y , Z называются первичными; они расположены ближе к шпинделю. Вторичные оси U , V , W параллельны первичным, третичные обозначают буквами P , Q , R . Углы поворота вокруг осей обозначаются A , B , C (соответственно для поворота вокруг осей X , Y , Z), дополнительные углы поворота – буквами D и E .

Положительным направлением считается вращение по часовой стрелке при взгляде вдоль положительного направления соответствующей

оси. При перемещении детали, а не инструмента положительные значения изменяют направление; их обозначают буквами X' , Y' , Z' и т.д.

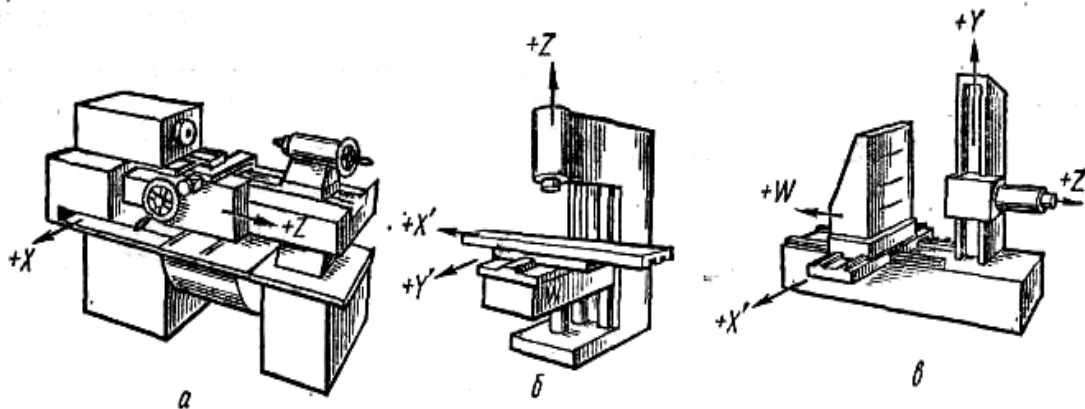


Рис. 3.97. Примеры расположения осей координат на станках с ЧПУ:
a – токарный станок; *б* – вертикально-фрезерный станок;
в – горизонтально-расточной станок

В качестве примера рассмотрим обработку корпуса штуцера (рис. 3.98) на производственном токарном станке с ЧПУ модели 16К20Ф3С5. Система ЧПУ управляет перемещениями суппорта по двум координатам X , Z , автоматическим переключением частот вращения шпинделя, индексацией шестипозиционной револьверной головки и других технологических команд.

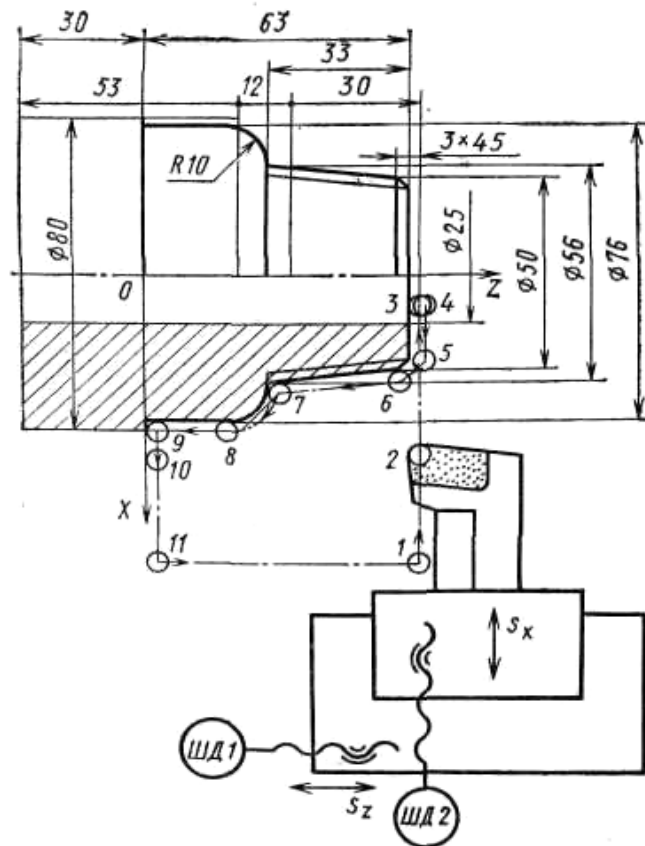


Рис. 3.98. Схема расчетных программных перемещений суппорта

При составлении управляющей программы указывают: резец подрезной с радиусом режущей кромки равным 1 мм, материал режущей части из твердого сплава, скорость резания 100 – 120 м/мин ($n = 400 \text{ мин}^{-1}$), подачу 0,15 – 0,2 мм/об.

Координаты характерных точек 1 – 4, ..., 7 – 11 определяют простым суммированием значений координат точек на чертеже детали и радиуса режущей кромки, а точек 5 и 6 из расчетных треугольников. Координаты исходной точки положения резца определяют по наладке станка, которая зависит от положения револьверной головки, вылета резца и длины патрона. Распечатка управляющей программы приведена на рис. 3.99.

№ точки	X_p	Z_p	X	Z	Содержание кадра	Значение кадра
	200	300	—	—	%	
					N001S28T101M04	
1	200	64	0	-236	N002G00Z-023600	
2	31	64	-169	0	N003G00X-033800M08	
3	10	64	-21	0	N004G001X-004200F000120	
4	10	65	0	+1	N005G01Z+000100F000200	
5	21,42	65	+11,42	0	N006G01X+002284F001200	Отход по X
6	25,96	60,46	+4,54	4,54	N007G01X+000908Z-000454F000080	Точение фаски
7	29	31	+3,04	29,46	N008G01X+000608Z-002946F000060	Точение конуса
7	29	31	0	0	N009G04X+000200	Пауза 0,2 с
8	39	20	+10	-11	N010G02X+002000Z-001100I+000200K+001100F000080	Точение радиуса
9	39	1	0	-19	N011G01Z-001900F000060	Точение по Z
9	39	1	0	0	N012G04X+000200	Пауза 0,2 с
10	43	1	+4	0	N013G01X+000800F000080	Точение по X
11	200	1	+157	0	N014G00X+031400M09	Отход к исходной точке
11	200	1	0	0	N015S00T001M05	Выход коррекции
И. Т.	200	300	0	+299	N016G00Z+029900	Отход к исходной точке
					N017M02	Конец программы

Рис. 3.99. Программа для обработки штоцера в коде ISO-7bit

3.11.3. Конструктивные особенности станков с ЧПУ

Системы ЧПУ вызвали необходимость пересмотра конструкции механизмов и компоновки станка в целом. Особенности отработки программы предъявляют специфические требования к станкам с ЧПУ: повышение жесткости станин и корпусных деталей и повышение собственной частоты колебаний механизмов с целью предотвращения резонансных явлений, которые возникают в случае совпадения частот управляющих импульсов и возмущающих колебаний механизмов; автоматическое переключение скоростей в приводах главного движения (скорости резания) и подач, приме-

нение регулируемого бесступенчатого привода; выполнение механизмов подач с минимальными зазорами, обеспечение плавности перемещения при малых скоростях путем применения шариковых и гидростатических винтовых передач и направляющих, механизмов автоматической компенсации износа, создания предварительного натяга в подшипниковых опорах и направляющих; обеспечение максимального быстродействия, что достигается снижением приведенного момента инерции привода, выбором оптимального передаточного отношения; повышение точности и надежности позиционирования, сокращение времени ускорения и замедления при резком изменении направления движения; идентичность характеристик механизмов подач по различным координатам с целью обеспечения высокой точности обработки криволинейных контуров детали; уменьшение изнашивания и нагрева механических узлов во избежание потери точности; повышение КПД приводов; автоматизация зажимных и загрузочных механизмов; применение устройств для автоматической смены инструмента.

Рассмотрим ряд механизмов, отвечающих сформулированным специфическим требованиям.

Направляющие станков с ЧПУ должны иметь высокую износостойкость и небольшую силу трения, что позволяет снизить мощность следящего привода, увеличить точность установочных перемещений, уменьшить рассогласование в следящей системе. Этим требованиям лучше всего удовлетворяют направляющие качения и гидростатические направляющие.

Направляющие качения имеют высокую долговечность, характеризуются небольшим трением, причем коэффициент трения практически не зависит от скорости движения перемещаемого узла. В направляющих без предварительного натяга натяг осуществляется только массой узла, в направляющих с предварительным натягом для получения натяга имеются специальные устройства. В незамкнутых направляющих разъединению сопрягаемых деталей препятствует лишь масса перемещаемого узла или сила пружины, поэтому при действии больших опрокидывающих моментов применяют замкнутые направляющие, где разъединению деталей препятствуют планки и другие устройства. В зависимости от используемого типа тел качения направляющие делятся на роликовые, шариковые и игольчатые.

Гидростатические направляющие создают масляную подушку по всей площади контакта. Их выполняют незамкнутыми и замкнутыми. Рассмотрим принцип действия гидростатических направляющих (рис. 3.100). От насоса *1* масло подается через дроссель *2* с постоянным сопротивлением в карман-камеру *3* на направляющей. Из кармана масло вытесняется в зазор *h*

в направляющих. Точность движения узла достигается поддержанием относительного постоянства толщины масляного слоя при изменяющейся нагрузке посредством установки дросселя перед каждым масляным карманом и выполнения направляющих с высокой геометрической точностью.

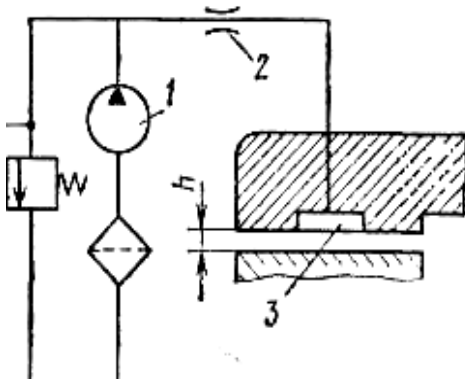


Рис. 3.100. Схема гидростатических незамкнутых направляющих

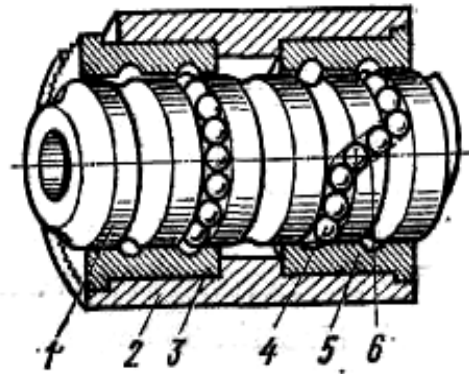


Рис. 3.101. Шариковая винтовая пара

Передача винт-гайка в большинстве приводов подач станков с ЧПУ является последним звеном кинематической цепи. Винт-гайка скольжения здесь практически не используется из-за зазоров в резьбе, большого коэффициента трения и низкого КПД. Передача винт-гайка качения обеспечивает высокую осевую жесткость посредством возможности устранения зазоров, длительно сохраняет первоначальную точность, имеет КПД около 0,9 при полной нагрузке на передачу. Шариковая винтовая пара (рис. 3.101) состоит из винта 1, гаек 3 и 5, шариков 4 и канала 6 возврата шариков. Профиль резьбы выполняют полукруглым или арочным. Канал возврата шариков может быть выполнен в виде трубки, соединяющей первый и последний витки гайки, или в виде вкладыша. Вкладыш вставляют в окно гайки; его каналы соединяют два соседних витка резьбы. Регулирование натяга при арочном профиле резьбы осуществляют подбором диаметров шариков. При полукруглом профиле резьбы натяг регулируют поворотом гайки 3 относительно гайки 5 при их неизменном осевом положении. Обе гайки имеют наружные зубчатые венцы с разницей в числе зубьев на единицу. Корпус 2, в который вставляют гайки, имеет венцы внутреннего зацепления. Поворот обеих гаек в одну сторону на один зуб вызывает их относи-

тельный поворот на $\frac{1}{z-1} - \frac{1}{z} = \frac{1}{z(z-1)}$ доли окружности, где z и $z - 1$ —

числа зубьев наружных венцов. Натяг можно регулировать, смещая также

одну из гаек в осевом направлении с помощью прокладок, при отсутствии поворота одной гайки относительно другой.

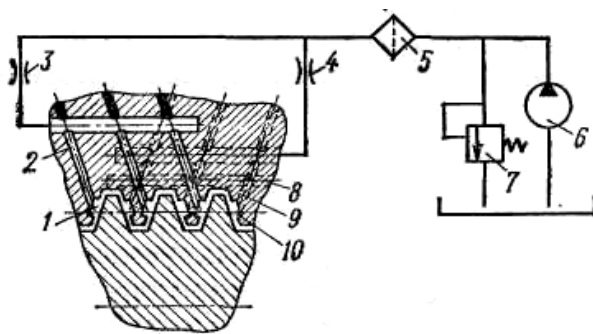


Рис. 3.102. Схема гидростатической передачи винт-гайка

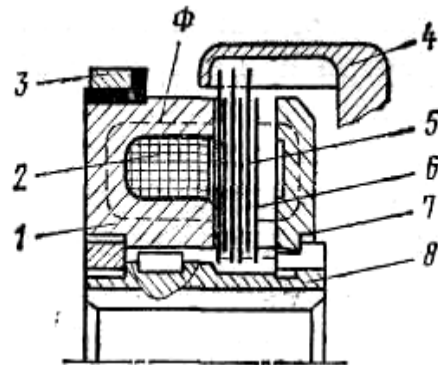


Рис. 3.103. Электромагнитная многодисковая муфта

Гидростатическая передача винт-гайка (рис. 3.102) работает в условиях жидкостного трения. Износ винта и гайки при этом практически отсутствует. КПД передачи равен 0,99, передача фактически беззазорная. Но в сравнении с передачей винт-гайка качения рассматриваемая передача имеет несколько меньшую жесткость и несущую способность масляного слоя.

Рассмотрим принцип действия гидростатической передачи. Масло от насоса 6 через фильтр 5, дроссели 3 и 4 постоянного давления, определяемого настройкой переливного клапана 7, отверстия 2 и 9 попадает в карманы 1 и 10; сливается масло через зазоры в резьбе и отверстие 8. Разность давлений в карманах 1 и 10 обеспечивает восприятие осевой нагрузки слоями масла.

Электромагнитные муфты используют в приводах скорости резания, подач и вспомогательных перемещений для получения автоматических циклов обработки. Муфта (рис. 3.103) состоит из корпуса 1 с катушкой 2 и токоподводящим кольцом 3, пакета фрикционных магнитопроводящих дисков 5 и 6, работающих со смазкой, якоря 7 и общей втулки 8. Внутренние диски 6 расположены на эвольвентных шлицах втулки 8, наружные диски 5 зацепляются с поводком 4 – соединительной деталью механизма, в котором используется муфта. При подаче напряжения на катушку 2 магнитный поток замыкается по контуру Φ , якорь и панель дисков притягиваются к полюсам корпуса 1 и между сжатыми дисками возникает фрикционное сцепление. В этом случае движение с вала, на котором посажена втулка 8, передается через внутренние и наружные диски на поводок 4. При отключении напряжения диски расцепляются под действием упругих наружных дисков. Электромагнитные муфты обеспечивают быстрый разгон (реверс) механиз-

мов под нагрузкой, интенсивное торможение, четкое переключение передач; они отличаются надежностью и долговечностью.

Наиболее универсальными в применении к металлорежущим станкам являются многодисковые электромагнитные муфты серий ЭМ и ЭТМ.

Точность позиционирования системы ЧПУ во многом зависит от точности срабатывания электродвигателей. Поэтому в приводах подач современных станков применяют быстродействующие регулируемые высокомоментные силовые шаговые, реактивные и постоянного тока электродвигатели.

3.11.4. Станки с ЧПУ первого поколения

В п. 3.2.2. рассмотрена кинематическая структура координатно-расточного станка с ЧПУ первого поколения модели 2Д450АМФ2. Рассмотрим еще два широко распространенных станка этого поколения.

Патронно-центровой станок модели 16К20Ф3. Предназначен для токарной обработки наружных и внутренних поверхностей деталей типа тел вращения со ступенчатым и криволинейным профилями за один или несколько рабочих ходов в замкнутом полуавтоматическом цикле. В зависимости от возможностей системы ЧПУ на станке можно нарезать различные резьбы. Станок имеет традиционную для токарных станков компоновку и максимально возможную унификацию узлов с токарно-винторезным станком модели 16К20, на базе которого выпускается.

Техническая характеристика. Наибольший диаметр обрабатываемой детали над станиной 400 мм; над суппортом 220 мм; диаметр прутка, проходящего через отверстие шпинделя 50 мм. Число инструментов 6. Число частот вращения шпинделя 12 (из них 9 по программе); пределы частот вращения шпинделя 35 – 1600 мин⁻¹. Число подач – бесступенчатое регулирование; пределы рабочих подач: продольных 3 – 700 мм/мин, поперечных 3 – 500 мм/мин. Скорость быстрых перемещений: продольных 4800 мм/мин, поперечных 2400 мм/мин; дискретность перемещений: продольных 0,01 мм, поперечных 0,005 мм.

Станок оснащен контурными устройствами ЧПУ. Модификации станка в зависимости от комплектации с устройством ЧПУ имеют разные индексы. Например, станок модели 16К20Ф3С1 работает с устройством «Контур 2ПТ», станок 16К20Ф3С2 – с устройством фирмы Alkatel, станок 16Е20Ф3С5 – с устройством Н22-1М. Устройство ЧПУ обеспечивает движение формообразования, изменение значений подач и частот вращения шпинделя, индексацию резцовой головки и в большинстве случаев нареза-

ние резьбы по программе. Число управляемых координат равно двум, из них одновременно управляемых две.

Кинематическая структура станка (рис. 3.104) содержит традиционные для токарно-винторезных станков группы формообразования.

Внешняя связь группы $\Phi_v(B_1)$ скорости резания (главное движение) имеет вид:

$$M_1 \rightarrow 126/182 \rightarrow АКС \rightarrow 200/280 \rightarrow 40/54 \rightarrow B1 (30/60 \text{ или } 65/43) \rightarrow \rightarrow \text{шпиндель } VI (B_1).$$

Автоматическая коробка скоростей (АКС) обеспечивает девять переключаемых в цикле частот вращения шпинделя вследствие включения электромагнитных муфт. Вал *II* имеет три значения частоты вращения при переключении муфт M_1, M_2, M_3 (соответственно передачи 36/36 или 30/42 или 24/48); вал *III* вращается уже с девятью различными частотами; при включении муфты M_4 работает передача 48/24, муфты M_5 – передача 30/42, муфты M_6 – передача 14/56. Одновременное включение муфт M_4 и M_6 осуществляется торможение шпинделя. В шпиндельной бабке вручную переключается блок *Б1*, что обеспечивает получение двух диапазонов частот вращения шпинделя ($35 - 560$ и $100 - 1600 \text{ мин}^{-1}$). Практически шпиндель имеет 12 частот вращения.

УКЦ для минимальной частоты вращения шпинделя:

$$n_{\min} = 1460 \cdot \frac{126}{182} \cdot 0,985 \cdot \frac{24}{48} \cdot \frac{14}{56} \cdot \frac{200}{280} \cdot 0,985 \cdot \frac{40}{54} \cdot \frac{30}{60} = 35 \text{ мин}^{-1}.$$

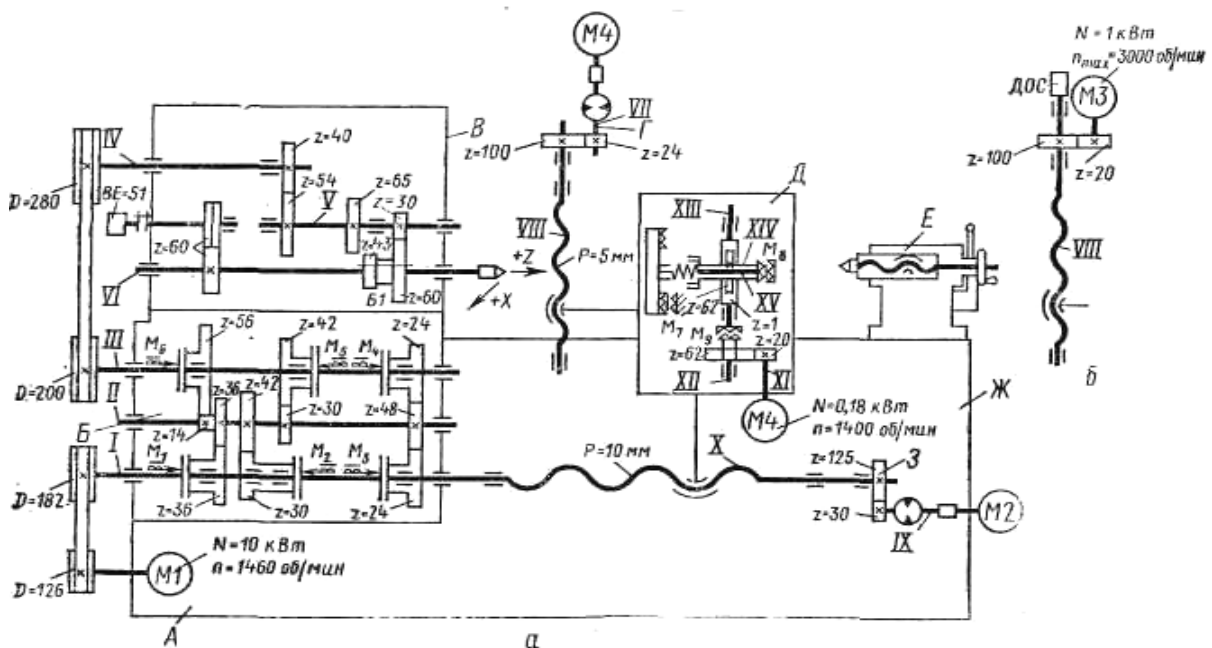


Рис. 3.104. Кинематическая схема токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3

В винторезной модификации станка устанавливают датчик (измерительный преобразователь ВЕ-51) резбонарезания, связанный со шпинделем беззазорной зубчатой передачей 60/60.

Группы продольной подачи $\Phi_{s1}(II_2)$ и поперечной подачи $\Phi_{s2}(II_3)$ могут иметь два исполнения: с гидравлическим шаговым приводом (рис. 3.100, а) и с электродвигателем постоянного тока (рис. 3.104, б). В первом случае применяют электрогидравлические шаговые двигатели ШД5-Д1 с гидроусилителем Э32Г18-23 для продольной подачи и гидроусилителем Э32Г18-22 для поперечной подачи. Тяговые валы обеих групп: шариковый винт X продольной подачи и шариковый винт VIII поперечной подачи получают вращение через беззазорные передачи соответственно 30/125 и 24/100.

Минимальная продольная подача (цена импульса):

$$s_{\text{прод min}} = (1/240) (30/125) 10 = 0,01 \text{ мм,}$$

где 1/240 – минимальная доля оборота выходного вала гидроусилителя при шаге на выходном валу шагового двигателя 1,5°.

Минимальная поперечная подача (цена импульса):

$$s_{\text{non min}} = (1/240) (24/100) 5 = 0,005 \text{ мм.}$$

В случае применения двигателей постоянного тока на шариковые ходовые винты устанавливают измерительные преобразователи, выполняющие в системе управления функцию датчиков обратной связи.

Суппорт и каретка имеют традиционное устройство, но их размеры увеличены по высоте для повышения жесткости и возможности установки винта поперечной подачи.

Кинематика станка включает также вспомогательную группу $Bc(B_4)$ поворота шестипозиционного резцедержателя с горизонтальной осью вращения, оснащенный съемной инструментальной головкой. Внешняя связь группы имеет вид:

$$M4 \rightarrow 20/62 \rightarrow 1/67 \rightarrow \text{поворотный резцедержатель } (B_4).$$

Управление поворотом резцедержателя осуществляется по программе посредством кулачковых муфт M_7, M_8, M_9 и конечных выключателей.

Съемная инструментальная головка имеет шесть позиций. В нее можно установить шесть резцов – вставок или три инструментальных блока, которые настраивают на размер вне станка, в специальных оптических приспособлениях. Установку инструмента на определенный размер осуществляют регулировочными винтами в двух плоскостях.

Гидрооборудование станка состоит из гидростанции с контрольно-регулирующей аппаратурой, двух гидроусилителей крутящих моментов и магистральных трубопроводов.

Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ модели 6Р13Ф3. Предназначен для выполнения фрезерования, сверления и зенкерования деталей в условиях единичного и серийного производства. Применение ЧПУ в приводах подач по трем независимым координатам позволяет обрабатывать на станке детали сложного профиля типа штампов, пресс-форм, кулачков концевыми, торцовыми, угловыми, сферическими и фасонными фрезами, сверлами, зенкерами. Станок унифицирован с вертикально-фрезерным станком модели 6М13, на базе которого он выпускается.

Техническая характеристика. Размеры рабочей поверхности стола 400×600 мм; число частот вращения шпинделя 18; пределы частот вращения шпинделя 40 – 2000 мин⁻¹; число подач – бесступенчатое регулирование; пределы рабочих подач по осям X', Y', Z 3 – 1200 мм/мин, скорость быстрого перемещения по осям координат 2400 мм/мин. Число управляемых координат (всего/одновременно) 3/3. Дискретность отсчета равна 0,01 мм.

Кинематическая структура станка (рис. 3.105) содержит традиционные для вертикально-фрезерных станков кинематические группы скорости резания $\Phi_v(B_1)$ и подач $\Phi_{s1}(II_2)$, $\Phi_{s2}(II_3)$, $\Phi_{s3}(II_4)$.

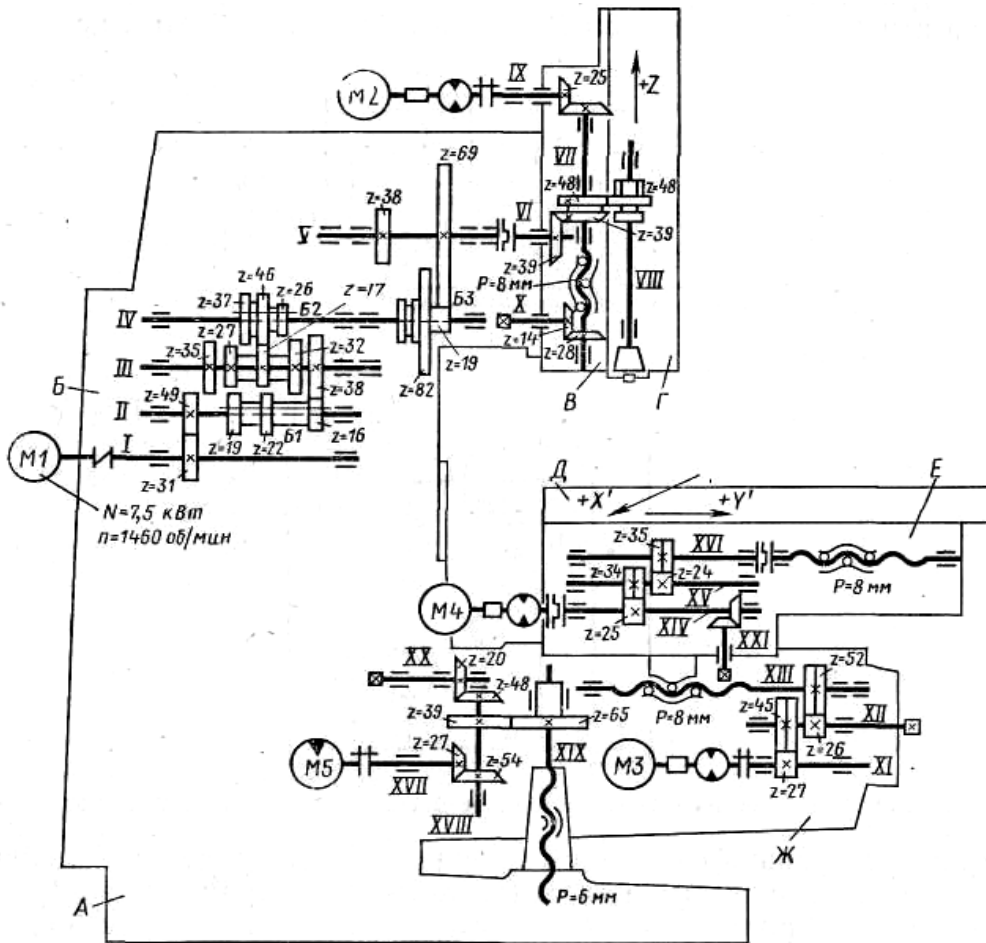


Рис. 3.105. Кинематическая схема вертикально-фрезерного станка с ЧПУ модели 6Р13Ф3

Внешняя связь группы скорости резания $\Phi_v(B_1)$:

$M1 \rightarrow 31/49 \rightarrow B1 \rightarrow B2 \rightarrow B3 \rightarrow 39/39 \rightarrow 48/48 \rightarrow$ шпиндель (B_1).

Группа настраивается на скорость переключением двух двойных блоков $B1$ и $B2$ и двойного блока $B3$. Это обеспечивает 18 ступеней частот вращения шпинделя в пределах 40 – 2000 мин⁻¹.

Уравнение кинематической цепи для минимальной круговой частоты вращения шпинделя:

$$n_{\min} = 1460 \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{16}{38} \cdot \frac{17}{46} \cdot \frac{19}{69} \cdot \frac{39}{39} \cdot \frac{48}{48} = 40 \text{ мин}^{-1}.$$

Внешняя связь группы $\Phi_{s1}(П_2)$ вертикальной подачи (координата Z):

$M2 \rightarrow 25/25 \rightarrow ТВ$ (винт-гайка качения) \rightarrow ползун шпиндельной головки ($П_2$).

Группа настраивается на скорость – изменением круговой частоты шагового электродвигателя; на путь, исходное положение и направление – программноносителем. Квадратом на валу X через коническую передачу 14/28 можно переместить ползун вручную.

Внешняя связь группы $\Phi_{s2}(П_3)$ поперечной подачи (координата Y):

$M3 \rightarrow$ беззазорный редуктор (27/45 \rightarrow 26/52) \rightarrow
 $\rightarrow ТВ$ (винт-гайка качения) \rightarrow поперечные салазки ($П_3$).

Группа настраивается на скорость – изменением круговой частоты шагового электродвигателя; на путь, исходное положение и направление – программноносителем. Квадратом на валу XII через передачу 26/52 можно переместить поперечные салазки вручную.

Внешняя связь группы $\Phi_{s3}(П_4)$ продольной подачи (координата X):

$M4 \rightarrow$ беззазорный редуктор (25/34 \rightarrow 24/35) \rightarrow
 $\rightarrow ТВ$ (винт-гайка качения) \rightarrow продольные салазки ($П_4$).

Группа настраивается на скорость – изменением круговой частоты шагового электродвигателя; на путь, исходное положение и направление – программноносителем. Квадратом на валу XXI можно переместить продольные салазки вручную.

Электродвигатель $M1$ – асинхронный. Электродвигатели $M2, M3, M4$ – шаговые типа ШД5-Д1 с гидроусилителем моментов Э32Г18-24.

Величины передач внешних связей групп $\Phi_{s1}, \Phi_{s2}, \Phi_{s3}$ подобраны так, что при подаче на шаговые электродвигатели одного импульса исполнительные органы указанных групп переместятся на 0,01 мм.

Вспомогательная группа $Вс(П_5)$ обеспечивает установочные вертикальные перемещения консоли. Ее внешняя связь:

$Гидромотор M5 \rightarrow 27/54 \rightarrow 39/65 \rightarrow ТВ \rightarrow$ консоль ($П_5$).

Посредством квадрата на валу XX можно переместить консоль вручную.

Гидросистема (рис. 3.106) осуществляет перемещение исполнительных органов станка по соответствующим координатам, установочное вертикальное перемещение консоли, зажим ползуна шпиндельной головки, отжим инструмента.

Питание гидросистемы осуществляется от гидростанции 5. Масло по трубопроводам поступает в гидрораспределители гидравлических усилителей моментов 1ГУ, 2ГУ, 3ГУ.

Отжим инструмента осуществляется при включенном гидрораспределителе 1, расположенном на шпиндельной головке станка, гидроцилиндром 2, размещенном в ползуне. Зажим ползуна происходит при включении гидрораспределителя 3, управляющего гидроцилиндром 4, расположенном в шпиндельной головке. Зажим консоли осуществляется гидроцилиндром 6, управляемым гидрораспределителем 7; при обесточенном гидрораспределителе 7 консоль зажата. Установочное перемещение консоли происходит при одновременном включении гидрораспределителей 7 и 8, управляющих гидромотором ГМ.

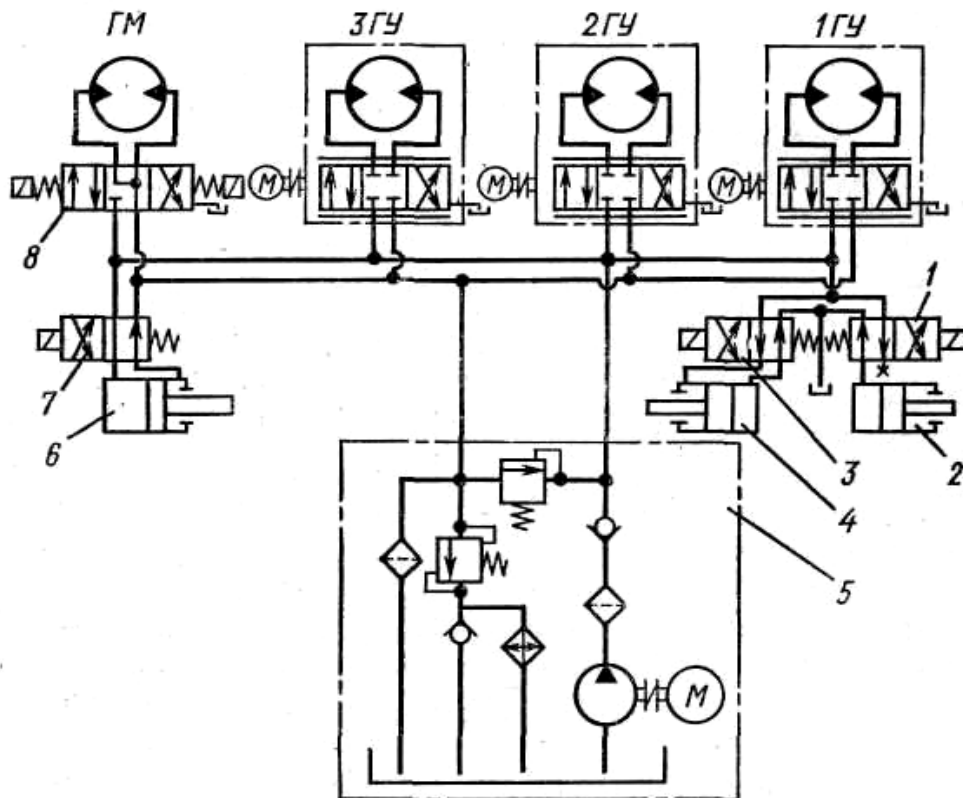


Рис. 3.106. Принципиальная гидравлическая схема станка

3.11.5. Многооперационные станки с ЧПУ

Многооперационным станком (обрабатывающим центром) называется станок с ЧПУ, обеспечивающий совмещение многих технологических

операций на сложных деталях с разных сторон без их перебазирования и с автоматической сменой инструмента. Они делятся на станки для обработки деталей типа корпусных и типа тел вращения. Станки для обработки деталей типа тел вращения характеризуются меньшим разнообразием и распространены в меньшей степени. Рассмотрим многооперационные станки для корпусных деталей. На них можно осуществлять все сверлильно-фрезерно-расточные операции. Производительность изготовления деталей на таких станках в 4 – 10 раз выше, чем на универсальных станках. Это происходит за счет существенного сокращения затрат вспомогательного и подготовительно-заключительного времени, интенсификации режимов резания, сокращения времени на контрольные операции и т.д. На этих станках вручную лишь устанавливают и закрепляют деталь. Для сокращения времени загрузки заготовок и съема готовых деталей используют устройства для автоматической смены приспособлений – спутники, маятниковые столы, поворотные столы, работающие поочередно.

При проектировании применяется агрегатирование узлов многооперационных станков.

Различают многооперационные станки вертикальной и горизонтальной компоновки. Вертикальные многооперационные станки, характеризующиеся вертикально расположенным шпинделем, предназначены для деталей, обрабатываемых с одной стороны. Их выполняют по типу: вертикального консольного или бесконсольного фрезерного станка; одностоечного или двухстоечного координатно-расточного станка; продольно-фрезерного станка.

Горизонтальные многооперационные станки предназначены для обработки деталей с двух – четырех сторон, а иногда и пяти сторон. Их выполняют по типу горизонтальных консольно-фрезерных горизонтально-расточных станков. Шпиндель в таких станках расположен горизонтально. Наиболее распространены станки, имеющие крестовый и поворотный столы, вертикально перемещающуюся шпиндельную бабку.

Точностные характеристики многооперационных станков должны обеспечивать выполнение как предварительных, так и финишных операций, поэтому их выпускают классов точности П и В.

Многооперационные станки оснащаются позиционными, контурными и универсальными системами ЧПУ. Минимальное число управляемых координат равно трем. Системы управления обеспечивают направление и величину рабочих перемещений, выдают команды на выполнение вспомогательных функций: автоматический поиск инструмента и его смену после обработки,

установку шпинделя в определенное положение при смене инструмента, изменение режимов обработки, включение и отключение СОЖ в зону обработки, реверс шпинделя при выполнении резьбонарезных операций, фиксацию исполнительных звеньев после их позиционирования и т.д.

Вертикальный сверлильно-фрезерно-расточной полуавтомат модели 243ВМФ2. Предназначен для комплексной обработки деталей небольших и средних размеров при подходе инструмента с одной стороны. Класс точности станка В. Обеспечивает точность расстояний между осями обработанных отверстий 0,016 мм; точность диаметра отверстий 0,01 мм. Относится к станкам с ЧПУ второго поколения.

Техническая характеристика. Наибольший диаметр сверления 25 мм, наибольший диаметр растачивания 160 мм; размеры рабочей поверхности стола 320×560 мм; число инструментов в магазине 30; число частот вращения шпинделя 21; пределы частот вращения шпинделя 40 – 2500 мин⁻¹; число ступеней подач 30; пределы подач по осям координат X', Y', Z 3,15 – 2500 мм/мин; скорость быстрого перемещения по управляемым осям 3000 мм/мин.

Станок оснащен устройством ЧПУ типа «Размер 2М». Точность позиционирования 0,02 мм. Число управляемых координат (всего / одновременно) 3/2.

Система ЧПУ позволяет ввести 35 коррекций по длине и 5 коррекций по радиусу.

Кинематическая структура станка (рис. 3.107) содержит традиционные для координатно-расточных станков группы скорости резания $\Phi_v(B_1)$, вертикальной подачи шпинделя $\Phi_{s1}(II_3)$, продольной подачи стола $\Phi_{s2}(II_5)$, поперечной подачи салазок $\Phi_{s3}(II_6)$, а также вспомогательные группы $Vc(B_2)$, $Vc(II_4)$, $Vc(B_7)$, $Vc(B_8)$ обеспечивающие автоматизацию движений.

Группа $\Phi_v(B_1)$. Ее внутренняя связь:

подшипниковые опоры → шпиндель (B_1).

Внешняя связь:

$M1$ → двухременной вариатор Vr → трехступенчатая коробка скоростей → зубчаторемennая передача 31/31 → шпиндель (B_1).

Группа настраивается на скорость трехступенчатой коробкой скоростей и двухременным вариатором. При отклонении скорости (круговой частоты шпинделя) от заданной, тахогенератор $TГ$ на валу III включает электродвигатель $M2$, который через зубчатые передачи 17/49 и 25/49 и винт $XIII$ смещает ось подвижных дисков вариатора, что изменяет его передаточное отношение. Вариатор обеспечивает регулирование круговой частоты в диапазоне 1:4.

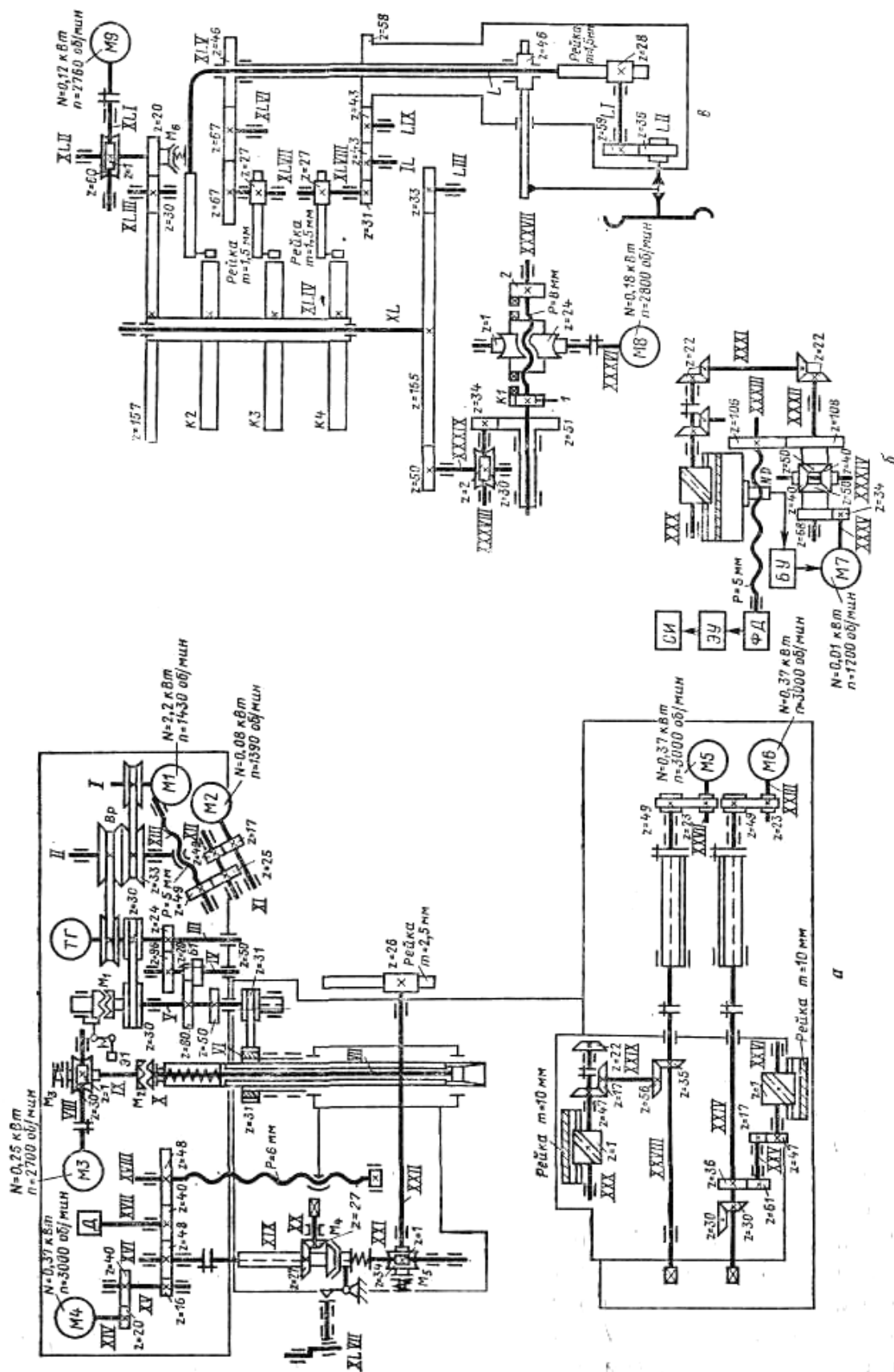


Рис. 3.107. Кинематическая схема многооперационного вертикального сверлильно-фрезерно-расточного полуавтомата с ЧПУ модели 243ВМФ2

Переключение скоростей осуществляется перемещением блока $B1$ и муфты M_1 . При включении муфты M_1 от электромагнита Э1 постоянного тока получают верхний диапазон частот вращения шпинделя, так как движение с вала III на вал V передается через зубчаторемennую передачу 30/30. Два нижних диапазона получают при переключении блока $B1$ двумя электромагнитами (на схеме не показаны). Внутри каждого диапазона скорость изменяется вариатором.

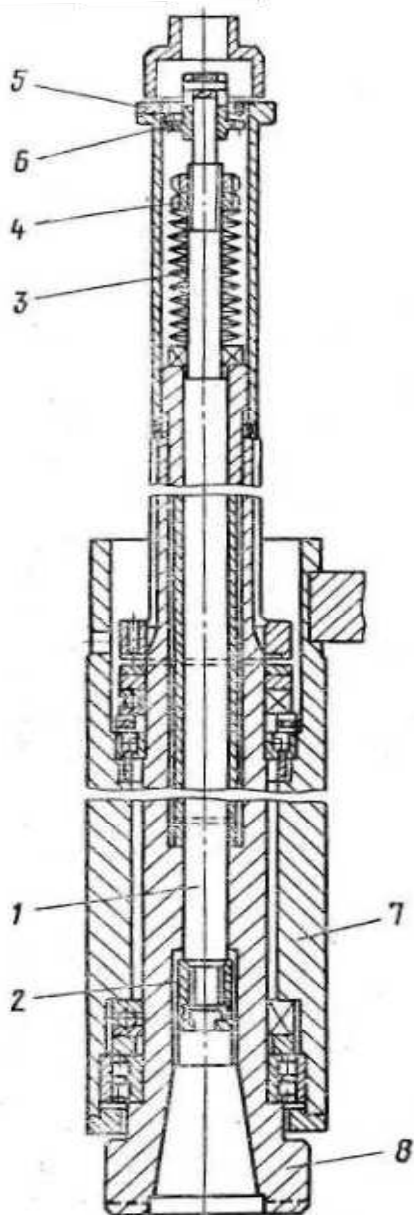


Рис. 3.108. Шпиндель станка

Шпиндель станка 8 (рис. 3.108) размещен в гильзе 7 на высокоточных подшипниках. Зажим инструмента происходит пакетом тарельчатых пружин 3, действующих на инструмент с помощью шомпола 1, соединенного с байонетным замком 2. Усилие пружин регулируется гайкой 4. Зуб планки 5, взаимодействуя с зубчатым колесом 6, закрепленным на шомполе 1, препятствует случайному провороту байонета крутящий момент от шпинделя к инструменту передается поводками, расположенными на торце шпинделя.

Вспомогательная группа $Bc(B_2)$ привода вращения шомпола (рис. 3.107, а) предназначена для размыкания и замыкания байонетного замка шомпола с инструментом в крайнем верхнем положении гильзы, а также для вращения инструмента в случае несовпадения ведущих шпонок инструмента и шпинделя во время автоматической смены инструмента. Ее внешняя связь:

$M3 \rightarrow 1/30 \rightarrow \text{муфта } M_2 \rightarrow \text{шомпол } (B_2)$.

Двигатель $M3$ включается по команде микропереключателя, расположенного на инструментальном магазине, только в положении автооператора (рука для смены инструментов) под шпинделем.

Группа $\Phi_{s1}(П_3)$ подач шпинделя и группа $Vc(П_4)$ установочного перемещения шпиндельной головки (координата Z) оснащены общим электродвигателем постоянного тока $M4$ типа МИ22ФТ. Внешняя связь группы Φ_{s1} :
 $M4 \rightarrow 20/40 \rightarrow 16/48 \rightarrow 48/40 \rightarrow 40/48 \rightarrow ТВ XVII(винт – гайка качения) \rightarrow$
 \rightarrow *ползун перемещения гильзы шпинделя (П₃).*

Параметр скорость регулируется изменением частоты ротора электродвигателя. Для обеспечения самоторможения пары винт – гайка качения при отжиге инструмента служит тормоз, установленный на винте.

Внешняя связь группы $Vc(П_4)$:

$M4 \rightarrow 20/40 \rightarrow 16/48 \rightarrow$ *шлицевой вал XVI – втулка XIX* \rightarrow *муфта M_4* \rightarrow
 $1/34 \rightarrow$ *ТВ (зубчато-реечная передача)* \rightarrow *шпиндельная головка (П₄).*

Муфта M_4 включается от механизма зажима головки. Муфта M_5 является предохранительной. Гильза и шпиндельная головка перемещаются синхронно. При отключении муфты M_4 шпиндельная головка останавливается, а шпиндель продолжает перемещаться. Шпиндельная головка и гильза уравновешены противовесами.

На валу $XVII$ установлен фотоэлектрический датчик D , который служит для отсчета перемещений гильзы и шпиндельной головки. Скорость быстрого перемещения гильзы шпинделя определяется из выражения:

$$v = 3000 \cdot \frac{20}{40} \cdot \frac{16}{48} \cdot \frac{48}{40} \cdot \frac{40}{48} \cdot 6 \cdot 0,001 = 3 \text{ м/мин,}$$

где 0,001 – величина перемещения за один управляющий импульс, мм.

Группы $\Phi_{s2}(П_5)$ продольной подачи стола и $\Phi_{s3}(П_6)$ поперечной подачи салазок выполнены одинаково и оснащены электродвигателями постоянного тока соответственно M_5 и M_6 типа МИ22ФТ. При выполнении сверлильно-расточных переходов и вспомогательных перемещений по программе эти группы выполняют функцию групп позиционирования.

Внешняя связь группы Φ_{s2} :

$M5 \rightarrow$ *зубчато-ременная передача 23/49* \rightarrow *35/56* \rightarrow *27/47* \rightarrow
 \rightarrow *червячно-реечная передача* \rightarrow *продольный стол (П₅).*

Внешняя связь группы Φ_{s3} :

$M6 \rightarrow$ *зубчато-ременная передача 23/49* \rightarrow *36/61* \rightarrow *17/47* \rightarrow
 \rightarrow *червячно-реечная передача* \rightarrow *поперечные салазки (П₆).*

Обе группы настраиваются на скорость, путь, исходное положение и направление по программе. Измерительные винты отсчетно-измерительных систем кинематически связаны с приводными червяками соответственно через колесо $z = 22$ на валу XXX и $z = 30$ на $XXIV$.

Рассмотрим принцип действия отсчетно-измерительной системы станка на примере отсчетной системы стола (рис. 3.107, б). Винт-якорь *XXXIII* индуктивного датчика *ИД* связан с перемещением исполнительного органа через червячно-реечную передачу, вал *XXX*, конические передачи 22/22, планетарный дифференциал, передачу 108/106. Возникающий при перемещении сигнал рассогласования воспринимается блоком управления *БУ*, дающим команды электродвигателю *М7* типа РД-09. Двигатель, уменьшая сигнал рассогласования, доворачивает винт-якорь *XXXIII* через передачу 34/68, планетарный дифференциал и передачу 108/106. Вследствие такой обратной связи винт-якорь вращается синхронно движению исполнительного органа. Отсчет угла поворота винта-якоря производится круговым фотоэлектрическим датчиком *ФД* (импульсным измерительным преобразователем). Возникающий в фоторезисторах электрический сигнал преобразуется электронным устройством *ЭУ* в импульсы, воспринимаемые счетчиком импульсов *СИ*. Шаг импульсов соответствует 0,001 мм перемещения исполнительного органа (дискретность отсчета). Счетчик импульсов формирует в числовом виде полную информацию о величине перемещения исполнительного органа и управляет электродвигателем *М5* привода подач стола.

Зажим шпиндельной головки, стола, салазок и гильзы осуществляется автоматически по программе от асинхронных электродвигателей через ряд зубчатых передач.

Механизм автоматической смены инструмента состоит из инструментального магазина на 30 инструментов и автооператора с приводом. Механизм выполнен в виде отдельного узла, расположенного на стойке станка.

Цикл смены инструмента (рис. 3.109):

- магазин подает инструмент в позицию загрузки-выгрузки (во время обработки);
- рука поворачивается, захватывает инструмент, выносит его из магазина и устанавливает в положение, когда оси шпинделя и инструмента параллельны;
- гильза и шпиндельная головка перемещаются в крайнее верхнее положение, контролируемое микропереключателями, шомпол отжимает инструмент, но он остается пока в байонетном зажиме;
- рука захватывает отработавший инструмент, в этот момент начинает вращаться шомпол (вращение шомпола рассмотрено выше), инструмент выпадает из замка и рука движением вниз извлекает инструмент из шпинделя;

- рука поворачивается на 180° и вставляет очередной инструмент в шпиндель;
- рука совершает все движения в обратной последовательности, вставляя отработанный инструмент в свое гнездо.

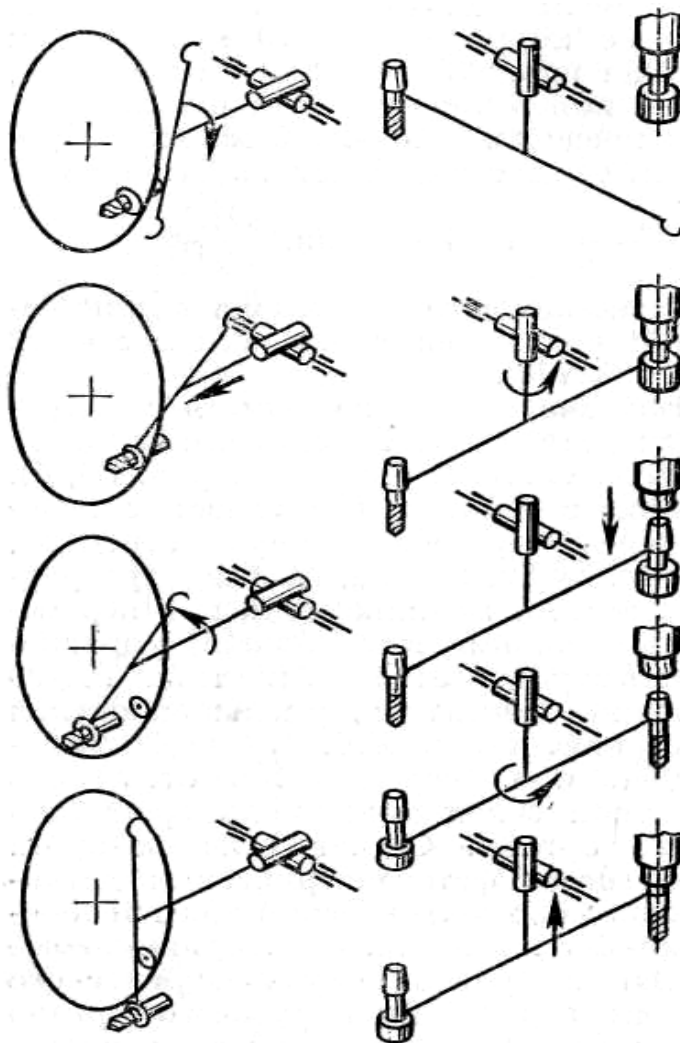


Рис. 3.109. Схема работы автооператора

Одновременно происходит зажим очередного инструмента в шпинделе. Так как шомпол вращается, то зуб инструмента западает в байонет, а ведущие выступы шпинделя – в пазы инструмента. Инструмент фиксируется в шпинделе, а шомпол замыкает байонетный замок и останавливается. Время смены инструмента составляет около 5 секунд.

Магазин выполнен в виде барабана со втулками, в которые устанавливают инструмент. Втулки предохраняют хвостовики оправок от пыли и грязи. Оправки крепят в магазине с помощью пружин. С барабаном кинематически связаны три кодовых диска, лепестки которых проходят сквозь прорези бесконтактных конечных выключателей, закрепленных на корпу-

се. Выходные сигналы выключателей, закодированные в двоично-десятичном коде, обеспечивают выбор позиции барабана.

Вращение магазина (см. рис. 3.107, *в*) осуществляется группой $Vc(B_7)$. Внешняя связь группы:

$M8 \rightarrow 1/34 \rightarrow \text{винт-вал XXXVII} \rightarrow 51/34 \rightarrow 2/30 \rightarrow 50/165 \rightarrow \text{вал XL},$
на котором расположен магазин (B_7).

Магазин за один оборот винта-вала поворачивается на один шаг, т.е. на $1/30$ оборота.

При получении команды на поиск инструмента начинает вращаться червячное колесо $z = 24$ с внутренней резьбой. При этом винт-вал XXXVII перемещается вдоль своей оси влево или вправо в зависимости от направления вращения до тех пор, пока фиксатор I не выйдет из продольного паза кулачка $K1$. В этот момент торцовые выступы на червячном колесе входят в зацепление с выступами на кулачке $K1$ или диске 2 и винт-вал и соответственно магазин начинают вращаться. При вращении магазина бесконтактные выключатели посылают сигналы в систему ЧПУ. При совпадении полученного сигнала с заданным по программе система ЧПУ дает команду на реверс электродвигателя. В этом положении нужное гнездо магазина перебегаёт позицию загрузки-выгрузки. Винт-вал поворачивается в противоположную сторону до западания фиксатора I в паз кулачка $K1$. При этом винт-вал начнет перемещаться в осевом направлении до тех пор, пока не сработает микропереключатель, дающий команду на остановку электродвигателя.

Автооператор (рука) выполняет движения: поворот, осевое перемещение и опрокидывание. Эти движения выполняются группой $Vc(B_8)$, внешняя связь которой имеет вид:

$M9 \rightarrow 1/60 \rightarrow 20/30 \rightarrow 30/157 \rightarrow \text{вал XLIV с кулачками K2, K3, K4}.$

На каждом кулачке дискового типа имеются замкнутые кривые, определяющие перемещение руки. От кулачка $K2$ с помощью толкателя через вал-рейку XLV , реечное колесо 28 и зубчатую передачу $59/36$ рука поворачивается вокруг центральной оси LII .

От кулачка $K3$ через рейку и реечное колесо 27 , вал $XLVII$, зубчатую передачу $67/46$ получает вращение полый вал L , который посредством реечного колеса 46 перемещает рейку и соответственно руку с инструментом вдоль их оси. Кулачок $K4$ с помощью толкателя, рейки и реечного колеса 27 через вал $XLVIII$ и зубчатую передачу $31/58$ осуществляет поворот автооператора на 90° .

3.12. Промышленные роботы

Автоматизация вспомогательных операций смены заготовок и деталей на станках с ЧПУ создает предпосылки для внедрения «безлюдной» технологии в механообрабатывающем производстве, а также повышает его эффективность за счет сокращения простоев станков между отдельными рабочими циклами. Из-за многообразия компоновочных схем станков и способов их загрузки, а также типов изготавливаемых деталей конструкции устройств для автоматической смены заготовок могут быть различными. В автоматизированных станочных системах данные устройства, как правило, включают в состав гибкого производственного модуля для соединения его с транспортными и накопительными устройствами. При этом выбор конструкции загрузочного устройства к станку зависит от принятой схемы транспортно-накопительной системы. В то же время загрузочные устройства целесообразно механически отделить от станка. Конструктивная автономность устройств автоматической смены заготовок создает возможность их проектирования в виде достаточно универсальных манипуляционных механизмов, имеющих собственные приводы и средства электро-, гидро- или пневмоавтоматики. Первые механизмы такого типа были созданы в 60-е годы прошлого столетия. Так в статье, опубликованной в одном из машиностроительных журналов, посвященной появлению на заводах США манипуляционных механизмов первого поколения, сообщалось, что в американской металлообрабатывающей промышленности появился новый тип производственного рабочего. Он не состоит в профсоюзе, не пьет кофе в обеденный перерыв, работает 24 ч в сутки и не интересуется пособиями или пенсионной оплатой. Он осваивает новую работу за несколько минут и всегда выполняет ее хорошо. Он никогда не жалуется на жару, пыль и запахи и никогда не получает увечий на работе. Он – промышленный робот (ПР).

Три составные элемента ПР собраны в единое целое (рис. 3.110) –

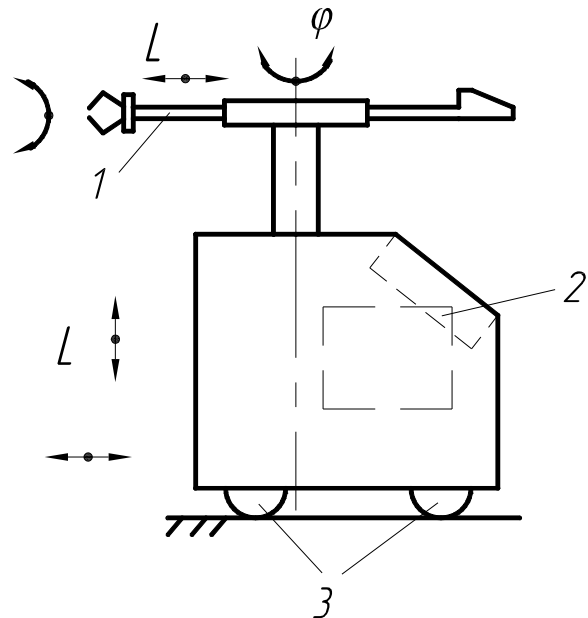


Рис. 3.110. Классическая структура промышленного робота

работающая рука 1, передвигающиеся «ноги» 3 и анализирующий действия искусственный интеллект (память) 2.

На металлообрабатывающих предприятиях ПР выполняют формообразующую, т.е. основную производственную функцию технологической машины, например, роботы-сварщики, роботы-сборщики; транспортную функцию роботы-манипуляторы, транспортирующие заготовки, устанавливающие и снимающие их со станков; контрольную функцию роботы-контролеры.

Таким образом, ПР – это автономно работающая машина-автомат, предназначенная для воспроизведения некоторых двигательных и умственных функций человека при выполнении вспомогательных и основных производственных операций без непосредственного участия человека и наделенная для этого некоторыми его способностями (слухом, зрением, осязанием, памятью и т.п.), а также способностью к самообучению и адаптации к внешней среде.

3.12.1. Поколения промышленных роботов

Все многообразие устройств, относящихся к ПР можно разделить на три поколения (типа).

ПР 1-го поколения – роботы с обучением. Этот тип роботов обладает способностью запоминать программу по выполнению разнообразных операций, обладает автономными свойствами и имеет ограниченные возможности по восприятию рабочей среды. Движения осуществляются по жесткой программе.

ПР 2-го поколения (адаптивные роботы) – оснащены датчиками обратной связи, воспринимающие информацию от окружающей среды. Такие роботы имеют основную программу и подпрограммы, которые выбираются в зависимости от информации, полученной от внешней среды. Следовательно, эти роботы, имеющие ЭВМ или обслуживаемые ЭВМ, обладают «зрением» и «осязанием» и способны ориентироваться в окружающей обстановке.

ПР 3-го поколения (интеллектуальные роботы) наделены искусственным интеллектом. Для их работы достаточно задать конечную цель работы, т.е. алгоритм поиска. Такие роботы могут воспринимать и логически оценивать окружающую обстановку и определять движения, необходимые для достижения заданной цели работы. Для управления интеллектуальными роботами требуются средства вычислительной техники.

ПР 1-го типа с цикловыми и числовыми системами программного управления применяют для автоматизации загрузки-выгрузки обрабатываемых деталей, а также для выполнения транспортных и вспомогательных операций на металлорежущих станках с программным управлением. Обычно эти ПР называют роботами-манипуляторами (РМ). Они могут быть как автономными машинами-автоматами (рис. 3.110), так и встроенными в станок или другую технологическую машину.

Технологические возможности и конструкцию ПР определяют несколько основных параметров, включаемых в их техническую характеристику: грузоподъемность, число степеней подвижности, рабочая зона, мобильность, быстродействие, погрешность позиционирования, типы управления и привода.

Грузоподъемность ПР определяется наибольшей массой изделия, например, детали, инструмента или приспособления, которым он может манипулировать в пределах рабочей зоны. В основном в типоразмерный ряд ПР, предназначенных для машиностроительного производства, входят модели грузоподъемностью от 5 до 500 кг.

Число степеней подвижности ПР определяется общим числом поступательных и вращательных движений манипулятора, без учета движений зажима-разжима его схвата. Большинство ПР в машиностроении имеет до пяти степеней подвижности.

Рабочая зона ПР определяет пространство, в котором может перемещаться схват (кисть руки) манипулятора. Обычно она характеризуется наибольшими перемещениями захватного устройства вдоль и вокруг каждой оси координат.

Мобильность ПР определяется его способностью совершать разные по характеру движения: перестановочные (транспортные) перемещения между рабочими позициями, находящимися на расстоянии, большем, чем размеры рабочей зоны манипулятора; установочные перемещения в пределах рабочей зоны, определяемой конструкцией и размерами манипулятора; ориентирующие перемещения схвата, определяемые конструкцией и размерами кисти – конечного звена манипулятора. ПР могут быть стационарными, не имеющими перестановочных перемещений, и передвижными, обеспечивающими все виды движений.

Быстродействие ПР определяется наибольшими линейными и угловыми скоростями перемещений конечного звена манипулятора. Большинство ПР, применяемых в машиностроении, имеет линейные скорости манипулятора от 0,5 до 1,2 м/с, а угловые – от 90 до 180 °/с.

Погрешность позиционирования манипулятора характеризуется средним значением отклонений центра схвата от заданного положения и зоной рассеяния данных отклонений при многократном повторении цикла установочных перемещений. Наибольшее число ПР, применяемых в машиностроении, имеет погрешность позиционирования от $\pm 0,05$ до $\pm 1,0$ мм. Устройства программного управления ПР могут быть цикловыми (индекс Ц), числовыми позиционными (индекс П), контурными (индекс К) или контурно-позиционными (индекс С). Приводы исполнительных органов ПР могут быть электрическими, гидравлическими, пневматическими или комбинированными, например, электрогидравлическими, пневмогидравлическими.

Рассмотрим ПР первого типа, т.е. робот-манипулятор модели 3388-Ш. Этот робот (рис. 3.111) предназначен для выполнения погрузо-разгрузочных и других вспомогательных операций в металлообработке. Робот стационарного типа имеет четыре степени подвижности: перемещение z манипулятора вдоль оси Z (подъем и опускание); выдвижение x механической руки вдоль оси X (вперед и назад), поворот манипулятора относительно оси Z (движение C); поворот кисти с захватным устройством относительно оси X (движение A). Все перемещения осуществляются от пневмо- и гидроприводов. Величины наибольших перемещений по каждой из степеней подвижности, характеризующие рабочую зону манипулятора, также показаны на рис. 3.111. Линейные перемещения выполняются со скоростью $0,7 - 1$ м/с, а угловые – со скоростью $90^\circ/\text{с}$.

Конструктивно рассматриваемый ПР состоит из нескольких сборочных единиц, смонтированных на основании 1 в виде жесткой сварной рамы, закрытой кожухами. На раме установлен подъемно-поворотный механизм 2 манипулятора, который может быть оснащен одной или двумя сменными механическими руками 3 . Руки можно устанавливать относительно друг друга под углом $30 - 60^\circ$ при наладке манипулятора. Грузоподъемность каждой руки 10 кг. Пневмогидравлические приводы подъема-опускания и поворота манипулятора размещены в основании ПР. Для выдвижения руки используется пневмоцилиндр 4 , размещенный внутри корпуса. На базирующий фланец руки крепится кисть 5 с захватными устройствами 6 различного типа. Привод схвата осуществляется пневмоцилиндром, установленным в корпусе кисти. Движение поворота кисти со схватом осуществляется пневмоцилиндрами 7 и передачей типа рейка – шестерня, установленными на фланце с задней стороны руки.

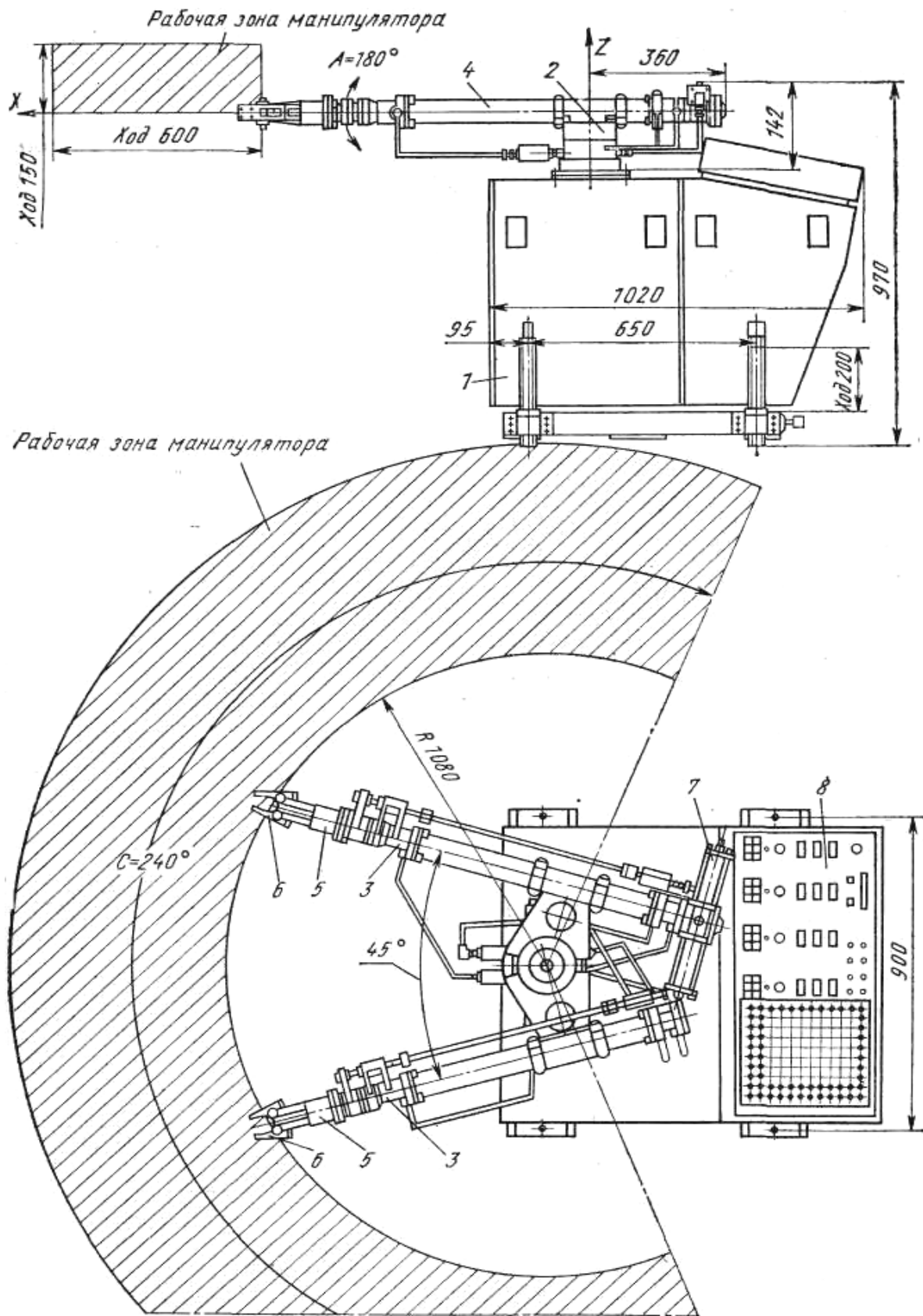


Рис. 3.111. Универсальный промышленный робот первого поколения

Устройство циклового программного управления роботом размещено во внутренней полости основания. Пульт 8 оператора смонтирован на наклонной крышке основания, за пределами рабочей зоны манипулятора.

Применение РМ наиболее эффективно в робототехнических комплексах, гибких производственных модулях, на автоматизированных участках из станков с ЧПУ, в гибких производственных системах. Робот 1 можно поставить для обслуживания одного станка 2 (рис. 3.112, а), нескольких станков 2 (рис. 3.112, б). Робот может перемещаться вдоль фронта станков (рис. 3.112, в). Робот перемещает заготовки из накопителя (магазина) 3 к станкам и между станками. Во всех случаях – это автоматизированный участок, на котором автоматизированы все основные и вспомогательные операции. При обеспечении таких участков системами транспортировки и складирования заготовок с общей диспетчеризацией управления на базе ЭВМ воспроизводится гибкая производственная система.

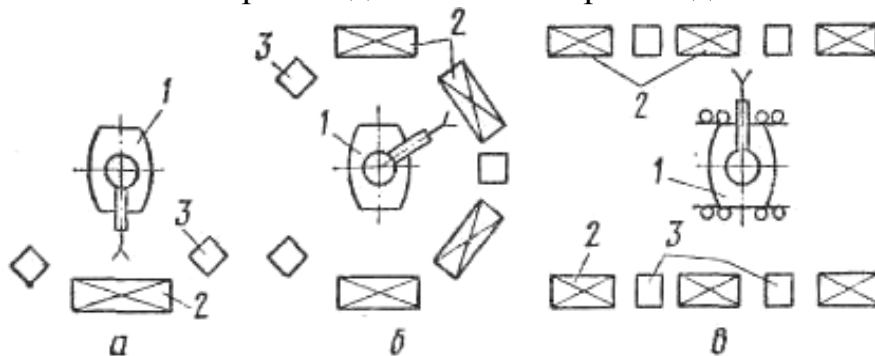


Рис. 3.112. Возможные компоновки робототехнических комплексов

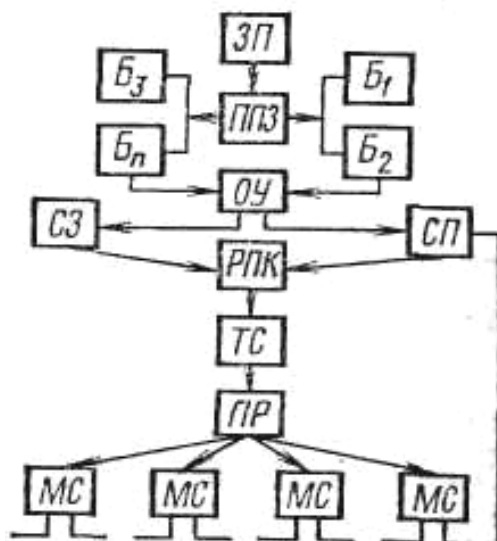


Рис. 3.113. Блок-схема автоматизированного участка с использованием ПР

На рис. 3.113 приведена структурная схема комплексной системы с применением промышленного робота. Заготовки из заготовительного производства *ЗП* поступают в пункт приема заготовок *ППЗ*, состоящий из ряда бункеров ($B_1 \dots B_n$). Опознающее устройство *ОУ* позволяет установить номер группы и подгруппы заготовок. Далее детали поступают на склад заготовок *СЗ* или на склад полуфабрикатов *СП*. По сигналу от станка или диспетчера робот – перекладчик-кантователь *РПК* берет со склада нужную деталь и устанавливает ее на спутник транспортной системы *ТС*.

Спутник с деталью движется до тех пор, пока не остановится на позиции, определяемой программой. Промышленный робот (*ПР*) переносит деталь на многооперационный станок *МС* и устанавливает ее в патрон, начинается обработка. Обработанную ранее деталь робот-манипулятор снимает и устанавливает на тот же спутник. Если деталь не обработана полностью за одну установку, она поступает вновь в *СП*, а оттуда на другой станок.

В зависимости от характера производства, вида выполняемых операций или типа основного оборудования, обслуживаемого в автоматическом цикле, ПР могут быть разной степени универсальности, которая определяется их функциональными возможностями и переналаживаемостью. В соответствии с этими признаками ПР разделяют на специальные, специализированные (целевые) и универсальные (многоцелевые).

Специальные ПР предназначены для выполнения определенных технологических операций или обслуживания конкретных моделей технологического оборудования. Для этих роботов характерно конструктивное единство с основным или вспомогательным оборудованием. Входящим в состав гибкого производственного, например, обрабатывающего модуля. Управление циклом работы манипулятора осуществляется от устройства ЧПУ технологическим модулем.

Специализированные (целевые) ПР предназначены для выполнения технологических операций одного вида (например, сборки, сварки, окрашивания) или только вспомогательных переходов, требующих одинаковых манипуляционных действий.

Универсальные ПР предназначены для выполнения технологических операций различных видов. Они могут быть использованы как для основных технологических операций, так и для выполнения различных вспомогательных функций при обслуживании оборудования различного технологического назначения, требующих различных манипуляционных движений. Для таких роботов характерна полная конструктивная независимость от основного технологического оборудования, с которым они совместно работают, а также большое число степеней подвижности (5 – 7), обеспечивающие их широкие функциональные возможности.

3.12.2. Роботизированные технологические комплексы

При обработке деталей на станках ПР используют главным образом для автоматизации вспомогательных процессов, связанных с обеспечением потоков заготовок и инструментов.

На рис. 3.114 приведена схема гибкого производственного модуля, состоящего из токарного станка 1, обслуживающего его универсального ПР 2 и транспортно-накопительного устройства 3 для заготовок и обработанных деталей. Рабочая зона ПР охватывает загрузочные и разгрузочные позиции транспортера-накопителя, зону обработки на станке, примыкающую к шпинделю, контрольно-измерительную позицию специального автоматического устройства 4.

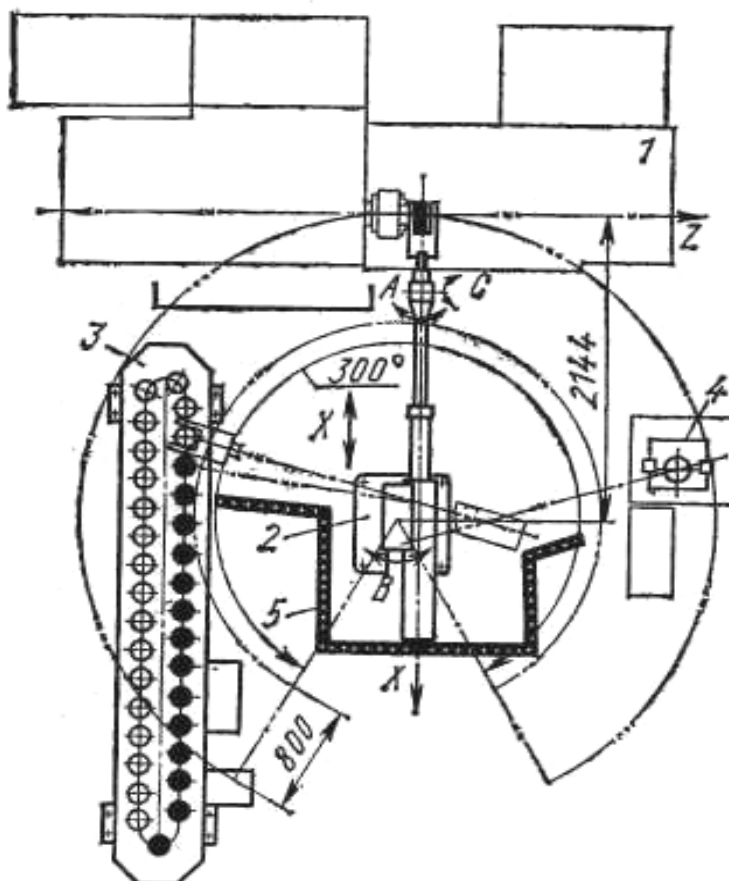


Рис. 3.114. Гибкий производственный модуль для токарной обработки:

● — заготовка; ○ — деталь

Автоматический манипулятор имеет пять степеней подвижности: осевое перемещение по оси X руки на длине 800 мм; вертикальное перемещение по оси Y руки относительно стойки (перпендикулярно плоскости чертежа); поворот B руки на угол 300° в горизонтальной плоскости; поворот A кисти руки на угол 180° относительно продольной оси руки; поворот (качание) C кисти в вертикальной плоскости. Захватное устройство должно, кроме того, выполнять движения зажима-разжима заготовки или детали. Рабочая зона робота имеет ограждение 5, обеспечивающее безопасность для обслуживающих данный модуль рабочих и наладчиков.

Микропроцессорное устройство ЧПУ централизованно управляет всем оборудованием модуля во время автоматического цикла работы.

В составе гибкого производственного модуля ПР обслуживает, как правило, три позиции: загрузочную позицию накопителя заготовок, рабочую позицию станка и разгрузочную позицию транспортера или накопителя. Фактическая производительность модуля определяется коэффициентом использования станка κ_c , который зависит от длительности T_p его обслуживания роботом, отнесенной к общей продолжительности T_o обработки детали на станке: $\kappa_c = 1 - T_p/T_o$.

Рассмотрим диаграмму цикла T_p обслуживания манипулятором токарного станка в производственном модуле (рис. 3.115). Начало этого цикла отнесено к моменту остановки шпинделя, когда формируется команда на выполнение манипуляционных действий. Окончание периода обслуживания совпадает с выходом захватного устройства манипулятора из рабочей зоны станка и включением цикла T_m .

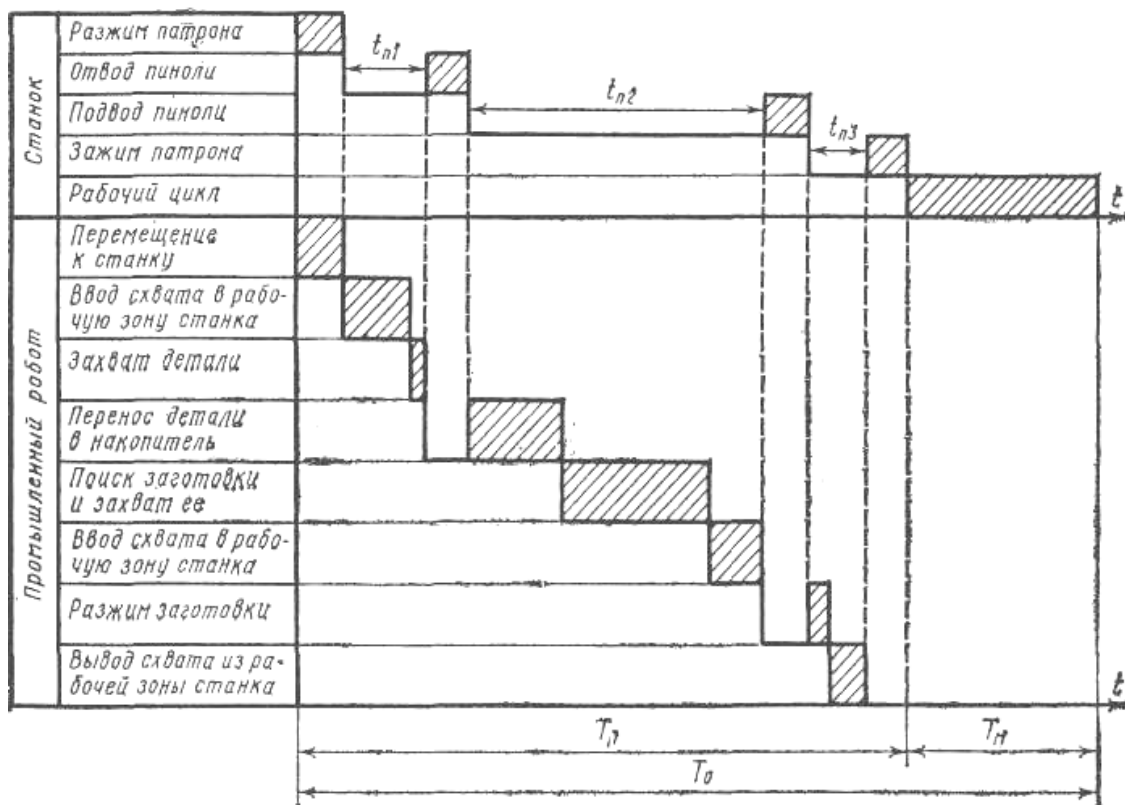


Рис. 3.115. Циклограмма обслуживания токарного станка промышленным роботом

Общее время простоя станка (заштрихованные участки)

$$T_n = \sum_i t_{ni} \quad (i = 1, 2, 3)$$

в основном определяется временем манипулирования заготовкой и деталью. Для сокращения этого времени необходимо либо увеличить скорости

движения манипулятора и уменьшить общую длину перемещений его рабочего органа, либо совместить время манипулирования с рабочим циклом станка, создав рациональную компоновочную схему гибкого производственного модуля.

Гибкая производственная система для обработки деталей типа тел вращения (рис. 3.116) состоит из двух токарных станков с ЧПУ и обслуживающего их ПР портального типа. Каретка 2 с установленной на ней механической рукой 3 перемещается по направляющим портала 1, смонтированного на колоннах 4. Рука 5 манипулятора двухзвенная и состоит из плечевого и локтевого рычажно-шарнирных механизмов. На базирующем фланце конечного звена руки установлен механизм кисти 6 с захватным устройством 7. Манипулятор имеет четыре степени подвижности: перемещение каретки по оси X , поворот A руки в плечевом шарнире, поворот D руки в локтевом шарнире, поворот C кисти вокруг своей оси на угол 90 или 180° . Кроме того для зажима и разжима деталей предусмотрено движение W губок схвата.

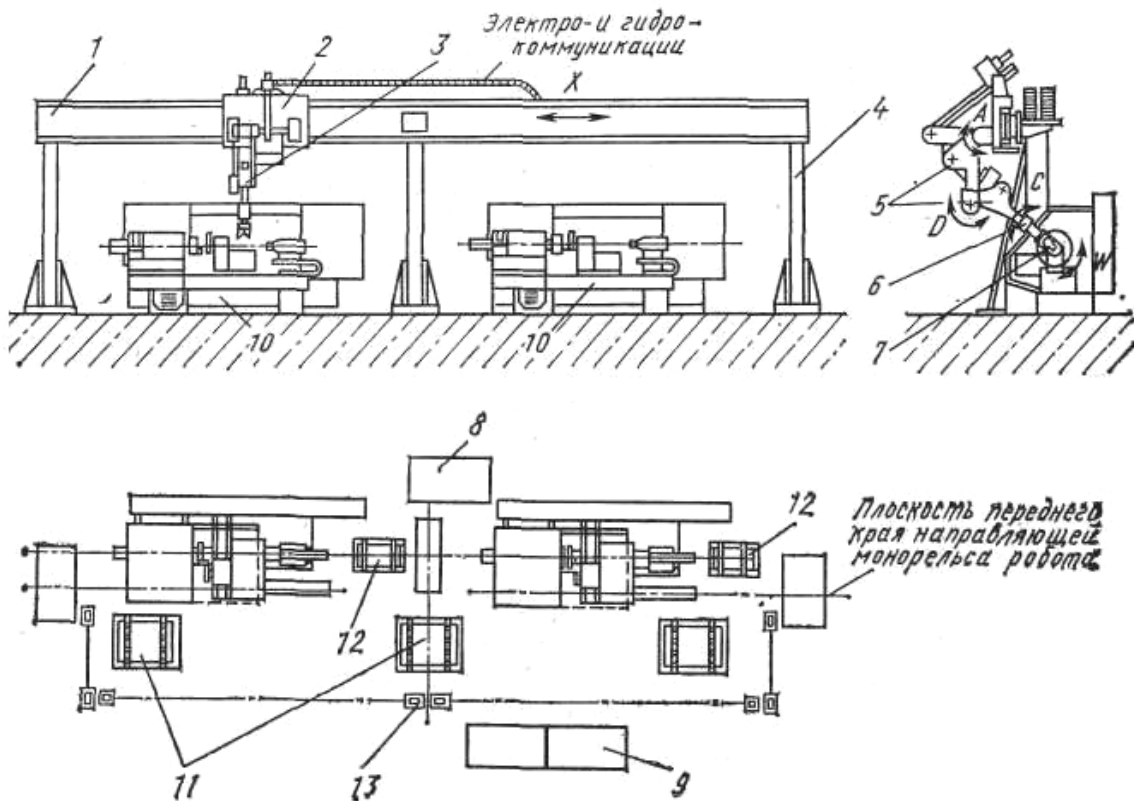


Рис. 3.116. Гибкая производственная система для обработки деталей типа тел вращения

Управление приводами перемещений X , A , D осуществляется в режиме позиционирования от устройства 9 числового управления, а перемещений C , W – с помощью цикловой автоматики. Приводы манипулятора – гид-

равлические с автономным питанием от гидростанции 8. Конструкция манипулятора позволяет установить на его кисти дополнительные механизмы и устройства для контроля правильности базирования заготовки в центрах или патроне станка, измерения обрабатываемого диаметра заготовки и для очистки базирующих поверхностей от стружки путем обдува их сжатым воздухом.

В состав гибкой производственной системы помимо основного оборудования (станков 10 и обслуживающего их ПР) входят вспомогательные накопительные устройства 11 и 12 для установки в них в ориентированном положении заготовок и обработанных деталей, находящихся также в рабочей зоне манипулятора. Рабочая зона манипулятора имеет ограждение 13.

Гибкая производственная система по рис. 3.116 выполнена по схеме с линейной компоновкой. Возможна также круговая компоновка технологического оборудования, по которой станки располагают по дуге окружности, а в центре окружности размещают ПР. Круговые компоновки целесообразно использовать для небольшого числа технологических позиций (до пяти-шести) и при малых размерах рабочей зоны обслуживающего их ПР стационарного типа. При установке большого числа станков, а также для увеличения зоны обслуживания целесообразно использовать линейные компоновочные схемы и ПР передвижного типа.

Проектирование гибких производственных систем, в которых несколько ПР обслуживают большое число станков, транспортно-накопительных и других вспомогательных устройств, образующих участки или линии, требует нахождения оптимального режима работы всей системы. При этом выборе ПР для обслуживания такой системы должен предшествовать анализ геометрических характеристик и массы изготавливаемых деталей, а также основных параметров станков, на которых обработка соответствующих заготовок наиболее эффективна.

3.13. Агрегатные станки

К агрегатным относят многоинструментальные специальные станки, проектируемые из стандартных и нормализованных узлов. Они предназначены для обработки сложных, как правило, корпусных деталей в серийном, крупносерийном и массовом производстве. На этих станках выполняют сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, фрезерование и нарезания резьбы.

Достоинства агрегатных станков:

- более высокая производительность по сравнению с универсальными станками, обусловленная многоинструментальной обработкой;
- относительная простота изготовления вследствие унификации узлов и деталей;
- сокращение сроков проектирования и изготовления;
- возможность обслуживания станков рабочими относительно невысокой квалификации.

Наибольшее распространение получили агрегатные станки сверлильно-расточной и фрезерной групп. Компоновка этих станков весьма разнообразна. Она зависит от формы, размеров и точности обрабатываемых деталей, расположения на них обрабатываемых поверхностей и принятого технологического процесса.

3.13.1. Типовые унифицированные компоновки

В зависимости от обрабатываемой детали агрегатные станки компонуют по различным схемам: односторонними и многосторонними, одношпindelными и многшпindelными, однопозиционными и многопозиционными в вертикальном, наклонном, горизонтальном и комбинированном исполнениях. На рис. 3.117 показаны схемы некоторых компоновок: односторонняя однопозиционная (3.117, а), наклонная односторонняя однопозиционная (3.117, б), однопозиционная смешанная (3.117, в), вертикальная односторонняя многопозиционная (3.117, г).

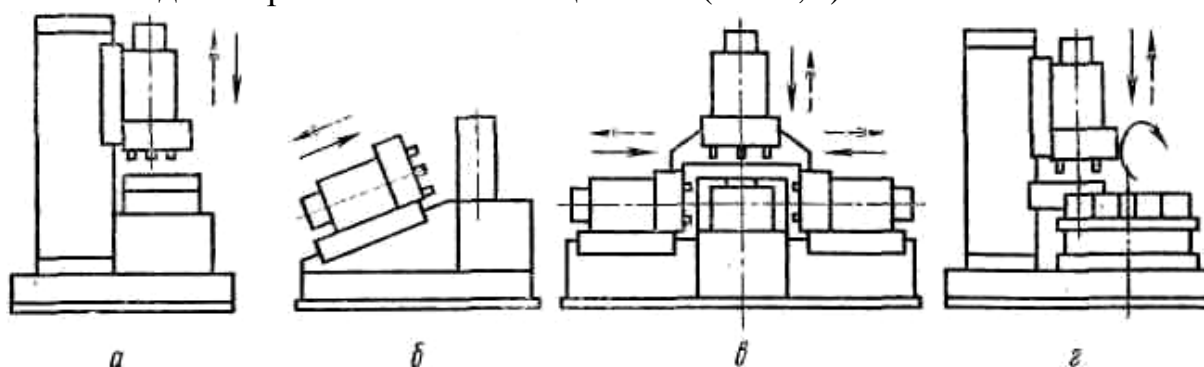


Рис. 3.117. Примеры компоновки агрегатных станков

Значительное распространение получили агрегатные станки с многопозиционными поворотными столами и поворотными барабанами для параллельно-последовательной обработки одновременно нескольких деталей. На таких станках вспомогательное время сокращено до минимума, так как установка и снятие деталей на загрузочной позиции совмещено с обработкой на других позициях.

Унификация узлов в типовых компоновках составляет до 90 %. Рассмотрим в качестве примера типовые унифицированные узлы вертикального агрегатного станка (рис. 3.118). Унифицированы базовые детали (станина 1, стойка 9, боковая станина 20, угольник 11), силовые узлы (стол 8, а в станках других типов головки), шпиндельные узлы (шпиндельная коробка 14, расточная бабка 19, сверлильная бабка 10), узлы транспортировки (поворотный делительный стол 3, двухпозиционный делительный стол прямолинейного перемещения 18), узлы главного движения (коробка скоростей 17 с зубчатыми колесами или в других станках с ременным приводом), гидрооборудование (гидробак 4, насосная установка 5, гидропанель 6), электрооборудование (центральный и наладочный пульты 2, электрошкаф силовых узлов 16, электрошкаф 7 станка), вспомогательные узлы (удлинитель 15, резьбовой копир 13, расточная пиноль 12). Специальные узлы, например, приспособление для крепления деталей имеют отдельные нормализованные элементы.

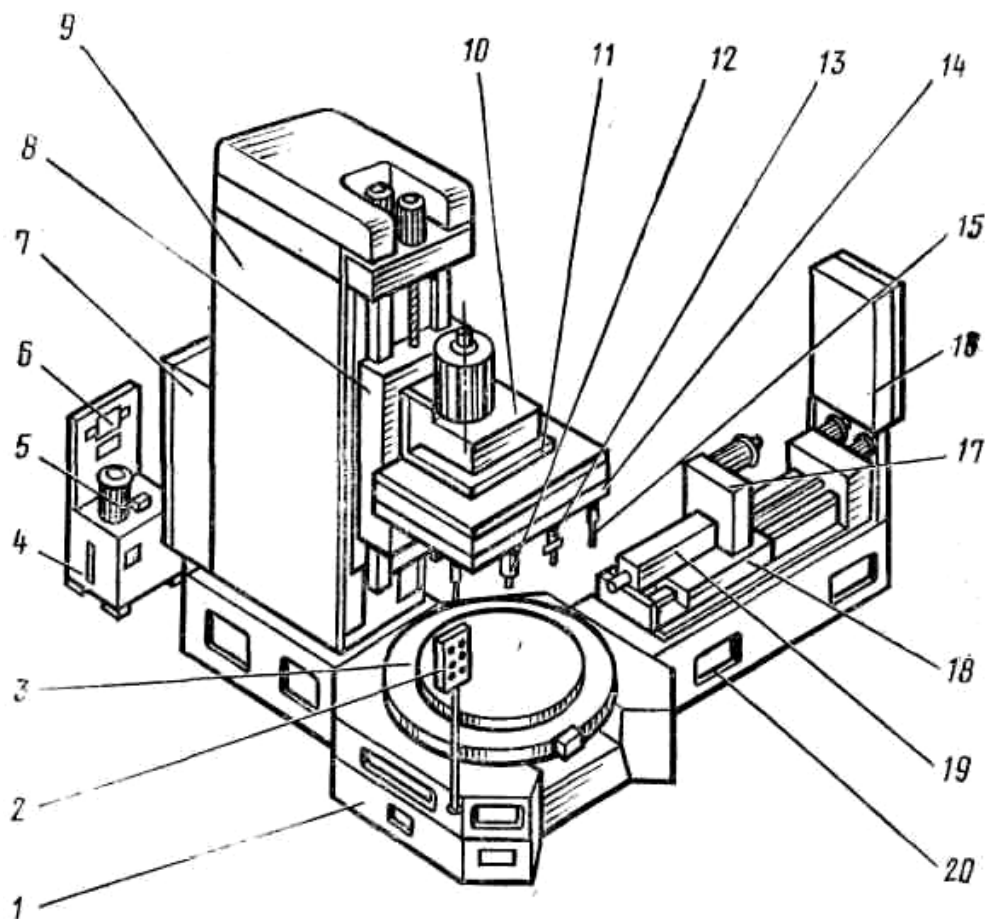


Рис. 3.118. Унифицированные узлы агрегатных станков

3.13.2. Силовые узлы

Силовые узлы предназначены для сообщения режущим инструментам движения резания (главного движения) и движения подачи (силовые головки) или движения подачи (силовые столы).

Силовые головки, как правило, работают в полуавтоматических циклах, например:

быстрый подвод – рабочая подача – быстрый отвод – стоп.

Иногда для получения более точных размеров по глубине перед быстрым отводом осуществляют выдержку на жестком упоре.

Силовые головки по типу привода подачи делятся на электромеханические (кулачковые и винтовые) и гидравлические. По конструктивному признаку различают головки с выдвигной пинолью и подвижным корпусом. Силовые головки, у которых привод подачи расположен в этом же агрегате, называют самодействующими. В несамодействующих головках часть механизмов привода подачи (насос, панель управления) вынесены за пределы головки.

Механическая пинольная самодействующая силовая головка (рис. 3.119) обычно используется для обработки отверстий различными инструментами. Конструктивно такая головка выполнена в виде кинематических групп скорости резания $\Phi_v(B_1)$ и подачи $\Phi_s(P_2)$, объединенных общим электродвигателем и общим корпусом. Группа $\Phi_v(B_1)$. Ее внутренняя связь

подшипниковые опоры пиноли 6 → шпиндель 7 (B_1).

Внешняя связь:

$M1$ → редуктор 2 → вал 3 → шлицевое соединение вал 3 – шпиндель 7 (B_1).

Группа подачи $\Phi_s(P_2)$. Ее внутренняя связь:

корпус головки → пиноль 6 (P_2).

Внешняя связь:

$M1$ → редуктор 2 → вал 3 → червячная передача 10 → гитара сменных колес 4 (орган настройки i_s) → внешнее зубчатое зацепление выходной вал гитары 4 – кулачок 8 (ТВ) → пиноль 6 (P_2).

Для предотвращения поломок инструмента при резком возрастании нагрузки в цепи подачи предусмотрена предохранительная муфта 9.

Группа настраивается на скорость – двухколесной гитарой 4, на путь и исходное положение кулачком 8. Конечные выключатели 5 дают команды на торможение и выключение электродвигателя при возвращении пиноли в исходное положение.

Во время работы корпус головки неподвижен. При наладке станка его можно перемещать вручную вдоль салазок посредством передачи винт-гайка (на схеме не показаны).

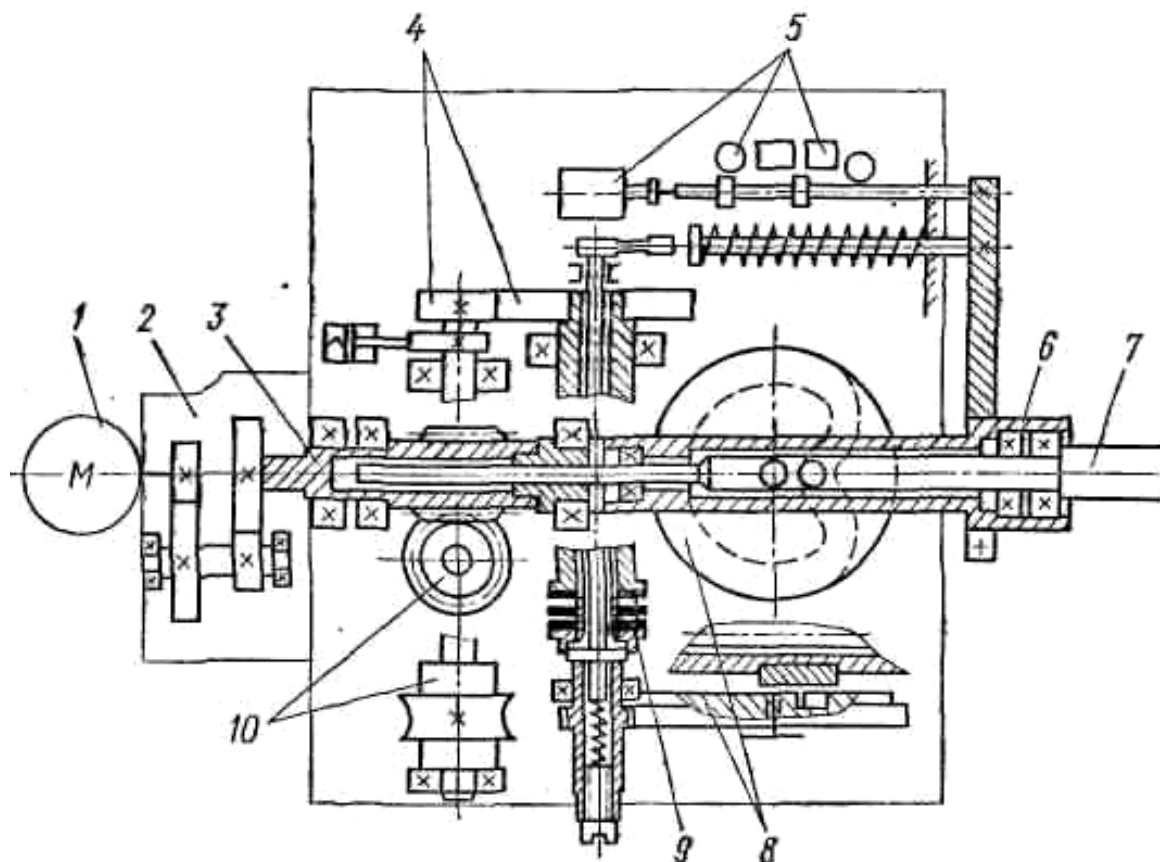


Рис. 3.119. Схема механической самодействующей силовой головки

Гидравлическая несамодействующая силовая головка (рис. 3.120) выполнена по схеме с подвижным корпусом. А часть механизмов гидропривода ее группы подачи, включающая резервуар для масла, насос с электродвигателем и гидروпанель расположены отдельно.

Группа скорости резания $\Phi_v(B_1)$ головки. Ее внутренняя связь:

подшипниковые опоры корпуса 5 → вал (шпиндель) 4.

Внешняя связь:

$M1 \rightarrow z_2/z_3 \rightarrow \text{вал (шпиндель) 4.}$

На передний конец вала 4 устанавливается зубчатое колесо, зацепляемое с первым зубчатым колесом шпиндельной коробки, устанавливаемой на фланце корпуса 5 головки. Примеры шпиндельных сверлильных коробок приведены при рассмотрении сверлильных станков в п. 3.2.1, рис. 3.16.

Группа подачи $\Phi_s(P_2)$. Ее внутренняя связь:

направляющие плиты 6 → корпус головки 5 (P_2).

Внешняя связь:

*насосная установка → гидрпанель → трубопроводы →
→ гидроцилиндр 7 → корпус 5 головки (П₂).*

Группа настраивается на скорость – регулируемые дросселями гидрпанели, на путь и исходное положение – упорами системы путевого управления при задании цикла работы.

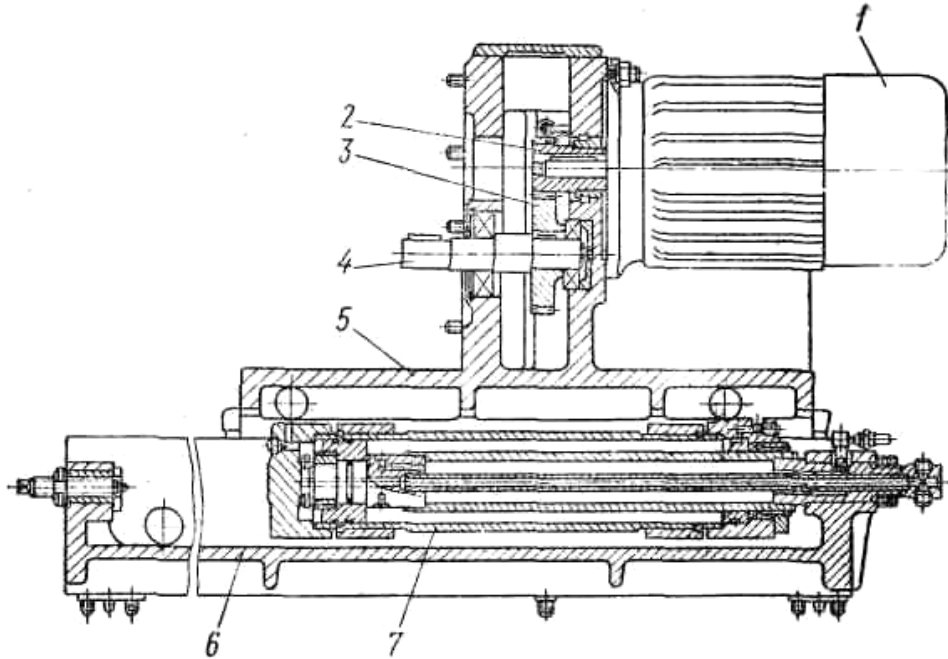


Рис. 3.120. Схема гидравлической несамодействующей силовой головки

Силовые столы предназначены для установки узлов с самостоятельным приводом вращения (фрезерных, расточных и др. бабок) с целью осуществления рабочих циклов прямолинейных подач. В структуре агрегатного станка такой стол выполняет функцию группы подач $\Phi_s(П)$ с отдельным электрическим или гидравлическим двигателем подач. На рис. 3.121 показана схема силового стола с электромеханическим приводом.

Внутренняя связь:

направляющие основания агрегата → стол 2, несущий плиту 1 (П).

Внешних связей две:

Первая внешняя связь, обеспечивающая рабочую подачу, имеет вид:
 $M1 \rightarrow z_{14}/x_{13} \rightarrow z_1/z_{12} \rightarrow (i_s = z_2/z_3) \rightarrow \text{предохранительная муфта } M_2 \rightarrow$
 $\rightarrow z_{11}/z_{10} \rightarrow x_9/z_8 \text{ (муфта } M_1 \text{ включена)} \rightarrow z_5/z_4 \rightarrow z_6/z_7 \rightarrow$
 $\rightarrow ТВ \text{ (передача винт-гайка)} \rightarrow \text{стол 2 (П)}.$

Вторая внешняя связь, обеспечивающая позиционирование (быстрый подвод и отвод) стола 2 имеет вид:

$M2 \rightarrow z_5/z_4 \text{ (муфта } M_1 \text{ выключена)} \rightarrow z_6/z_7 \rightarrow$
 $\rightarrow ТВ \text{ (передача винт-гайка)} \rightarrow \text{стол 2 (П)}.$

На скорость (рабочую подачу) группа настраивается гитарой i_s . При необходимости получения двух рабочих подач в цикле устанавливают двухскоростной электродвигатель $M1$.

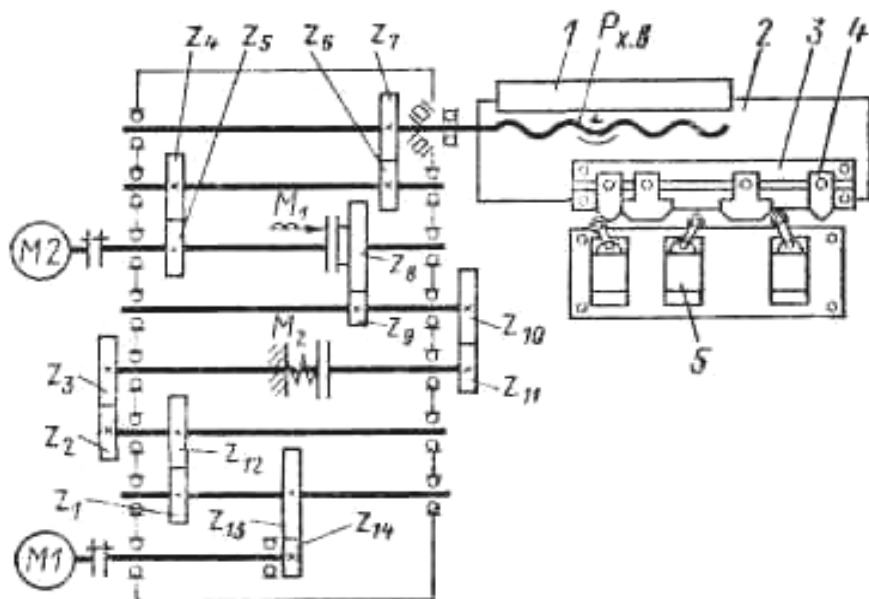


Рис. 3.121. Кинематическая схема силового стола

Управление циклом работы стола осуществляется посредством передвижных упоров 4, закрепленных на линейке 3 и действующих на конечные выключатели 5 системы управления.

3.13.3. Гидропанели

Гидропанели применяют для управления циклом работы силовой головки. В гидропанели сконпонованы все приборы и аппараты, осуществляющие пуск, останов, изменение величины подачи, реверс и т.д. Гидропанели, как правило, унифицированы.

На рис. 3.122 показана гидросхема привода подачи силовой головки, включающая сдвоенный насос 1.1 – 1.2, гидропанель 24 и силовой цилиндр 23 с закрепленным штоком. Гидропанель обеспечивает быстрый подвод, две рабочие подачи (первую и вторую), выдержку на жестком упоре, быстрый отвод в исходное положение, остановку силовой головки. Для получения такого цикла гидрораспределитель 10 может занимать пять положений, фиксируемых подпружиненным фиксатором 9. Крайние положения гидрораспределитель 10 занимает при включении соленоидов 15 и 19. В этот момент масло от насоса 1.2 быстрого хода поступает в правую или левую полости плунжера 17, смещая его до упора. Тогда через речную передачу вверх или вниз смещается гидрораспределитель 10. Промежуточ-

ные положение гидрораспределителя зависят от положения ролика 8, упирающегося в упоры.

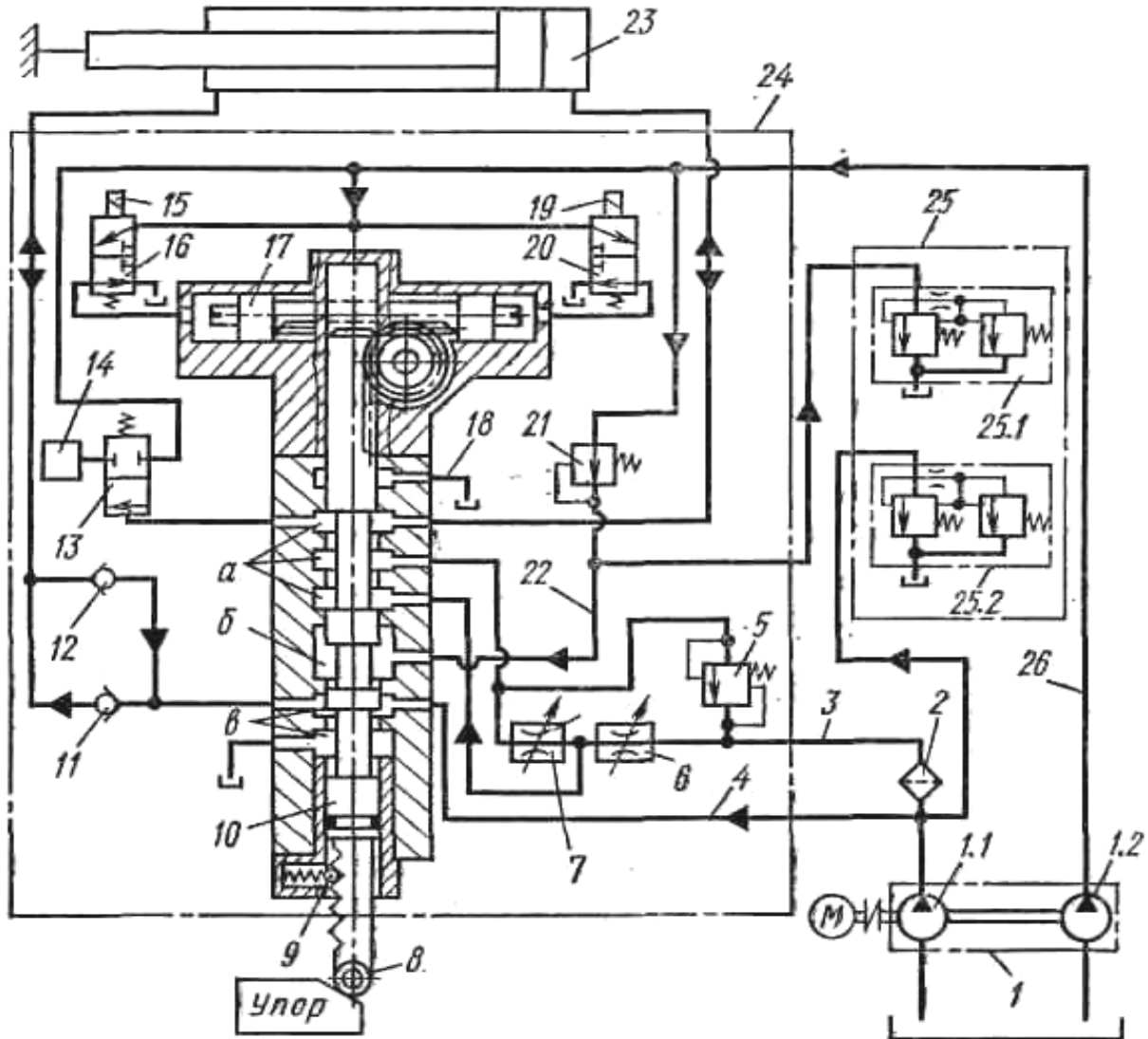


Рис. 3.122. Гидросхема группы подачи силовой головки

Для получения быстрого подвода включается соленоид 19. При этом положении гидрораспределителя полости *a* и *б* соединяются, а полость *в* изолируется. Масло поступает в полость *б* от насоса 1.1 по трубопроводу 4, а от насоса 1.2 рабочих подач через подпорный клапан 21 и трубопровод 22. Из полости *a*, соединенной с полостью *б*, масло поступает в правую полость цилиндра 23. Вытесняемое масло через обратный клапан 12 и гидрораспределитель 10 вновь поступает в правую полость цилиндра, способствуя тем самым увеличению подачи насоса.

Для получения первой рабочей подачи (положение показано на рис. 3.122) масло от насоса 1.1 через фильтр 2, трубопровод 3, дроссель 6, дозирующий клапан 5 и полость *a* поступает в правую полость цилинд-

ра 23. Вытесняемое масло сливается в бак через клапан 12 и полость *в*. Излишки масла сливаются через переливной клапан 25.2. Масло от насоса 1.2 сливается в бак; в схеме предусмотрен предохранительный клапан 25.1.

Для получения второй рабочей подачи (медленной) масло от насоса 1.1 поступает в цилиндр, пройдя два дросселя 6 и 7. При позиции «Останов» масло от насосов 1.1 и 1.2 по трубопроводам 22 и 4 сливается в бак.

При быстром отводе гидрораспределитель 10 занимает самую верхнюю позицию. Тогда масло от насосов 1.1 и 1.2 по трубопроводам 4 и 26 – 22 поступает в полость *б*, а оттуда через обратный клапан 11 – в левую полость цилиндра 23. Из правой полости масло через гидрораспределитель 10 и трубопровод 18 сливается в бак. Выдержка на жестком упоре становится возможной, когда торец цилиндра встречает при движении упорный винт. В этом случае давление масла в системе повышается и датчик 13 реле давления 14 дает команду на включение соленоида 15 и быстрый отвод головки.

Рассмотренная схема обеспечивает бесступенчатое регулирование подачи в пределах 7 – 800 мм/мин и ускоренный ход порядка 3 – 7,5 м/мин. Кроме этого, малое время холостых ходов обеспечивается достаточной точностью переключения с ускоренных ходов на рабочие подачи и наоборот. Причем выег составляет 0,18 – 0,47 мм. Большая жесткость, надежная защита от перегрузки, самосмазываемость деталей привода обеспечивают силовой головке высокие эксплуатационные качества.

К числу недостатков гидравлических силовых головок относится сложность гидропанелей в эксплуатации и ремонте, нестабильность подачи при резко изменяющихся силах резания. С помощью гидравлических силовых головок нельзя производить резьбонарезные операции.

3.13.4. Шпиндельные узлы

К шпиндельным узлам относятся шпиндельные коробки, сверлильные, расточные, фрезерные и револьверные бабки.

Шпиндельные коробки предназначены для размещения рабочих шпинделей и передачи движения от выходного вала силовой головки к шпинделям. Шпиндельные коробки используются для выполнения сверлильно-расточных операций. Имеются также модификации для нарезания резьбы в отверстиях.

Сверлильные, расточные, фрезерные бабки предназначены для обработки одним шпинделем. Револьверная бабка дает возможность вести обработку тремя инструментами, например сверлом, зенкером, разверткой.

Для сообщения инструменту движения подачи бабки устанавливают на силовых столах. Корпусы бабки имеют фланцы для установки привода вращения шпинделя.

3.14. Станки для электрофизической и электрохимической обработки

Открытие в 1943 г. электроэрозионного явления положило начало использованию физических явлений для обработки материалов плохо поддающихся традиционной обработке резанием. На технологическом оборудовании, использующем физические явления, выполняют сквозные отверстия с цилиндрическими стенками и произвольным контуром, узкие прямолинейные и криволинейные щели в деталях типа матриц, сложных штампов, прессформ, фасонного режущего инструмента, шаблонов, фильер и других деталей, имеющих, в том числе, малые размеры отверстий (до 0,05 мм).

Физическое явление при обработке материалов выполняет функцию режущего инструмента. Понятие о характеристическом образе (вспомогательном элементе) инструмента, сформулированное в разделе 2, полностью относится также и к используемым при обработке материалов физическим явлениям.

При обработке труднообрабатываемых материалов используются также комбинированные способы обработки, например, обработка резанием с наложением электростатического или электромагнитного поля и т.п.

3.14.1. Электроэрозионные станки

Электроэрозионная обработка основана на физическом явлении, заключающемся в направленном разрушении материала обрабатываемой детали под воздействием электрических разрядов. Сущность направленного разрушения состоит в следующем. При электрическом разряде сфокусированный поток электронов, двигаясь с большой скоростью от одного электрода к другому, создает на поверхности электродов ударные волны сжатия. Возникшее в металле механическое напряжение распространяется по всем направлениям, в том числе, и откуда пришла ударная волна. Достигнув первоначальной поверхности, она отражается от нее и меняет знак на обратный, вследствие чего на поверхности возникают растягивающие напряжения. В результате этого происходит выброс частиц металла в направлении, встречном ударной волне сжатия. Электрод постепенно погружается в заготовку, копируя в ней свою форму.

В зависимости от вида применяемых разрядов эрозионная обработка делится на три вида, получивших широкое распространение: электроискровая, электроимпульсная и комбинированная с использованием электроэрозионного явления.

Электроискровая обработка осуществляется при использовании искровых разрядов малой длительности (порядка нескольких сотых секунд), которые следуют с большой скважностью. Обрабатываемая деталь 1 (рис. 3.123) погружена в жидкую среду 2 (керосин, трансформаторное масло, смесь керосина и индустриального масла и т.п.). Инструмент 3 (медь М1, М2, медный сплав МЦ-1, алюминий и его сплавы) перемещается поступательно-возвратно. Электрический ток от специального генератора Γ подводится к детали-аноду и инструменту-катоду. Необходимый искровой зазор между деталью и инструментом поддерживается автоматическим регулятором AP . Форма разрушения детали зависит от формы торцевой части инструмента.

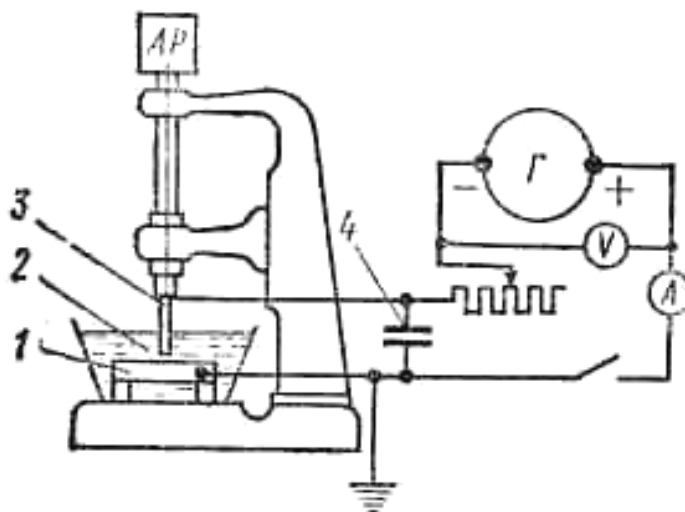


Рис. 3.123. Схема станка для электроискровой обработки

Электроискровая обработка характеризуется широким диапазоном режимов обработки – от черновой производительностью $1,5 - 10 \text{ мм}^3/\text{с}$ при $Rz = 160 - 40 \text{ мкм}$ до отделочной производительностью около $0,001 \text{ мм}^3/\text{с}$ при $Ra = 1,25 - 0,16 \text{ мкм}$. Особенность этого процесса – сравнительно низкая производительность, большой износ электродов, образование на обрабатываемой поверхности тонкого дефектного слоя толщиной $0,2 - 0,5 \text{ мм}$ на черновых и $0,02 - 0,05 \text{ мм}$ на чистовых режимах.

Область использования – обработка заготовок небольших размеров, изготовление твердосплавных матриц, отверстий малого диаметра.

Электроимпульсная обработка отличается от электроискровой тем, что обрабатываемая деталь является катодом, а инструмент – анодом. Импульсные разряды создают машинными и полупроводниковыми генераторами. Процесс осуществляется, как правило, на низких и средних частотах ($400 - 300 \text{ Гц}$) с низким напряжением ($25 - 30 \text{ В}$) и большой силой тока ($50 - 500 \text{ А}$). Длительность импульсов $0,5 - 1 \text{ мкс}$. Особенность процесса обработки – относи-

тельно небольшой износ электродов (например, для графита 0,1 – 0,5 %) и относительно высокая производительность, например, на черновых режимах $100 - 300 \text{ мм}^3/\text{с}$ при $Rz = 80 - 40 \text{ мкм}$.

Электроимпульсная обработка используется при обработке средних и крупных штампов, пресс-форм лопаток турбин, решеток и т.п. деталей из закаленных и труднообрабатываемых деталей.

Станки для электроискровой и электроимпульсной обработки образуют размерный ряд, в котором в качестве основного параметра принят размер стола. К этому ряду относятся электроэрозионные координатно-прошивочные координатные станки высокой точности, например, моделей 4Д722А, 4Е723А, 4726 и группа станков с ЧПУ для профильной вырезки перематываемой латунной проволокой, например, станок модели 4532Ф3.

Электроэрозионный вырезной станок с ЧПУ модели 4532Ф3. Предназначен для изготовления вырубных штампов холодной штамповки, фасонных фильер в матрицах, шаблонов и подобных деталей из токопроводящих материалов: легированных закаленных сталей, металлокерамических твердых сплавов и т.д. В качестве источника технологического тока в станке применен тиристорный генератор коротких импульсов.

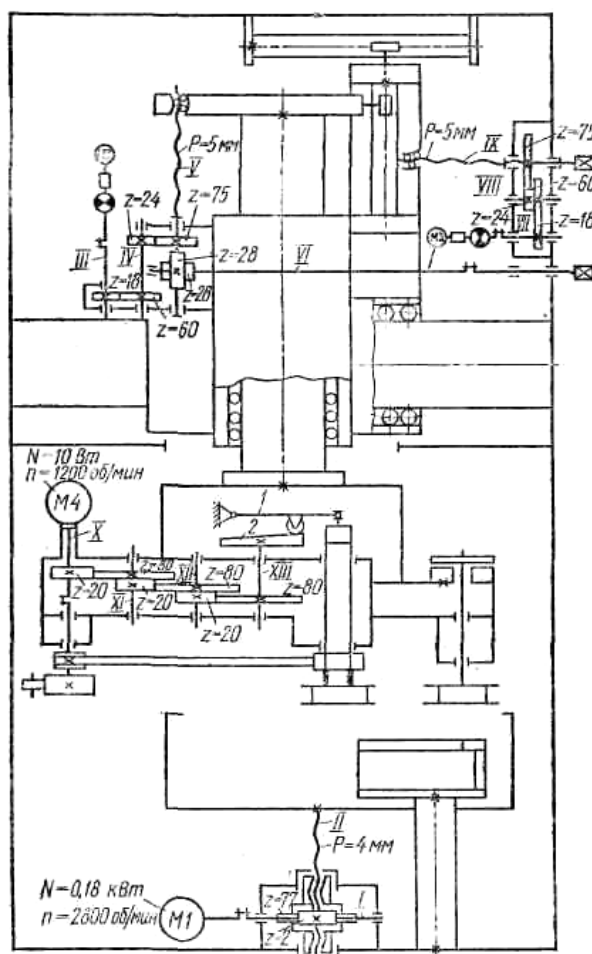


Рис. 3.124. Электроэрозионный вырезной станок модели 4532Ф3

Техническая характеристика. Наибольшие размеры обрабатываемой заготовки $250 \times 160 \times 75$ мм; наибольшая масса 45 кг. Точность изготовления контура 0,032 мм. Наибольшая производительность при обработке: стали $35 \text{ мм}^3/\text{мин}$, твердого сплава $18 \text{ мм}^3/\text{мин}$.

Станок оснащен устройством ЧПУ типа «Контур» с линейным интерполятором. Может быть также оснащен мини-ЭВМ, где программа вводится посредством перфоленты или клавиатуры.

Класс воспроизведения вырезаемой поверхности копирование + след. Поэтому кинематическая структура станка содержит одну формообразующую группу $\Phi_v(P_1P_2)$ и три вспомогательные группы $Vc(B_3)$, $Vc(P_4)$, $Vc(P_5)$.

Группа $\Phi_s(P_1P_2)$ воспроизводит направляющую – профиль обрабатываемой поверхности посредством перемещения скобы с проволокой в горизонтальной плоскости в двух взаимно перпендикулярных направлениях (прямоугольная система координат). Конструктивно эта группа смонтирована в отдельном корпусе, перемещающемся по направляющим качения, выполненным в виде линейных подшипников (танкеток). Особенность группы – применение двух шаговых электродвигателей и синхронной электронной связи между ними, осуществляющей согласование продольной и поперечной кареток, несущих скобу (аналог инструментального суппорта).

Внутренняя связь:

продольная каретка (P_1) $\rightarrow 1/t_{TB=5} \rightarrow 75/24 \rightarrow 60/18 \rightarrow M2 \rightarrow M3 \rightarrow 18/60 \rightarrow 24/75 \rightarrow t_{TB=5} \rightarrow$ *поперечная каретка (P_2).*

Группа включает две одинаковых внешних связи, обеспечивающие внутреннюю связь энергией движения.

Первая внешняя связь:

$M2 \rightarrow 18/60 \rightarrow 24/75 \rightarrow t_{TB=5} \rightarrow$ *продольная каретка (P_1).*

Вторая внешняя связь:

$M3 \rightarrow 18/60 \rightarrow 24/75 \rightarrow t_{TB=5} \rightarrow$ *продольная каретка (P_2).*

Звено соединения связей – «электрический вал», или система синхронизации, функцию которой выполняет линейный интерполятор системы ЧПУ, связывающая оба шаговых электродвигателя.

Группа настраивается на траекторию и скорость – системой ЧПУ.

При линейном перемещении скобы по одной из двух координат в любую сторону за один импульс от пульта ЧПУ (при минимальном повороте вала шагового двигателя на $1,5^\circ$) составит:

$$\frac{1}{240} \cdot \frac{18}{60} \cdot \frac{24}{75} \cdot 5 = 0,002 \text{ мм.}$$

Ручное установочное перемещение скобы осуществляется в продольном направлении непосредственно от ТВ, в поперечном направлении через винтовую зубчатую передачу 28/28 и ТВ.

Скоба служит для установки и крепления всех устройств и механизмов, обеспечивающих перемотку и натяжение электрода-проволоки. Для устранения влияния износа проволоки на обработку ее перематывают с небольшой скоростью.

Перемотка проволоки осуществляется группой $Vc(B_3)$. Ее внутренняя связь:

подшипниковые опоры скобы → *гильза шпинделя приемной катушки (B_3)*.

Внешняя связь:

$M4$ → *ременная передача* → *гильза шпинделя приемной катушки (B_3)*.

Скорость перемотки регулируется в пределах 8 – 20 мм/с посредством изменения частоты вращения ротора частотно регулируемого реактивного электродвигателя $M4$ типа РД – 09.

Перемотка проволоки сопровождается ее укладкой на приемной катушке. Это движение осуществляется группой $Vc(P_4)$, имеющей общий электродвигатель с группой $Vc(B_3)$.

Внутренняя связь группы укладки проволоки:

гильза → *шпинделя приемной катушки (P_4)*.

Внешняя связь:

$M4$ → 20/80 → 20/80 → 20/80 → *вал XIII* → *кулачок 2* →
→ *качающийся рычаг 1* → *шпинделя приемной катушки (P_4)*.

Скорость раскладки не настраивается, а изменяется одновременно с изменением скорости перемотки проволоки.

В нижней части станины расположена подъемная ванна для рабочей жидкости. В ванне расположен Г-образный стол для закрепления обрабатываемой заготовки. Подъем и опускание ванны осуществляется посредством ненастраиваемой группы $Vc(P_5)$. Ее внешняя связь:

$M1$ → 2/77 → *ТВ* → *ванна (P_5)*.

Скорость перемещения ванны:

$$v = 2800 \cdot \frac{2}{7} 4 = 300 \text{ мм/мин.}$$

3.14.2. Комбинированные схемы обработки

Анодно-механическая обработка осуществляет комбинированный процесс анодного растворения и электроэрозионного воздействия на обрабатываемую заготовку. Схема обработки поясняется рис. 3.125, а. Инстру-

менту 1 в виде диска (или непрерывной ленты) сообщается вращательное движение скорости резания и подача на заготовку 2. Подаваемый в пространство между заготовкой и инструментом электролит растворяет под действием тока металл. Образованная на его поверхности тонкая пленка 3 (рис. 3.125, б) имеет небольшую прочность и поэтому легко удаляется инструментом. На месте удаленной пленки образуется новая пленка, также удаляемая. В результате процесс обработки заключается в непрерывном возникновении и удалении тонкой пленки. Одновременно с этим электро-механическим процессом происходит электроэрозионный процесс, так как при удалении пленки возникают искровые промежутки, через которые происходят электрические разряды.

В качестве электролита, дающего пассивирующую пленку на аноде, используют водный раствор жидкого стекла. Электрод изготавливается из низкоуглеродистой стали.

Анодно-механическую обработку используют преимущественно для резки заготовок из высоколегированных сталей и труднообрабатываемых сплавов, для безабразивной заточки твердосплавных инструментов. Скорость резания составляет: диском 0,15 – 0,35 м/мин, лентой до 0,2 м/мин. Ширина прорези при резании заготовок составляет: диском 1,5 – 3 мм, непрерывной лентой 1 – 2 мм.

В промышленности используются различные модификации гаммы ленточных отрезных станков моделей 4840, 4850, 4860, 4870.

Алмазно-электроэрозионное шлифование основано на комбинировании микрорезания алмазным инструментом 1 детали 2 и эрозионном разрушении (рис. 3.126). В промышленности используются алмазно-электроэрозионные станки для заточки резцов и фрез, а также кругло- и внутришлифовальные станки. В качестве инструмента применяют алмазные круги на токопроводящих связках, например, М1, М31 с алмазами марки АСР, АСВ зернистостью 100/80 – 250/200, концентрацией 100 %.

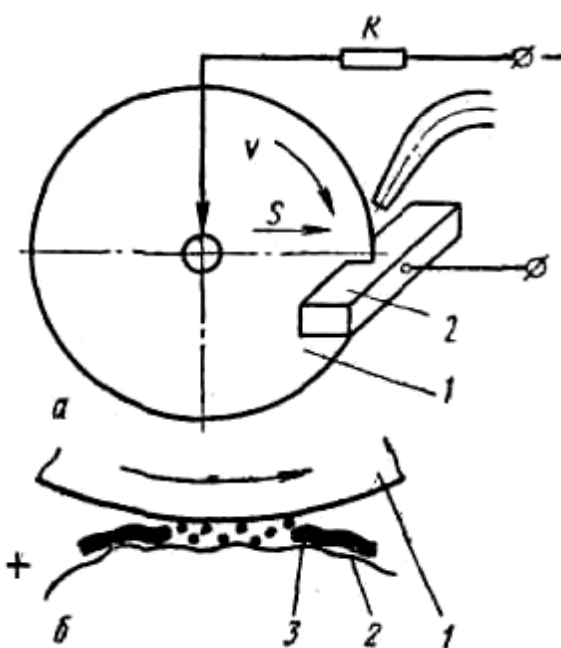


Рис. 3.125. Схема анодно-механической обработки

Кинематическая структура станков для алмазно-электроэрозионного шлифования практически не отличается от кинематической структуры соответствующих традиционных шлифовальных станков.

Электролитическое сверление (рис. 3.127) используется для обработки отверстий в твердых сплавах, закаленных сталях, магнитных сплавах и других токопроводящих материалах. Осуществляют алмазным сверлом 1, закрепленным с помощью специальной головки, которая, кроме передачи движения вращения B_1 и подачи Π_2 , обеспечивает также подачу электролита под давлением P_3 во внутреннюю полость инструмента. Заготовка 2 является анодом, а сверло 1 – катодом. Процесс основан на комбинировании трех видов воздействия на материал заготовки: традиционного механического, электрохимического и электроэрозионного.

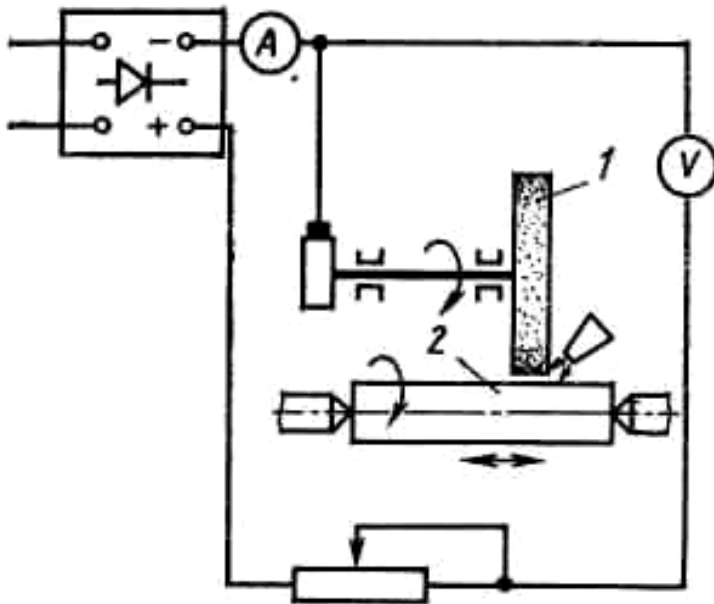


Рис. 3.126. Схема алмазно-электроэрозионного шлифования

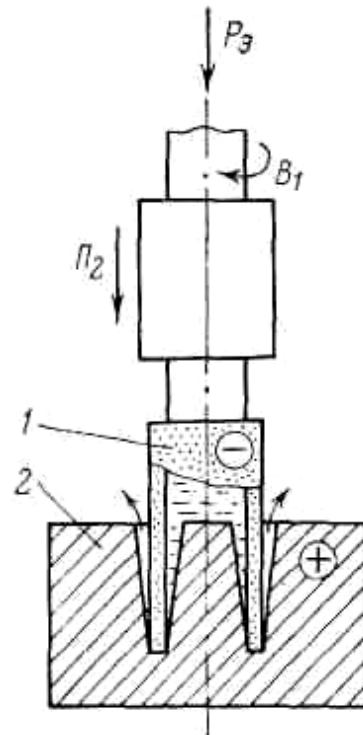


Рис. 3.127. Схема алмазно-электролитического сверления

Наиболее интенсивный сьем материала происходит при преимущественном механическом воздействии. В этом случае абразивный сьем должен осуществляться при высоких удельных давлениях. В результате достигается высокая производительность, но происходит интенсивный износ инструмента. Если решающее значение имеет обеспечение высокой производительности, то основную роль в процессе съема припуска должно иметь электрохимическое воздействие. При определенных режимах обработки существенное значение может иметь электроэрозионное воздейст-

вие, которое обусловлено интенсивными электроэрозионными разрядами, происходящими вследствие контактирования токопроводящей связки алмазного инструмента с обрабатываемой поверхностью.

3.14.3. Лазерное оборудование

Разработка мощных и надежных оптических генераторов (лазеров), работающих в непрерывном и импульсном режимах, обеспечило создание класса технологических операций – лазерное разделение (разрезание) материалов, которым присущи следующие особенности:

- обширный диапазон разделяемых материалов;
- возможность получения узких разрезов и безотходного разделения;
- малая зона термического влияния;
- минимальное механическое воздействие, оказываемое на разделяемый материал;
- возможность автоматизации процесса;
- возможность резки по заданному профилю.

Разделение может происходить как за счет удаления расплавленной части материала из зоны взаимодействия с лучом, так и посредством создания термонапряжений с последующим раскалыванием по образующейся трещине. Первый вариант используется для резки металлов и некоторых видов диэлектрических материалов, причем обычно продукты разрушения удаляются направленной струей химически активного или инертного газа. Второй вариант характерен для резки хрупких материалов, например, стекла, керамики или ситалла.

Схема лазерного разделения материалов приведена на рис. 3.128. Лазерный луч 8, отражаясь от зеркала 4, фокусируется энергетической оптической системой 3 на поверхность разрезаемого материала 7, и с помощью соосного с лучом сопла 2 в зону нагрева направляется газовая струя.

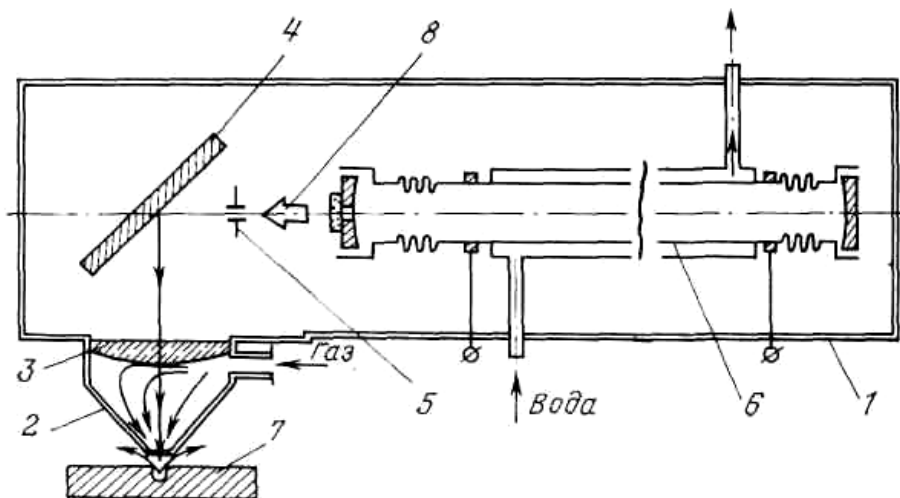


Рис. 3.128. Схема лазерного разделения материалов

При резке металлов для увеличения эффективности процесса обычно используется кислород. При резке неметаллов поддув кислорода целесообразен только в тех случаях, когда горение материала способствует увеличению скорости резания и в то же время обеспечивает сохранность свойств исходного материала по границам разреза. Однако для большинства неметаллических материалов, содержащих в своем составе углерод, воспламенение и горение в струе кислорода отрицательно сказываются на качестве лазерной резки, и для ее осуществления применяют поддув инертных газов или воздуха. При этом функция газовой струи в основном заключается в удалении продуктов разрушения из области разреза. Типичные значения давления газа составляют 1,5 – 3 атм при диаметре выходного сопла до 5 мм и расстоянии от среза сопла до поверхности разрезаемого листа не более диаметра струи. Применение поддува газа для повышения эффективности лазерной резки приводит к увеличению глубины резания более чем на порядок. Скорость резки металлов и неметаллов при использовании мощных лазеров (до 1 кВт) может достигать несколько см/с. Следует отметить также, что газолазерная резка позволяет осуществить резку таких трудно обрабатываемых материалов, как бериллиевая керамика.

В промышленности нашло применение лазерное разрезание хрупких материалов, основанное на управляемом термораскалывании. Здесь плотность светового потока в зоне облучения и скорость перемещения луча по поверхности разрезаемого листа подбирают такими, чтобы обеспечить нагрев приповерхностных слоев материала до температуры, при которой термические напряжения превышают предел прочности. Разделение материала происходит по образовавшейся в результате этого трещине.

Независимо от типа применяемого лазера и назначения лазерные технологические установки состоят из ряда аналогичных функциональных узлов и имеют общую структурную схему (рис. 3.129). Основным источником энергии, обеспечивающим процесс обработки, является оптический квантовый генератор 1. Лазерное излучение 2 формируется оптической системой 3 в световой пучок с определенными пространственными характеристиками и направляется на обрабатываемую заготовку 4. При помощи оптической системы могут осуществляться также визуальный контроль положения заготовки относительно луча, наблюдение за ходом процесса обработки и оценка его результата. Устройство 5 обеспечивает базирование и закрепление заготовки на рабочей позиции с необходимой точностью и его перемещение в процессе обработки.

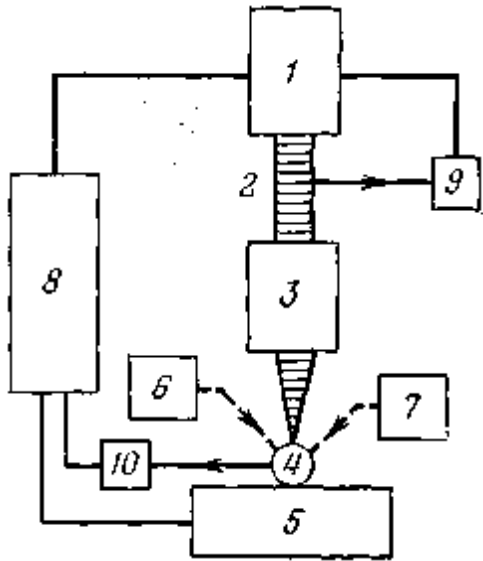


Рис. 3.129. Структурная схема лазерной технологической установки

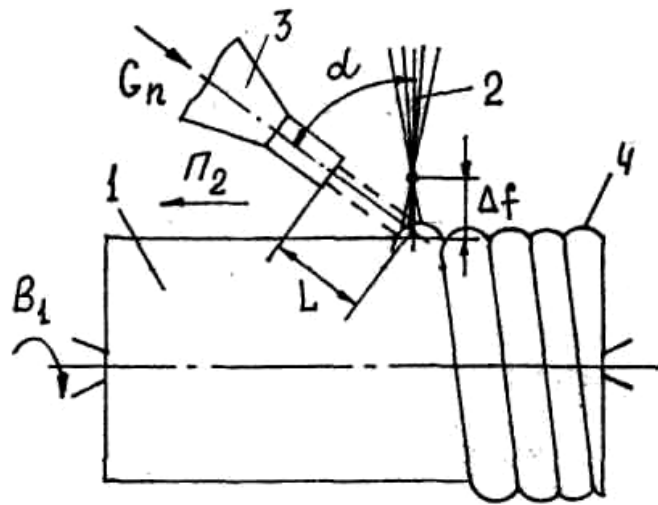


Рис. 3.130. Схема газоплазменной лазерной наплавки

Некоторые процессы резания, сварки и наплавки требуют подачи в рабочую зону технологической среды, например инертного газа, для чего предусматривается соответствующее устройство 6. При комбинированной обработке в зону обработки вводят также дополнительную энергию (механическую, электромагнитную и т.п.). Для этой цели служит источник вспомогательной энергии 7. Примеры комбинированной обработки – газолазерная резка, лазерноэлектроискровая обработка отверстий и др. Установка может снабжаться программным устройством 8, управляющим перемещением базирующего устройства 5 относительно инструмента (лазерного луча). Датчик 9 предназначен для контроля параметров излучения. Датчик параметров технологического процесса 10 может контролировать температуру зоны обработки, состояние поверхности обрабатываемой заготовки, яркость свечения плазменного факела и давать сигналы управляющему устройству для изменения параметров излучения или прекращения операции.

В технологических установках для лазерного разделения (раскроя) материалов устройство 5 для базирования, закрепления и перемещения заготовок в процессе резания выполняется на базе современных координатографов с ЧПУ, являющимися аналогами крестовых столов станков с ЧПУ. Кинематические закономерности функционирования устройств 5 полностью совпадают с закономерностями функционирования крестовых столов.

Наряду с лазерным резанием в металлообработке используется также лазерное напыление и наплавка более износостойкого материала на по-

верхность заготовки. На рис. 3.130 приведена схема способа газоплазменной лазерной наплавки поверхностного слоя. По этой схеме заготовку 1 устанавливают в шпиндель технологической машины по линии центров под смонтированными на суппорте источником лазерного луча 2 и питателем 3 газопорошковой смеси. Одновременно с движениями V_1 и Π_2 , сообщаемым заготовке и суппорту, на поверхность заготовки направляют луч лазера и поток газопорошковой смеси. Последний под воздействием лазерного луча переходит в жидкое состояние и наплавляется на заготовку в виде спирального валика. На процесс формирования валика оказывают влияние коэффициент фокусировки Δf луча лазера и параметры G_n , L , α газоплазменной смеси. Рекомендуемая скорость формообразования (геометрическая сумма линейных скоростей движений V_1 и Π_2) равна 8 – 50 мм/с.

3.14.4. Раскрой листового материала струей жидкости

В ряде отраслей промышленности для раскроя листового материала (пластмассы, тонколистовая конструкционная сталь) используется струя жидкости. При осуществлении раскроя (рис. 3.131) раскраиваемый лист 1 устанавливают под соплом 2. Затем через него в направлении резания Π_1 подают струю жидкости диаметром 0,12 – 0,29 мм под давлением свыше 100 МПа со скоростью 1500 м/с, а листу – движение подачи Π_2 .

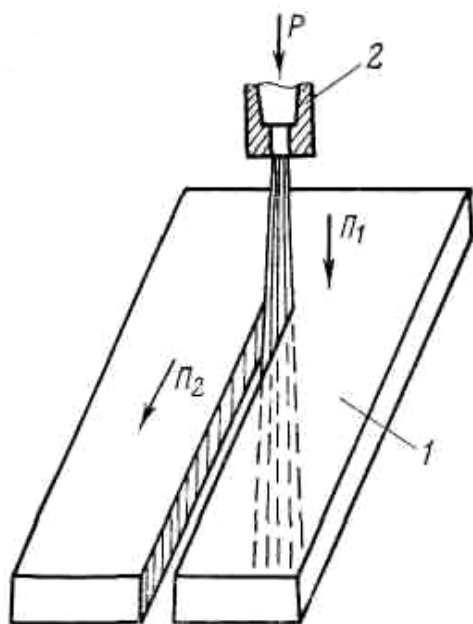


Рис. 3.131. Схема резания струей жидкости

При таких характеристиках струи ее воздействие на твердое тело обеспечивает качественный и производительный раскрой деталей со сложным контуром.

В качестве жидкости, выполняющей функцию режущего инструмента, используется вода с антикоррозионными присадками. В ряде вариантов, например, при раскрое листовой стали в жидкость добавляют мелкозернистый абразив, т.е. используют водоабразивную смесь. Однако в этом случае снижается период размерной стойкости сопла.

В технологических установках для раскроя материала струей жидкости стол выполняется на основе координатографов с ЧПУ.

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Исторические этапы развития станкостроения и станковедения (науки о металлорежущих станках). История развития станкостроения Беларуси.
2. Замечательные изобретения в области металлорежущих станков. Оценка изобретения лучкового привода, суппорта, гитары зубчатых колес, станка-автомата, системы числового программного управления, промышленного робота.
3. Классификация металлорежущих станков по технологическим признакам. Методика обозначения моделей станков. Примеры обозначений.
4. Классы точности металлорежущих станков. Требования к конструированию, изготовлению и эксплуатации станков различных классов точности.
5. Техничко-экономические показатели станков: эффективность, производительность, надежность, гибкость, точность, как критерии качества отдельных станков, так и станочных комплексов.
6. Поверхность изделия как пересечения воспроизводящих линий: образующей и направляющей. Геометрическая и реальная поверхность. Требования к качеству реальных поверхностей при их получении резанием.
7. Понятие о характеристическом образе инструмента. Методы получения воспроизводящих линий. Примеры получения воспроизводящих линий на металлорежущих станках.
8. Методы образования поверхностей на металлорежущих станках. Классы образования поверхностей. Неосуществимые классы при обработке резанием.
9. Классификация движений на металлорежущих станках по функциональному признаку. Параметры движений и требования к точности их настройки.
10. Понятие о кинематической группе. Виды групп. Способы соединения групп. Примеры простых и сложных групп.
11. Структурная и расчетная цепи. Методика задания расчетных перемещений. Уравнение кинематической цепи. Формула настройки. Примеры.
12. Понятие о тяговом вале. Шаг тягового вала. Виды передач, используемых в качестве тягового вала. Примеры использования тягового вала в структуре металлорежущих станков.
13. Кинематическая структура станка. Виды структур по количеству и сложности кинематических групп. Параллельное, последовательное и смешанное соединение групп.
14. Реверсивные механизмы, используемые в металлорежущих станках: разновидности, достоинства и недостатки различных видов.

15. Гитары сменных зубчатых колес: разновидности, достоинства и недостатки различных видов и направления использования в кинематической структуре.

16. Механизмы для ступенчатого изменения скорости: разновидности, достоинства и недостатки различных видов и области использования в кинематической структуре.

17. Виды передач вращательного движения, используемые в металлорежущих станках. Передаточное отношение и передаточное число. Передаточное отношение совокупности последовательно расположенных передач.

18. Методика определения передаточного отношения планетарного суммирующего механизма. Формула Виллиса и ее использование при определении передаточного отношения суммирующих механизмов.

19. Особенности расчета кинематических цепей с планетарными суммирующими механизмами.

20. Бесступенчатое изменение скорости исполнительного звена: разновидности механических вариаторов и области использования в кинематической структуре, достоинства различных видов.

21. Шестеренчатые коробки: структура, использование в кинематической структуре. Одиночные и групповые передачи коробок. Разновидности механизмов переключения групповых передач.

22. Непланетарные суммирующие механизмы в металлорежущих станках: область использования, определение суммарного значения скорости или пути на ведомом звене. Примеры использования.

23. Станки токарной группы: типаж, размерный ряд, область использования, компоновка станков различных подгрупп.

24. Токарно-винторезные станки как объединение частных токарных и винторезных кинематических структур. Токарная структура.

25. Кинематическая структура винторезного станка. Особенности настройки при нарезании различных резьб: метрической, модульной, дюймовой, питьевой, архимедовой спирали.

26. Вертикально- и радиально-сверлильные станки: область использования, размерный ряд, кинематическая структура, особенности конструкции.

27. Вертикально- и горизонтально-фрезерные станки: область использования, размерный ряд, кинематическая структура, особенности конструкции.

28. Продольно-фрезерные станки: область использования, размерный ряд, кинематическая структура, особенности конструкции.

29. Плоско- и круглошлифовальные станки: область использования, размерный ряд, кинематическая структура, особенности конструкции.

30. Бесцентровошлифовальные станки: область использования, размерный ряд, кинематическая структура, особенности конструкции.

31. Вертикальные координатно-расточные станки: область использования, размерный ряд, кинематическая структура, особенности конструкции.

32. Горизонтально-расточные станки: область использования, размерный ряд, кинематическая структура, особенности конструкции.

33. Фасонное зубофрезерование цилиндрических и конических колес: область использования, схема исполнительных движений, оборудование и инструмент, достоинство и недостатки.

34. Лимбовая универсальная делительная головка: конструкция, расчет настройки при простом и дифференциальном делении. Настройка при фрезеровании винтовых канавок спиральных сверл и плоских кулачков.

35. Безлимбовая универсальная делительная головка: конструкция, расчет настройки при простом и дифференциальном делении. Настройка при фрезеровании винтовых канавок спиральных сверл и плоских кулачков.

36. Зубодолбежные станки: область использования, типовая кинематическая структура, расчет настройки. Особенности обработки колес с винтовым зубом.

37. Зубофрезерование цилиндрических и червячных колес червячными фрезами: область использования, схемы установки фрез относительно заготовок, исполнительные движения при фрезеровании прямозубых и косозубых цилиндрических колес, червячных колес, при диагональном зубофрезеровании.

38. Типовая кинематическая структура зубофрезерного станка для обработки прямозубых цилиндрических колес. Расчет настройки при простом и дифференциальном зубофрезеровании.

39. Типовая кинематическая структура зубофрезерного станка для обработки косозубых цилиндрических колес. Расчет настройки.

40. Типовая кинематическая структура зубофрезерного станка для обработки червячных колес при радиальном врезании. Расчет настройки.

41. Типовая кинематическая структура зубофрезерного станка для обработки червячных колес при осевом врезании. Расчет настройки.

42. Типовая кинематическая структура зубофрезерного станка для обработки косозубых цилиндрических колес при диагональном зубофрезеровании. Расчет настройки.

43. Типовые схемы нарезания конических колес с прямыми и дугowymi зубьями. Схемы исполнительных движений. Понятие о плоском и плосковершинном воспроизводящем колесе.

44. Типовая кинематическая структура зубострогального станка при профилировании прямозубых конических колес обкатом. Расчет настройки.

45. Типовая кинематическая структура зубострогального станка при профилировании прямозубых конических колес копированием. Расчет настройки.

46. Типовая кинематическая структура зуборезного станка для обработки конических колес с дуговым (круговым) зубом при профилировании обкатом. Расчет настройки.

47. Типовая кинематическая структура зуборезного станка для обработки конических колес с дуговым (круговым) зубом при профилировании копированием. Расчет настройки.

48. Полуобкатная гипоидная передача: особенности профиля зубьев колеса и шестерни, модификация профиля шестерни, особенности движения обката при профилировании шестерни. Модификация группы обката кинематической структуры станка для нарезания гипоидных зубчатых колес.

49. Чистовая обработка зубчатых колес: виды обработки и применяемый инструмент, схемы обработки, исполнительные движения. Область использования различных видов обработки.

50. Зубошевингование: типовая схема, понятие скорости резания, типовая кинематическая структура зубошевинговального станка.

51. Кинематическая структура зубошлифовального станка для шлифования цилиндрических зубчатых колес абразивным червячным кругом. Расчет настройки станка при обработке прямозубых и косозубых колес.

52. Кинематическая структура зубошлифовального станка для шлифования цилиндрических зубчатых колес абразивным дисковым кругом. Расчет настройки станка при обработке прямозубых колес.

53. Типовые схемы нарезания резьбы различными видами инструментов: исполнительные движения, задание расчетных перемещений для движений формообразования.

54. Кинематическая структура станка для нарезания резьбы гребенчатой фрезой. Расчет настройки.

55. Кинематическая структура станка для нарезания резьбы червячной фрезой. Расчет настройки.

56. Кинематическая структура резьбошлифовального станка для обработки резьбы однониточным кругом. Расчет настройки.

57. Кинематическая структура резьбошлифовального станка для обработки резьбы многониточным кругом. Расчет настройки.

58. Токарные автоматы: область использования, типаж, размерные ряды, особенности компоновки основных типов автоматов.

59. Типовая кинематическая структура автомата для продольного точения. Методика расчета настройки.
60. Типовая кинематическая структура фасонно-отрезного автомата. Методика расчета настройки.
61. Типовая кинематическая структура токарно-револьверного автомата. Методика расчета настройки.
62. Схема токарной обработки с использованием многолезцовой наладки: область использования, особенности выбора режимов обработки. Кинематическая структура многолезцового токарного полуавтомата. Расчет настройки.
63. Агрегатные станки: область использования, особенности компоновки, модульный принцип проектирования из нормализованных узлов.
64. Типовая кинематическая структура токарно-винторезного станка с числовым программным управлением.
65. Типовая кинематическая структура вертикально-фрезерного станка с числовым программным управлением.
66. Промышленные роботы: назначение, поколения (типы), область использования, типовая структура робота.
67. Промышленные роботы 1-го типа (роботы-манипуляторы), работающие совместно с металлорежущими станками, оснащенными системами числового программного управления.
68. Робототехнический комплекс, гибкий производственный модуль, гибкая производственная система. Примеры.
69. Электроэрозионная обработка: сущность процесса обработки, область использования, примеры схем обработки.
70. Кинематическая структура электроэрозионного станка для обработки сложнопрофильных поверхностей перематываемой проволокой.
71. Схемы комбинированной обработки: электроэрозионное шлифование, алмазное электрохимическое сверление.
72. Анодно-механическая обработка: сущность процесса обработки и область использования.
73. Лазерная обработки: область использования, виды обработки, общая блок-схема оборудования.
74. Лазерный раскрой материала: область использования, раскраиваемые материалы, схема оборудования для раскроя.
75. Раскрой материала жидкостью: сущность процесса, раскраиваемые материалы.

ОРГАНИЗАЦИЯ РЕЙТИНГОВОГО КОНТРОЛЯ

Суммарный рейтинг студента по дисциплине «Технологическое оборудование» определяется суммой баллов, полученных в течение семестра. Общая сумма баллов – 1000. Суммарный рейтинг складывается из следующих показателей:

1. Оценка активности студента на занятиях и своевременности выполнения им графика учебного процесса. Общее количество баллов – 100, в том числе:

- за 100 %-ное посещение лекций в течении семестра – 25 баллов;
- за 100 %-ное посещение лабораторных работ в течении семестра – 25 баллов;
- за своевременную сдачу отчетов и защиту лабораторных работ и заданий по управляемой самостоятельной работе в соответствии с графиком учебного процесса – 50 баллов.

2. Рубежный контроль успешности усвоения теоретического материала лекционного курса. Согласовано с семестровым графиком проведения аттестации проводятся две контрольные работы по теоретическим разделам дисциплины. Результаты каждой контрольной работы оцениваются следующим образом:

- оценка отлично – 150 баллов;
- оценка хорошо – 100 баллов;
- оценка удовлетворительно – 80 баллов.

3. Оценка активности студента в научном, творческом освоении специальности. Максимальная сумма баллов по этому разделу – 750, в том числе:

- за составление реферата в соответствии с предложенным перечнем тем оценивается в 100 баллов за каждый реферат;
- за участие в университетских и/или факультетских конференциях с сообщениями и докладами – 100 баллов;
- за публикацию результатов научных исследований – 150 баллов;
- за подачу заявки на изобретение – 200 баллов;
- за представление научной работы на республиканский конкурс – 200 баллов.

Минимальное общее количество баллов, необходимое для допуска к экзамену – 180 баллов.

При сумме баллов более 800 студенту может быть поставлена оценка «отлично» без сдачи экзамена.

СЛОВАРЬ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

Все многообразие технических терминов и определений, используемых в теории и практике станковедения, можно разделить на две группы:

– общетехнические термины и определения, используемые в различных общеинженерных и специальных дисциплинах специальностей машиностроительного профиля;

– специфические термины и определения, характерные только для теории и практики станковедения.

В данном словаре приводятся только специфические термины и их определения, используемые в станковедении.

Станочное оборудование – развивающееся многообразие металло-режущих станков.

Металлорежущий станок (станок) – технологическая машина для формообразующей обработки заготовок преимущественно резанием. С точки зрения теории технических систем это объединение трех подсистем: кинематической структуры, выражаемой структурной или кинематической схемой, подсистемы управления и компоновки (несущей подсистемы).

Геометрическая поверхность представляет собой след оставляемый линией, называемой образующей, при ее движении по другой линии, называемой направляющей. Обе эти линии называют производящими.

Формообразующее (рабочее) движение это согласованные относительные движения инструмента и заготовки, непрерывно создающие производящие линии при обработке. В зависимости от формы производящей линии и метода ее образования движения формообразования могут быть простыми и сложными.

Врезание – движение инструмента или заготовки, устанавливающее их в процессе резания в исходное для формообразования положение.

Деление – движение, перемещающее траекторию движения формообразования на определенную величину для воспроизведения нескольких одинаковых по форме поверхностей.

Позиционирование – движение, обеспечивающее перемещение траекторий движений формообразования и/или врезания в новое геометрическое положение.

Кинематическая группа – объединение источника (источников) энергии движения, исполнительных кинематических пар, внутренней и внешней связей.

Внутренняя связь – это совокупность кинематических звеньев и их соединений, обеспечивающих качественную характеристику движения, т.е. его траекторию.

Станочное зацепление – кинематическая цепь, соединяющая два исполнительных органа, имитирующая зацепление кинематической передачи, например, пары зубчатых колес, червячной передачи и т.п.

Внешняя связь представляет собой совокупность кинематических звеньев и их соединений, обеспечивающих количественные характеристики движения, т.е. его скорость, путь и исходную точку.

Звено соединения связей – кинематическое звено, входящее одновременно во внутреннюю и внешнюю связи.

Структурная схема – объединение кинематических групп в общую кинематическую структуру станка.

Тяговый вал – механизм, преобразующий вращательное движение в поступательное.

Кинематический параметр тягового вала – величина перемещения ведомого звена за один оборот его ведущего звена.

Орган настройки – специальное устройство для изменения и регулирования параметров движения в станках: траектории, скорости, направления, пути и исходной точки.

Кинематическая настройка – это настройка кинематических (структурных) цепей станка для обеспечения требуемых скоростей движений исполнительных органов, а также, при необходимости, условий кинематического согласования перемещений или скоростей исполнительных органов между собой. Кинематическая настройка является составной частью наладки любого станка.

Кинематическая схема – это условное изображение объединения кинематических цепей или кинематических групп станка в одной плоскости.

Расчетная кинематическая цепь – ряд последовательно расположенных передач, включая орган настройки, связывающий исполнительные звенья или между собой, или с источником энергии движения.

Расчетные перемещения – исходное перемещение ведущего звена кинематической расчетной цепи в совокупности с результирующим перемещением ведомого звена этой же цепи.

Уравнение кинематической цепи – математическая зависимость между перемещениями исполнительных звеньев расчетной кинематической цепи, записываемое на основе расчетных перемещений.

Формула настройки – решение уравнения кинематической цепи относительно неизвестного передаточного отношения органа настройки, расположенного в этой цепи.

Гитара сменных зубчатых колес – открытый зубчатый механизм для ступенчатого изменения передаточного отношения расчетной кинематической цепи.

Вариатор – механизм, обеспечивающий бесступенчатое изменение передаточного отношения.

Формула Виллиса – математическая модель кинематических связей в планетарном дифференциале, используемая для определения передаточных отношений в планетарных дифференциалах при анализе кинематической структуры металлорежущих станков.

Множительная структура привода – кинематическая цепь с последовательным соединением групп передач.

Сложенный привод – совокупность двух, реже трех кинематических цепей, каждая из которых является множительной структурой.

Составное колесо – основное колесо специального реверсивного механизма, составленное из двух концентрических секторов внутреннего и наружного зацепления, соединенных между собой зубчатыми секторами внутреннего зацепления.

Плосковершинное (или плоское) зубчатое колесо – виртуальный режущий инструмент для профилирования конических зубчатых колес, у которого число зубьев зависит от числа зубьев обрабатываемого колеса.

Полуобкатная передача – спирально-коническая или гипоидная передача, у которой профиль зубьев колеса выполнен копированием, а профиль шестерни – обкатом.

Многооперационный станок (обрабатывающий центр) – это станок с числовым программным управлением, обеспечивающий выполнение многих технологических операций на сложных деталях с разных сторон без их перебазирования и, как правило, с автоматической сменой инструмента.

Промышленный робот – автономно работающая машина – автомат, предназначенная для воспроизведения некоторых двигательных и умственных функций человека при выполнении вспомогательных и основных производственных операций без непосредственного участия человека и наделенная для этого некоторыми его способностями (слухом, зрением, осязанием, памятью и т.п.), а также способностью к самообучению и адаптации к внешней среде.

Робот-манипулятор – это промышленный робот, встроенный в основное технологическое оборудование, например, в многооперационный станок.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Металлорежущие станки : учебник для машиностроительных вузов; под ред. В. Э. Пуша. – М. : Машиностроение, 1985.

Дополнительная

2. Ящерицин, П. И., Ефремов, В. Д. Металлорежущие станки : учебник; под ред. А. И. Кочергина. – Мн. : БГАТУ, 2001.

3. Металлорежущие станки и автоматы : учебник; под ред. А. С. Проникова. – М. : Машиностроение, 1981.

4. Локтева, С. Е. Станки с числовым программным управлением : учеб. пособие / С. Е. Локтева. – М. : Машиностроение, 1979.

5. Трофимов, А. М. Металлорежущие станки : альбом с приложением / А. М. Трофимов. – 2 изд. – М. : Машиностроение, 1979.

6. Металлорежущие станки : учебник; под ред. В. К. Тепинкичиева. – М. : Машиностроение, 1973.

7. Ермаков, Ю. М., Фролов, Б. А. Металлорежущие станки : учебник / Ю. М. Ермаков, Б. А. Фролов. – М. : 1985.

8. Голембиевский, А. И. Основы системологии способов формообразующей обработки в машиностроении / А. И. Голембиевский. – Мн. : Наука и техника, 1986.

9. Голембиевский, А. И. Станочное оборудование : учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-36 01 01, 1-36 01 03 / А. И. Голембиевский. – Новополоцк : ПГУ, 2006.

Методическая

10. Голембиевский, А. И. Методические указания к курсовым работам по теме «Анализ и синтез кинематической структуры станков» курса «Металлорежущие станки» для студ. спец. 0501 / А. И. Голембиевский. – Новополоцк : изд. НПИ, 1978.

11. Данилов, В. А. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Металлорежущие станки» для студ. спец. 0501 / В. А. Данилов. – Новополоцк : изд. НПИ, 1977.

12. Терентьев, В. А. Методические указания к учебно-исследовательской работе «Гидрокопировальный станок модели 1722 и исследование точности копировальной обработки» для студентов специальности 0501 / В. А. Терентьев. – Новополоцк : изд. НПИ, 1984.

13. Голембиевский, А. И., Данилов, В. А., Трофимов, А. И. Методические указания к лабораторным работам по курсам «Металлорежущие станки и промышленные роботы» и «Промышленное оборудование автоматизированных производств» для студ. спец. 0501 / А. И. Голембиевский, В. А. Данилов, А. И. Трофимов. – Новополоцк : изд. НПИ, 1986.

14. Терентьев, В. А. Методические указания к учебно-исследовательской работе «Роботизированный технологический комплекс на базе станка модели 2К135Ф2 и ПР РФ-202М» по курсам «Станочное оборудование автоматизированных производств» и «Металлорежущие станки и промышленные роботы» для студ. спец. 1201, 1202 / В. А. Терентьев. – Новополоцк : изд. НПИ, 1989.

15. Голембиевский, А. И. Методические указания к учебно-исследовательской лабораторной работе «Промышленный робот «Универсал-5»» по курсам «Металлорежущие станки и промышленные роботы» и «Промышленное оборудование автоматизированных производств» для студ. спец. 0501 / А. И. Голембиевский. – Новополоцк : изд. НПИ, 1987.

16. Голембиевский, А. И. Методические указания к учебно-исследовательской лабораторной работе «Промышленный робот «Циклон-5»» по курсам «Станочное оборудование автоматизированных производств» и «Металлорежущие станки и промышленные роботы» для студ. спец. 0501 / А. И. Голембиевский. – Новополоцк : изд. НПИ, 1987.

17. Трофимов, А. И. Методические указания к лабораторной работе «Изучение конструкции и кинематики токарных станков» по курсу «Станочное оборудование автоматизированного производства» для студ. спец. 1201 и 1202 / А. И. Трофимов. – Новополоцк : изд. НПИ, 1992.

18. Данилов, В. А. Методические указания к лабораторной работе «Расчет кинематической настройки металлорежущих станков» по курсу «Станочное оборудование автоматизированного производства» для студ. спец. 1201 и 1202. / В. А. Данилов. – Новополоцк : изд. НПИ, 1992.

19. Лабораторный практикум по металлорежущим станкам; под редакцией А. И. Кочергина. – Мн. : Вышэйшая школа, 1986.

20. Руководство к лабораторным работам по курсу «Металлорежущие станки»; под общ. редакцией П. Г. Петрухи. – М. : Высшая школа, 1973.

Учебное издание

ГОЛЕМБИЕВСКИЙ Анатолий Иосифович

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

для студентов специальности 1-36 01 04 «Оборудование и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов» по специализации 1-36 01 04 01 «Оборудование и технологии повышения износостойкости и восстановления деталей машин и приборов»

Редактор *Ю. М. Казакевич*

Дизайн обложки *И. С. Васильевой*

Подписано в печать 06.04.07. Формат 60×84 1/16. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 20,42. Уч.-изд. л. 20,27. Тираж 55 экз. Заказ 482.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ № 02330/0133020 от 30.04.04 ЛП № 02330/0133128 от 27.05.04

211440, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29