

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

А. И. ГОЛЕМБИЕВСКИЙ

СТАНОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

для студентов специальностей 1-36 01 01, 1-36 01 03

Новополоцк 2006

УДК 621.9.06(075.8)

ББК 34.4я73

Г 60

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

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

В. А. Данилов, доктор технических наук, доцент

Рекомендован к изданию методической комиссией
машиностроительного факультета

Г 60 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. – 296с.
ISBN 985-418-458-7

Включает основное программное, методическое обеспечение и лекционный курс. Приведены исторические сведения о развитии станковедения (науки о металло-режущих станках), станкостроения как отрасли промышленности и о месте станочного оборудования 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 преподавателей и студентов машиностроительных специальностей втузов. Может быть полезен магистрантам и аспирантам соответствующих специальностей, а также инженерно-техническим работникам, занимающимся проектированием и модернизацией станочного оборудования.

УДК 621.9.06(075.8)

ББК 34.4я73

ISBN 985-418-458-7

© А.И. Голембиевский, 2006

© УО «ПГУ», 2006

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ	7
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА	9
МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ	19
КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ	30
1. Введение в станковедение	30
1.1. Краткий экскурс в развитие станкостроения	30
1.2. Замечательные изобретения и пионерные научные решения	34
1.2.1. Замечательные изобретения средневековья	35
1.2.2. Пионерные научные решения	38
1.3. Классификация металлорежущих станков	42
1.3.1. По технологическому признаку	42
1.3.2. По степени точности	44
1.3.3. По универсальности	44
1.3.4. Система обозначения станков	45
1.4. Техничко-экономические показатели современных станков	46
1.4.1. Эффективность	46
1.4.2. Производительность	47
1.4.3. Надежность	50
1.4.4. Гибкость	53
1.4.5. Точность	54
2. Основы кинематики металлорежущих станков	58
2.1. Формообразование поверхностей	59
2.1.1. Методы воспроизведения производящих линий	60
2.1.2. Образование поверхностей	62
2.1.3. Классификация движений в станках	65
2.2. Понятие о кинематической группе	69
2.3. Кинематическая структура станка	76
2.4. Теоретические основы настройки станков	83
2.5. Механические органы кинематической настройки	88
2.5.1. Шестеренчатые коробки скоростей	90
2.5.2. Гитары сменных зубчатых колес	94
2.5.3. Механизмы для бесступенчатого изменения скорости	97
2.5.4. Реверсивные механизмы	98
2.5.5. Суммирующие механизмы	100
3. Изучение кинематики металлорежущих станков	108
3.1. Станки для обработки цилиндрических зубчатых колес	108
3.1.1. Фасонное зубофрезерование зубчатых колес	108
3.1.2. Фасонное зубодолбление	115
3.1.3. Зубофрезерные станки	116
3.1.4. Зубодолбежные станки	130
3.1.5. Станки для зуботочения цилиндрических зубчатых колес	135

3.2. Станки для чистовой обработки зубчатых колес	139
3.2.1. Зубошевинговальные станки	140
3.2.2. Зубошлифовальные станки	145
3.3. Станки для обработки конических зубчатых колес	157
3.4. Повышение производительности зубообрабатывающих станков	183
3.5. Станки для обработки резьбы	185
3.5.1. Резьбофрезерные станки	187
3.5.2. Резьбонакатные станки	198
3.5.3. Специализированные станки для нарезания червяков	201
3.5.4. Резьбошлифовальные станки	204
3.6. Затывочные станки	209
3.7. Токарные автоматы и полуавтоматы	221
3.7.1. Классификация станков-автоматов и полуавтоматов	222
3.7.2. Одношпиндельные токарно-револьверные автоматы	225
3.7.3. Многошпиндельные прутковые автоматы	234
3.7.4. Токарные многорезцовые полуавтоматы	243
3.8. Станки с числовым программным управлением	246
3.8.1. Поколения станков с ЧПУ	247
3.8.2. Технологические особенности станков с ЧПУ	249
3.8.3. Конструктивные особенности станков с ЧПУ	255
3.8.4. Токарный патронно-центральной станок с ЧПУ модели 16K20Ф3	259
3.8.5. Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ модели 6P13Ф3	261
3.8.6. Вертикальный сверлильно-фрезерно-расточной полуавтомат с ЧПУ модели 243ВМФ2	265
3.9. Промышленные роботы	272
3.9.1. Роботизированные технологические комплексы	279
ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ	284
ОРГАНИЗАЦИЯ РЕЙТИНГОВОГО КОНТРОЛЯ	289
СЛОВАРЬ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ	290
ЛИТЕРАТУРА	293

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 «Станочное 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 составление 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. Кратко изложена методика изучения основных разделов дисциплины. Приведены вопросы для самопроверки, словарь специфических терминов, экзаменационные вопросы, минимальный список необходимой учебной литературы.

В историческом аспекте 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 01 – Технология машиностроения в практической работе связан с вопросами выбора станочного оборудования и режимов его эксплуатации. От оптимального выбора этого оборудования в условиях конкретного типа производства зависит производительность труда и качество получаемых изделий. А основная функция инженера-механика специальности 1-36 01 03 – Технологическое оборудование машиностроительного производства – разработка станочного оборудования. Оптимальное решение этой многовариантной задачи определяет уровень развития машиностроительного производства. Таким образом, дисциплина «Станочное оборудование» является базовой для обеих названных специальностей.

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 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 и машин, деталей машин, теории резания, гидро- и электрооборудования станков.

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Составлена на основе типовой программы по дисциплине «Станочное оборудование автоматизированного производства», утвержденной УМО по специальностям автоматизированного машиностроительного производства от 21.02.1989.

ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

Введение (2 часа)

Исторический очерк развития металлорежущих станков и станочных комплексов. Русский механик А.К. Нартов – основоположник отечественного станкостроения. Замечательные изобретения в станкостроении. Оценка изобретения суппорта.

Станковедение – наука о металлорежущих станках. Рукопись А.К. Нартова «Театрум махинарум или ясное зрелище машин». Роль отечественных ученых в развитии станковедения.

Роль станковедения в народном хозяйстве страны. 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: по технологическому признаку, по степени специализации, по степени точности, по степени автоматизации. Системы обозначения станков, выпускаемых серийно и по индивидуальным заказам. Особенности обозначения станков с цикловым и числовым программным управлением. Размерные ряды станков и автоматов.

Технико-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. Методы получения воспроизводящих линий. Образование поверхностей на станках. Связь между формой вспомогательного элемента, способом образования поверхности и количеством движений формообразования.

Понятие о кинематической группе. Внутренние и внешние кинематические связи. Звено соединения связей. Условное обозначение структуры кинематической группы.

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

Основы теории настройка 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: винт-гайка, колесо-рейка, механизмы с плоским и цилиндрическим кулачком.

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.

Шестеренчатые коробки передач. Одиночные и групповые механизмы шестеренчатых коробок. Разновидности групповых механизмов: механизм с передвижным блоком, механизм со сцепными муфтами, механизм с шестеренчатым конусом, механизм со ступенью возврата. Устройство, назначение, достоинства и недостатки.

Гитары сменных зубчатых колес с одной, двумя и тремя парами колес. Устройство, назначение, достоинства, недостатки. Методы подбора сменных зубчатых колес.

Ступенчатые и сменные шкивы. Устройство, назначение, достоинства и недостатки.

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

Механические вариаторы. Устройство, назначение, достоинства, недостатки.

Реверсивные механизмы: разновидности и область применения. Реверсивные механизмы с передвижными колесами и со сцепными муфтами: устройство, назначение, достоинства, недостатки. Потеря количества движения на исполнительном звене при реверсировании.

Специальные реверсивные механизмы: устройство, назначение, достоинства и недостатки.

Обгонные механизмы: храповые, планетарные, роликовые обгонные муфты. Устройство, назначение, достоинства, недостатки.

Механизмы прерывистых движений: храповые, кулачковые, мальтийские. Устройство, назначение, достоинства, недостатки.

Суммирующие механизмы: разновидности и область применения. Замкнутые и незамкнутые суммирующие механизмы.

Планетарные суммирующие механизмы с цилиндрическими и коническими зубчатыми колесами. Устройство, назначение, достоинства, недостатки.

Суммирующие механизмы с винтом и гайкой, с червячной передачей, с косозубыми колесами. Устройство, назначение, достоинства, недостатки.

Паразитные суммирующие механизмы, образующиеся в станках при нерациональной разработке кинематической структуры. Предохранительные устройства.

Зубо- и резбообрабатывающие станки (34 часа)

Классификация станков зубообрабатывающей группы по функционально-технологическому признаку. Основные направления развития станков этой группы.

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, фасонное долбление, фасонное протягивание. Область использования, достоинства и недостатки.

Фасонное зубофрезерование. Применяемый инструмент. Лимбовые и безлимбовые универсальные делительные головки (УДГ): кинематические схемы и настройка. Кинематическая структура фрезерного станка общего назначения, используемого совместно с УДГ. Конструкции УДГ.

Зубофрезерный станок ЕЗ-40. Кинематическая структура: группа скорости резания, группа подачи, группа деления, соединение групп, РП, УКЦ, ФН, органы настройки параметров исполнительных движений. Основные узлы станка.

Фасонное долбление. Особенности процесса. Зубодолбежные станки модели 5110 и 5120. Кинематическая структура, особенности конструкции режущего инструмента.

Зубодолбление и зубострогание цилиндрических колес с образованием профиля зуба обкатом. Область использования, достоинства и недостатки.

Зубодолбежные станки. Размерный ряд выпускаемых станков. Типовая кинематическая структура: группа скорости резания, группа подачи, группа врезания и вспомогательные группы, соединение групп, РП, УКЦ, ФН, органы настройки параметров исполнительных движений. Станки моделей 5122, 5А122, 5А122ФЗ. 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, основные направления развития.

Частная типовая кинематическая структура станка для нарезания прямозубых колес: группа скорости резания и группа подачи, соединение групп, РП, УКЦ, ФН, органы настройки параметров исполнительных движений. Особенности группы скорости резания при нарезании колес с простым числом зубьев.

Частная типовая структура станка для нарезания колес с винтовым зубом: группа скорости резания и группа подачи, соединение групп, РП, УКЦ, ФН, органы настройки параметров исполнительных движений.

Частная типовая структура станка для нарезания червячных колес: группа скорости резания и группа радиального врезания, соединение групп, РП, УКЦ, ФН, органы настройки параметров исполнительных движений. Особенности структуры станка с осевым движением врезания.

Частная структура станка для нарезания зубчатых колес при диагональном движении подачи: группа скорости врезания, группа подачи, группа осевого врезания, соединение групп, РП, УКЦ, ФН, органы настройки параметров исполнительных движений. Основные узлы станка модели 5К324.

Обработка прямозубых конических колес с образованием профиля зуба методом обкатки: зубострогание, зубофрезерование. Область использования, достоинства и недостатки.

Зубострогальные станки. Типовая кинематическая структура: группа скорости резания, группа подачи и группа деления, соединение групп, РП, УКЦ, ФН, органы настройки параметров исполнительных движений Станок модели 5П23БП: конструкция основных узлов.

Зуборезные станки для нарезания конических колес с дуговым зубом резцовой головкой. Кинематическая структура: группа скорости резания, группа подачи и группа деления, соединение групп, РП, УКЦ, ФН, органы настройки параметров исполнительных движений. Модификация зуба шестерни. Механизм модификации станка модели 528.

Чистовая обработка цилиндрических зубчатых колес. Станки для фасонного зубошлифования. Типовые кинематические структуры: группа скорости резания, группа подачи, соединение групп, РП, УКЦ, ФН, органы настройки параметров исполнительных движений.

Зубошевинговальные станки. Типовая кинематическая структура: группа скорости резания, группа подачи, вспомогательные группы, соединение групп, РП, УКЦ, ФН, органы настройки параметров исполнительных движений.

Зубошлифовальные станки, работающие однопиточным кругом. Типовая кинематическая структура: группа скорости резания, группа подачи, группа деления, соединение групп, РП, УКЦ, ФН, органы настройки параметров исполнительных движений. Станок модели 5831.

Зубошлифовальные станки, работающие абразивным червяком. Типовая кинематическая структура: группа скорости резания, группа подачи,

группа врезания, соединение групп, РП, УКЦ, ФН, органы настройки параметров исполнительных движений.

Затылование дисковых и червячных фрез: применяемый инструмент, сущность процесса.

Частные кинематические структуры затыловочных станков: группы формообразования и деления, соединение групп, РП, УКЦ, ФН, органы настройки. Станок модели 1Б811.

Резьбошлифование. Способы шлифования и применяемый инструмент.

Кинематические структуры резьбошлифовальных станков: группы формообразования, соединение групп, РП, УКЦ, ФН, органы настройки.

Станки общего назначения (20 часов)

Классификация станков токарной группы по функционально-технологическому признаку. Основные направления развития токарных станков.

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. Частная токарная структура: группа скорости резания и группа подач, соединение групп, РП и УКЦ, органы настройки исполнительных движений. Частная винторезная структура: группа скорости резания и группа деления, соединение групп, РП и УКЦ при настройке станка на различные виды нарезаемых резьб, органы настройки исполнительных движений. Таблиц барабана подач станка 1К62 и принцип ее построения. Особенности коробки подач токарно-винторезного станка 16К20.

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

Карусельные станки. Размерный ряд станков. Область использования. Кинематическая структура.

Лобовые станки. Область использования. Кинематическая структура.

Особенности станков для точения некруглых валов. Кинематическая структура станка для обработки синусоидных валов: группа скорости резания, группа подач, группа стабилизации силы резания, соединение групп, РП, УКЦ, ФН, органы настройки параметров исполнительных движений.

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

Вертикально-сверлильные станки. Размерный ряд станков. Кинематическая структура: группа скорости резания и группа подачи, соединение групп, РП и УКЦ, органы настройки параметров исполнительных движений. Частная кинематическая структура для выполнения несверлильных операций: группа скорости резания, РП и УКЦ.

Радиально-сверлильные станки. Размерный ряд станков. Кинематическая структура, группа скорости резания, группа подачи и группа позиционирования, РП и УКЦ, органы настройки параметров исполнительных движений. Особенности компоновки.

Станки для глубокого сверления. Область использования. Особенности компоновки.

Область использования и классификация расточных станков. Основные направления развития.

Горизонтально-расточные станки. Размерный ряд станков. Кинематическая структура: группа скорости резания и группа подачи, соединение групп, РП и УКЦ, органы настройки параметров исполнительных движений.

Координатно-расточные станки. Размерный ряд станков. Кинематическая структура: группа скорости резания и группа подачи, соединение групп, РП и УКЦ, органы настройки параметров исполнительных движений.

Область использования и классификация фрезерных станков. Основные направления развития станков фрезерной группы.

Горизонтально-фрезерные станки. Размерный ряд станков. Кинематическая структура: группа скорости резания и группа подачи, соединение групп, РП и УКЦ, органы настройки параметров исполнительных движений.

Вертикально-фрезерные станки. Размерный ряд станков. Кинематическая структура. Расширение технологических возможностей вертикально-фрезерных станков.

Широкоуниверсальные фрезерные станки. Кинематическая структура. Особенности компоновки.

Карусельно-фрезерные станки. Кинематическая структура. Особенности компоновки.

Область использования и классификация протяжных станков. Кинематическая структура. Особенности компоновки горизонтально- и вертикально-протяжных станков.

Область применения и классификация строгальных и долбежных станков.

Кинематическая структура строгальных станков: группа скорости резания и группа подачи, РП и УКЦ, органы настройки параметров испол-

нительных движений, соединение групп. Особенности компоновки поперечно- и продольно-строгальных станков. Расширение технологических возможностей строгальных станков.

Типовая кинематическая структура долбежных станков: группа скорости резания и группа подачи, соединение групп, РП и УКЦ, органы настройки параметров исполнительных движений.

Область использования и классификация шлифовальных станков. Основные направления развития станков шлифовальной группы.

Круглошлифовальные станки. Размерный ряд станков. Кинематическая структура: группа скорости резания, группа подачи, соединение групп, РП и УКЦ, органы настройки параметров исполнительных движений.

Бесцентрово-шлифовальные станки. Размерный ряд станков. Кинематическая структура: группа скорости резания, особенности группы подач, соединение групп, РП и УКЦ, органы настройки параметров исполнительных движений.

Плоскошлифовальные станки. Размерный ряд станков. Кинематическая структура: группа скорости резания и группы подач, соединение групп, РП и УКЦ, органы настройки параметров исполнительных движений. Особенности компоновки станков с круглым столом.

Станки-автоматы и полуавтоматы токарной группы: область использования, классификация по виду заготовки, по расположению и количеству шпинделей.

Токарно-револьверные автоматы. Размерный ряд станков. Типовая кинематическая структура и конструкция отдельных узлов. Автомат модели 1Б140. Кинематическая схема, устройство отдельных узлов и механизмов, вывод формулы настройки цепи привода СУ. Проектирование рабочего цикла и программносителей (кулачков).

Автоматы фасонно-продольного точения. Размерный ряд. Типовая кинематическая структура и структура СУ. Автомат модели 1И10П. Кинематическая схема, устройство отдельных узлов, механизмов, проектирование рабочего цикла и программносителей (кулачков).

Многошпиндельные автоматы и полуавтоматы. Особенности компоновки и конструкции отдельных узлов. Автомат модели 1А265-4. Кинематическая схема, устройство отдельных узлов и механизмов.

Токарно-копировальные полуавтоматы: кинематическая структура, компоновка.

Принципы однокоординатного и двухкоординатного гидрокопирования. Копирование с задающей и зависимой подачами. Приспособления, применяемые на токарно-копировальных станках.

Станки общего назначения с ЧПУ: кинематические структуры, компоновки, особенности приводов.

Агрегатные станки: назначение, выполняемые операции. Преимущества принципа агрегатирования, компоновки агрегатных станков. Основные узлы: станины, стойки, силовые столы, шпиндельные коробки, силовые головки.

Устройства для смены инструмента, для смены инструментальных блоков для смены шпиндельных коробок.

Станки с ЧПУ и автоматические линии (8 часов)

Многооперационные станки с ЧПУ: назначение, типы, выполняемые операции, кинематическая структура.

Компоновка многооперационных станков фрезерно-расточной группы.

Компоновка многооперационных станков токарной группы.

Инструментальные магазины. Устройства для смены инструментов: кантователи, транспортирующие механизмы, механические руки.

Механизмы многооперационных станков.

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

Оборудование автоматических линий. Транспортные механизмы. Загрузочные устройства для автоматических линий. Механизмы изменения ориентации различных типов. Примеры автоматических линий из агрегатных и роторных станков.

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.

Компоновка автоматизированных участков: линейно одно- и много-рядная, круговая, модульная.

Понятие о гибком производственном модуле (ГПМ), как основной ячейке гибкого автоматизированного участка и ГАП. Структура ГПМ: станок с ЧПУ, промышленный робот, магазины, транспортеры. Структура обрабатывающей системы из нескольких ГПМ.

Понятие о гибкой производственной системе (ГПС). Принципы построения ГПС. Схемы ГПС. Принципы работы и обеспечения надежности ГПС.

Промышленные роботы (4 часа)

Общие сведения о роботах. Промышленные роботы и манипуляторы. Поколения промышленных роботов. Промышленный робот как трехмерная машина.

Классификация промышленных роботов: по степени универсальности, по грузоподъемности.

Системы координат промышленных роботов. Рабочая зона промышленного робота в различных системах координат. Структурные кинематические схемы.

Роботы-манипуляторы, встроенные в станки: назначение, структурные схемы, конкретные конструкции.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

№ п/п	Тема работы	Время, час	Оборудование	Форма контроля
1	Анализ кинематической структуры двух – трех станков по индивидуальному заданию	8	Кинематические схемы	Письменный отчет
2	Изучение конструкции зубошлифовального станка модели 5831. Настройка	4	Станок мод. 5831	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
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 и наладка модернизированных станков для обработки нестандартных поверхностей	4	Станок мод. ТВ-4	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 объединению 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 обще инженерных 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 виде 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 УМК, можно изучить по монографии [2.7].

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 резьбовой 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 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 станке 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 движение 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 составляются 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.).

Боковая поверхность винтового шлица очерчена по профилю эвольвентой 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

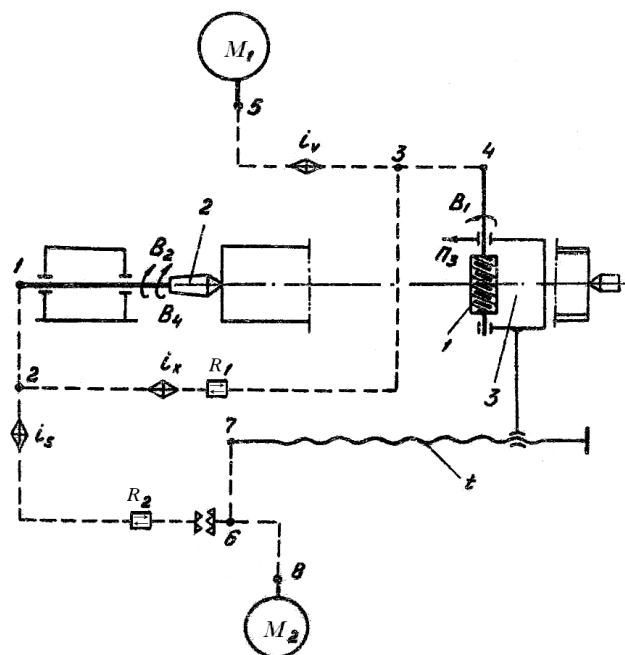


Рис. Типовая кинематическая структура шлицефрезерного станка

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 врезания 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.

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 винторезное движение (подачи) $\Phi_s (П_3 B_4)$.

По условной записи исполнительных движений находим исполнительные звенья, совершающие соответствующие элементарные движения. В анализируемом станке такими звеньями являются: шпиндель 1 фрезы, шпиндель 2 заготовки 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_1 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 – $\Phi_v (B_1 B_2 \pm B_4)$ и $\Phi_s (П_3)$. При этом между кинематическими группами обязательно должна быть кинематическая связь.

Анализируем состав кинематических групп. Группа формообразования, создающая движение обката $\Phi_v (B_1 B_2 \pm B_4)$. Движение сложное, двух-элементарное, замкнутое, воспроизводит зацепление червячной передачи.

Внутренняя связь группы:

$$B_1 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow P_1 \rightarrow i_x \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow B_2.$$

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, $\Phi_s (П_3)$. Движение Φ_s простое, незамкнутое.

Внутренняя связь группы – поступательная пара:

суппорт фрезерной головки 3 → направляющие станины.

Внешняя связь:

$$D_1 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \rightarrow P_1 \rightarrow i_x \rightarrow 2 \rightarrow i_s \rightarrow P_2 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow TB_t \rightarrow П_3.$$

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 $B_c (П_4)$ 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:

$$M_2 \rightarrow 8 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow TB_t.$$

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:

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

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:

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

Тогда, УКЦ:
$$n_{фр} = n_{M1} \cdot i_{02} \cdot i_v.$$

ФН:
$$i_v = n_{фр}/c_2,$$

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

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

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

ФН:
$$i_s = s/c_3,$$

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

$$t_{ТВ} \text{ – шаг тягового вала;}$$

$$c_3 = i_{03} \cdot t_{ТВ}.$$

Задания для самостоятельной управляемой работы

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

Станки первого уровня сложности:

- Токарно-винторезный станок модели 1К62 [2.5, с. 26].
- Токарно-револьверный станок модели 1П325 [2.5, с. 40].
- Токарно-карусельный станок модели 1508 [2.5, с. 46-47].
- Вертикально-сверлильный станок модели 2А150 [2.5, с. 49].
- Горизонтально-расточной станок модели 2625 [2.5, с. 54-55].
- Координатно-расточной станок модели 2А45 [2.5, с. 57].
- Горизонтально-фрезерный станок модели 6М82 [2.5, с. 62].
- Внутришлифовальный станок модели 3А228 [2.5, с. 95].
- Координатно-расточной с ЧПУ модели 2Д450 [2.3, с. 41].
- Токарно-винторезный станок с ЧПУ модели 16К20Ф3 [1.1, с. 77].
- Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ модели 6Р13РФ3 [1.1, с. 88].
- Токарно-револьверный автомат модели 1Б140 [2.4, с. 18].
- Радиально-сверлильный станок модели 2А55 [2.4, с. 32].
- Координатно-расточной станок модели 2А450 [2.4, с. 37].
- Токарный многорезцовый полуавтомат модели 1А730 [2.4, с. 22].
- Токарно-револьверный станок модели 1341 [2.4, с. 14].
- Круглошлифовальный станок модели 3М151 [2.6, с. 251].

Станки второго уровня сложности:

- Зубофрезерный полуавтомат модели 5К32А [2.4, с. 69].
- Зубодолбежный полуавтомат модели 5140 [2.4, с. 71].
- Токарно-затыловочный станок модели 1Е811 [2.6, с. 169].
- Полуавтомат для фрезерования сверл модели 6793 [2.6, с. 193].
- Резьбофрезерный полуавтомат модели 5Б63Г [2.6, с. 202].
- Резьбошлифовальный станок модели 5К822В [2.6, с. 271].
- Резьбошлифовальный полуавтомат модели МВ-13 [2.6, с. 275].
- Зубошлифовальный полуавтомат модели 5А893С [2.6, с. 291].

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 в развитие станкостроения

Первые сведения о металлорежущем станке относятся к III в. до н. э. 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 – держателем 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 XVIII в. 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 металлорежущих станков (МРС) на промышленной основе. Он выпускал токарно-винторезные, отрезные с маятниковой пилой, сверлильные, долбежные, поперечно-строгальные, точные, зубострогальные и ряд модификаций фрезерных станков. Выпущенные Г. Мондсли станки использовались в производстве до конца XIX в.

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 трех моделей.

До конца XIX в. в механических цехах приводы станков осуществлялся от групповых трансмиссий, получавших энергию вращательного движения от паровой машины. Развитие электромашиностроения вытеснило паровую машину из механических цехов. А в начале XX в. станки стали оснащать индивидуальными электродвигателями.

В Советском Союзе решение об организации станкостроения как специализированной отрасли было принято в 1934 г. Это решение положило начало к станкостроению и в Беларуси. И уже в 1937 г. на одном из пе-

репрофилированных 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 XX в. 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 исследования 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 поис-

ки 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 – быстроперенастраиваемые гибкие 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 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-ти.

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 колодезцев. 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.

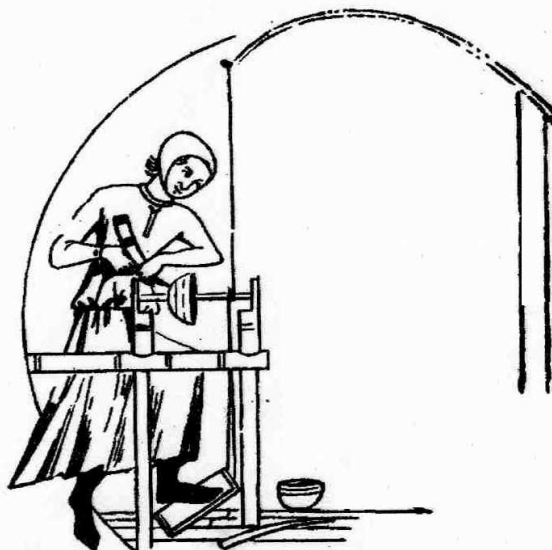


Рис. 1.1. Токарный станок XIII в.: французская миниатюра

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 сверлишный» 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 XVII в. был предложен несколькими изобретателями

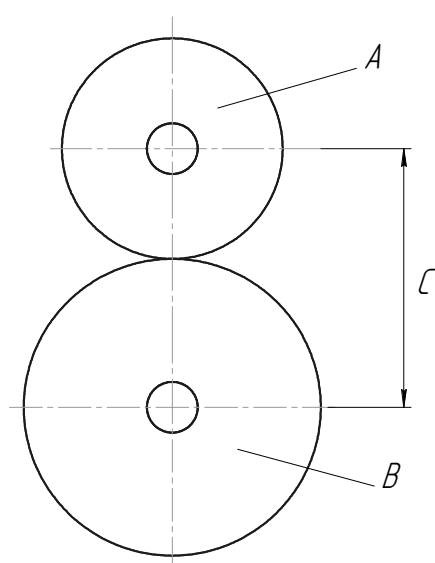


Рис. 1.2. Гитара сменных зубчатых колес

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. Модсли, 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.

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 XIX в. 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 (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.

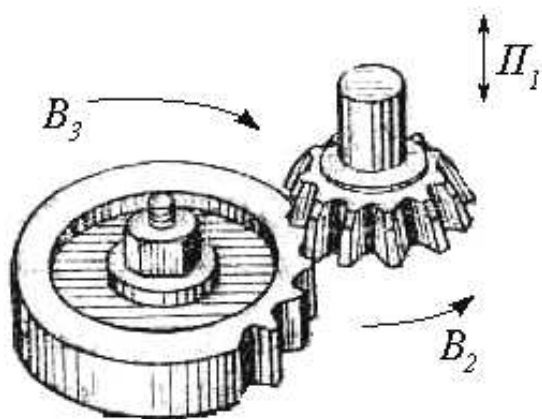


Рис. 1.3. Схема взаимодействия долбяка и заготовки при зубодолблении

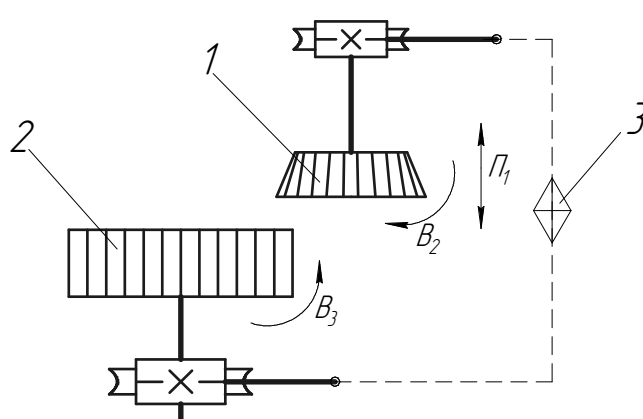


Рис. 1.4. Станочное зацепление долбяк – заготовка

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.

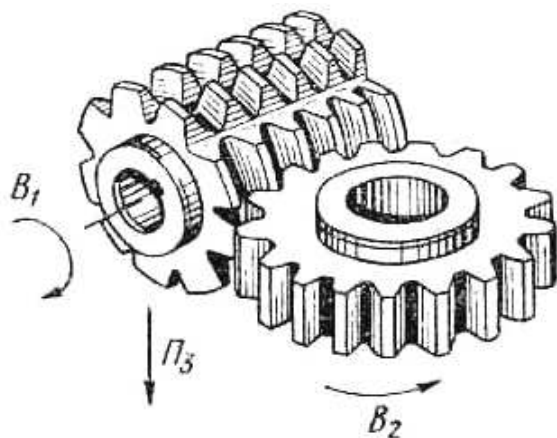


Рис. 1.5. Схема взаимодействия червячной фрезы и заготовки

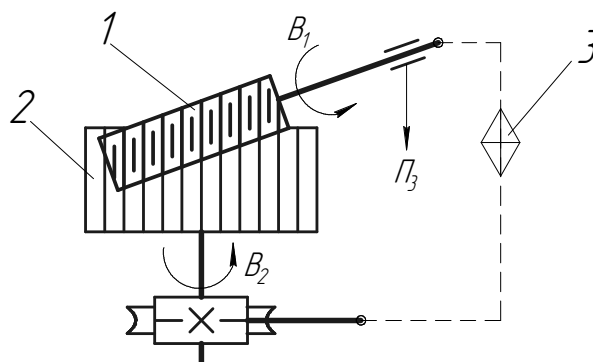


Рис. 1.6. Станочное зацепление червячная фреза – заготовка

1.2.2. Пионерные научные решения

Развитию теории и практики станкостроения в XVII и начале XVIII вв. во многом способствовали труды выдающегося русского станкостроителя А. Нартова. Начав свою деятельность в «токарне» Петра I 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 г. XVIII в. 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. 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 XX в. 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 наивыгоднейшем распределении числа ступеней круговых частот вращения шпинделя для станков со ступенчатым приводом главного движения. Он 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 – наивыгоднейшая скорость резания. Следовательно, наивыгоднейшая круговая частота вращения шпинделя:

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

Допустим, значения n нет в рассматриваемом ряду.

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

где $n_i < n < n_{i+1}$.

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

Тогда:

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

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, 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:

$$n_2 = n_1 \Phi, \quad n_3 = n_2 \Phi = n_1 \Phi^2, \quad n_4 = n_3 \Phi = n_1 \Phi^3, \quad \dots, \quad n_z = n_1 \Phi^{z-1}.$$

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 XX в. 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 (см. рис. 1.4) следует:

– расчетные перемещения

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

– уравнение кинематического баланса

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

– 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 «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. (табл. 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.

Таблица 1.1

Классификация металлорежущих станков

Станки	Группа	Типы									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Токарные	1	Автоматы и полуавтоматы одношпиндельные	многошпиндельные	Револьверные	Сверлильно-отрезные	Карусельные	Токарные и лобовые	Много-резцовые	Специализированные	Разные токарные	
Сверлильные и расточные	2	Вертикально-сверлильные	Полуавтоматы одношпиндельные		многошпиндельные	Координатно-расточные	Радиально-сверлильные	Расточные	Алмазно-расточные	Горизонтально-сверлильные	Разные сверлильные
Шлифовальные, доводочные	3	Круглошлифовальные	Внутреншлифовальные	Обдирочно-шлифовальные	Специализированные шлифовальные	—	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные и полировальные	Разные станки работающие абразивом	
Комбинированные, электрофизикохимические	4	Универсальные	Полуавтоматы	Автоматы	Электрохимические	Электроискровые	—	Электроэрозионные, ультразвуковые	Анодно-механические	—	
Зубо- и резьбообрабатывающие	5	Зубострогальные для цилиндрических колес	Зуборезные для конических колес	Зубофрезерные для цилиндрических колес и шлицевых валов		для червячных колес	Для обработки торцев зубьев колес	Резьбофрезерные	Зубоотделочные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубо- и резьбообрабатывающие
Фрезерные	6	Вертикально-фрезерные консольные		—	Копировальные и гравировальные	Вертикальные бесконсольные	Продольные	Широкоуниверсальные	Горизонтальные консольные	Разные фрезерные	
Строгальные, долбежные и протяжные	7	Продольные одно-стоечные		двух-стоечные	Поперечно-строгальные	Долбежные	Протяжные горизонтальные	—	Протяжные вертикальные	—	Разные строгальные
Разрезные	8	Отрезные, работающие токарным резцом, абразивным диском, кругом			Правильно-отрезные	Ленточные	Дисковые пилы	Ножовочные	—	—	
Разные	9	Муфто- и трубообрабатывающие	Пилонасекательные	Правильно-и бесцентровообдирочные	—	Для испытания инструментов	Делительные	Балансировочные	—	—	

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 особовысокой 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 пра-

вило, 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.

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./г. или шт./ч) 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 следующим образом

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

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

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

где v_p , L – скорость и полный путь перемещения инструмента по образующей линии на 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 см^3 металла за одну минуту.

Таблица 1.2

Производительность размерной обработки

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

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.

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 непрерывных методов обработки (бесцентрового шлифования, накатки резьбы непрерывным способом, непрерывного протягивания и др.) дает возможность полностью совестить 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_O элементов, из которых отказали $N_{OT} = N_O - N_{II}$, а N_{II} оказались исправными, определяют по формуле

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

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 -го элемента.

Отказы, имеющие постоянную интенсивность,

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

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:

$$\eta = \frac{1}{(1 + \sum_1^n \lambda_i t_{cp i})} , \quad (1.16)$$

где n – число независимых элементов, подверженных отказам;

λ_i – интенсивность отказов i -го элемента;

$t_{cp i}$ – среднее время на устранение отказа (на восстановление).

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

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).

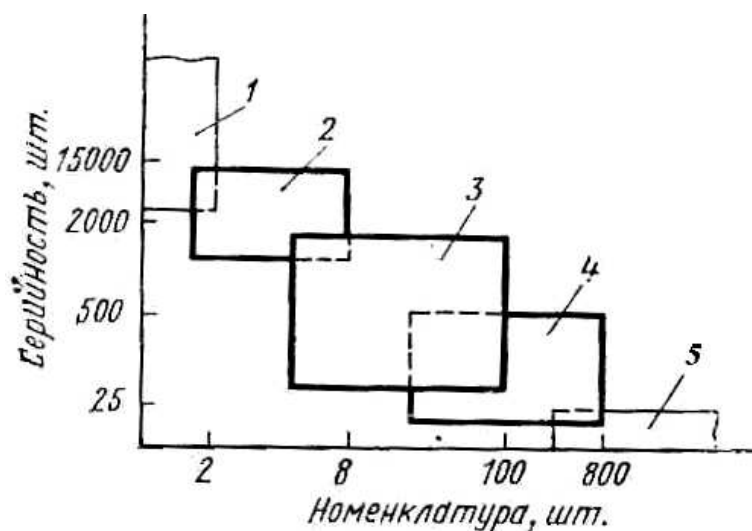


Рис. 1.7. Примерные области использования станочного оборудования:
 1 – автоматические линии; 2 – переналаживаемые автоматические линии;
 3 – гибкие станочные системы; 4 – станочные модули и станки с ЧПУ;
 5 – станки с ручным управлением

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.

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 цикле станочных дисциплин первой изучается кинематическая структура станков (дисциплина «Станочное оборудование»). Затем в соответствующих дисциплинах изучаются две другие подсистемы.

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 ни 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 идеальной 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.

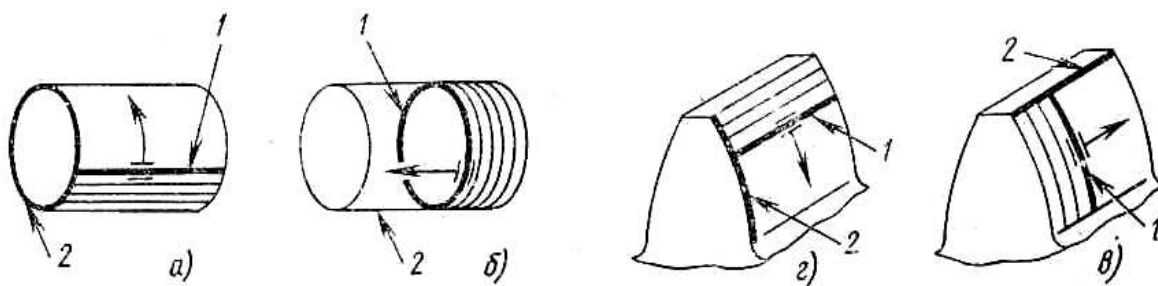


Рис. 2.1. Образование поверхностей:
1 – образующая производящая линия;
2 – направляющая производящая линия

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. Следует отметить, что почти все производящие линии на станках образуются (ими-

тируются) 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, 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 – $\Phi (П)$.

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: $\Phi (B_1B_2)$, $\Phi (B_1П_2)$, $\Phi (B_1П_2П_3)$ 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.

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 линии, либо они взаимно обкатываются. Другими словами, образуемая производящая линия и линия режущей кромки инструмента должны быть взаимнооггибаемыми. Для получения производящей линии методом обката требуется одно, но всегда сложное формообразующее движение – движение обката (качения).

Метод следа (рис. 2.2, б) 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).

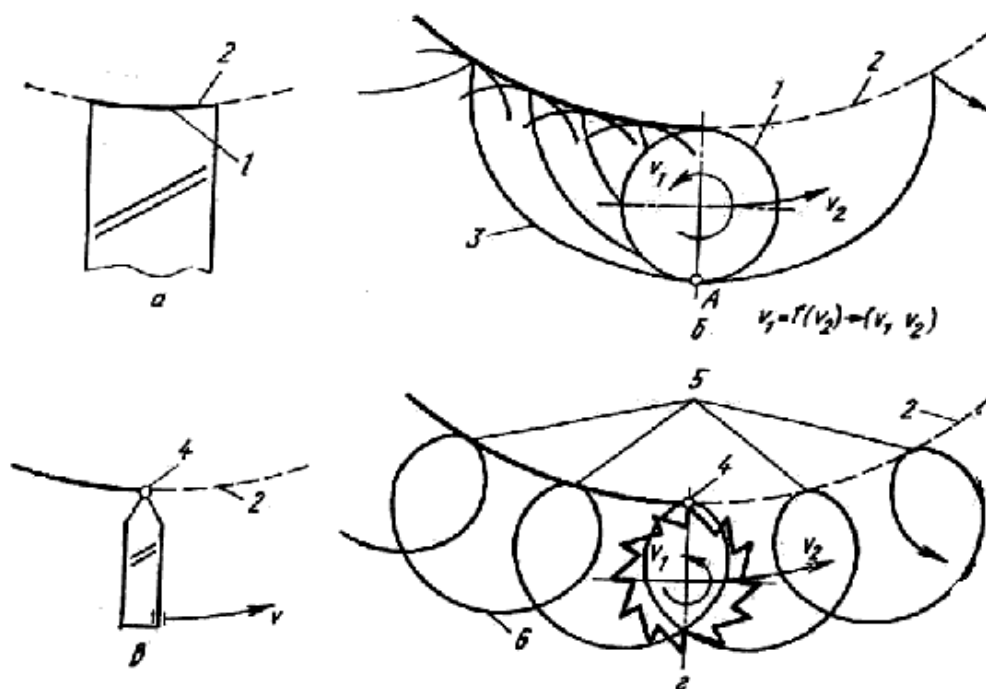


Рис. 2.2. Методы образования производящих линий:

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 касания (рис. 2.2, в) заключается в том, что форма производящей линии возникает в виде огибающей мест касания множества режущих точек вращающегося инструмента в результате относительных дви-

жений 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, 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 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 осуществимые классы образования поверхностей.

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 P_2 вдоль образующей, а направляющая (эвольвента) – методом обката двумя согласованными движениями: вращением B_3 заготовки и ее поступательным перемещением P_4 . Класс образования поверхности: касание + обкат.

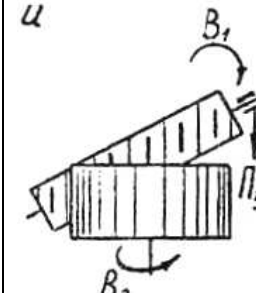
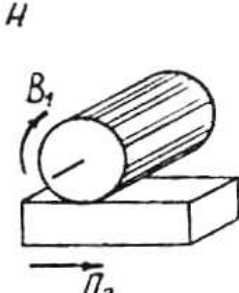
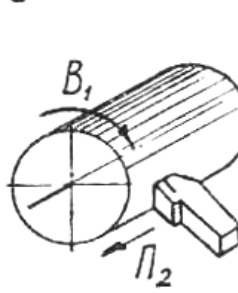
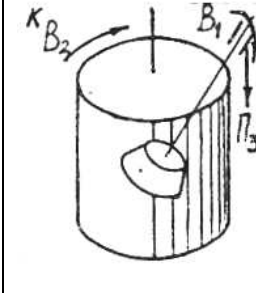
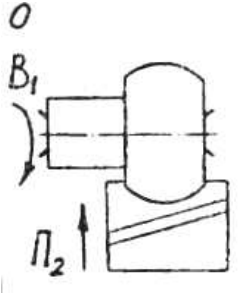
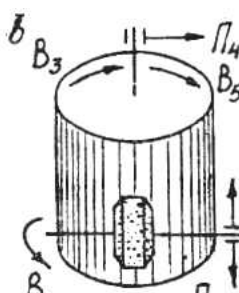
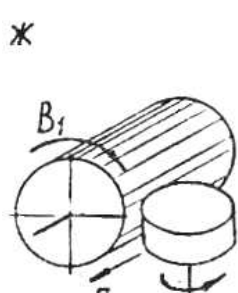
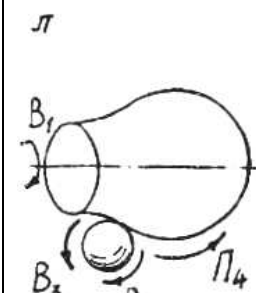
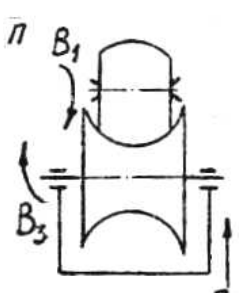
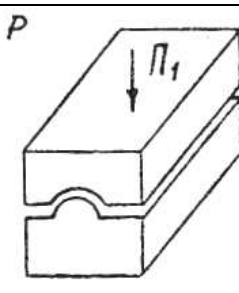
		Методы воспроизведения образующей			
		касание	след	обкат	копирование
Методы воспроизведения направляющих	касание	<i>a</i>	<i>д</i>	<i>ц</i> 	<i>н</i> 
	след	<i>б</i>	<i>е</i> 	<i>к</i> 	<i>о</i> 
	обкат	<i>в</i> 	<i>ж</i> 	<i>л</i> 	<i>п</i> 
	копирование	Неосуществим	Неосуществим	Неосуществим	<i>р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

Рис. 2.3. Классы геометрического образования поверхностей

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

При точении цилиндрической детали на рис. 2.3, *е*, образующая (окружность) воспроизводится вращением B_1 заготовки, а направляющая (прямая линия) параллельная оси заготовки – движением Π_2 резца вдоль оси заготовки. Класс образования поверхности: след + след (двойной след).

При точении цилиндрической поверхности детали чашечным вращающимся резцом на 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 $П_3$. Класс образования поверхности: след + обкат.

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

При нарезании цилиндрического прямозубого колеса червячной фрезой на 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 на 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 на 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 на 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 на 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 на рис. 2.3, *о*, направляющая (окружность) воспроизводится вращением B_1 заготовки. Класс образования по-

верхности: копирование + след. В данном примере движение $П_2$ не является формообразующим.

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

При объемной штамповке на 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 $П_1$ 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 [2.7] 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

Все движения в станках, в том числе формообразующие, называются исполнительными. По целевому признаку их можно разделить на движения: формообразования Φ , врезания Vp , деления D , позиционирования $Пз$, управления $Упр$, вспомогательные Vc . Определение формообразующих движений приведено выше (см. рис. 2.1).

Врезание Vp – движение инструмента или заготовки, устанавливающие их в процессе резания в исходное для процесса формообразования положение. Примером движения врезания является движение $П_2$ при точении сферической поверхности (см. рис. 2.3, o).

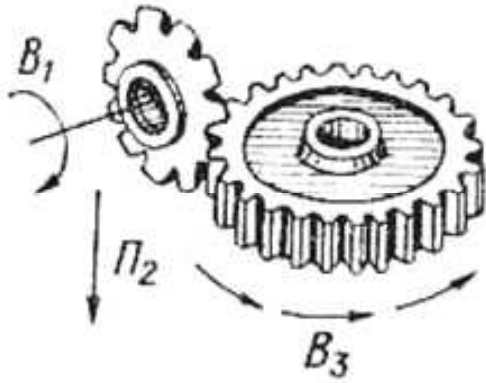


Рис. 2.4. Схема способа зубофрезерования модульной (фасонной) фрезой

поворачивают на угловой шаг зубьев движением деления V_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 резания 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, $n = n_{nl} - n_d$. 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.

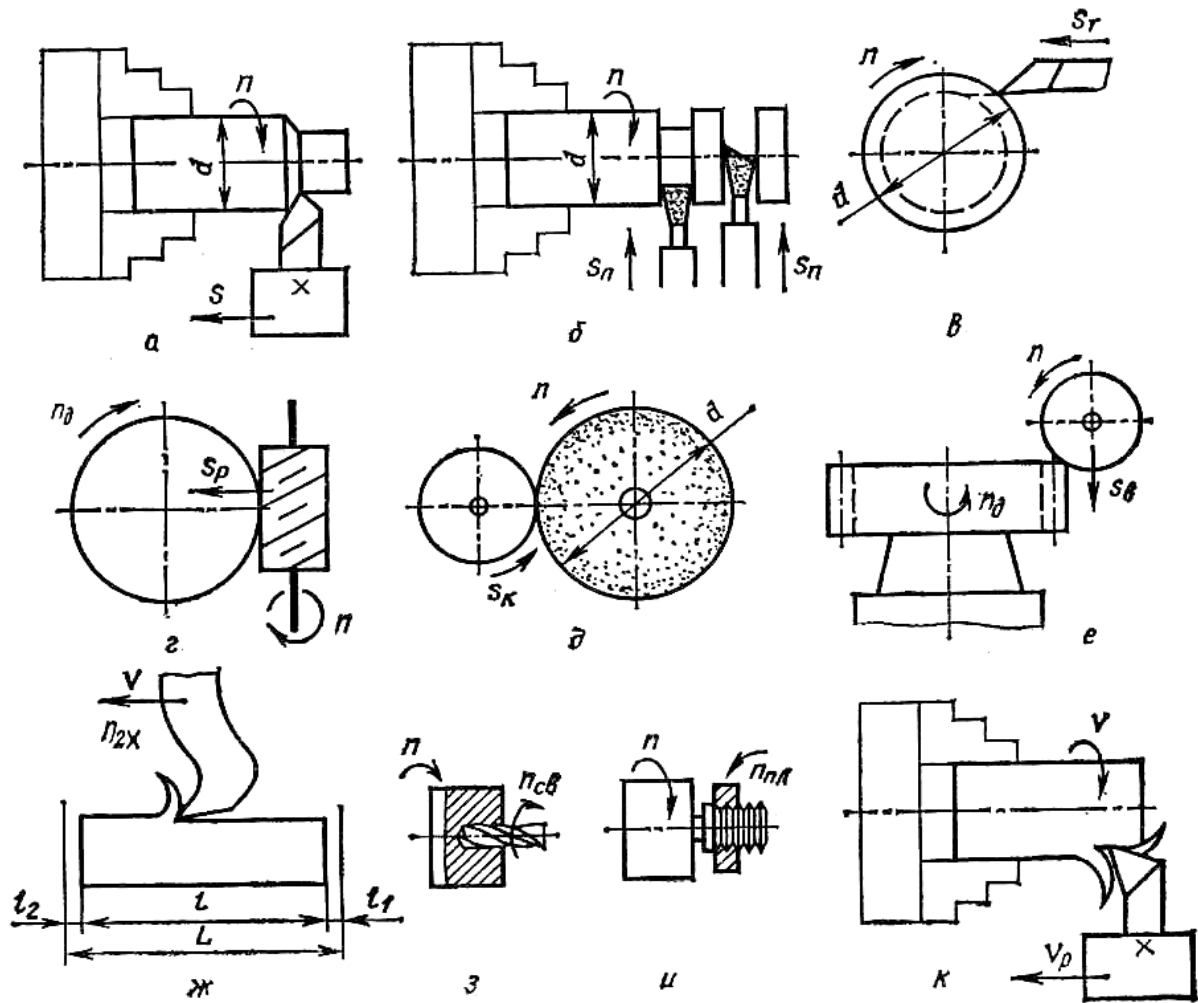


Рис. 2.5. Виды главного движения и подач

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.

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

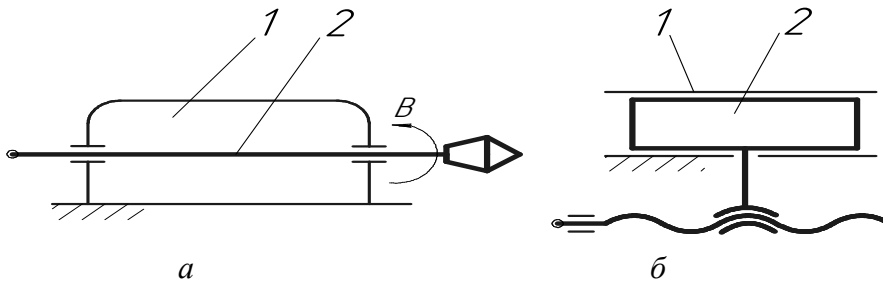


Рис. 2.6. Исполнительные кинематические пары:

a – вращательная: корпус передней бабки – 1; шпиндель – 2;
б – поступательная: направляющие станины – 1; суппорт – 2

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 является – движение скорости резания Φ_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.

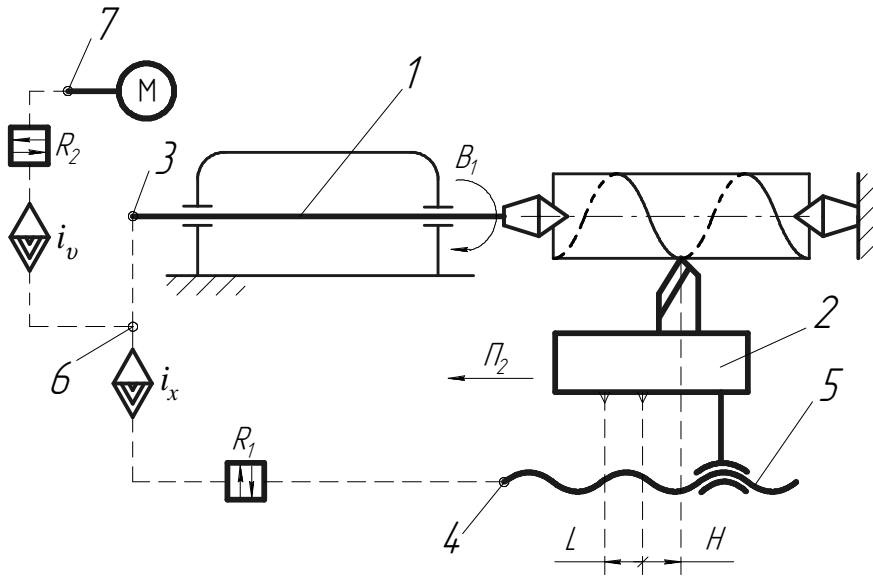


Рис. 2.7. Структурная схема винторезной кинематической группы

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 б 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 б 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 б. 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 зубчато-реечная передача. Механизм, преобразующий вращательное движение в поступательное будем называть *тяговым валом*. Характеристика тягового вала, используемая при кинематических расчетах – 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 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:

$$B_1 \leftarrow 1 \leftarrow 3 \leftarrow 6 \rightarrow i_x \rightarrow R_1 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 2 \rightarrow П_2.$$

Внешняя связь:

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

Разнонаправленные стрелки в описании внутренней связи показывают направление разветвление 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 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.

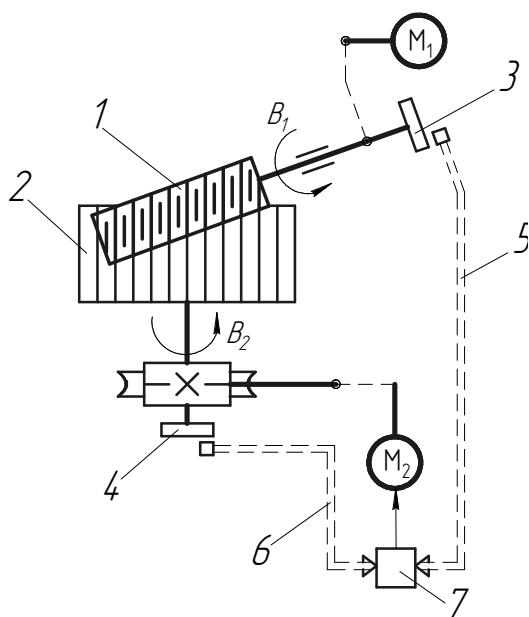


Рис. 2.8. Схема кинематической группы обката с электрическим валом

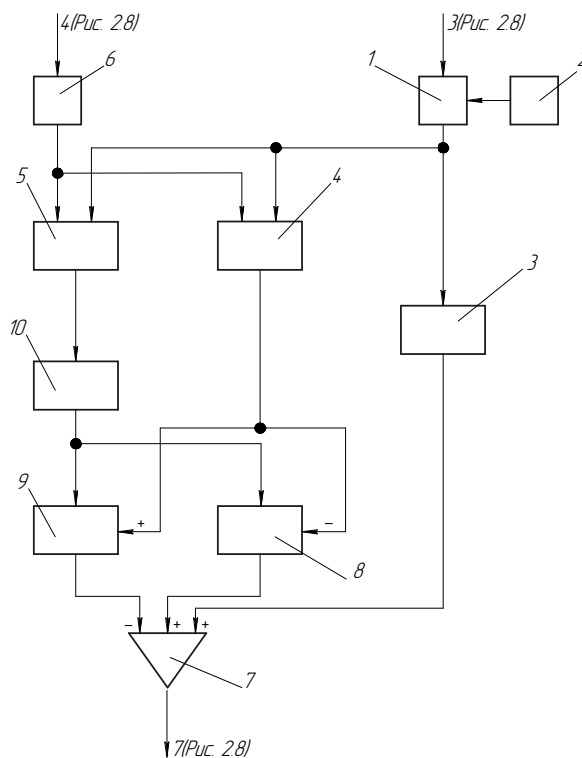


Рис. 2.9. Блок-схема системы отслеживающей синхронизации

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 – со 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 со вторым входом сложения параллельного сумматора 7, а выход ключа 9 – со 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.

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 (см. 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 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 (см. 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 дискри-

минатора 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 ключей, 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.

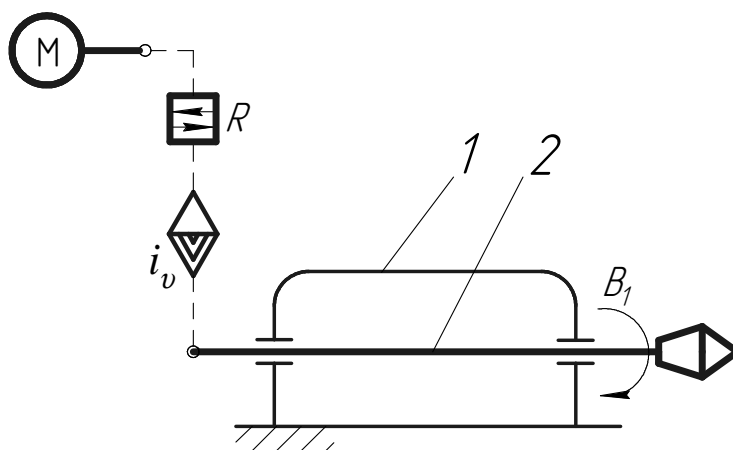


Рис. 2.10. Структурная схема простой кинематической группы

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 типовых кинематических структур станков, 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 Э11. Кинематическая структура этого станка состоит из одной кинематической группы формообразования $\Phi_v (П_1)$.

Внутренняя связь группы – элементарная кинематическая пара направляющие станины 1 → ползун 2.

Внешняя связь – кинематическая цепь, связывающая электродвигатель M с ползуном 2, являющимся звеном соединения связей, т. е.

$$M \rightarrow R \rightarrow i_v \rightarrow ТВ \text{ (передача винт-гайка)} \rightarrow \text{ползун } (П_1).$$

Движение $\Phi_v (П_1)$ 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).

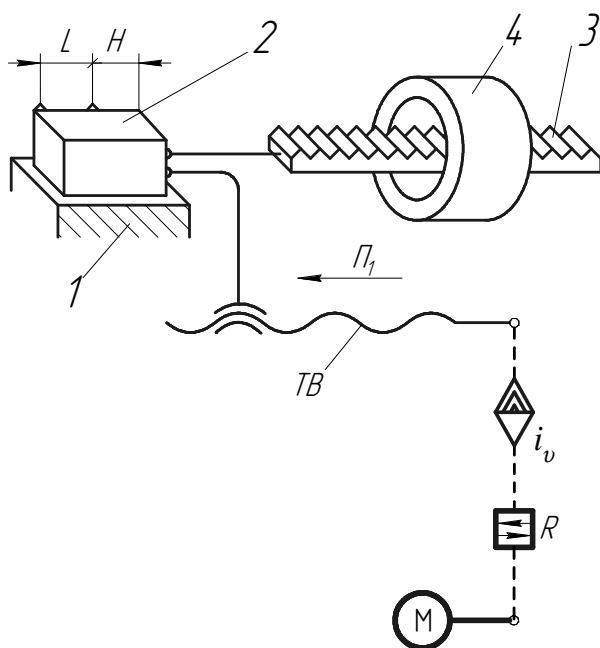


Рис. 2.11. Структурная схема протяжного станка

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) обеспечиваются конструкцией про-

тяжки, 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 выше (см. рис. 2.7) структура винторезной кинематической группы $\Phi_v (B_1\Pi_2)$, является структурной схемой винторезного станка класса С12, 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.

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 движителями: скорости резания $\Phi_v (B_1)$, круговой подачи $\Phi_{S1} (B_2)$, продольной подачи $\Phi_{S2} (\Pi_3)$, врезания $Bp (\Pi_4)$. Класс кинематической структуры С33.

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 .

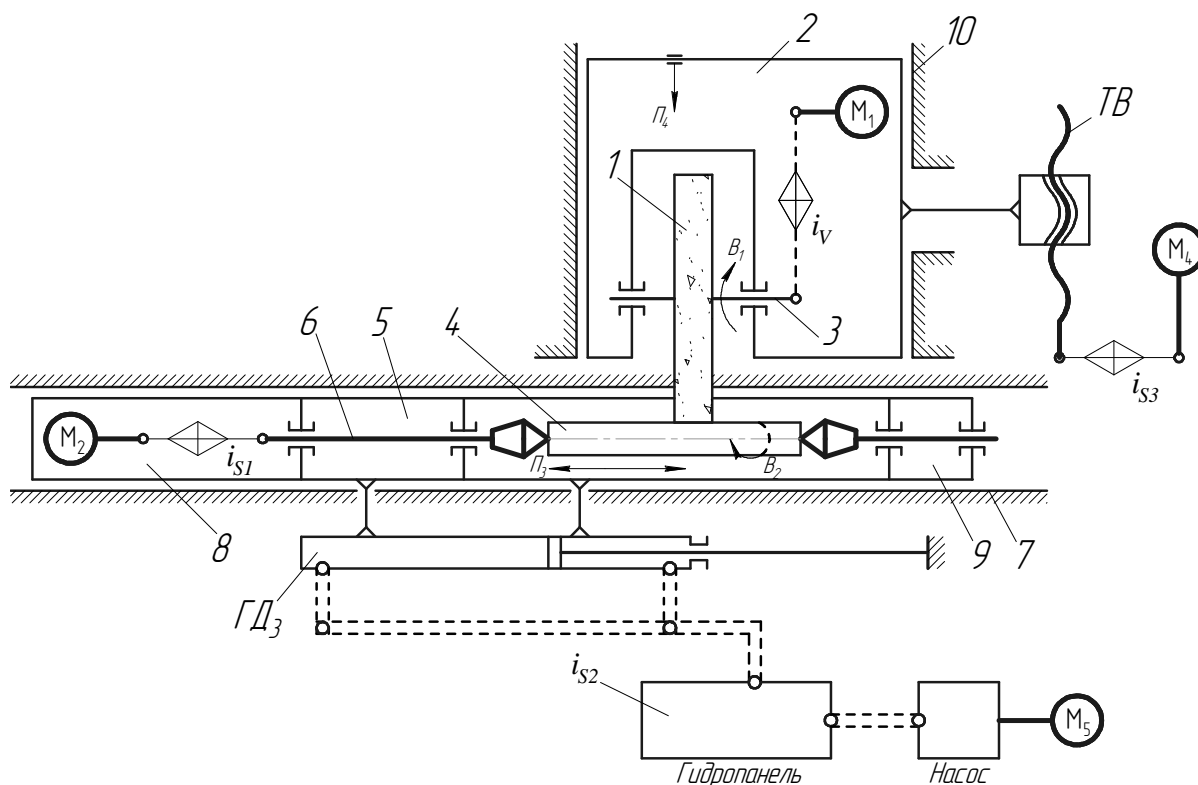


Рис. 2.12. Структурная схема круглошлифовального станка

Группа $\Phi_{S1} (B_2)$ осуществляет круговую подачу заготовки 4. Ее внутренняя связь представляет собой элементарную вращательную пару:

корпус 5 передней бабки \rightarrow шпиндель 6, несущий заготовку 4.

Внешняя связь:

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

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

Группа $\Phi_{S2} (П_3)$ осуществляет продольную подачу заготовки $П_4$.

Внутренняя связь группы:

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

Внешняя связь:

гидродвигатель (гидроцилиндр) $ГД_3 \rightarrow$ продольный стол 8 ($П_3$).

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 $V_p (П_4)$ – элементарная поступательная пара:

направляющие 10 станины – шлифовальная бабка 2.

Внешняя связь:

$$M_4 \rightarrow i_{S3} \rightarrow TB \rightarrow \text{шлифовальная бабка 2 (} \Pi_4 \text{)}.$$

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. Группа $\Phi_v (B_1)$ связана с группой $B_p (\Pi_4)$ через шлифовальную бабку 2 как через промежуточное исполнительное звено. Такое же соединение через промежуточные исполнительные звенья имеет группа $\Phi_{S1} (B_2)$ с группой $\Phi_{S2} (\Pi_3)$ и группой $B_p (\Pi_4)$. Группа $\Phi_{S2} (\Pi_3)$ с группой $B_p (\Pi_4)$ 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 долбяками. Кинематическая структура станка содержит следующие кинематические группы: скорости резания $\Phi_v (\Pi_1)$, движения обката $\Phi_s (B_2 B_3)$, врезания $B_p (\Pi_4)$ и радиального «отскока» $B_c (\Pi_5)$. Объединение их в общую структуру выполнено по схеме с общим электродвигателем.

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

$$\text{гильза 1} \rightarrow \text{корпус 2 суппорта станка}.$$

Внешняя связь группы:

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

представляющую 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.

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.

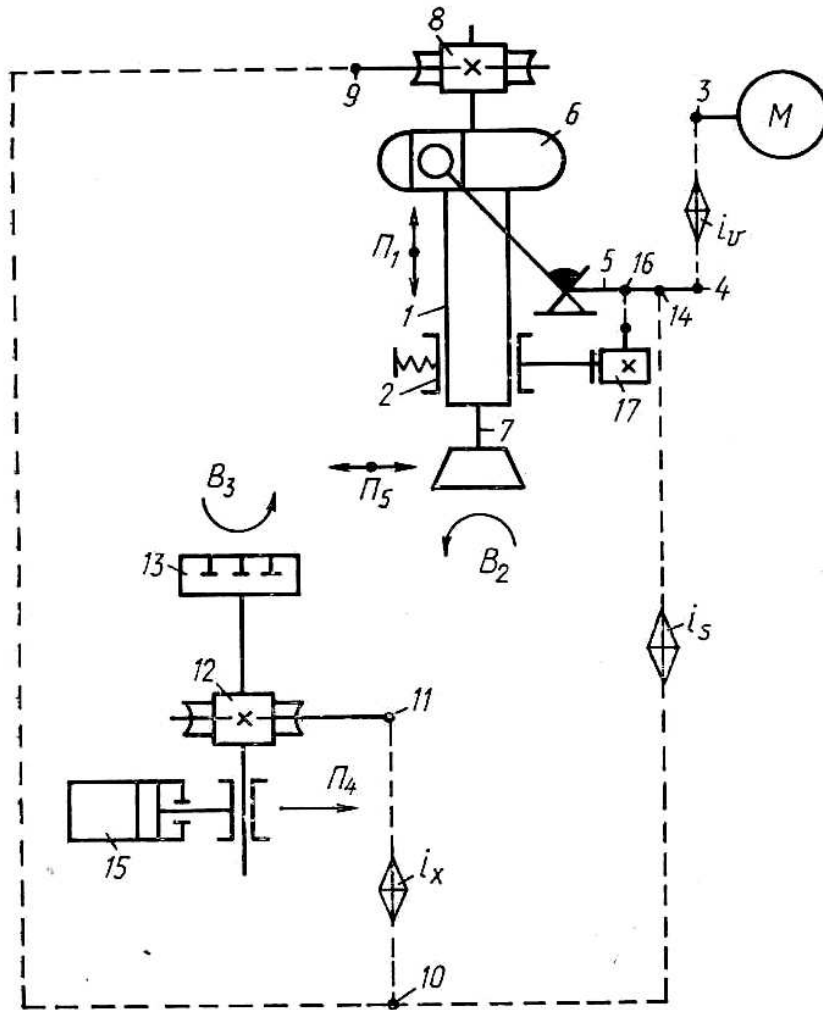


Рис. 2.13. Кинематическая структура зубодолбежного станка

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.

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 V_p (Π_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 Π_4 . Эта группа настраивается на скорость врезания регулируемым дросселем гидропривода станка, а на исходную точку – путевыми упорами системы управления.

Вспомогательная группа радиального «отскока» $Bc (II_5)$ 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 $Bc (II_5)$ работает синхронно с группой Φ_v и имеет общую с ней до кинематического звена 4 внешнюю связь. Группа $Bp (II_4)$ 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) прямолинейные 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 $\Phi_v (II_1 B_7)$. Внутренняя связь группы – винтовая кинематическая пара, внешняя связь – кинематическая цепь, передающая движение от электродвигателя к звену соединения связей (копирный кулак).

Движение $\Phi_v (B_1 II_7)$ 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.

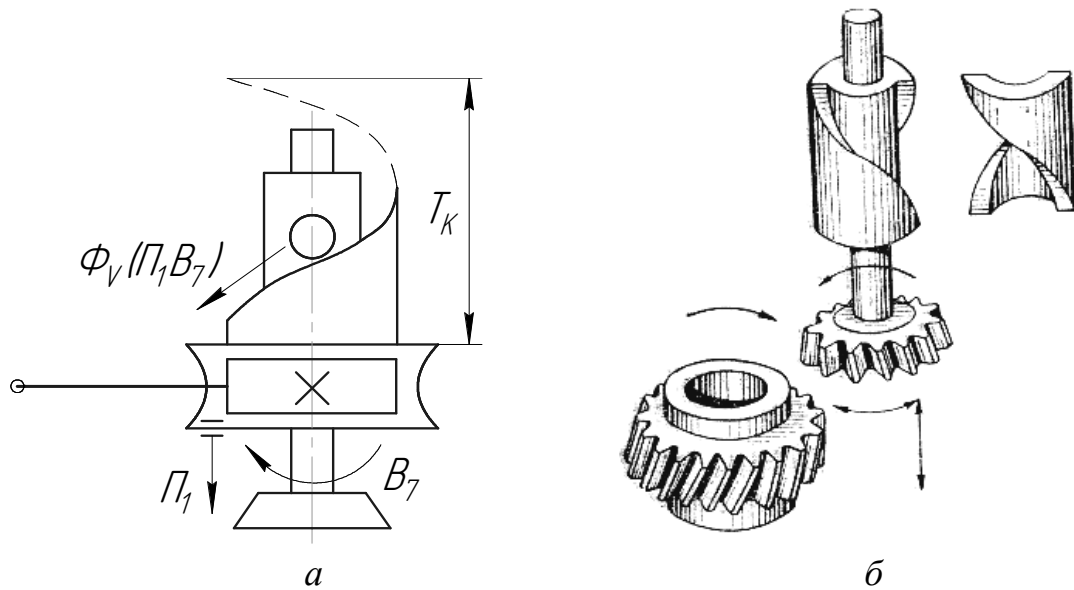


Рис. 2.14. Модификация кинематической группы воспроизведения линии винтового зуба:
 а – схема модификации; б – конструктивное выполнение винтовых направляющих

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 литера-

турных 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, соответствующие 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:

$$1 \text{ оборот червячной фрезы} \rightarrow k/z \text{ оборота заготовки,}$$

где k – количество заходов червячной фрезы;

z – число зубьев нарезаемого колеса.

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

Для органов настройки, расположенных в расчетных цепях подачи, расчетные перемещения (таблица 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
Цилиндрических или конических зубчатых колес	$\Phi (B_1 B_2)$	$0 \text{ об. колеса } Z_1 \rightarrow \frac{Z_1}{Z_2} \text{ об. колеса } Z_2$
Ходового винта и гайки	$\Phi (B_1 P_2)$	$1 \text{ об. ходового винта} \rightarrow S \text{ мм продольного перемещения гайки}$
Рейки с колесом	$\Phi (P_1 B_2)$	$L \text{ мм перемещение рейки} \rightarrow \frac{L}{\pi \cdot m \cdot z} \text{ об. колеса } Z$
Червяка с червячным колесом	$\Phi (B_1 B_2)$	$1 \text{ об. червяка} \rightarrow \frac{K}{Z} \text{ об. колеса}$
Червяка с реечным колесом	$\Phi (P_1 B_2)$	$L \text{ мм перемещение рейки} \rightarrow \frac{L}{\pi \cdot m \cdot z} \text{ об. колеса}$
Червяка с гайкой	$\Phi (B_1 P_2)$	$1 \text{ об. червяка} \rightarrow \pi \cdot k \cdot t \text{ перемещению гайки}$
Червяка с рейкой	$\Phi (B_1 P_2)$	$1 \text{ об. червяка} \rightarrow \pi \cdot k \cdot t \text{ перемещению рейки}$
Кулачка с толкателем	$\Phi (B_1 P_2)$	$1 \text{ об. кулачка} \rightarrow h_k \text{ мм перемещению толкателя}$

Расчетные перемещения цепей деления зависят от способа соединения кинематических групп формообразования и деления. При параллель-

ном и при последовательном соединении этих групп расчетные перемещения записываются в виде

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

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:

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

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	$n_m \text{ мин}^{-1} \text{ двигателя} \rightarrow S \text{ мм перемещение исполнительного звена подачи}$	$n_m \text{ мин}^{-1} \text{ двигателя} \rightarrow n_u \text{ мин}^{-1} \text{ исполнительного звена подачи}$
Оборотная	$1 \text{ об. исполнительного звена группы резания} \rightarrow S \text{ мм перемещение исполнительного звена подачи}$	$1 \text{ об. исполнительного звена группы резания} \rightarrow S_d \text{ мм дуговое перемещение исполнительного звена подачи}$
Цикловая	<p>Для временных(кулачковых) СУ 1,3,4 группы</p> $\frac{n_m}{60} t_{ц} \text{ об. двигателя} \rightarrow 1 \text{ об. РВ.}$ <p>Для временных (кулачковых) СУ 2 группы</p> $\frac{n_m}{60} t_p \text{ об. двигателя} \rightarrow \frac{\alpha_p^\circ}{360} \text{ об. РВ,}$ <p>где $t_{ц}$ 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 (см. рис 2.13).

Орган настройки i_v .

Расчетные перемещения (РП):

$n_m \text{ мин}^{-1} \text{ мотора} \rightarrow n_z \text{ двойных ходов/мин шпинделя долбяка.}$

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:

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

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. Передатки и механизмы в кинематических схемах показывают контуром, напоминающим 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 органов настройки наиболее распространены шестеренчатые коробки скоростей и гитары со сменными зубчатыми колесами.

Таблица 2.3

Условное обозначение элементов кинематических схем

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
ВАЛ		ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ	
СОЕДИНЕНИЕ ДВУХ ВАЛОВ		цилиндрическими колесами	
глухое			
глухое с предохранением от перегрузок		коническими колесами	
эластичное			
шарнирное		винтовыми колесами	
телескопическое			
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		неразъемной	
глухое		разъемной	
ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ		МУФТЫ	
радиальный		кулачковая односторонняя	
радиально-упорный односторонний		кулачковая двухсторонняя	
радиально-упорный двухсторонний		конусная односторонняя	
ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ		дисковая односторонняя	
радиальный		дисковая двухсторонняя	
радиально-упорный односторонний		электромагнитная односторонняя	
радиально-упорный двухсторонний		электромагнитная двухсторонняя	
РЕМЕННЫЕ ПЕРЕДАЧИ		обгонная односторонняя	
плоским ремнем		обгонная двухсторонняя	
		клиновидным ремнем	
передача цепью		ТОРМОЗА	
		конусный	
		колодочный	
		дисковый	

2.5.1. Шестеренчатые коробки скоростей

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

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

Для изменения частоты вращения ведомого вала в коробках применяют передачи, содержащие передвижные 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 трехвенцовым 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 передвижных блоков можно обеспечить шесть различных передаточных отношений или шесть частот вращения вала III при постоянной частоте вращения вала I. Размещение колес на валах зависит от ширины венца b 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 зацеплении 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 .

Передачи с передвижными блоками и кулачковыми муфтами просты по конструкции, надежны в эксплуатации и удобны в управлении, но не допускают переключения 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 вала 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.

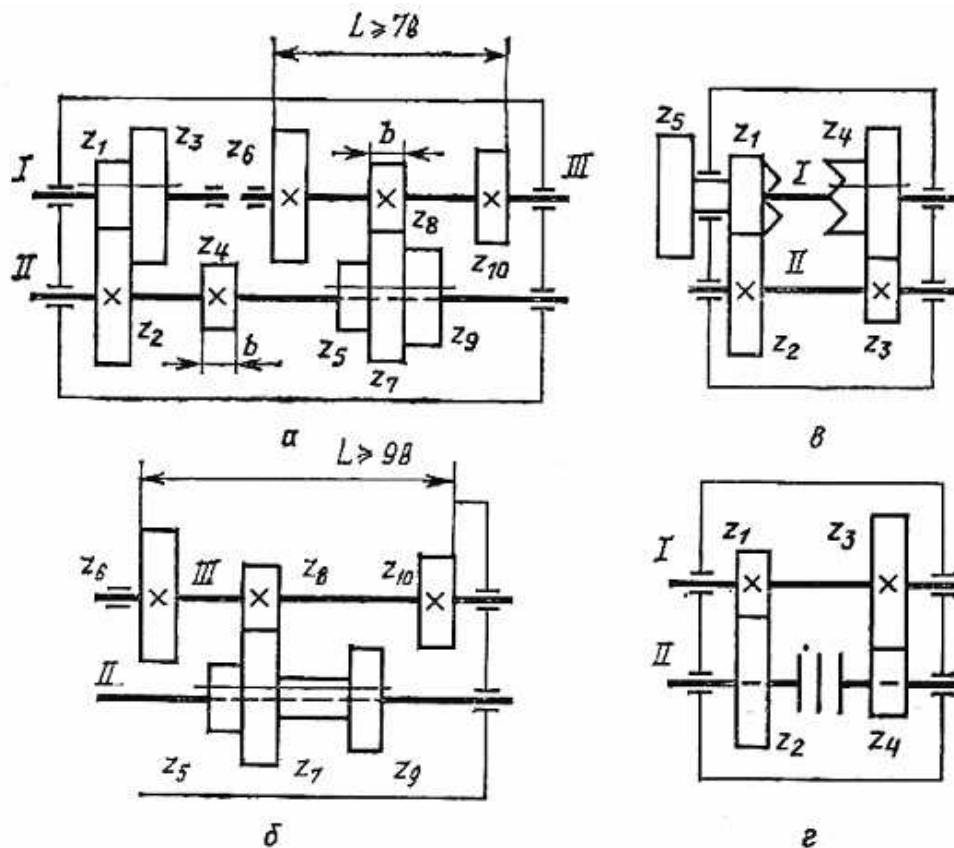


Рис. 2.15. Механизмы шестеренчатых коробок:
 а – с двумя передвижными блоками; б – с трехвенцовым блоком;
 в – с перебором; г – с фрикционной двухсторонней муфтой

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

На рис. 2.16, а, 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:

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

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

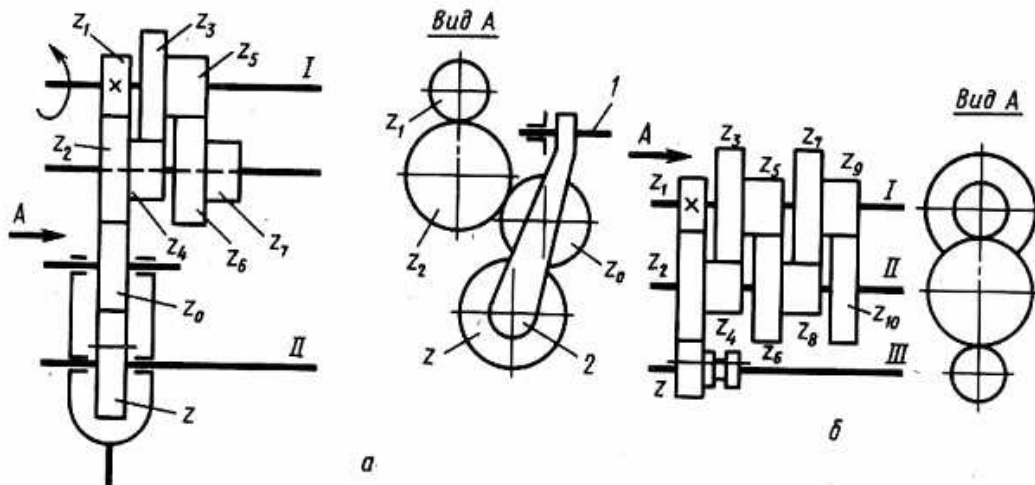


Рис. 2.16. Механизмы миандра коробок подач:
 а – с накидным колесом; б – с подвижным колесом

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 не жестким подвижным цилиндрическим фиксатором 1.

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

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.

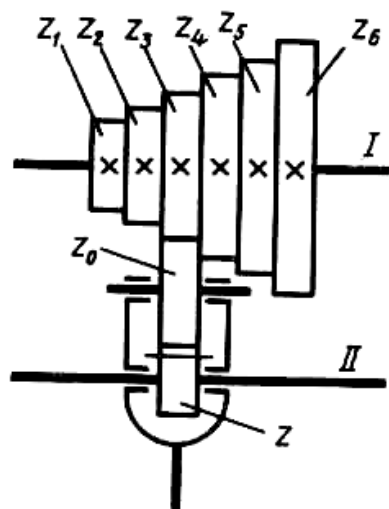


Рис. 2.17 Механизм с шестеренчатым конусом

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 передаточных 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 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 передвигжных 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. Сложенной 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 вала 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*. 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 сложенного 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 трех скоростным асинхронным электродвигателем.

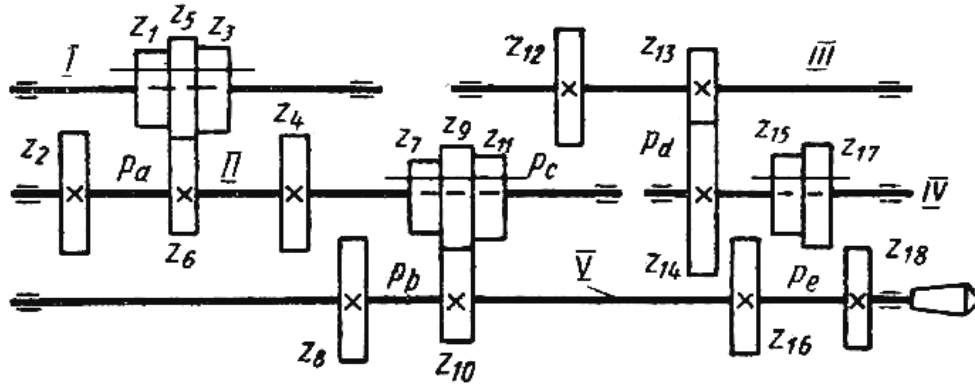


Рис. 2.18. Структура сложного многоскоростного привода

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 простой конструкцией. Основной 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 (рис. 2.19) используются для точной настройки кинематических цепей (органы настройки i_x , i_y и т. п.).

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

Для подбора зубчатых колес пользуются единственным уравнением с четырьмя неизвестными

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

где i – передаточное отношение, полученное по ФН;

a, b, c, d – числа зубьев колес гитары.

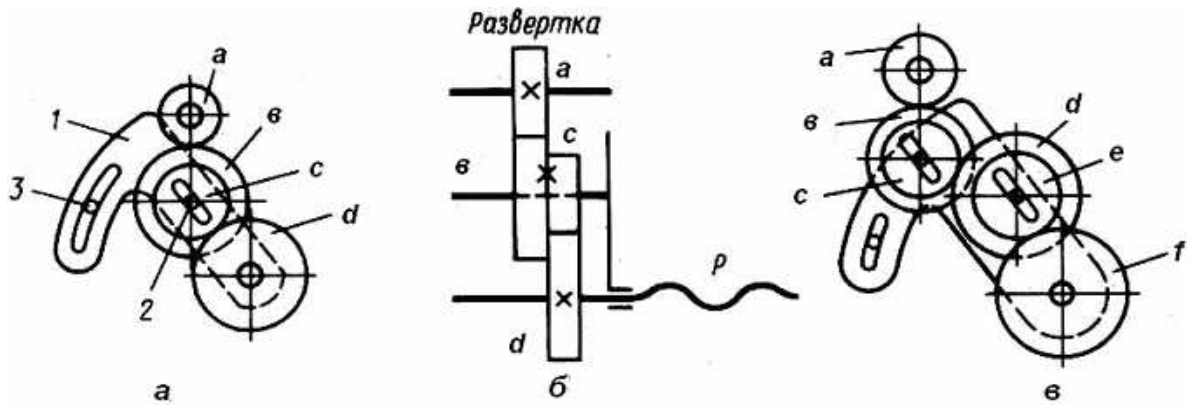


Рис. 2.19. Гитары сменных зубчатых колес: *а* – с двумя парами сменных колес; *б* – развертка гитары с двумя парами сменных колес; *в* – гитара с тремя парами сменных колес

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

$$a + в > c + (15...20) \quad (2.2);$$

$$c + d > в + (15...20) \quad (2.3).$$

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,
$$i = \frac{51}{91} = \frac{3 \cdot 7}{7 \cdot 13}.$$

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 местами колеса в числителе или знаменателе.

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

Проверяем условия сцепляемости по большему допустимому значению

$$85 + 70 > 30 + 20;$$

$$30 + 65 > 70 + 20.$$

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:

$$21 + 65 > 45 + 20;$$

$$45 + 47 > 65 + 20.$$

В ряде станков, например, зубофрезерных 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

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

Зубчатые колес e и f меняются значительно реже, чем колеса a , b , c , d . Их передаточное отношение постоянно и равно 1; 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 выбираются 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. В затыловочных станках набор колес аналогичен общему, но в нем нет колеса со 113 зубьями. Для фрезерных станков (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).

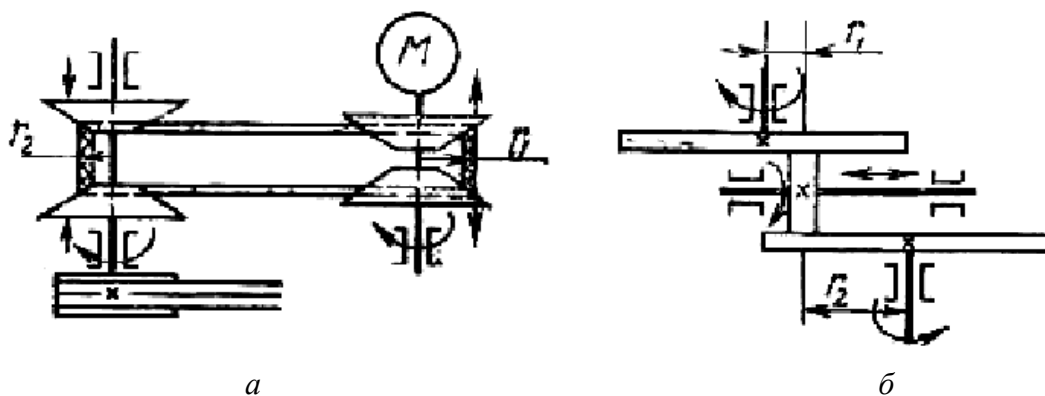


Рис. 2.20. Механические вариаторы:
а – с раздвижными конусными дисками; б – лобовой

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, 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 %).

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 $R_{\delta} < 10$.

Общими недостатками механических вариаторов являются: меньшая по сравнению с шестеренчатыми передачами надежность, нежесткая кинематическая характеристика, 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, гидродвигателей и механических устройств. В станках с механическими связями используются, как правило, механические реверсивные механизмы. На рис. 2.21 приведены схемы наиболее распространенных реверсивных механизмов.

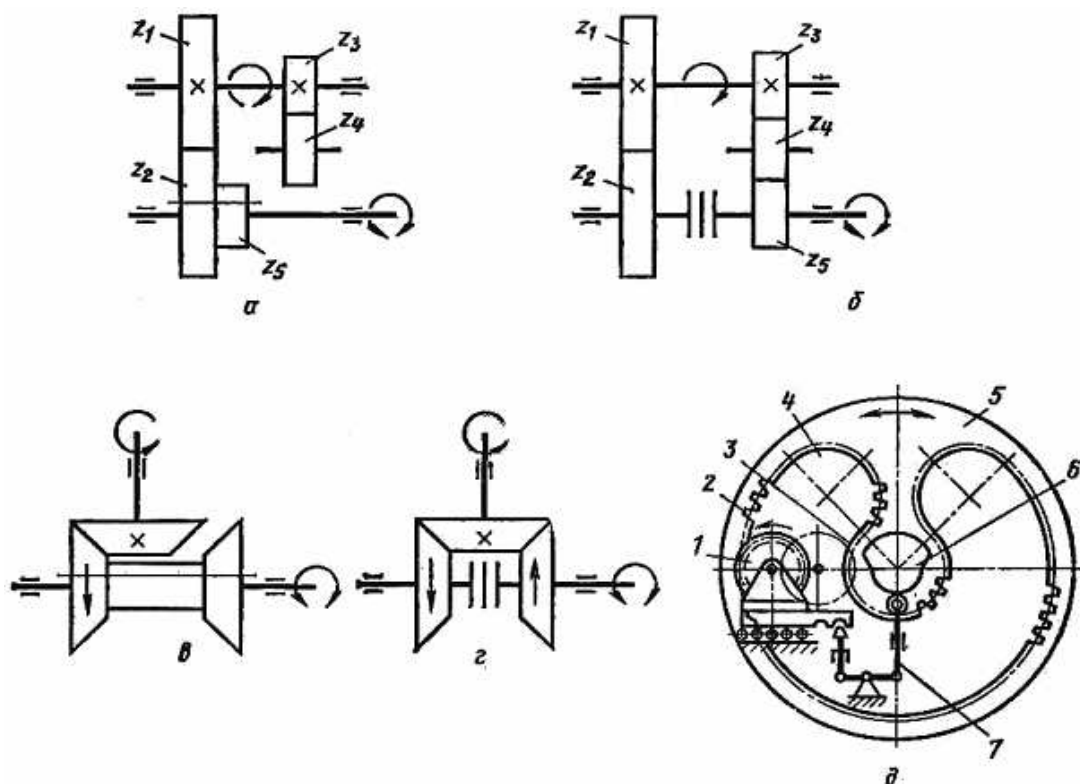


Рис. 2.21. Реверсивные механизмы:
 а – с подвижной шестерней; б – с фрикционной муфтой;
 в, г – с коническими колесами; д – с составным колесом

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 подвижной 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, токарно-затыловочных, резьбошлифовальных и в 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 тоже 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.

2.5.5.1. Планетарные дифференциалы

Планетарные дифференциалы 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)

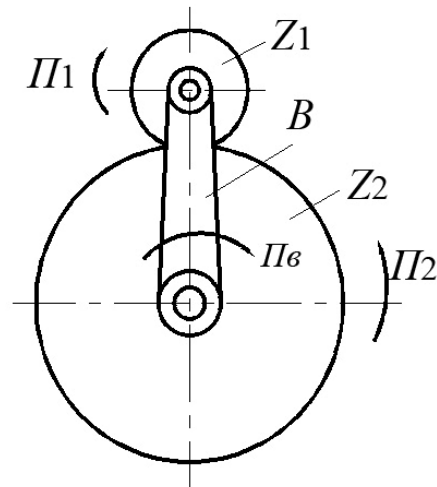


Рис. 2.22. Планетарный суммирующий механизм с цилиндрическими колесами

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

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 $p = \pm i^6; k = 1 - (\pm i^6)$.

При $n_1 = 0$, $i_{\Sigma}^{z1} = \frac{n_2}{n_6} = k = 1 - (\pm i^6)$; при $n_6 = 0$, $i_{\Sigma}^6 = \frac{n_2}{n_1} = p = \pm i^6$,

где $i_{\Sigma}^{z1}; i_{\Sigma}^6$ – 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_6 . Рассмотрим в качестве примера привод вращения шпинделя токарно-затыловочного станка модели 1708.

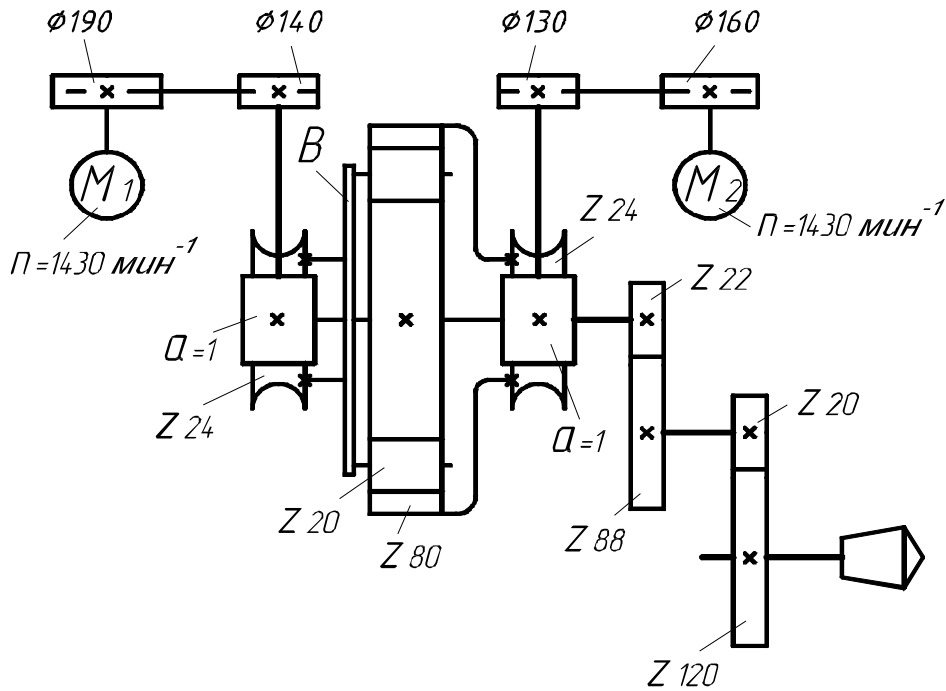


Рис. 2.23. Планетарный дифференциал в приводе вращения шпинделя

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 Z_{80} .

Выходное звено дифференциала – колесо Z_{40} .

Таким образом,

$$n_1 = n_{Z_{80}}; \quad n_2 = n_{Z_{40}}; \quad n_6 = n_{Z_{24}}.$$

По ФВ получим
$$\frac{n_2 - n_6}{n_1 - n_6} = \pm i^6 = \left(+\frac{80}{20}\right)\left(-\frac{20}{40}\right) = -2.$$

Откуда,

$$n_2 = -2n_1 + 3n_6.$$

Определим передаточные отношения дифференциала при отключенных по очереди электродвигателях.

Электродвигатель M_1 отключен.

Тогда,

$$n_6 = 0; \quad n_2 = -2n_1; \quad i_{\Sigma}^6 = \frac{n_2}{n_1} = -2.$$

Электродвигатель M_2 отключен.

Тогда,

$$n_1 = 0; \quad n_2 = 3n_6; \quad i_{\Sigma}^{Z_{80}} = \frac{n_2}{n_6} = 3.$$

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.

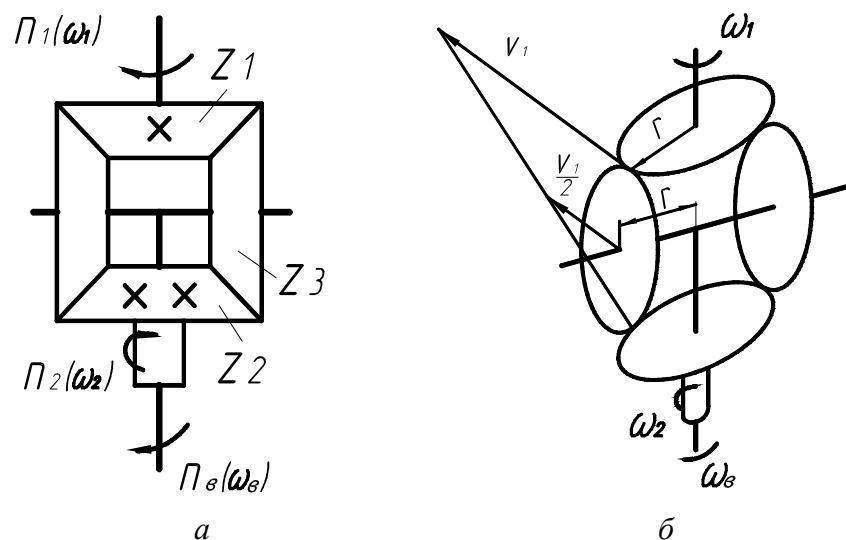


Рис. 2.24. Дифференциал с коническими колесами

Планетарные дифференциалы 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 уг-

ловыми 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,

$$v_I = \omega_1 r_I; \quad \frac{v_1}{2} = \frac{\omega_1 r}{2} = \omega_g r.$$

Следовательно,

$$\omega_g = \frac{\omega_1}{2} \quad (\text{или } n_g = \frac{n_1}{2}).$$

Аналогично при $\omega_1 = 0$, получим

$$\omega_g = \frac{n_2}{2} \quad (\text{или } n_g = \frac{n_2}{2}).$$

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

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

Определим передаточные отношения дифференциала при одном устанавливаемом звене.

Водило ведущее, $n_2 = 0$.

Тогда,

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

Водило ведомое, $n_2 = 0$.

Тогда,

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

Ведущее колесо Z_1 или Z_2 , $n_g = 0$.

Тогда,

$$i_{\Sigma}^g = 1.$$

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.

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.

2.5.5.2. Непланетарные дифференциалы

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.

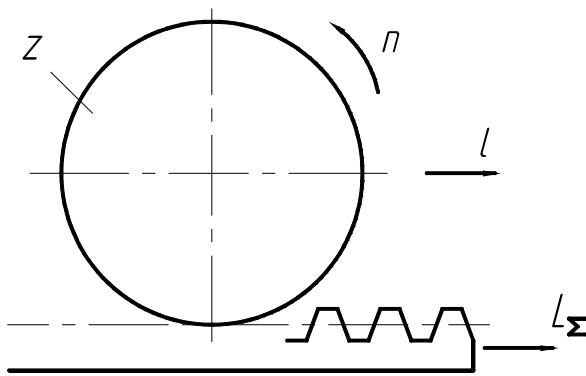


Рис. 2.25. Дифференциал с реечной передачей

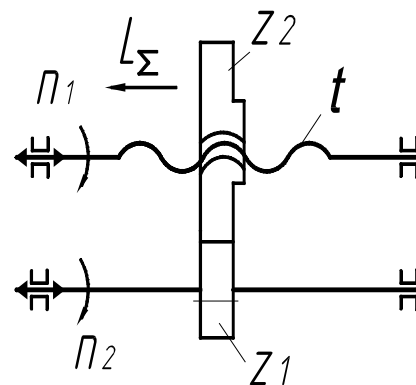


Рис. 2.26. Дифференциал с передачей винт-гайка

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.

Дифференциал с червячной передачей. При вращении червяка и его поступательном перемещении (рис. 2.27) червячному колесу будет сооб-

щено 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 долбяка.

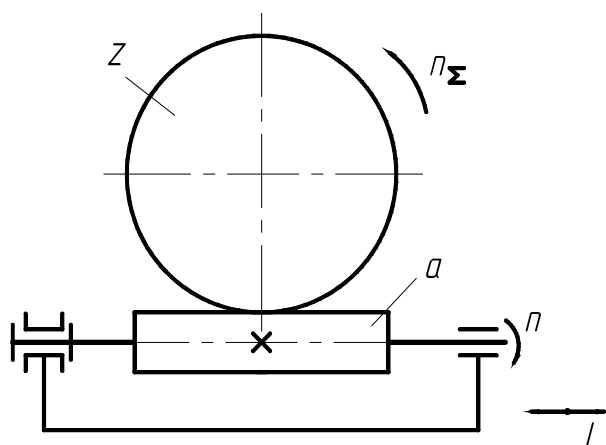


Рис. 2.27. Дифференциал с червячной передачей

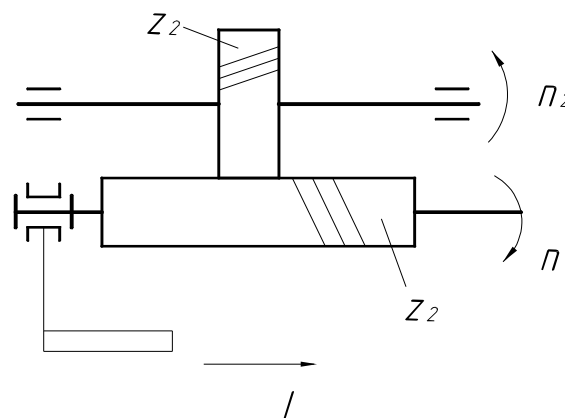


Рис. 2.28. Дифференциал с косозубными колесами

Дифференциал с косозубными 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 .

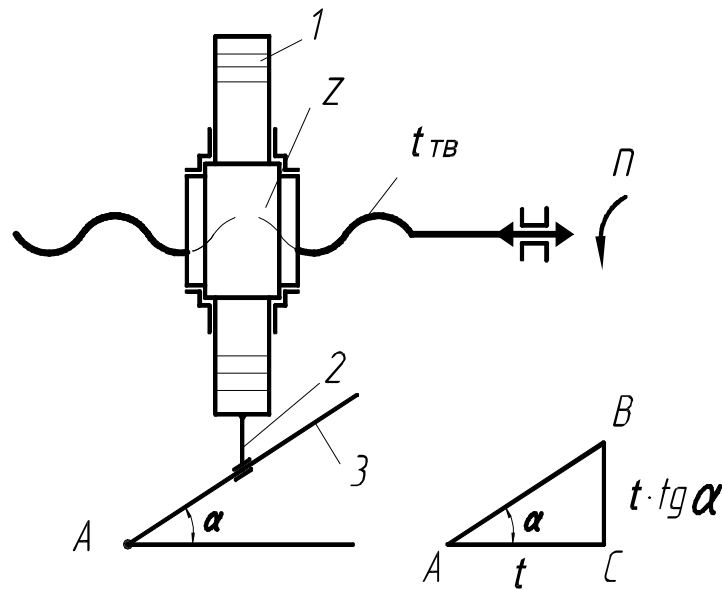


Рис. 2.29. Коррекционная линейка

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.

3. ИЗУЧЕНИЕ КИНЕМАТИКИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

3.1. Станки для обработки цилиндрических 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 окружности. 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.

3.1.1. Фасонное зубофрезерование зубчатых колес

На рис. 3.1 представлены схемы способов фасонного зубофрезерования. При фрезеровании впадин фрезе сообщают движение скорости реза-

ния $\Phi_v (B_1)$ и движение подачи $\Phi_s (П_2)$. Обратный отвод фрезы в исходное положение производят на ускоренном ходу. Затем движением деления $Д (B_3)$ заготовку поворачивают на угловой шаг зубьев.

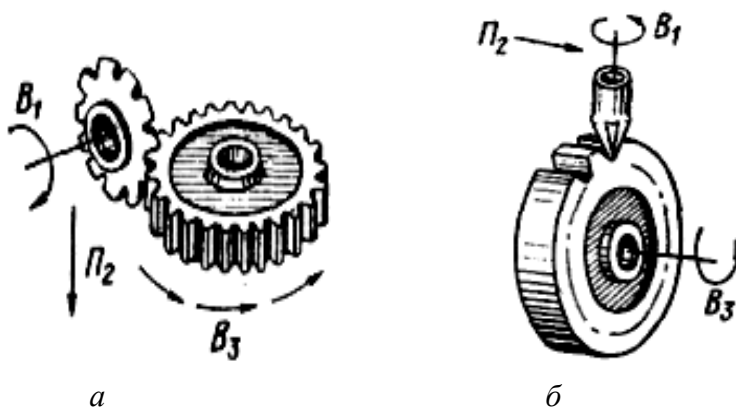


Рис. 3.1. Формообразование зубьев цилиндрических колес модульными фрезами: *а* – фасонной дисковой; *б* – фасонной пальцевой

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.

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 безлимбовые. В простых делительных головках шпиндель расположен горизонтально, в универсальных – шпиндель поме-

щен в поворотный корпус и может располагаться под углом. Универсальные делительные головки (УДГ) могут быть использованы для простого и дифференциального деления. 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 отношению делительной червячной передачи: 40, 60, 80 или 120.

На рис 3.2 приведена схема лимбовой УДГ. Периодический поворот шпинделя 1 осуществляется при вращении рукоятки 3 через червячную передачу z_1/z_2 , расположенную в корпусе 2. Рукоятку поворачивают на требуемый угол относительно лимба 4, который имеет фиксирующие отверстия, равномерно расположенные на концентрических окружностях. Фиксатор рукоятки можно вставлять в любое из этих отверстий. 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 и комплект сменных зубчатых колес с числами зубьев: 25 (2), 30, 35, 40, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100.

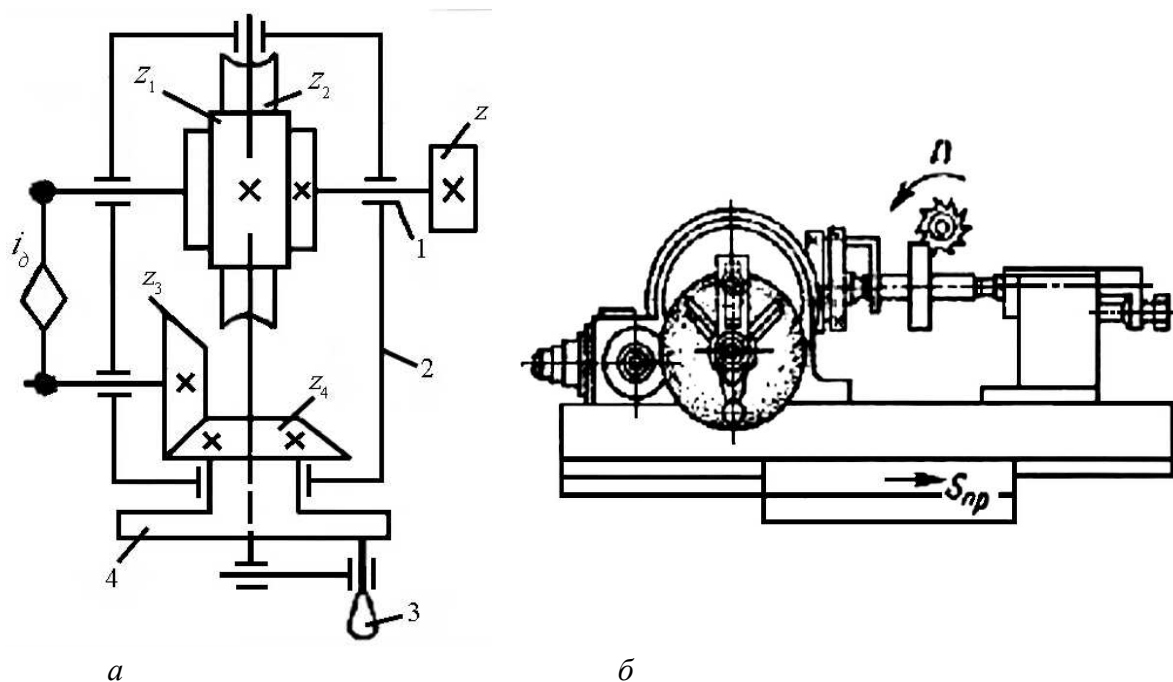


Рис. 3.2. Универсальная лимбовая делительная головка:
 а – кинематическая схема; б – ее установка на столе фрезерного станка

Простое деление используется тогда, когда можно подобрать на лимбе окружность с нужным числом отверстий. Это деление осуществляют при зафиксированном лимбе 4 и снятой гитаре i_0 . Простое деление осуществляют поворотом рукоятки на b отверстий относительно лимба, на ок-

ружности 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 оборотов рукоятки $\rightarrow 1/z$ поворота шпинделя.

УКЦ:

$$1/z = n \cdot 1/N.$$

Следовательно, ФН:

$$n = N/z.$$

Выделим из ФН целое число оборотов A . Тогда,

$$n = A + \frac{b}{a} \cdot m.$$

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. 3.1, б), состоящий из двух радиальных раздвижных линеек.

Дифференциальное деление 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_δ . Тогда при повороте рукоятки относительно лимба на угол b/a через гитару i_δ и конические колеса $z_3/z_4 = 1$ 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 1 с лимбом 4, имеют вид

$1/z$ об. шпинделя $\rightarrow N(z_\phi - z) / z_\phi \cdot z$ дополнительного поворота лимба.

УКЦ:

$$\frac{N(z_\phi - z)}{z_\phi \cdot z} = \frac{1}{z} \cdot i_\partial.$$

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 раздвижного сектора на 40 отверстий на окружности лимба, состоящей из 60 отверстий.

По ФН для гитары сменных зубчатых колес:

$$i_\partial = \frac{N(z_\phi - z)}{z_\phi} = \frac{40(60 - 67)}{67} = -\frac{14}{3} = -\frac{3,5}{1,5} \cdot \frac{4}{2}.$$

Знак минус показывает, что при делении лимб должен вращаться в противоположном направлении к вращению рукоятки. В этом случае в гитару 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, шпindel 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 безлиimbовая делительная головка (рис. 3.3) 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.

$$\text{УКЦ:} \quad 1/z = 1 \cdot i_{\partial} \cdot z_1/z_2,$$

где z_1 – число заходов червяка, равное 1;
 z_2 – число зубьев червячного колеса (характеристика головки).

$$\text{ФН:} \quad i_{\partial} = z_2/z = N/z.$$

Возможности простой безлиimbовой головки ограничены простым делением. Известны также безлиimbовые УДГ. От лимбовой (см. рис. 3.2) безлиimbовая УДГ отличается тем, что в ней 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 безлиimbовой УДГ аналогична рассмотренной выше для лимбовой головки.

Лимбовые и безлиimbовые УДГ используют также при фрезеровании винтовых канавок на сверлах, зенкерах, фрезеах и нарезании косозубых колес. На рис. 3.4 приведена схема фрезерования стружечных канавок на универсальных фрезерных станках с применением рассмотренной 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. Выходной вал 2 делительной головки через гитару i_{∂} 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_{∂} шпинделю с заготовкой. За один оборот заготовки стол должен переместиться на шаг винтовой канавки.

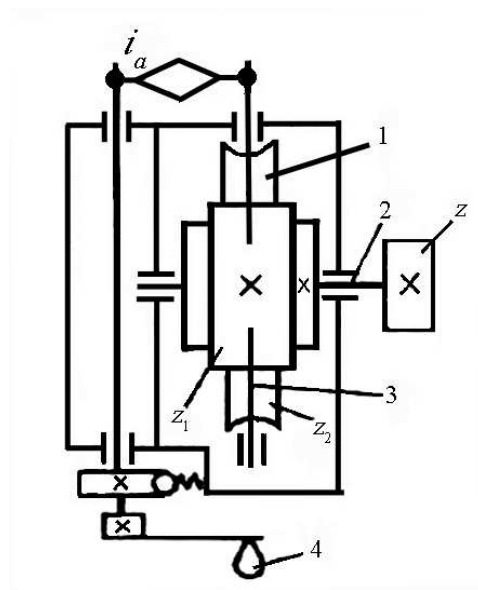


Рис. 3.3. Безлиimbовая УДГ

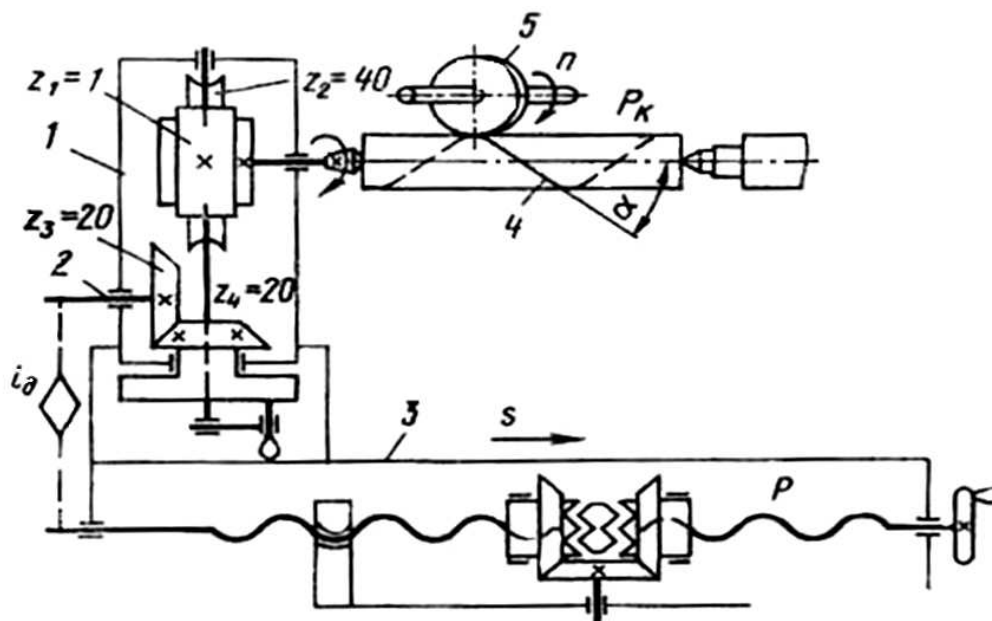


Рис.3.4. Схема фрезерование стружечных канавок

Следовательно, УКЦ можно записать в следующем виде

$$t_k = 1 \frac{40}{1} \frac{20}{20} \frac{1}{i_\partial} t_{TB},$$

где t_k – шаг винтовой канавки;
 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 при нарезании косозубых колес.

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 $\Phi_s (BП)$, получаемой из группы продольной подачи $\Phi_s (П)$ 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_ϕ , 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-9 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.

3.1.2. Фасонное зубодолбление

В крупносерийном и массовом производстве цилиндрических прямозубых колес используют зубодолбежные станки, обработку на которых осуществляют специальными контурными резцовыми головками 1 с числом резцов 3, равным числу зубьев нарезаемого колеса 2 (рис. 3.5). Нарезание зубьев происходит при вертикальном рабочем ходе заготовки 2 (движение формообразования $\Phi_v (П_1)$). Одновременно с движением врезания в начале цикла двойного хода заготовки 2 резцам 1 сообщается посредством вертикального движения втулки 4 прерывистое движение подачи врезания. В итоге съем припуска одновременно по всем впадинам зубьев производится последовательными слоями с радиальной подачей врезания s_p . Радиальные силы резания взаимноуравновешены. При возвратном движении заготовки в движении $П_1$ для устранения обратного резания, называемого в зубодолблении явлением затирания, резцы посредством втулки 5, совершающей также поступательно-возвратное движение, отводятся назад.

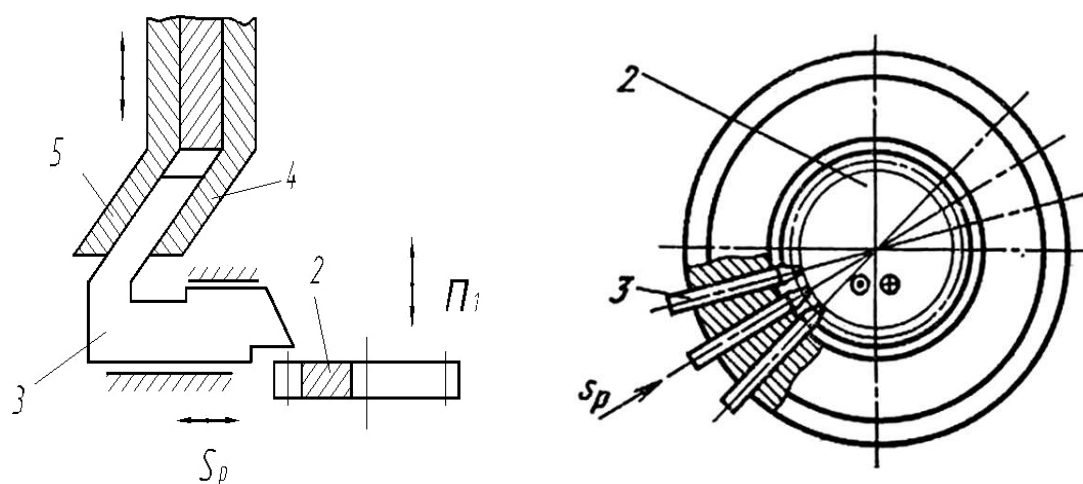


Рис. 3.5. Фасонное зубодолбление контурной резцовой головкой

Для удобства отсчета величины врезания (параметр настройки – путь) угол конуса втулок 4 и 5 головки равен $34^\circ 16'$, что обеспечивает при перемещении втулки 4 на 1 мм перемещение резцов на 0,5 мм.

По данной схеме работают станки моделей 5110, 5120, 5130. Станки этой гаммы отличаются простотой конструкции, так как в кинематической структуре содержат три простых кинематических группы: формообразования, врезания и отвода резцов при их обратном ходе. Производительность обработки выше, чем у зубофрезерных и зубодолбежных станков, профилирующих зубчатые колеса методом обката. Например, при нарезании колеса, имеющем $z = 40$, $m = 4$, $b = 30$, время обработки равно 1 мин. Но для нарезания зубчатых колес с другим числом зубьев или другим модулем необходимо иметь другую резцовую головку. Поэтому процесс неуниверсален. Инструмент, по сравнению с червячными фрезами и зуборезными долбьяками сложнее и дороже.

3.1.3. Зубофрезерные станки

На зубофрезерных станках червячными фрезами нарезают цилиндрические колеса с прямыми и винтовыми зубьями внешнего зацепления и червячные колеса. На рис. 3.6 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.

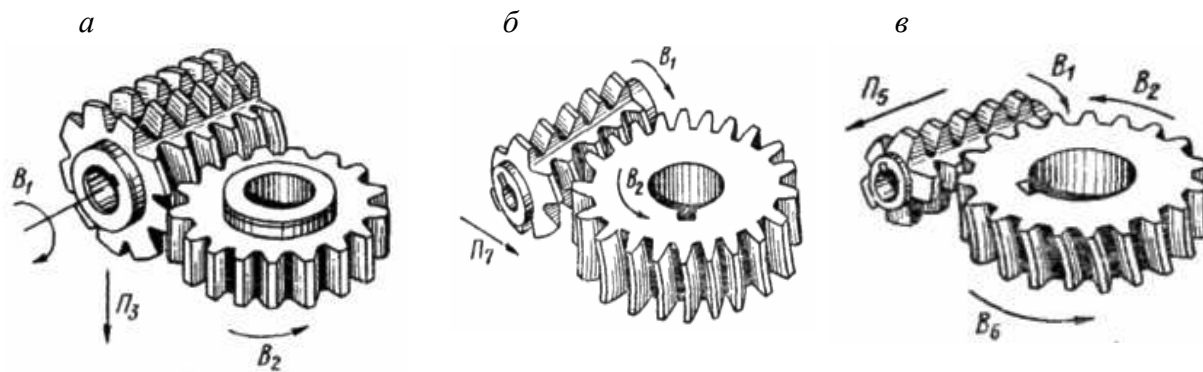


Рис. 3.6. Зубофрезерование при профилировании обкатом:
а – цилиндрического прямозубого колеса; *б, в* – червячного колеса

При нарезании цилиндрического прямозубого колеса (рис. 3.6, *а*) вместе с движением V_1 скорости резания фрезе сообщается формообразующее движение подачи $\Phi_s (P_3)$. Таким образом, функционально несвязанные между собой движения фрезы V_1 и P_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 $\Phi_v (V_1 V_2)$ и простую $\Phi_s (P_3)$.

У цилиндрического колеса с винтовыми зубьями линия зуба имеет винтовую форму. Ее воспроизведение осуществляется сложным формообразующим движением $\Phi_s (P_3 V_4)$, состоящим из двух согласованных элементарных движений: P_3 фрезы и V_4 заготовки нарезаемого колеса. Следовательно, формообразующая часть кинематической структуры станка для нарезания колес с винтовым зубом должна содержать две сложных группы – $\Phi_v (V_1 V_2)$ и $\Phi_s (P_3 V_4)$.

При формообразовании червячных колес используют две основные схемы: классическую пионерную с радиальным врезанием фрезы и производную с касательным (тангенциальным) врезанием. При нарезании червячных колес с радиальным врезанием (рис. 3.6, *б*) одновременно с движением обката фрезе дополнительно сообщают элементарное движение радиального врезания $V_{p_s} (P_7)$ 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 V_1 фрезы. А формообразующая часть кинематической структуры станка для нарезания червячных колес при радиальном врезании должна содержать одну формообразующую группу $\Phi_v (V_1 V_2)$ и группу врезания $V_{p_s} (P_7)$.

Более производительной при нарезании червячных колес является схема с касательным врезанием (рис. 3.6, в). В этом случае используют длинные фрезы с заборным конусом. При обработке червячных колес наряду с движением обката фрезе на этапе врезания сообщают движение P_5 по касательной к начальной окружности нарезаемого колеса, которое согласовывают с дополнительным движением B_6 . Таким образом, движение касательного врезания осуществляется сложным движением $Bp (P_5B_6)$. 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.

При зубофрезеровании исходное положение червячной фрезы зависит от заданного положения зубчатого венца на заготовке. При фрезеровании цилиндрических колес с прямыми зубьями (рис. 3.7) червячную фрезу устанавливают под углом φ , равным углу β_1 подъема винтовой нарезки червячной фрезы, к торцевой плоскости нарезаемого колеса.

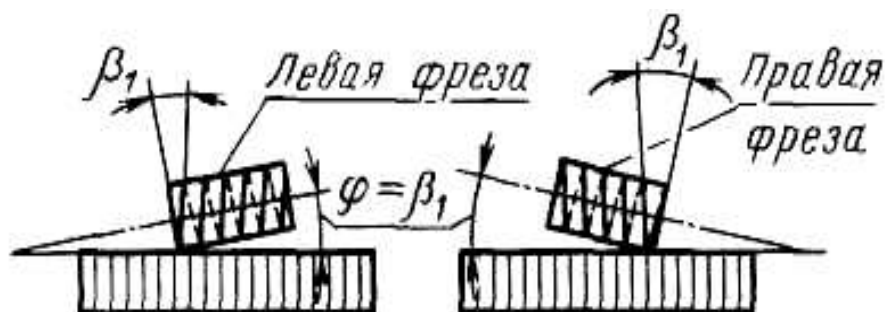


Рис. 3.7. Расположение червячной фрезы при зубофрезеровании прямозубого колеса

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_2 одноименны (оба левые или оба правые), то угол установки оси фрезы равен $\varphi = \beta_2 - \beta_1$ (рис. 3.8, а);

– если углы наклона винтовых нарезок червячной фрезы β_1 и нарезаемого колеса β_2 разноименны (фреза левая, а колесо правое и наоборот), то угол установки оси фрезы равен $\varphi = \beta_2 + \beta_1$ (рис. 3.8, б).

Рекомендуется выбирать червячную фрезу с тем же направлением винтовой нарезки, что и обрабатываемого колеса. При нарезании червячных колес ось червячной фрезы устанавливают параллельно торцевой плоскости нарезаемого колеса, т. е. угол $\varphi = 0$.

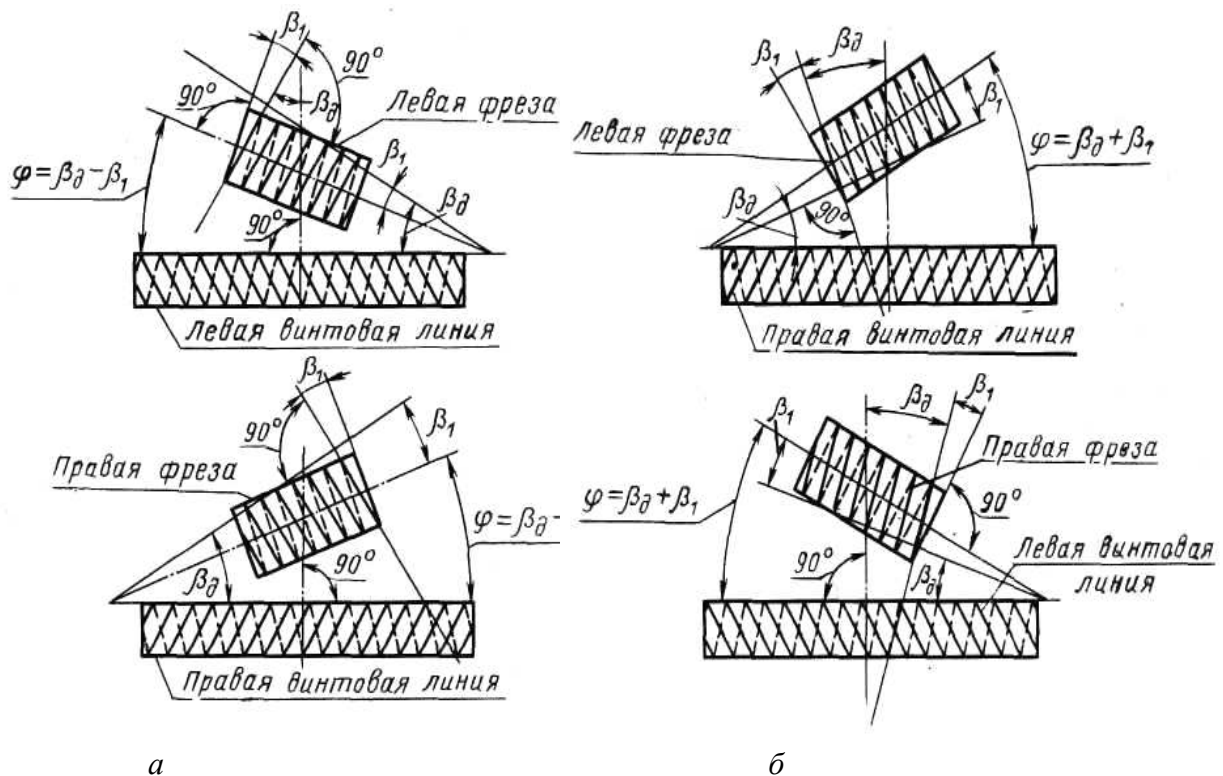


Рис. 3.8. Взаимное расположение червячной фрезы и заготовки при нарезании цилиндрического колеса с винтовой нарезкой

Рассмотрим реализацию описанных схем обработки в частных кинематических структурах универсального зубофрезерного станка (рис. 3.9). Выбор конкретной структуры осуществляют при наладке станка посредством соответствующих переключений.

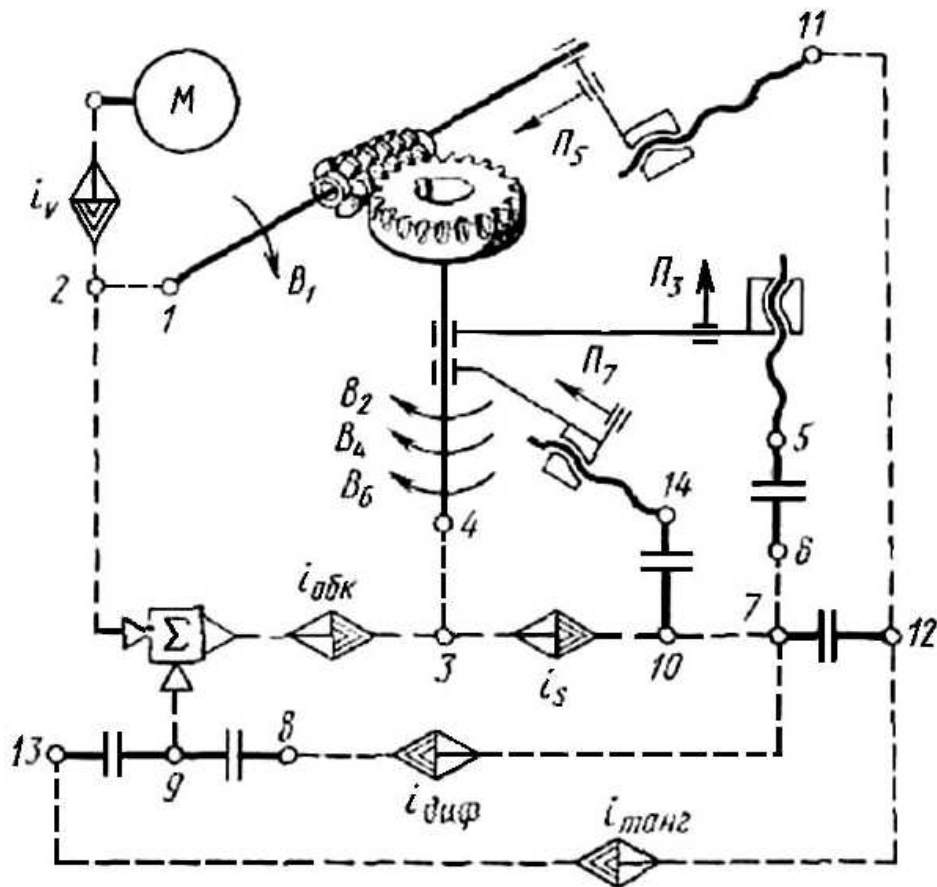


Рис. 3.9. Кинематическая структура универсального зубофрезерного станка

Частная кинематическая структура для нарезания цилиндрических колес с прямыми зубьями. Рассматриваемая структура содержит две формообразующие группы: скорости резания (обката) Φ_v ($B_1 B_2$) и вертикальной подачи Φ_s (Π_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 $i_{обк}$ – 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 передач.

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 :

$$n_M \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{\phi} \text{ мин}^{-1} \text{ фрезы } (B_1).$$

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 :

$$1 \text{ об. заготовки} \rightarrow s_g \text{ перемещения фрезы } (P_3),$$

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:

$$i_s = s_e / i_{03} \cdot t_{TB},$$

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:

$$M_1 \rightarrow i_s \rightarrow б \rightarrow \text{тяговый вал} \rightarrow \text{суппорт фрезы}.$$

Условие согласования перемещений исполнительных звеньев расчетной цепи, т. е. РП будут иметь следующий вид:

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя } M_1 \rightarrow s_e \text{ мм/мин перемещения фрезы } (П_3)$$

Частный вариант структуры внутренней связи группы Φ_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

$$\begin{array}{ccccccccc} B_1 & \rightarrow & 1 & \rightarrow & 2 & \rightarrow & \Sigma & \rightarrow & i_{обк} & \rightarrow & 3 & \rightarrow & 4 & \rightarrow & B_2 \\ & & & & & & & & \uparrow & & & & \searrow & & \\ & & & & & & & & 9 & \leftarrow & i_{диф} & \leftarrow & 7 & \leftarrow & i_s \end{array}$$

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_e по выражению

$$\Delta z = (1/5 - 1/10)s_e.$$

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:

$$i_{обк} = c_1 \cdot k/z_\phi.$$

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 оборот фрезы (B_1) $\rightarrow k/\Delta z$ дополнительного поворота заготовки (B_2).

УКЦ:

$$k/\Delta z = 1 \cdot i_{04} \cdot i_{\Sigma^z} \cdot i_s \cdot i_{\text{диф}}.$$

Подставляя в полученное уравнение значение i_s , после преобразований получим ФН:

$$i_{\text{диф}} = c_1 \cdot k \cdot s_g / \Delta z.$$

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) $\Phi_v (B_1 B_2)$ и вертикальной подачи $\Phi_{S1} (П_3 B_4)$. 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 $\Phi_s (П_3 B_4)$ – сложная, двухэлементарная. Ее внутренняя связь:

$$П_3 \rightarrow ТВ \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow i_{\text{диф}} \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_{\text{обк}} \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow B_4.$$

Внешняя связь:

$$M \rightarrow i_v \rightarrow 2 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_{\text{обк}} \rightarrow i_s \rightarrow 7.$$

Группа настраивается на траекторию – гитарой $i_{\text{диф}}$, 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 $i_{\text{диф}}$ и i_s .

Расчетная цепь для гитары $i_{\text{диф}}$ 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:

$$T \text{ мм перемещения фрезы } (П_3) \rightarrow 1 \text{ об. заготовки } (B_4),$$

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 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 $\rightarrow s_p$ перемещения стойки суппорта (Π_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 $Vp_s(\Pi_5 B_6)$. Эта группа сложная двухэлементарная, обеспечивающая функциональную связь между осевым перемещением Π_5 и дополнительным поворотом заготовки B_6 . Ее внутренняя связь

$$\Pi_5 \rightarrow 11 \rightarrow 12 i_{танг} \rightarrow 13 \rightarrow 9 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_{обк} \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow B_6.$$

Внешняя связь:

$$M \rightarrow i_v \rightarrow \Sigma.$$

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 тангенциального перемещения фрезы (Π_5) $\rightarrow L/\pi m z$ 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:

$$1 \text{ об. заготовки} \rightarrow s_o \text{ перемещения фрезы (} P_5 \text{),}$$

где s_o – тангенциальная подача на 1 об.

УКЦ:

$$s_o = I \cdot i_{07} \cdot i_s \cdot t_{TB}$$

ФН:

$$i_s = c_5 \cdot s_o,$$

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 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

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

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. 3.10) используют по сравнению со стандартными более длинные червячные фрезы.

При этом методе обработки вертикальную подачу выбирают по режимам резания так же, 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 $l_p/s_o = B/s_e$ оборотов.

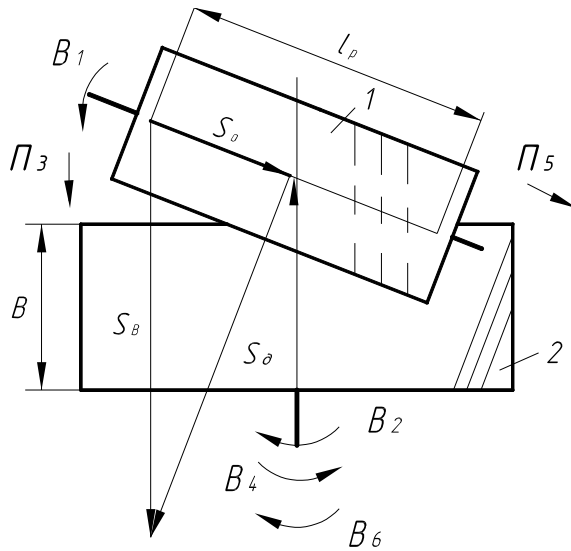


Рис. 3.10. Схема диагонального зубофрезерования

Откуда,

$$s_o = s_g l_p / B,$$

где s_g – вертикальная подача, мм/об;
 s_o – 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, рабо-

тающих 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: $\Phi_v (B_1 B_2)$, $\Phi_{S1} (P_3 B_4 \pm B_6)$, $\Phi_{S2} (P_5)$. 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 $i_{диф}$, 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_o этот стол в движении (B_6) дополнительно повернется на $\pm s_o \cdot k/z \cdot T_{фп}$, где T – шаг винтовой линии зуба нарезаемого колеса; $T_{фп} = \pi m_n k / \cos \gamma$ – ход фрезы; k – число заходов фрезы; z – число нарезаемых зубьев.

Следовательно, РП для расчетной цепи дифференциала можно представить в виде

$$s_g \text{ мм перемещ. фрезы } (P_3) \rightarrow s_g/T \pm s_o \cdot k/z \cdot T_{фп} \text{ об. дел. стола } (B_4 \pm B_6).$$

По данным РП составим УКЦ:

$$s_g/T \pm s_o \cdot k/z \cdot T_{фп} = s_g/t_{ТВ} \cdot i_{08} \cdot i_{диф} \cdot i_{\Sigma}^z \cdot i_{обк}.$$

Откуда,

$$i_{\text{диф}} = (s_o/T \pm s_o \cdot k/z \cdot T_{\text{фр}}) t_{\text{ТВ}} / i_{08} i_{\Sigma^z} i_{\text{обк}}$$

Заменив в полученном выражении T , $T_{\text{фр}}$, s_o , $i_{\text{обк}}$ их значениями и объединив постоянные коэффициенты в константы, получим ФН:

$$i_{\text{диф}} = c_6 \frac{\sin \beta}{k m_n} \pm c_7 \frac{l_p}{B} \cdot \frac{\cos \gamma}{k m_n}$$

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_o ведомое колесо вместе с фрезой получает дополнительный поворот, равный $s_o \sin \beta / \pi m_n z_k$, 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 $s_o \sin \beta \cdot k / \pi m_n z_k z$ оборота, или, заменяя параметры ведомого колеса константой – $c_k k s_o / z$. Следовательно, дополнительные РП для $i_{\text{диф}}$ будут иметь вид:

s_o мм перемещения фрезы $\rightarrow c_k k s_o / z$ 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 $\Phi_5 (П_5)$ 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 $i_{\text{танг}}$, на путь и исходную точку – упорами системы управления.

Для гитары $i_{манг}$ расчетная цепь:

делительный стол с заготовкой – 3 – i_s – 7 – $i_{диф}$ – 13 – $i_{манг}$ – 12 – 11 – $t_{ТВ}$.

РП:

1 об. дел. стола $\rightarrow s_o$ перемещения фрезы.

УКЦ:

$$s_o = 1 \cdot i_{09} \cdot i_s \cdot i_{диф} \cdot 1 / i_{манг} \cdot t_{ТВ}.$$

ФН:

$$i_{манг} = c_8 \cdot i_s \cdot i_{диф},$$

где $c_8 = i_{09} \cdot t_{ТВ}$ – константа конкретной модели станка, а ФН для i_s и $i_{диф}$ получены выше.

3.1.4. Зубодолбежные станки

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 (см. рис. 1.3) рассмотрено зубонарезание цилиндрического колеса с прямыми зубьями зуборезным долбяком, а в разделе 2 (см. рис. 2.13) типовая кинематическая структура зубодолбежного станка для нарезания прямозубого колеса и типовая модификация ее группы скорости резания (см. рис. 2.14) для обработки цилиндрических колес с винтовыми зубьями.

На рис. 3.11 приведены схемы обработки цилиндрических колес зуборезной гребенкой и реек долбяком.

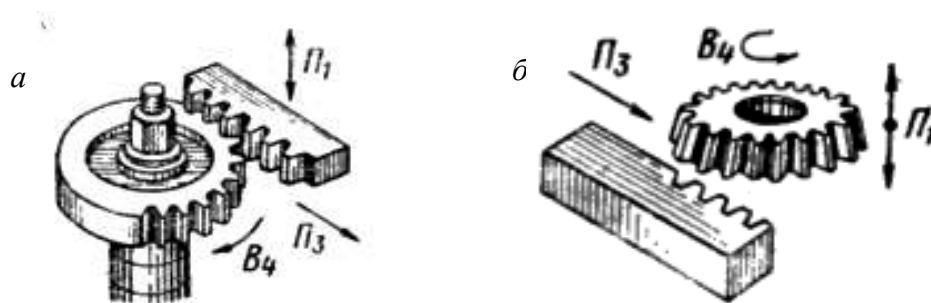


Рис. 3.11. Формообразование при нарезании зубьев цилиндрических колес и реек: а – зуборезной гребенкой; б – зуборезным долбяком

Зуборезной гребенкой нарезают цилиндрические колеса с прямыми и винтовыми зубьями (рис. 3.11, *a*). При использовании зуборезных гребенок с числом зубьев равным или большим числа нарезаемых зубьев, процесс обработки осуществляется двумя движениями: скорости резания Φ_v (Π_1) и обката Φ_s (Π_3B_4), воспроизводящего зубчато-реечное зацепление. Причем поступательно-возвратное движение Π_1 образует линию зуба (образующую зубчатого венца), а сложное движение обката (Π_3B_4) – профиль (направляющую венца). При холостом ходе в движении Π_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 Π_1 . В результате движение Φ_v преобразуется в сложное двух-элементарное.

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 -го количества зубьев на ускоренной подаче движением, противоположным движению Π_3 , возвращает гребенку в исходное положение для последовательного повторения очередного цикла. Таким образом, в этом случае кинематика зубообработки усложняется, 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 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. 3.11, *b*). При обработке прямозубых реек формообразования зубьев осуществляют движением скорости резания Φ_v (Π_1), сообщаемым долбяку,

и движением круговой подачи $\Phi_s (П_3 B_4)$, состоящим из функционально согласованных элементарных движений $П_3$ нарезаемой рейки и B_4 долбяка. Долбяку при холостом ходе в движении $П_1$ 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_δ 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. Рассмотрим кинематическую схему долбежно-реечного станка модели ЕЗ-9А (рис. 3.12). На этом станке нарезают рейки длиной до 1100 мм, модулем до 8 мм и длиной зубьев до 170 мм.

Формообразующая часть кинематической структуры станка при нарезании прямозубых реек состоит из двух формообразующих групп: $\Phi_v(П_1)$ и $\Phi_s(B_2 П_3)$. Группа скорости резания Φ_v воспроизводит линию зуба рейки. Ее внутренняя связь – элементарная поступательная пара

прямолинейные направляющие корпуса → шпиндель долбяка (П₁).

Внешняя связь – кинематическая цепь:

$M_1 \rightarrow 1/2 \rightarrow 3/4 \rightarrow (i_v = a_2/b_2) \rightarrow 5/6 \rightarrow$ *кривош.-ползун. мех.* \rightarrow *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.

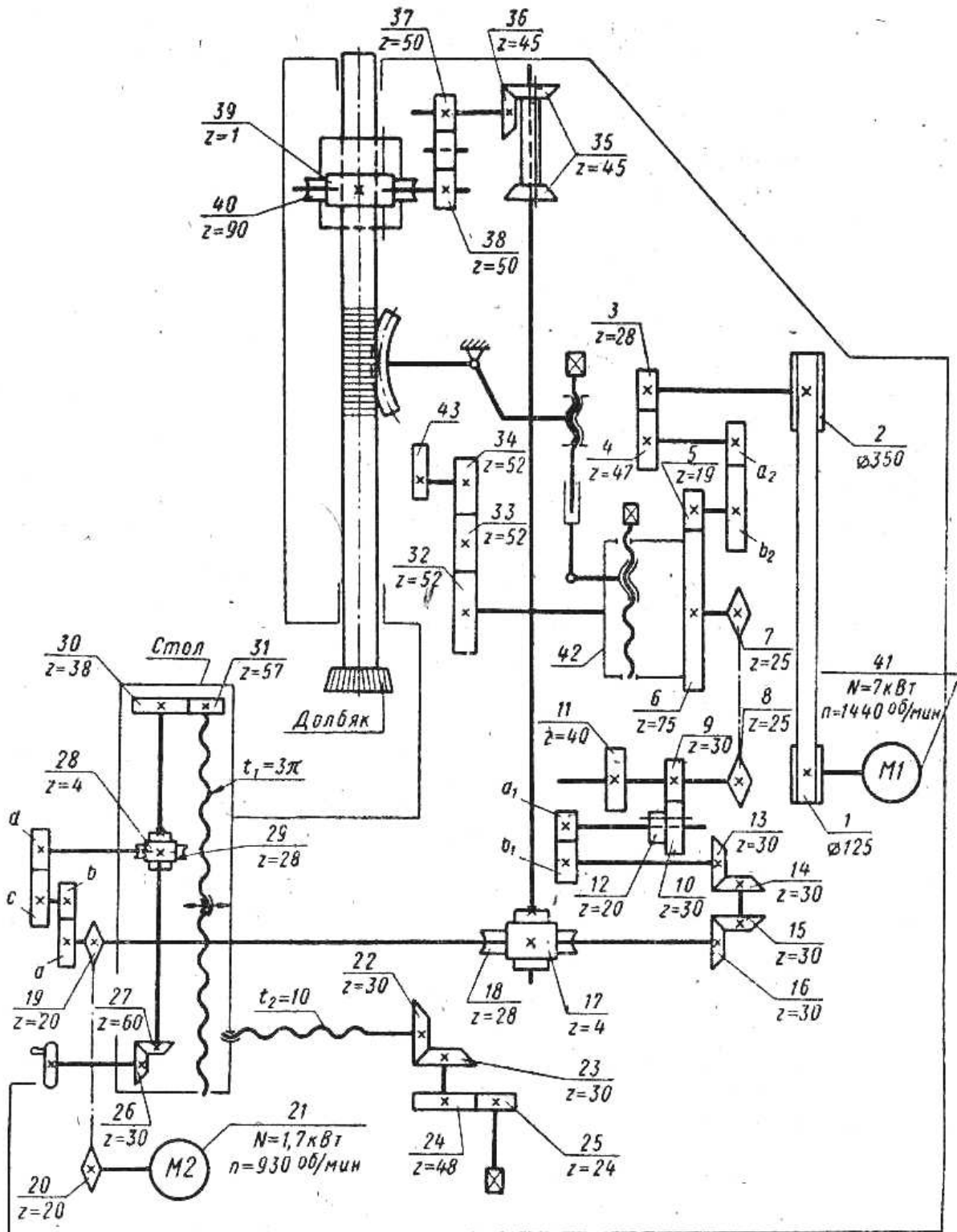


Рис. 3.12. Кинематическая схема долбежно-реечного станка

Группа обката Φ_s сложная. Ее внутренняя связь – кинематическая цепь: $B_2 \rightarrow 40/39 \rightarrow 38/37 \rightarrow R 36/35 \rightarrow 17/18 \rightarrow i_x \rightarrow 28/29 \rightarrow 30/31 \rightarrow t_1 \rightarrow \Pi_3$, 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:

$$n_d = n_{m1} \cdot i_{01} \cdot i_v.$$

ФН:

$$i_v = n_d / c_1,$$

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

$c_1 = 76$ – константа рассматриваемой модели станка.

Гитара i_x . Возможные РП:

$$1 \text{ об. долбяка } (B_2) \rightarrow \pi t z (П_3);$$

$$1/z \text{ об. долбяка } (B_2) \rightarrow t (П_3) \text{ мм перемещения рейки};$$

$$L (П_3) \text{ мм перемещения рейки} \rightarrow L/\pi t z (B_2),$$

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:

$$i_x = t z / c_2,$$

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

$c_2 = 1/180$ – константа.

Гитара i_s . Обычно при зубодолблении под подачей принимают дуговой поворот долбяка за его один двойной ход. Поэтому РП записывают в виде

$$1 \text{ дв. ход долбяка} \rightarrow s_{кр} / \pi t z \text{ об. долбяка.}$$

Возможно также представление РП в виде:

1 дв. ход долбяка $\rightarrow s_{кр}$ мм перемещения по дуге,

где для обеих форм представления $s_{кр}$ – круговая подача в мм/дв. ход.
УКЦ по второй форме записи РП:

$$s_{кр} = 1 \cdot i_{03} \cdot (i_n = 1 \text{ или } 2) \cdot i_s \cdot \pi \text{ м з.}$$

ФН:

$$i_s = c_3 \cdot s_{кр} / \text{м з.},$$

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

i_n – передаточное отношение при переключении блока 10 \leftrightarrow 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 \rightarrow 25/24 \rightarrow 23/22 \rightarrow тяговый вал t_2 .

Группа Bc ($П_5$) 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.

3.1.5. Станки для зуботочения цилиндрических зубчатых колес

При рассмотрении зацепления двух цилиндрических колес с винтовыми зубьями, работающими с перекрещивающимися осями, наблюдается скопление 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. 3.13 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. 3.13, а);
- нарезаемое зубчатое колесо косозубое, инструмент – обкатной прямозубый резец (рис. 3.13, б);
- нарезаемое зубчатое колесо косозубое, инструмент – обкатной косозубый резец (рис. 3.13, в).

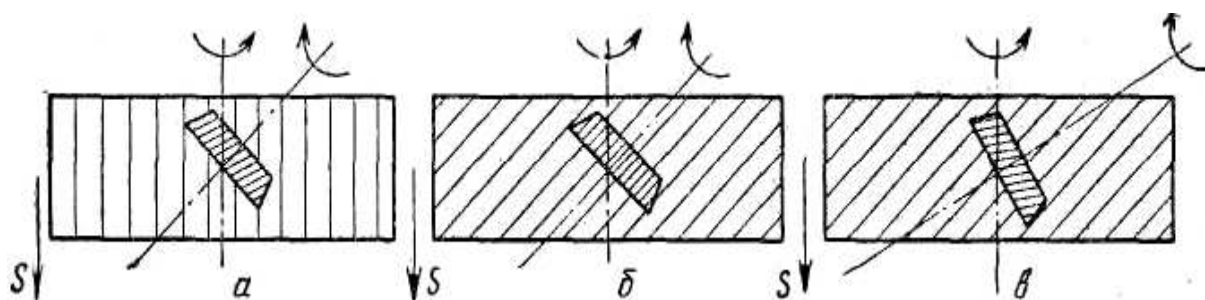


Рис. 3. 13. Возможные схемы зуботочения цилиндрических колес

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 долбьяками в 3 – 5 раз. В машиностроении используются станки для зуботочения цилиндрических колес моделей ЕЗ-13, ЕЗ-24, ЕЗ-165 и др.

Рассмотрим кинематическую структуру станка модели ЕЗ-13 (рис. 3.14), на котором зуботочением можно нарезать цилиндрические колеса диаметром до 320 мм и модулем до 5 мм.

Кинематическая структура станка содержит две сложные формообразующие группы: скорости резания $\Phi_v (B_1B_2)$ и подачи $\Phi_s (П_3B_4)$.

Движение Φ_v с замкнутой траекторией. Поэтому группа настраивается по трем параметрам: на траекторию – гитарой i_x , на скорость – гитарой i_v , на направление – реверсом, совмещенным с гитарой i_v .

Внутренняя связь группы работает при больших скоростях. Поэтому в качестве ее конечных звеньев использованы не червячные передачи, устанавливаемые в аналогичных связях других зубонарезающих станках, а цилиндрические зубчатые передачи 3 и 4.

Группа подачи Φ_s воспроизводит направляющую – линию зуба. Ее внутренняя связь, называемая цепью дифференциала, имеет вид

инструментальный суппорт (Π_3) → вертикальный тяговый вал → 20/2 → → 36/64 → i_y → 90/1 → Σ → i_x → 22/22 → 19/152 → шпиндель заготовки 2 (B_4).

Внешняя связь – развитая кинематическая цепь:

$D_1 \rightarrow i_v \rightarrow 28/28 \rightarrow 22/22 \rightarrow \Sigma \rightarrow 4/32 \rightarrow i_s \rightarrow$ *звено соединения связей (вал ведомого колеса гитары i_s).*

Движение Φ_s с незамкнутой траекторией и поэтому настраивается по пяти параметрам: на траекторию – гитарой i_y ; на скорость и направление – гитарой i_s , совмещенной с реверсом; на путь и исходную точку – упорами путевой системы управления, воздействующими на конечные выключатели, управляющие через схему электроавтоматики циклом работы станка.

Электродвигатель D_2 используется для установочных перемещений инструментального суппорта при наладке станка.

Выведем ФН для гитар сменных зубчатых колес i_x, i_v, i_y, i_s .

Гитара i_x . Расчетная цепь для гитары совпадает с внутренней связью группы Φ_v . Поэтому РП:

$1 \text{ об. обкатного резца } (B_1) \rightarrow z_u/z \text{ об. заготовки нарезаемого колеса } (B_2),$

где z_u – число зубьев обкатного резца;

z – число зубьев нарезаемого колеса.

УКЦ:

$$\frac{z_u}{z} = \frac{130}{26} \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{22}{22} \cdot i_{\Sigma} \cdot i_x \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{19}{152},$$

где i_{Σ} – при неподвижном корпусе (водиле) равно 1.

ФН:

$$i_x = \frac{8}{5} \cdot \frac{z_u}{z}.$$

Гитара i_v . Расчетная цепь связывает электродвигатель D_1 со шпинделем обкатного резца. Поэтому РП:

n_{D1} об/мин электродвигателя $\rightarrow n_u$ об/мин обкатного резца.

УКЦ:

$$n_u = 1440 \cdot \frac{135}{218} \cdot i_v \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{26}{130}.$$

ФН:

$$i_v = \frac{n_u}{178}.$$

Гитара i_y . Расчетная цепь для гитары совпадает с внутренней связью группы Φ_s . Поэтому РП:

1 об. заготовки (B_4) $\rightarrow T$ мм перемещения суппорта инструмента (Π_4),

УКЦ:

$$T = 1 \cdot \frac{152}{19} \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{1}{i_x} \cdot i_\Sigma \cdot \frac{90}{1} \cdot \frac{1}{i_y} \cdot \frac{64}{36} \cdot \frac{2}{20} \cdot t_{TB},$$

где $T = \frac{\pi m z}{\sin \beta};$

T – шаг винтовой линии нарезаемого колеса и инструмента;

β – угол подъема винтовой линии;

$i_\Sigma = \frac{1}{2}$ – при водиле ведомом;

$t_{TB} = 10$.

ФН:
$$i_y = \frac{127,3296 \sin \beta}{m z_u}.$$

Гитара i_s . Кинематическая цепь, соединяющая шпиндель заготовки с вертикальным тяговым валом суппорта, является расчетной. Поэтому РП:

1 об. заготовки $\rightarrow s_g$ продольного перемещения суппорта.

УКЦ:

$$s_g = 1 \cdot \frac{152}{19} \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{4}{32} \cdot i_s \cdot \frac{2}{20} \cdot (t_{TB} = 10).$$

ФН:

$$i_s = s_g.$$

3.2. 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. Съем 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. Съем 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.

3.2.1. Зубошевинговальные станки

Шевер представляет собой эталонное зубчатое колесо, у которого для образования режущих кромок зубья прорезаны поперечными канавками (рис. 3.15, *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 (скабливают) тонкие стружки с профилей зубьев. Срезание стружек происходит в результате скрещивания осей шевингуемого колеса и шевера.

Рассмотрим принципиальную схему шевингования зубчатого колеса (рис. 3.15, *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.

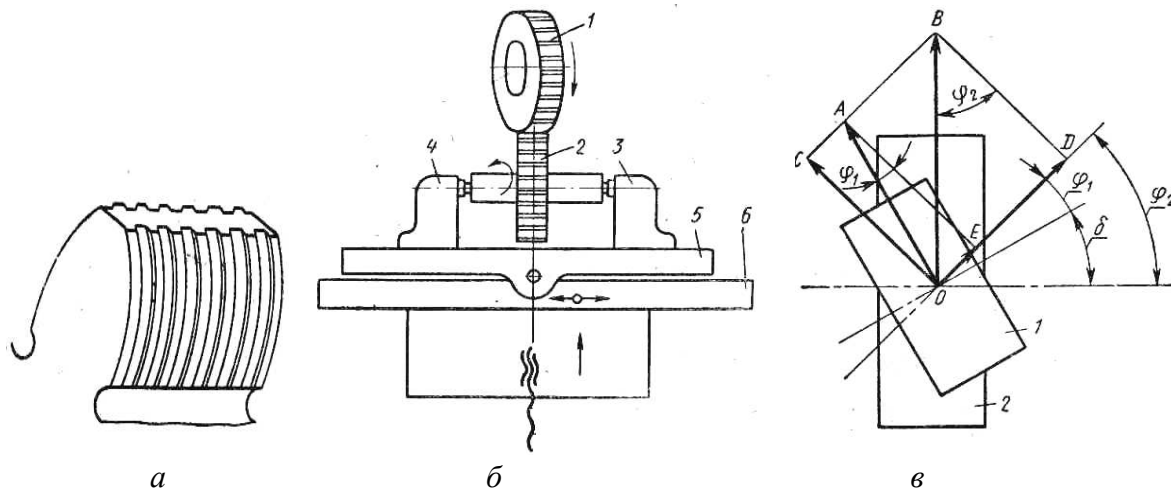


Рис. 3. 15. Формообразование при зубошевинговании:
 а – зуб шевера; б – схема шевингования;
 в – схема для расчета круговой частоты вращения шевера

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.

Рассмотрим кинематическую структуру зубошевинговального станка модели 5702. Кинематическая схема (рис. 3.16) включает две формообразующие группы – $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_s(\Pi_2)$ и группу врезания $Vr(\Pi_3)$.

Группа Φ_v простая. Ее внутренняя связь:

корпус шевинговальной головки → шпиндель шевера.

Внешняя связь – кинематическая цепь

$M_1 \rightarrow 2/28 \rightarrow (i_v = a/b) \rightarrow 4/5 \rightarrow 8/9 \rightarrow 10/11 \rightarrow \text{шевер } (B_1).$

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:

$M_2 \rightarrow 1/30 \rightarrow (i_s = a_1/b_1) \rightarrow 16/15 \rightarrow 13/12 \rightarrow TB_{11} \rightarrow \text{продольный стол } (\Pi_2).$

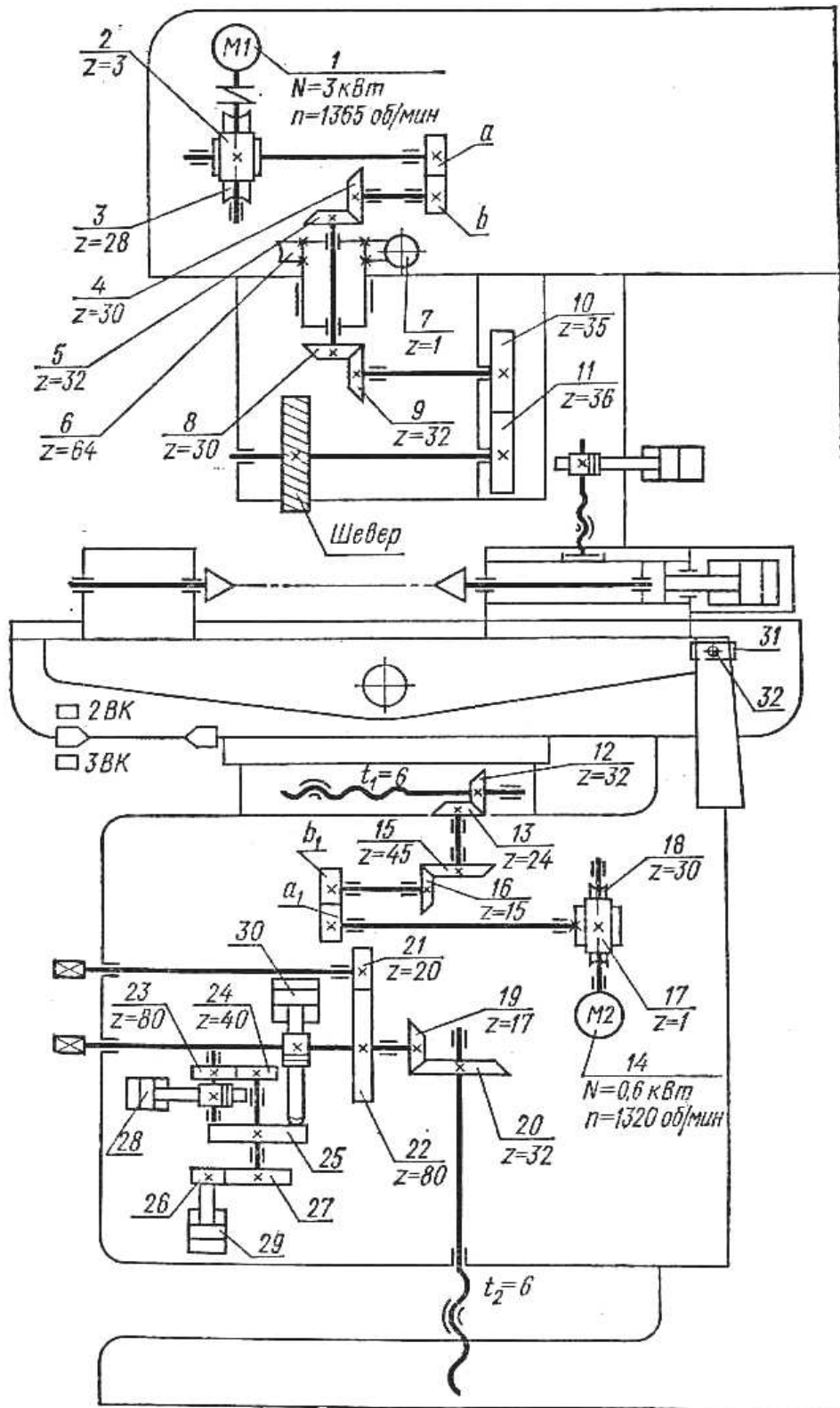


Рис. 3. 16. Кинематическая схема зубо-швинговального станка

Группа настраивается на скорость двухколесной гитарой i_s , на путь, направление и исходную точку – упорами, расположенными на продольном столе и управляющими конечным выключателем 2BK. Этот выключа-

тель 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_{12} → 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_{12} , 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 выбрать скорость резания, за которую принимают скорость $v_{ск}$ бокового скольжения зубьев шевера относительно зубьев шевингуемого колеса.

На рис. 3.15, 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. Проекции 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 шевера 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 шевера $v = 120$ м/мин, угол скрещивания осей $\delta = 15^\circ$.

Тогда, скорость резания

$$v_{ск} = 120 \sin 15^\circ \approx 31 \text{ м/мин.}$$

Зная диаметр шевера и скорость резания можно определить круговую частоту вращения шевера:

$$n_{ш} = \frac{1000 v_{ск}}{\pi d_{ш}} \text{ мин}^{-1}.$$

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 $c_1 \approx 140$ – константа.

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 $c_2 = 110$ – константа.

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, упирающийся в площадку кулака, получает возможность перемещения на 1,45 мм. Тогда, РП:

$$1,45 \text{ н мм перемещения штока-рейки} \rightarrow s_p \text{ мм/ход стола (П}_3\text{)}.$$

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;

$c_3 = 0,02$ – константа.

На рассматриваемой модели станка можно шевиговать 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. Обрабатываемое колесо, установленное в центрах бабок на столе, также качается. При этом ось колеса наклоняется по отношению к оси шевера, Поэтому у торцов шевера снимает больший слой металла, чем в средней части зубьев. В итоге обеспечивается бочкообразная форма зубьев шевингуемого колеса.

3.2.2. 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. 3.17 приведена схема шлифования зубчатой поверхности прямозубых цилиндрических колес дисковым шлифовальным кругом. Посредством движений $\Phi_v (B_1)$ и $\Phi_{S1}(I_2)$ методом касания воспроизводится линия зуба по длине, а движением обката $\Phi_{S2}(I_3B_4)$ – профиль зуба.

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.

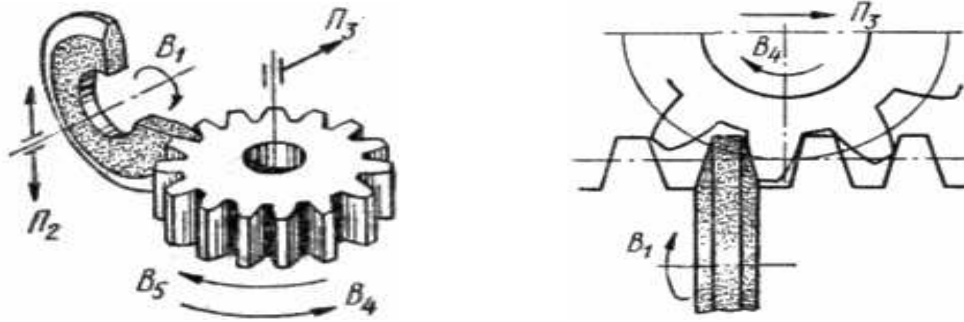


Рис. 3.17. Схема взаимодействия шлифовального круга с прямозубым цилиндрическим колесом

При шлифовании зубьев колеса двумя, установленными на общем шпинделе, тарельчатыми кругами (рис. 3.18) 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 так же не изменяется. При шлифовании крупномодульных колес возможно размещение двух тарельчатых кругов в одной впадине.

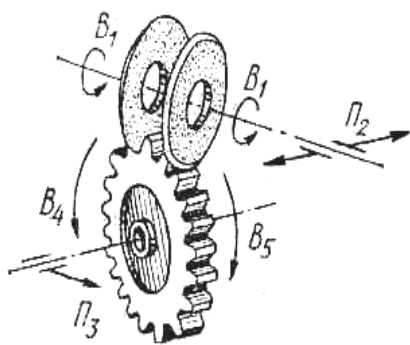


Рис. 3.18. Формообразование зубьев двумя тарельчатыми кругами

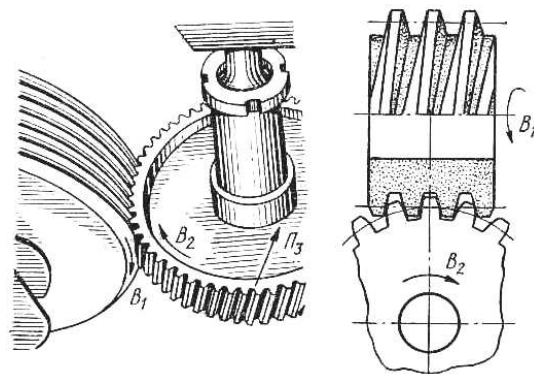


Рис. 3.19. Формообразование зубьев червячным кругом

На рис. 3.19 показана схема шлифования зубчатого колеса червячным шлифовальным кругом. Посредством формообразующего движения Φ_v (B_1B_2) воспроизводится профиль зубьев, а посредством формообразующего движения Φ_s (P_3) – линия зубьев прямозубого колеса по длине. При шлифовании колес с винтовыми зубьями движение Φ_s преобразуется в сложное Φ_s (P_3B_4), где B_4 – дополнительное вращательное движение шлифуемого колеса.

Рассмотрим одну из типовых структурных схем зубошлифовальных станков, работающего дисковыми и тарельчатыми шлифовальными кругами (рис. 3.20). Группа $\Phi_v(B_1)$. Ее внутренняя связь вращательная кинема-

тическая пара *подшипниковые опоры* → *шпиндель шлифовального круга*, а внешняя связь $M_1 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow \text{шпиндель} \rightarrow B_2$. 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 $\Phi_{S1}(П_2)$. Ее внутренняя связь – поступательная кинематическая пара:

направляющие → *ползун, несущий шпиндель шлифовального круга*.

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 $Д(B_5)$ простая. Ее внутренняя связь вращательная пара

каретка → *делительный стол*.

Внешняя связь:

$M_3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow \text{механизм деления} \rightarrow 7 \rightarrow i_{дел} \rightarrow \Sigma \rightarrow 3 \rightarrow \text{дел. стол } (B_5)$.

Группа настраивается на путь – органом настройки $i_{дел}$.

Так как делительный стол является исполнительным звеном двух группы Φ_{S2} и $Д$, то эти группы должны быть кинематически соединены между собой.

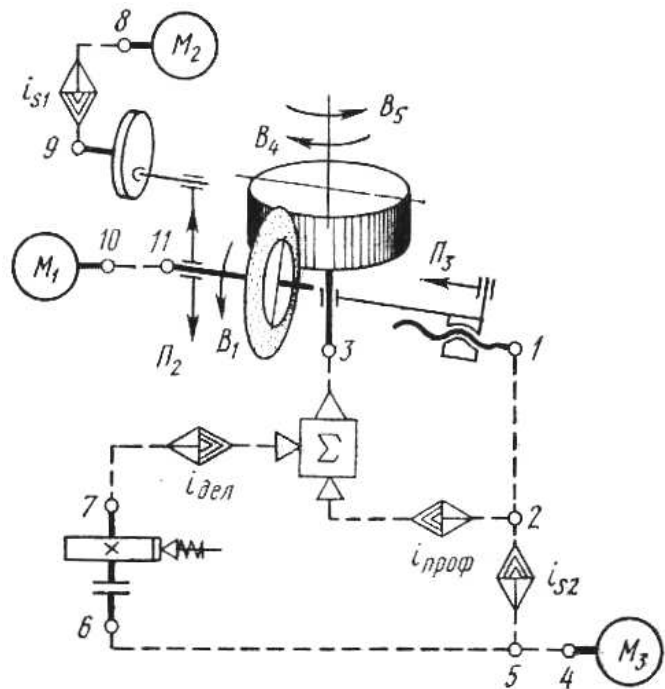


Рис. 3.20. Схема зубошлифовального станка

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 об. заготовки (B_4) \rightarrow $\pi m z$ мм перемещения каретки (Π_3),

где m и z – модуль и число зубьев шлифуемого колеса.

УКЦ:

$$\pi m z = (1/t_{TB}) \cdot i_{01} \cdot i_{\Sigma} \cdot i_{проф},$$

где t_{TB} – шаг тягового вала;

i_{01} – произведение постоянных передач расчетной цепи;

i_{Σ} – передаточное отношение дифференциала.

ФН:

$$i_{проф} = (\pi m z t_{TB})/i_{01} i_{\Sigma}.$$

Орган настройки i_{S1} . РП:

n_{M2} мин⁻¹ электродвигателя \rightarrow s мм/дв. ход инструмента (Π_2)

УКЦ:

$$s = n_{M2} i_{02} i_{S1}.$$

ФН:

$$i_{S1} = \frac{s}{n_{M2} i_{02}}.$$

Орган настройки i_{S2} .

РП:

n_{M3} мин⁻¹ электродвигателя \rightarrow s_m 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 \mathcal{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:

$$i_{\text{дел}} = \frac{1}{n} \frac{z_i}{i_{04} i_{\Sigma}}$$

На рис. 3.21 приведена кинематическая схема зубошлифовального станка модели 5А831, реализующая рассмотренную типовую структурную схему зубошлифовального станка.

Формообразующая часть кинематической структуры состоит из следующих групп: скорости резания Φ_v (B_1), поступательно-возвратного движения шлифовального круга Φ_{S1} (Π_2), и обката Φ_{S2} ($\Pi_3 B_4$). Кинематическая структура содержит также группу деления D (B_5).

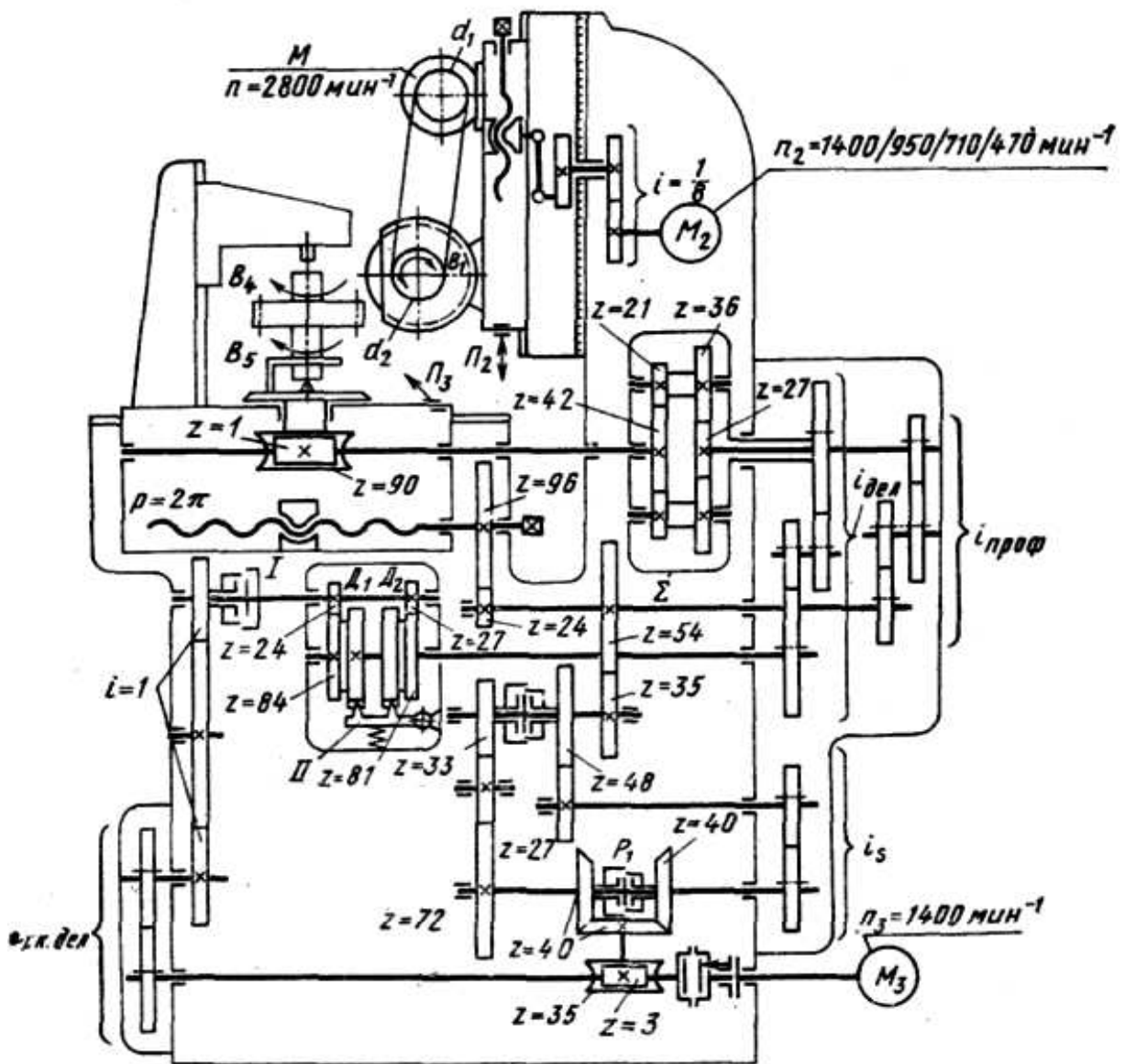


Рис. 3.21. Кинематическая схема зубошлифовального станка

Группа движения $\Phi_v(B_1)$ простая. Ее внутренняя связь – элементарная вращательная пара:

подшипниковые опоры – шпиндель шлифовального круга.

Внешняя связь:

$$M \rightarrow d_1/d_2 \rightarrow \text{шпиндель},$$

где *шпиндель* является звеном соединения связей.

Группа воспроизводит вращательное движение с замкнутой траекторией, которое теоретически можно настраивать лишь по двум параметрам скорости (сменными шкивами) и направлению. Однако практической необходимости в настройке этого движения по направлению нет, поэтому этот параметр не настраивают.

Группа движения $\Phi_{S1}(P_2)$ простая. Ее внутренняя связь – элементарная поступательная пара:

вертикальные направляющие – ползун.

Внешняя связь:

$$M_2 \rightarrow (i = 1/8) \rightarrow \text{кривошипно-ползунный механизм} \rightarrow \text{ползун } (P_2).$$

Рассматриваемая группа воспроизводит поступательное движение с незамкнутой траекторией. Ее настраивают по трем параметрам: на скорость – четырехскоростным электродвигателем M_2 , на путь – изменением величины эксцентриситета пальца кривошипа, на исходную точку – изменением плеча шатуна.

Группа движения $\Phi_{S2}(P_3B_4)$ сложная, двухэлементарная. Ее внутренняя связь – кинематическая цепь:

$$\text{прод. стол } (P_3) \rightarrow TB \rightarrow 96/24 \rightarrow i_{\text{проф}} \rightarrow i_{\Sigma} \rightarrow 1/90 \rightarrow \text{делит. стол } (B_4),$$

соединяющая исполнительные звенья группы

Внешняя связь:

$$M_3 \rightarrow 3/35 \rightarrow P_1 \ 40/40 \rightarrow \{i_s \cdot [27/48 (M) \cdot 35/54] \text{ или } [72/33 (M) \cdot 35/54]\},$$

Колесо $Z54$ является звеном соединения внутренней и внешней связей данной группы.

Рассматриваемая группа воспроизводит сложное движение с незамкнутой траекторией, настраиваемое по пяти параметрам. На траекторию – гитарой $i_{\text{проф}}$; на скорость – гитарой i_s ; на направление – реверсом P_1 ; на исходную точку – перемещением продольного стола с помощью тягового вала TB ; на путь – установленными на продольном столе упорами, обеспечивающими связь механики с электроавтоматикой станка.

Выведем ФН для органов настройки i_v , i_{M2} , $i_{\text{проф}}$ и i_s .

Орган настройки i_v (сменные шкивы).

РП:

$$n_M \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя } M \rightarrow n_{ш} \text{ мин}^{-1} \text{ шпинделя.}$$

УКЦ:

$$n_{ш} = (n_M = 2800) \cdot d_1/d_2.$$

ФН:

$$d_1 d_2 = n_{ш}/2800.$$

Орган настройки i_{M2} . РП:

$$n_{M2} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n \text{ дв. х./мин ползуна}$$

УКЦ (ФН):

$$n = \{470, 710, 950, 1400\} \cdot 1/8 = \{59, 89, 119, 175\} \text{ дв. х./мин}$$

Гитара $i_{проф}$. РП:

$$L \text{ перемещ. в движении } (П_3) \rightarrow L/\pi \text{ т } Z \text{ в движении } (B_4).$$

УКЦ:

$$L/\pi \text{ т } z = L/(t_{мс} = 2\pi) \cdot 96/24 \cdot i_{проф} \cdot (i_{\Sigma}^6 = (27/36) \cdot (21/42)) \cdot 1/90.$$

ФН:

$$i_{проф} = 120/mz.$$

Гитара i_s . Скорость движения Φ_s задается через минутную подачу продольного стола в движении $П_3$. Следовательно, кинематическая цепь, связывающая электродвигатель M_3 с тяговым валом продольного стола является расчетной цепью для вывода ФН. Поэтому РП:

$$n_{M3} \text{ мин}^{-1} \rightarrow s \text{ мм перемещения продольного стола } (П_3).$$

УКЦ:

$$s = (n_{M3} = 1400) \cdot 3/35 \cdot 40/40 \cdot (i_s \cdot 27/48 \text{ или } 72/33) \cdot 38/54 \cdot 27/96 \cdot (t_{ТВ} = 2\pi).$$

Решая УКЦ, получим ФН и значение ускоренной подачи, обеспечивающей в конце обработки каждого зуба возвращение продольного стола в исходную точку.

ФН:

$$i_s = s / 69; \quad s_{ускорен.} = 310 \text{ мм/мин.}$$

Группа движения $Д(B_5)$. Ее внутренняя связь – элементарная вращательная пара:

$$\text{продольный стол – делительный стол } (B_5).$$

Внешняя связь:

$$M_3 \rightarrow i_{ск.дел} \rightarrow (i = 1) \rightarrow \text{механизм деления} \rightarrow i_{дел} \rightarrow i_{\Sigma}^z \rightarrow 1/90 \rightarrow \\ \rightarrow \text{делитель стол } (B_5).$$

Движение деления простое с незамкнутой траекторией и настраивается по трем параметрам: на путь – гитарой деления $i_{дел}$; на скорость – гитарой скорости деления $i_{ск. дел}$; на исходную точку – вручную при наладке станка.

Группы движений $\Phi_{S2} (П_3B_4)$ и $D (B_5)$ имеют общее исполнительное звено – делительный стол. Поэтому они кинематически соединены между собой цилиндрическим дифференциалом Σ , который позволяет, не прекращая движения обката, выполнить движение деления. Поэтому во время движения деления делительный стол получает суммарное движение $B_4 \pm B_5$. При этом процесс деления осуществляется тогда, когда включена муфта 1 и вынут из прорезей делительных дисков D_1 и D_2 фиксатор 11, и оканчивается после западания фиксатора одновременно в прорези обоих делительных дисков и отключения муфты 1. Так как шлифование впадин между зубьями обрабатываемого колеса происходит последовательно, то за время одного делительного цикла делительный стол с обрабатываемым колесом поворачивается на $1/z$ полного оборота, где z – число зубьев обрабатываемого колеса.

Во внешней связи рассматриваемой группы расположено две гитары сменных зубчатых колес. Следовательно, для вывода ФН для обеих гитар необходимы две расчетные цепи.

Гитара $i_{дел}$. Отсчетным звеном для расчетной цепи деления является делительный диск D_1 . Причем цикл деления осуществляется только при вращении этого диска. Следовательно, РП для расчетной цепи

n_{D1} оборотов делит. диска $D_1 \rightarrow 1/Z$ оборота делит. стола.

УКЦ:

$$1/z = n_{D1} \cdot i_{дел} \cdot i_{\Sigma}^z \cdot 1/90,$$

где i_{Σ}^z – передаточное отношение дифференциала при остановленном центральном колесе, имеющем 27 зубьев.

ФН:

$$i_{дел} = 90/n_{D1} \cdot i_{\Sigma}^z \cdot Z$$

Определим численное значение n_{D1} за один делительный цикл и передаточное отношение дифференциала i_{Σ}^z .

После того как фиксатор 11 вынут из прорезей дисков D_1 и D_2 , они начинают вращаться с различными скоростями. Через некоторое время прорези дисков окажутся в одной плоскости, и фиксатор западет одновременно в прорези обоих дисков. В этот момент оканчивается делительный цикл. Подсчитаем относительные повороты дисков. За один оборот диска D_1 диск D_2 должен сделать $(84/24) \cdot (27/81) = 7/6$ оборота. Следовательно,

диск D_2 вращается быстрее диска D_1 , и за время делительного цикла диск D_2 делает 7 оборотов, а диск D_1 – шесть оборотов, т. е. $n_{D1} = 6$.

Передаточное отношение дифференциала определим по формуле Виллиса:

$$\frac{n_2 - n_6}{n_1 - n_6} = \frac{27}{36} \cdot \frac{21}{42}.$$

После преобразований получим

$$n_2 = \frac{3}{8}n_1 + \frac{5}{8}n_6,$$

откуда $i_{\Sigma^z} = 5/8$; $i_{\Sigma^6} = 3/8$.

С учетом численных значений n_{D1} и i_{Σ^z} ФН гитары деления имеет вид:

$$i_{дел} = 24/z.$$

Гитара $i_{ск. дел}$ служит для настройки скорости цикла деления посредством задания круговой частоты делительного диска D_1 . Расчетная цепь связывает электродвигатель M_3 с делительным диском D_1 .

РП:

$(n_{M3} = (1400/60) \cdot t)$ об. электродвигателя \rightarrow 6 об делительного диска D_1 ,

где t – время делительного цикла, с.

УКЦ:

$$1400/60 \cdot t = 6 \cdot 84/24 \cdot 1 \cdot 1/i_{ск.дел}.$$

ФН:

$$i_{ск.дел} = \frac{9}{10t}.$$

В станке предусмотрена также вспомогательная группа правки шлифовального круга (на рис. 3.21 не показана).

Зубошлифовальные станки, работающие дисковыми и тарельчатыми абразивными кругами, имеют 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. Кинематическая схема соответствующего зубошлифовального станка модели 5В833 приведена на рис. 3.22. На станке шлифуют зубчатые колеса с прямыми и винтовыми зубьями диаметром от 20 до 200 мм с модулем 0,3 – 3 мм; наибольшая высота колеса при $\beta = 0$ равна 100 мм; наибольший диаметр абразивного червяка – 400 мм. Кине-

матическая структура станка состоит из двух частных структур, из которых одна предназначена для обработки колес с прямыми зубьями, а другая – для обработки колес с винтовыми зубьями.

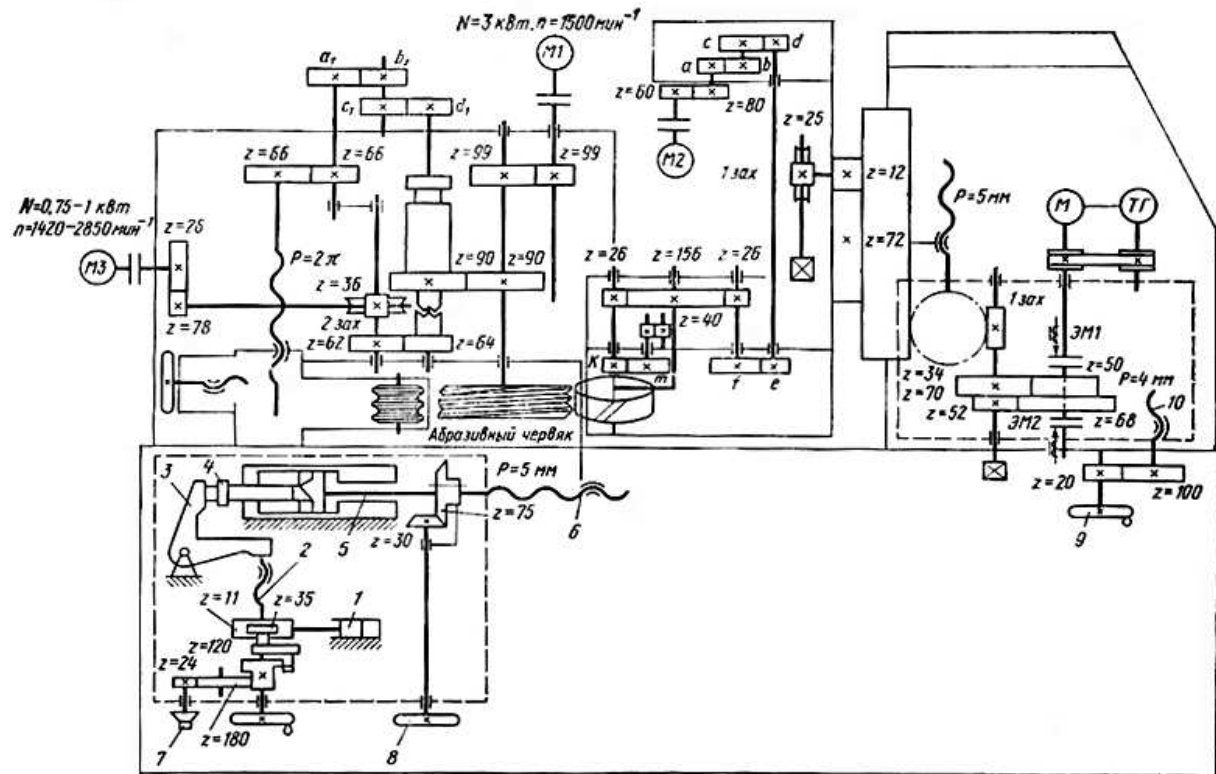


Рис. 3.22. Кинематическая схема зубошлифовального станка модели 5B833

Формообразующая часть первой из названных частных структур включает сложную группу скорости резания $\Phi_v (B_1 B_2)$, воспроизводящей профиль зубьев, и группу вертикальной подачи $\Phi_s (I_3)$, воспроизводящей прямую линию зуба по длине. Формообразующая часть другой частной структуры должна состоять из двух сложных групп: $\Phi_v (B_1 B)_2$, воспроизводящей профиль зубьев, и $\Phi_s (I_3 B_4)$, 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 $\Phi_v (B_1 B_2 \pm B_4)$ и $\Phi_s (I_3)$.

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:

$$1 \text{ об. абразивного червяка } (B_1) \rightarrow k/z \text{ об. шлифуемого колеса } (B_2).$$

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:

$$1 \text{ об. абразивного червяка } (B_1) \rightarrow z/k (1 \pm s_g/T) \text{ об. шлифуемого колеса } (B_2 \pm B_4),$$

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 $\Phi_s (П_3)$ сообщает поступательно-возвратное движение вертикальной подачи суппорту шлифуемого колеса.

Внутренняя связь группы:

вертикальные направляющие → суппорт,

Внешняя связь – кинематическая цепь:

$M \rightarrow 50/70$ (или $68/52$) $\rightarrow 1/34 \rightarrow ТВ \rightarrow$ суппорт ($П_3$).

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 $Vp (П_4)$ 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 ($П_4$).*

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 $Vc(B_5\Pi_6)$ 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 пере-

дачу 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.

3.3. 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.

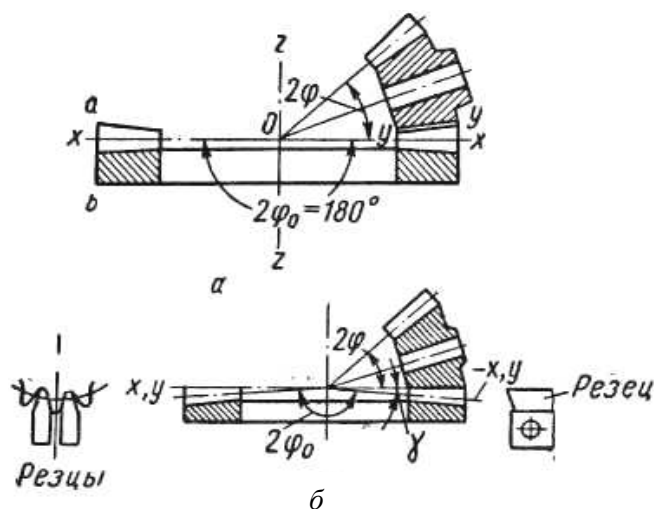


Рис. 3.23. Производящее колесо:
а – плоское; б – плосковершинное

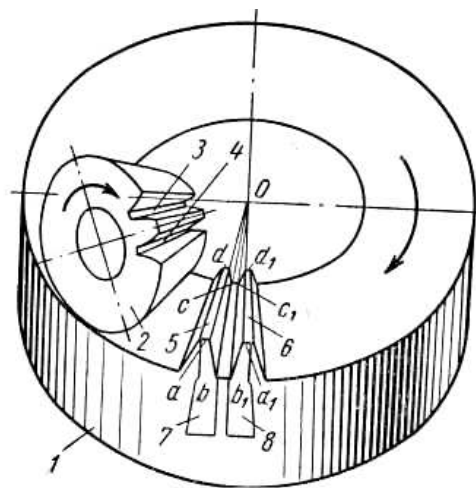


Рис. 3.24. Схема образования зубьев конических колес

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. 3.23, а), благодаря чему дополнительный конус превращается в цилиндр с осью ZZ и образующей ab .

При развертке цилиндра на плоскость зубья колеса образуют прямоблочную 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 .

Оставим на производящем колесе 1 только два зуба (рис. 3.24). Собщим 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 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, выстрагивают 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 обрабатываемого колеса;

- движение деления – поворот заготовки в конце обратного хода.

При обработке впадины необходимо вершины резцов перемещать вдоль образующей уу dna впадины нарезаемого колеса, т. е. под углом к плоскости перпендикулярной к оси вращения производящего колеса (см. рис. 3.23, а). 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 уу dna впадины совмещают с плоскостью xx , перпендикулярной к оси вращения производящего колеса, и вершины резцов перемещают в этой плоскости (см. рис. 3.23, б). 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 плосковершинным.

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

$$z_{плв} = \frac{z \cos \gamma}{\sin \varphi}.$$

У плоского колеса угол $\gamma = 0$, следовательно, $\cos \gamma = 1$. Тогда, число зубьев плоского производящего колеса

$$z_{пл} = \frac{z}{\sin \varphi}.$$

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 $\Phi_v (П_1)$ 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 обкатное 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. 3.25).

Структура групп $\Phi_v (П_1)$ и $\Phi_v (B_1)$ простая. Внутренняя связь или поступательная пара:

$$\text{направляющие люльки} \rightarrow \text{ползуны резцов} (П_1),$$

или вращательная пара:

$$\text{подшипниковые опоры на люлке} \rightarrow \text{шпиндель резцовой головки} (B_1).$$

Внешняя связь – кинематическая цепь

$$M \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow i_v \rightarrow 3,$$

соединяющая электродвигатель M или с ползунами резцов ($П_1$), или со шпинделем резцовой головки (B_2).

Группа $\Phi_v (П_1)$ настраивается по четырем параметрам: на траекторию – изменением угла между направлениями поступательно-возвратного дви-

жения резцов; на скорость – органом настройки i_v ; на путь и исходную точку – изменением плеч механизма, преобразующего вращательное движение в поступательно-возвратное резцов.

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.

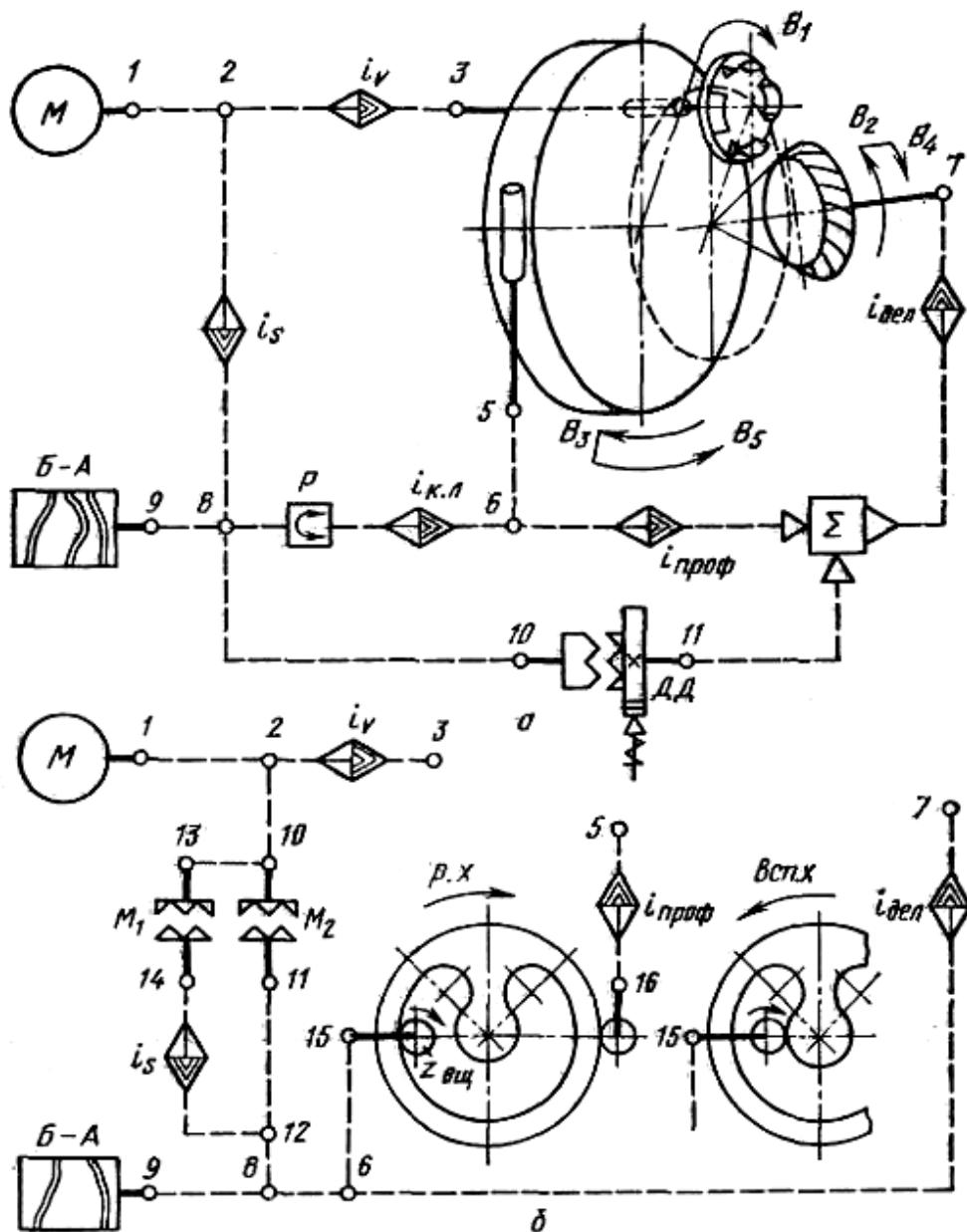


Рис. 3.25. Кинематическая структура зуборезного станка для нарезания конических колес: а – при параллельном соединении групп Φ_s и \mathcal{D} ; б – при смешанном соединении групп Φ_s и \mathcal{D}

Внешняя связь – кинематическая цепь

$$M \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow i_s \rightarrow P \rightarrow i_{кл} \rightarrow 6,$$

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. 3.25, 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. 3.25, 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 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 II_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 $c_1 = 1000 / (2n_M i_{01} L)$ – константа конкретной модели станка.

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 $c_3 = i_{03} i_{\Sigma}$ – константа.

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 – 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. 3.25, б) эту функцию выполняет распределительный вал $B - A$, управляющий муфтами M_1 и M_2 .

РП для структуры по рис. 3.25, а (варианта 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. 3.25, 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 конкретного 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 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 вращательное 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 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:

$$n_{оз} \text{ об. отсчетного звена} \rightarrow 1/z \text{ об. заготовки,}$$

причем отсчетным звеном может быть, например, делительный диск $ДД$.

УКЦ:

$$1/z = n i_{07} i_{\Sigma} i_{\text{дел.}}$$

ФН:

$$i_{\text{дел.}} = c_7/z,$$

где c_7 – константа конкретной модели станка.

РП при смешанном соединении групп:

1 об. распределительного вала $\rightarrow z_i/z$ об. заготовки.

УКЦ:

$$z_i/z = 1 i_{08} i_{\text{дел.}}$$

ФН:

$$i_{\text{дел.}} = c_8 z_i/z,$$

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 плюс 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 винтовым 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. Ниже при рассмотрении конкретных моделей станков для нарезания конических колес будет подробно рассмотрена их перестройка с одной структуры на другую.

Для нарезания прямозубых конических колес применяют две дисковые фрезы (рис. 3.26, *a*) большого диаметра со вставными резцами, имитирующие зуб плоского производящего колеса. Профиль режущей кромки резцов прямолинейный, режущая кромка профиля направлена перпендикулярно оси фрезы или расположена под углом δ к этому направлению (рис. 3.26, *б*). В первом случае зубья получаются конические, прямолинейные, во втором – бочкообразные. Обе фрезы прорезают одну впадину одновременно. Они установлены так, чтобы резцы одной из них попадали в промежутки между резцами другой и не задевали друг друга при вращении (рис. 3.26, *в*). Нарезание фрезами осуществляется без подачи вдоль линии

зуба, и поэтому дно впадин приобретает вогнутую форму (рис. 3.26, *з*). По этой схеме нарезают конические колеса с небольшой линией зуба по длине, например, сателлиты конических планетарных дифференциалов. Фрезерование конических прямозубых колес в 3 – 5 раз производительнее, чем зубострогание двумя резцами. Кинематическая структура такого станка аналогична структуре зубострогального, у которого группы обката и деления соединены параллельно. Например, станок модели 5230, работающий по описанной схеме, унифицирован с зубострогальными станками, работающими двумя резцами.

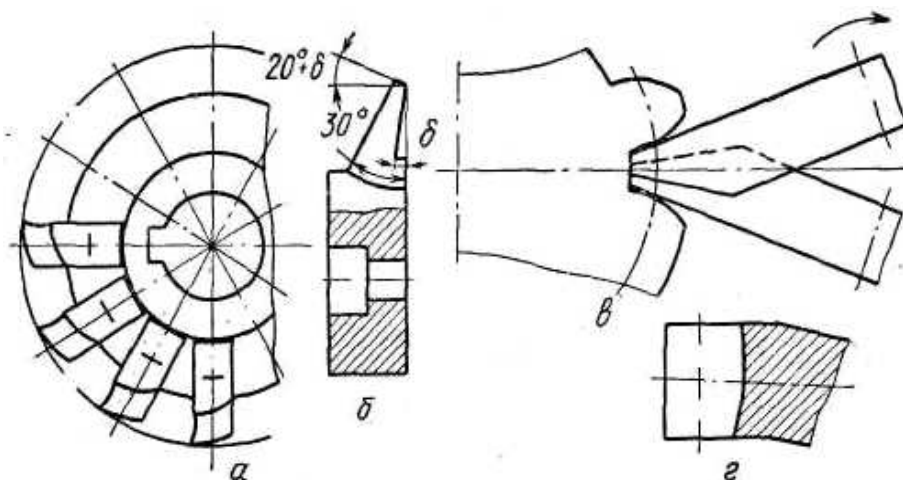


Рис. 3.26. Схема нарезания прямозубых конических колес дисковыми фрезами:
а – дисковая фреза со вставными резцами; *б* – вставной резец;
в – взаимнорасположение фрез; *з* – дно нарезаемой впадины

Существуют 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.

Проведем кинематический анализ используемых в машиностроении зуборезных станков, спроектированных по рассмотренным типовым структурным схемам.

Зубострогальный станок для обработки прямозубых конических колес модели 5А26 (рис. 3.27) выполнен по схеме с параллельным соединением групп. На станке можно нарезать зубчатые колеса со следующими параметрами: максимальный диаметр – 610 мм; модуль 1 – 8; максимальная длина линии зуба – 90 мм; $z = 10 - 200$; угол делительного конуса – $84^\circ 18' - 5^\circ 42'$; максимальное передаточное отношение 10 : 1.

Кинематика станка включает две частные структуры, реализующие класс зубообработки след плюс обкат и копирование плюс след, из которых первый используется для чистовой, а второй для черновой обработки. Частная структура для чистовой обработки состоит из двух групп формообразования $\Phi_v(\Pi_1)$ и $\Phi_s(B_2B_3)$ и группы деления $D(B_4)$.

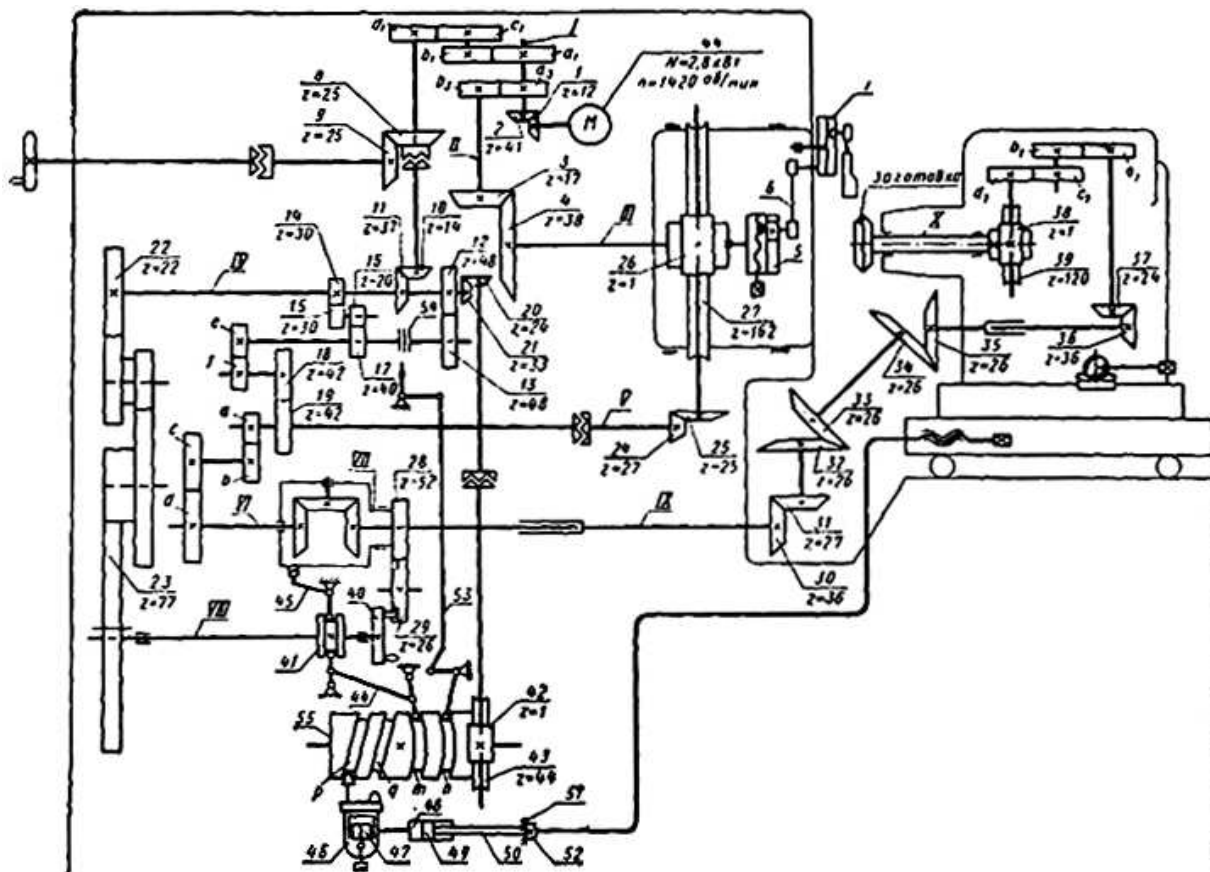


Рис. 3.27. Кинематическая схема зубострогального станка для обработки прямозубых конических колес

Цикл зубонарезания:

- заготовка быстро подводится к резцам и устанавливается на глубину предварительной (черновой) обработки (рис. 3.28, а);
- предварительная обработка боковых поверхностей одного зуба движениями Φ_v и Φ_s (рис. 3.28, б);
- реверсирование движения Φ_s до горизонтального положения оси профиля обрабатываемого зуба и подвод заготовки на глубину окончательной (чистовой) обработки (рис. 3.28, в);
- окончательная обработка зуба движениями Φ_v и Φ_s (рис. 3.28, г);
- быстрый отвод заготовки и деление на зуб при продолжающемся движении обката;
- повторение цикла до тех пор, пока не будут обработаны все зубья.

Группа скорости резания Φ_v . Ее внутренняя связь – это две поступательные пары:

направляющие, смонтированные на люльке, → ползуны 1 с резцами 2.

Внешняя связь:

$M \rightarrow (i_v = a_3/b_3) \rightarrow 17/38 \rightarrow$ *исполнительный механизм, преобразующий вращательное движение в поступательно-возвратное движение ползунов 1 с резцами 2 (Π_2).*

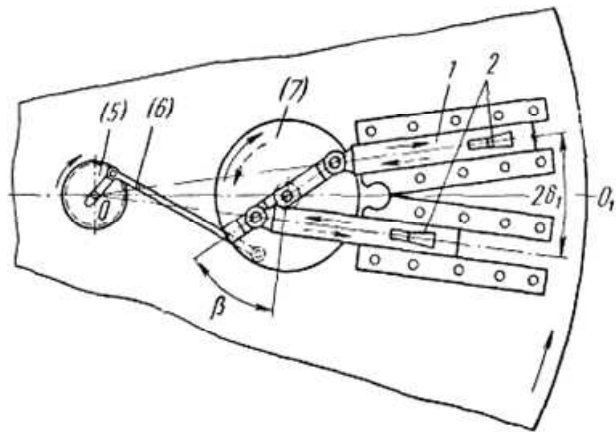
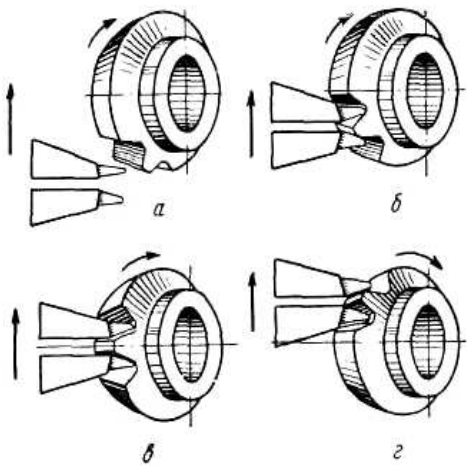


Рис. 3.28. Схема образования зубьев Рис. 3.29. Исполнительный механизм группы Φ_v

Последним вращающимся звеном внешней связи (рис. 3.29) является кривошипный диск 5, расположенный в центре люльки. Этот диск посредством шатуна 4 сообщает качательное движение диску 3, 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).

Движение Φ_v имеет незамкнутую траекторию и настраивается на следующие параметры: траектория – установкой угла $2\delta'$; скорость – гитарой i_v ; путь – изменением радиуса положения пальца на кривошипном диске 5; исходное положение – изменением места крепления шатуна к диску.

Группа обката Φ_s . Внутренняя связь – кинематическая цепь, соединяющая люльку (воображаемое производящее колесо) со шпинделем заготовки

$$B_2 \rightarrow 162/1 \rightarrow 25/27 \rightarrow \text{вал } V \rightarrow (i_x = (a/b) (c/d)) \rightarrow \Sigma \rightarrow 36/27 \rightarrow 26/26 \rightarrow \\ \rightarrow 26/26 \rightarrow 36/24 \rightarrow (i_y = (a_2/b_2) (c_2/d_2)) \rightarrow 1/120 \rightarrow B_3.$$

Внешняя связь – кинематическая цепь:

$$M \rightarrow 41/12 \rightarrow i_v \rightarrow (i_s = (a_1/b_1) (c_1/d_1)) \rightarrow 14/37 \rightarrow \\ \rightarrow 48/48 \text{ (или } (30/30) (20/40)) \rightarrow (i_{кл} = e/f) \rightarrow 42/42 \rightarrow \text{вал } V,$$

соединяющая электродвигатель с валом V , являющимся звеном соединения связей. Группа настраивается на траекторию гитарой i_x , на скорость – гитарой i_s , на путь (угол качания люльки) – гитарой $i_{кл}$.

Группа деления D . Внутренняя связь – вращательная пара:

бабка изделия → *шпиндель*.

Внешняя связь – кинематическая цепь:

$M \rightarrow 12/41 \rightarrow i_v \rightarrow i_s \rightarrow 14/37 \rightarrow 22/77 \rightarrow \text{мальтийский механизм } 40 \rightarrow 26/52 \rightarrow \rightarrow \Sigma \rightarrow 36/27 \rightarrow 26/26 \rightarrow 26/26 \rightarrow 36/24 \rightarrow (i_y = (a_2/b_2) (c_2/d_2)) \rightarrow 1/120 \rightarrow B_4$,
связывающая электродвигатель со шпинделем.

Группа настраивается только на путь (поворот шпинделя с заготовкой на угловой шаг нарезаемых колес) гитарой i_y .

Управление всеми движениями осуществляется барабаном 55 распределительного вала, который за время цикла делает один оборот. Барабан имеет четыре рабочих профиля p , q , m , n . Первые два предназначены для подачи стола, несущего бабку обрабатываемого колеса: p – при черновой, q – при чистовой обработке. Ролики, находящиеся в контакте с рабочими поверхностями барабана p и q , заблокированы. В рабочем положении может быть только один из них. Профиль m управляет процессом деления, профиль n – реверсирования. Подача бабки происходит следующим образом. От кривых барабана через кулису 46 и сухарь 47 движение передается ползуну-цилиндру 48. В цилиндре перемещается поршень 49 со штоком 50, конец которого закреплен в кронштейне стола. С помощью поршня и штока осуществляется подвод стола в рабочее положение и отвод его в наладочное положение. Перед началом рабочего хода под действием барабана ползун-цилиндр перемещается влево. После этого масло подается в правую полость цилиндра. Поршень-шток перемещает стол влево, пока кольцо 52, закрепленное на штоке, не встретит неподвижный упор 51. В процессе резания поршень находится под постоянным давлением масла в правой полости, а шток своим кольцом 52 задерживается неподвижным упором 51. Этим определяется положение стола, при котором резцы подведены к заготовке на полную глубину впадины зуба. При отводе стола масло поступает в левую полость цилиндра.

Чистовая обработка зубьев происходит в следующей последовательности. Сначала устанавливают заготовку и пускают станок. Золотник гидрпанели направляет масло в гидрозажим шпинделя бабки и правую полость цилиндра 48, в результате чего стол с бабкой подается к резцам. Одновременно включается движение обката. При этом движение во внутреннюю связь группы обката сообщается через гитару i_s , совершается рабочий

ход, и резцы производящего колеса перемещаются из нижнего положения a в верхнее z (см. рис. 3.28). По окончании рабочего хода золотник направляет масло в левую полость цилиндра, а рабочий профиль барабана 55 воздействуя рычагом 53 на муфту 54, управляющую реверсом, переключает движение обката с рабочего хода на ускоренный через зубчатую передачу 12 – 13, минуя гитару i_s . В результате стол отходит вправо, а производящее колесо (люлька) и заготовка получают ускоренное вращение в обратном направлении. Одновременно с этим происходит процесс деления. В конце холостого хода барабан 55 переключает муфту 54 на рабочий ход, после чего стол подводится к резцам, и цикл повторяется.

Вывод ФН для органов настройки параметров исполнительных движений. Исходными данными для расчета настройки станка на обработку прямозубых колес являются наибольший модуль m , число зубьев нарезаемого колеса z , число зубьев производящего колеса z_n , длина линии зуба, угол зацепления.

Гитара i_v . Расчетная цепь совпадает с внешней связью группы Φ_v , поэтому РП:

$$n_M \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_p \text{ дв. ход/мин резцов (или мин}^{-1} \text{ кривошипного диска) (П}_1\text{)}.$$

УКЦ:

$$n_p = 1420 i_{01} i_v.$$

ФН:

$$i_v = n_p / c_1 = n_p / 186,$$

где $c_1 = n_M i_{01}$;

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

Гитара i_x . РП:

$$1/z_n \text{ пов. люльки (производящего колеса),} \\ (B_2) \rightarrow 1/z \text{ пов. заготовки (B}_3\text{)}.$$

УКЦ:

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{z_n} i_{02} i_x i_\Sigma i_y.$$

ФН:

$$i_x = \frac{z_n}{z} \cdot \frac{1}{c_2 i_y} = \frac{z_n}{z} \cdot \frac{1}{96 i_y},$$

где $c_2 = i_{02} i_\Sigma$;

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

i_Σ – передаточное отношение дифференциала.

Гитара i_s . Под подачей люльки понимают путь, проходимый любой точкой по дуге начальной окружности производящего колеса в единицу времени. Длина дуги при повороте люльки определяется по выражению

$$L = (\pi m z_n \Theta^\circ) / 360^\circ,$$

где L – длина дуги начальной окружности производящего колеса;
 Θ° – угол поворота люльки.

В рассматриваемом станке при рабочем ходе движение подачи задается посредством гитары i_s , а при холостом ходе это движение имеет постоянную ненастраиваемую ускоренную подачу. При обсуждении типовых кинематических структур зуборезных станков (см. рис. 3.23) были рассмотрены возможные варианты задания РП для гитары подач, в том числе, при различном значении подачи на рабочем и холостом ходу (вариант 2). Рассмотрим еще один вариант задания РП, являющийся аналогом варианта 2.

За время одного цикла люлька при ходе вперед и назад поворачивается на дугу, равную $2L$. Если s_p и s_x подачи, соответствующие рабочему и холостому ходу, то время одного цикла движений

$$T_u = L/s_p + L/s_x.$$

За это время распределительный вал с барабаном управления совершает один оборот. Следовательно, за одну минуту он сделает $1/T_u$ оборота. Расчетная цепь для гитары i_s – кинематическая цепь, соединяющая электродвигатель с распределительным валом.

Поэтому РП:

$$n_m \text{ мин}^{-1} \rightarrow 1/T_u \text{ оборота барабана управления.}$$

УКЦ:

$$1/T_u = n_m i_{03} i_s.$$

ФН:

$$i_s = c_3/T_u = 4,91/T_u,$$

где $c_3 = n_m i_{03}$;

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

Гитара $i_{кл}$. За время обработки одного зуба люлька совершает поворот на угол Θ° при рабочем ходе и на такой же угол при холостом ходе, т. е. проходит путь, равный $2\Theta^\circ$, что составляет $2\Theta^\circ/360^\circ$ оборота. За этот период барабан 55 управления делает один оборот. В станке $5/8$ оборота приходится на рабочий ход, $1/16$ – на переключение муфты 54 реверса и $5/16$ – на холостой ход.

РП:

$$5/8 \text{ поворота барабана управления} \rightarrow \Theta^\circ/360^\circ \text{ поворота люльки.}$$

УКЦ:

$$\Theta^\circ/360^\circ = (5/8) i_{04} i_{кл} k.$$

ФН:

$$i_{кл} = (\Theta^\circ/360^\circ)/(5/8) i_{04} k = \Theta^\circ/c_4 = \Theta^\circ/36,$$

где $c_4 = (5/8) i_{04} k = 36$;

i_{04} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

$k = 46/51$ – коэффициент потери оборотов при переключении муфты реверса.

Угол Θ° обычно подбирают опытным путем. Для ориентировочного его подсчета можно пользоваться формулой

$$\Theta = \Theta_1 + \Theta_2.$$

Угол поворота люльки вверх от горизонтального положения (для угла зацепления $\alpha = 20^\circ$) Θ_1 вычисляют по формуле

$$\Theta_1 = (((355,3 (h''/m) + 90)/z) - 0,8) \sin \varphi,$$

где h'' – высота ножки зуба.

Угол Θ_2 вычисляют по специальным таблицам или номограммам. Его можно с достаточной степенью точности вычислить по выражению:

$$\Theta_2 = 1,869 \Theta_1.$$

Гитара i_y . Отсчетным звеном расчетной цепи деления является диск мальтийского механизма 40, который за цикл деления поворачивается на 1/2 оборота.

Следовательно, РП:

1/2 оборота диска 40 → 1/z поворота заготовки.

УКЦ:

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{2} i_{05} i_{\Sigma} i_y.$$

ФН:

$$i_y = c_5/z = 125/z,$$

где $c_5 = (1/2) i_{05} i_{\Sigma} = 125$;

i_{05} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

i_{Σ} – передаточное отношение дифференциала (водило ведущее), равное 2.

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 $\delta_1 = 60,884 \text{ tg}\gamma$.

Частная структура для черновой обработки включает группы $\Phi_v (II_1)$, $Bp (II_5)$ и $D (B_4)$.

Цикл работы станка при черновом нарезании зубьев:

- быстрый подвод стола с бабкой, несущей заготовку, к резцам;
- 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.

В данной структуре используются группы Φ_v и D , описанные выше при рассмотрении частной структуры для чистового нарезания при профилировании обкатом. Зубчатые колеса гитар обката и качания люльки снимаются, а ведущий и ведомый валы гитары обката жестко фиксируются.

Группа $Bp (II_5)$ простая. Ее внутренней связью является поступательная пара:

направляющие → *продольный стол с бабкой*.

Внешняя связь:

$M \rightarrow 12/41 \rightarrow i_s \rightarrow 14/37 \rightarrow 24/33 \rightarrow 1/44 \rightarrow$
→ *рабочий профиль p барабана 55* → *гидроцилиндр 48* →
→ *шток 50* → *продольный стол (B₅)*.

Группа настраивается на скорость гитарой i_s , на путь и исходную точку – упором 51.

Гитара i_s . В качестве подачи врезания принимается величина перемещения заготовки за один двойной ход резцов. Отсюда, расчетная цепь – это кинематическая цепь, связывающая кривошипный диск 5 с барабаном управления 55. Тогда, РП:

1 дв. ход резцов → s мм перемещения стола (B_5).

УКЦ:

$s = 1(38/17) (1/i_v) i_s (14/37) (24/33) (1/44) t_{TB}$.

ФН:

$i_s = 16,5 (s i_v / t_{TB})$,

где шаг тягового вала t_{TB} равен шагу рабочего профиля p .

На станке предусмотрена 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. 3.30). Заготовка 2 в процессе обработки обкатывается с производящим колесом 1, зубья которого воспроизводятся 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.

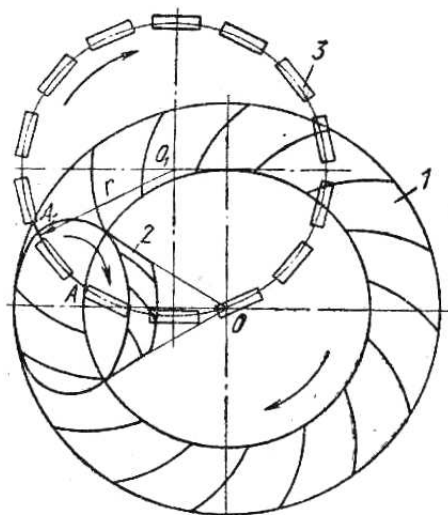


Рис. 3.30. Схема нарезания конических колес с круговыми зубьями

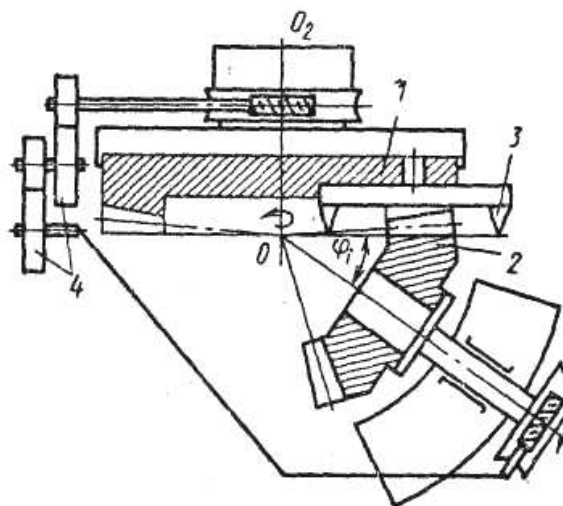


Рис. 3.31. Схема установки заготовки при нарезании круговых зубьев

Согласованность вращения люльки 1 (рис. 3.31) 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_2 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 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. 3.32, а) выполняется в виде диска с пазами, в которые вставляются и крепятся резцы перпендикулярно торцевой плоскости диска. Резцы бывают наружные (рис. 3.32, б) и внутренние (рис. 3.32, в). Резцы подразделяются также на праворежущие и леворежущие, которые отличаются только расположением режущих кромок.

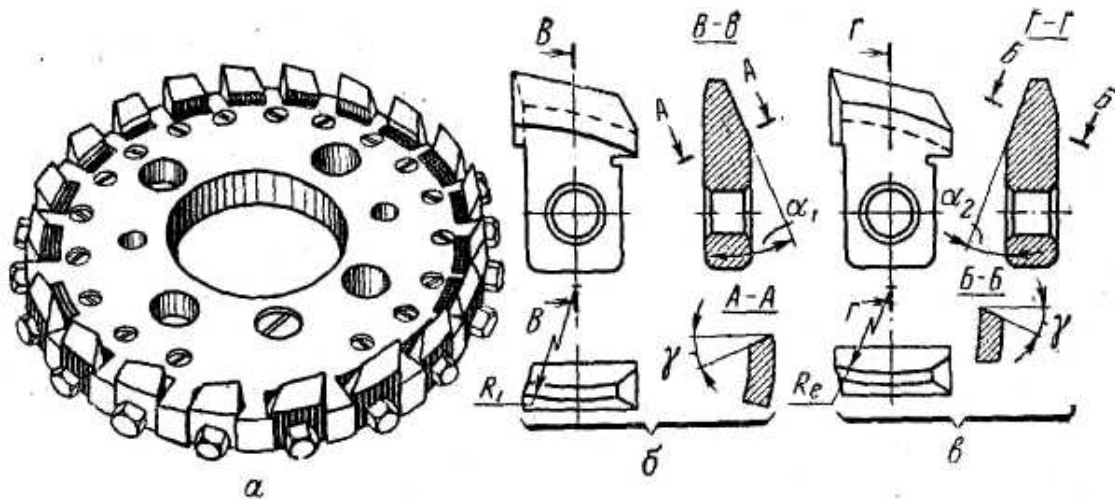


Рис. 3.32. Резцовая головка

Конические колеса с круговым зубом нарезают на различных модификациях зуборезных станков моделей 525, 527, 528 и др.

Зуборезный станок для обработки конических колес с дуговым зубом модели 525 (рис. 3.33) выполнен по схеме со смешанным соединением групп обката и деления. На станке можно нарезать зубчатые колеса со следующими параметрами: максимальный диаметр – 500 мм; максимальный модуль – 10 мм; максимальная ширина зуба – 65 мм; $z = 4 - 100$; максимальное передаточное отношение – 10:1; максимальная длина образующей начального конуса 250 мм.

Зубообработка осуществляется стандартными резцовыми головками диаметром 150 – 300 мм.

Кинематика станка состоит из двух частных структур. Первая реализует класс воспроизведения зубчатой поверхности: след + обкат, а вторая – копирование + след.

Частная структура класса воспроизведения конической зубчатой поверхности след + обкат включает две группы формообразования $\Phi_v (B_1)$ и $\Phi_s (B_2 B_3)$ и группу деления $D (B_4)$.

Цикл зубонарезания:

- 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.

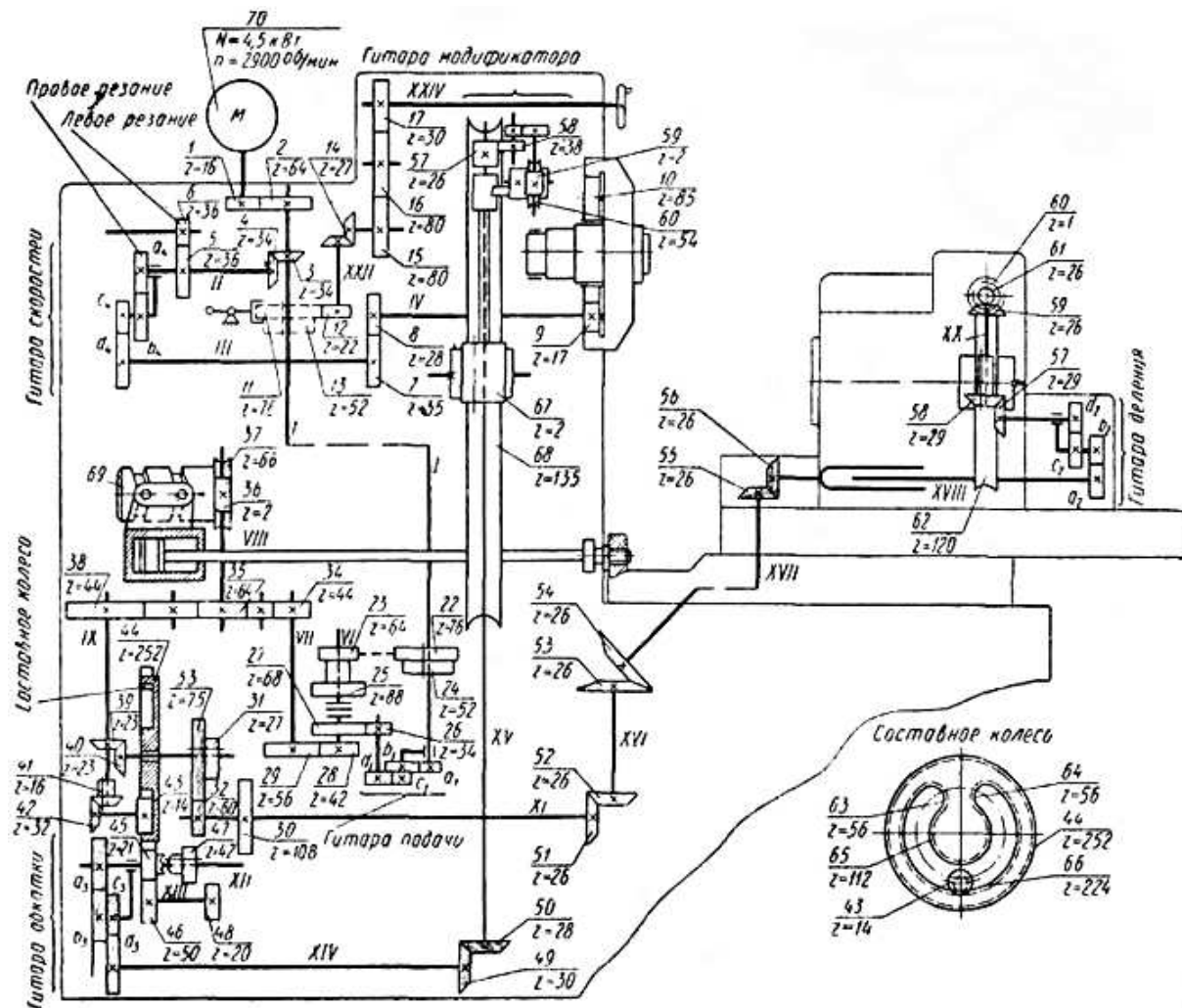


Рис. 3.33. Станок для нарезания конических колес с дугowymi зубьями

За время цикла обработки одного зуба (впадины) люлька совершает одно двойное качание и к началу следующего цикла приходит в исходное положение. Заготовка, вращаясь в одном направлении, повернется за это же время относительно люльки, согласно настройке на z_i зубьев. В итоге при новом зацеплении прорезается не соседняя впадина, а впадина, отстоящая от прорезанной на z_i . Таким образом, осуществляется смешанное деление (параллельно при прорезке впадины, последовательно при реверсе люльки). При этом, для обеспечения прорезания всех впадин, z_i должно быть взаимно простым с числом z нарезаемых зубьев.

Группа Φ_v простая. Ее внутренняя связь – вращательная пара:

корпус люльки → шпиндель резцовой головки.

Внешняя связь – кинематическая цепь:

$M \rightarrow 16/64 \rightarrow 34/34 \rightarrow [i_v = (a_4/b_4) (c_4/d_4)] \rightarrow 35/28 \rightarrow 17/85 \rightarrow \text{шпиндель} \rightarrow (B_1).$

Группа настраивается по двум параметрам: на скорость и направление – гитарой i_v .

Группа Φ_s сложная. Ее внутренняя связь – кинематическая цепь, воспроизводящая станочное зацепление:

$$B_2 \rightarrow \text{люлька} \rightarrow 135/2 \rightarrow 28/30 \rightarrow 1/[i_x = (a_3/b_3) (c_3/d_3)] \rightarrow 42/20 \rightarrow \\ \rightarrow 50/252 \rightarrow 224/14 \rightarrow 32/16 \rightarrow 23/23 \rightarrow 75/60 \rightarrow 26/26 \rightarrow 26/26 \rightarrow \\ \rightarrow 26/26 \rightarrow [(i_y = (a_2/b_2) (c_2/d_2))] \rightarrow 29/29 \rightarrow 26/26 \rightarrow 1/120 \rightarrow \text{шпиндель } (B_3).$$

Внешняя связь:

$$M \rightarrow 16/64 \rightarrow [(i_s = (a_1/b_1) (c_1/d_1))] \rightarrow 34/68 \text{ [или } (76/64)\text{ или } (52/88)] \rightarrow \\ \rightarrow 42/56 \rightarrow 44/44 \rightarrow \text{звено соединения связей – вал IX.}$$

Группа настраивается на траекторию и скорость гитарами i_x и i_s .

Группа деления $D (B_4)$. Внутренняя связь – вращательная пара:

$$\text{подшипниковые опоры бабки} \rightarrow \text{шпиндель } (B_4).$$

Внешняя связь включает внешнюю связь группы Φ_s и часть ее внешней связи от звена соединения связей (вал IX) до шпинделя.

Рассмотрим вывод ФН для расчета настройки станка. Исходными данными для этого являются геометрические параметры нарезаемого колеса и материал, из которого он изготовлен.

Гитара i_v . Расчетная цепь связывает электродвигатель со шпинделем резцовой головки.

Следовательно, РП:

$$n_M \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{РГ} \text{ мин}^{-1}.$$

УКЦ:

$$n_{РГ} = n_M i_{01} i_v.$$

ФН:

$$i_v = n_{РГ}/c_{01} = n_{РГ}/180,$$

где $c_{01} = n_M i_{01} = 180$ – константа расчетной цепи.

Гитара i_x . Расчетная цепь совпадает с внутренней связью группы Φ_s . Поэтому, РП:

$$1/z_n \text{ поворота люльки } (B_2) \rightarrow 1/z \text{ поворота заготовки } (B_3).$$

УКЦ:

$$1/z = 1/z_n i_{02} (1/i_x) i_y.$$

ФН:

$$i_x = c_{02} z_i/z_n = 3,5 z_i/z_n,$$

где i_{02} – константа расчетной цепи;

$i_y = 2z_i/z$ – ФН гитары деления, определяемая по расчетной цепи деления.

Гитара i_s . Временная система управления станка относится ко второму классу, характерная особенность которого наличие двух круговых частот распределительного вала: настраиваемой посредством гитары зубчатых колес при рабочем ходе и ненастраиваемой, ускоренной при свободном (холостом) ходе. Поэтому, расчетная цепь – это кинематическая цепь, связывающая электродвигатель с распределительным валом 69. За время рабочего хода распределительный вал поворачивается на 4/9 оборота.

Следовательно, РП:

$(n_M/60) t_p$ об. электродвигателя \rightarrow 4/9 об. распределительного вала.

УКЦ:

$$4/9 = (n_M/60) t_p i_{03} i_s.$$

ФН:

$$i_s = c_{03}/t_p = 4,7 t_p,$$

где $c_{03} = (4/9) (n_M/60 i_{03}) = 4,7$ – константа расчетной цепи.

Ускоренный ход распределительного вала (поз. 3 цикла обработки одного зуба или впадины):

$$n_{PB} = n_M (16/64) (76/64) (42/56) (44/64) (2/66) = 6,7 \text{ мин}^{-1}.$$

Ускоренный ход осуществляется за 5/9 оборота распределительного вала. Пользуясь пропорцией

$$1 \rightarrow 60/6,7 \text{ с}$$

$$5/9 \rightarrow t_y \text{ с},$$

определим время ускоренного хода люльки $t_y = 4,97 \text{ с}$.

Гитара i_y . Шпиндель, несущий заготовку, вращается непрерывно в одном и том же направлении. За время пока люлька, по окончании прорезки очередной впадины, вернется в исходное положение, заготовка повернется на z_i зубьев (впадин). Следовательно, к резцовой головке будет подведена не соседняя впадина, а z_i . Отсчетным звеном расчетной цепи деления является распределительный вал. Поэтому РП имеют вид

1 об. распределительного вала $\rightarrow z_i/z$ заготовки.

УКЦ:

$$z_i/z = 1 \cdot i_{04} i_y.$$

ФН:

$$i_y = i_{04} z_i/z = 2z_i/z,$$

где $i_{04} = 2$ – константа расчетной цепи.

От числа пропускаемых зубьев z_i зависит угол качания люльки. Может оказаться, что угол качания люльки будет недостаточным или, наоборот, слишком большим. В первом случае отвод заготовки будет происходить раньше, чем окончится прорезка впадины, таким образом, зубья не

получают правильной формы. Так как станок не имеет органа настройки угла качания люльки, то изменить угол качания можно путем пересчета сменных колес гитар обката и деления, взяв другое число z_i . Если угол качания люльки недостаточен, то z_i надо увеличить, а если этот угол слишком велик, то уменьшить. При этом можно воспользоваться табличным значением угла качания люльки на основе следующих РП:

$\delta_p^0/360^\circ$ поворота распределительного вала $\rightarrow \Theta^0/360^\circ$ поворота люльки.

Тогда УКЦ:

$$\Theta^0/360^\circ = (\delta_p^0/360^\circ) (66/2) (64/44) (16/32) (14/224) (252/21) \\ (i_x = 3,5z_i/z) (30/28) (2/135).$$

ФН:

$$z_i = (\Theta^0/\delta_p^0) z_n.$$

Подставляя в полученное выражение $\delta_p^0 = 4/9 = 160^\circ$, а Θ^0 на основе расчета по таблице, приведенной в паспорте станка, определяют z_i , которое округляют в большую сторону до целого числа взаимно простого с числом z нарезаемых зубьев.

Частная структура класса воспроизведения конических зубчатых поверхностей копирование + след используется при нарезании зубчатых колес с большим углом начального конуса. В этом случае угол обката (качания) люльки велик, и профилирование обкатом становится малопродуктивным. 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 резовую 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).

В рассматриваемой структуре кинематическая группа скорости резания Φ_v остается такой же, как и в предшествующей структуре. Структура группы обката остается прежней. Однако в ее внутренней связи некоторые передачи заменяются другими. Вместо передач 42/20 и 50/252 вводится понижающая передача 21/252, а вместо передачи 75/60 вводится пони-

жающая передача 27/108. В итоге движение обката замедляется в 25 раз. При этом ФН для гитар обката и деления будут иметь следующий вид:

$$i_x = 17,5/z_n; \quad i_y = 10/z.$$

В группе Φ_s из-за существенного замедления движения обката доминирующим будет не профилирование, а врезание на глубину впадины (высоты нарезаемых зубьев). Следовательно, эту группу в рассматриваемой структуре можно считать группой врезания. Выведем ФН для гитары i_s . Подачу врезания при общем двигателе для групп формообразования и врезания принято задавать в виде величины перемещения заготовки за один оборот резцовой головки. Следовательно, расчетная цепь для рассматриваемой гитары – это кинематическая цепь, соединяющая резцовую головку со столом, несущим бабку.

Тогда, РП:

1 об. резцовой головки \rightarrow s мм перемещения стола.

УКЦ:

$$s = 1 (85/17) (28/35) (1/i_v)(34/34)(i_s = a_1/b_1)c_1 d_1) (34/68) (42/56) (44/64)(2/66) t_{TB},$$

где t_{TB} – шаг рабочего паза на распределительном валу 69, управляющего гидроцилиндром подачи.

ФН:

$$i_s = 32,3 (s i_v/t_{TB}).$$

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.

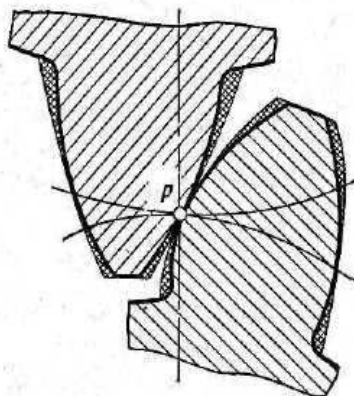


Рис. 3.34. Профили зубьев полуобкатной передачи

В полуобкатной передаче при профилировании обкаткой нарезают шестерню, имеющую небольшое число зубьев, а колесо нарезают резцовой головкой или круговой протяжкой при профилировании копированием.

На рис. 3.34 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 рассматриваемом станке для модификации профиля шестерни используется механизм модификации, выполненный в виде дополнительной 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. Механизм модификации получает движение от колеса 57 (рис. 3.33), закрепленного на валу червяка 67 люльки и сцепленного с колесом 58. Далее движение передается через гитару модификации обката i_m и червячную пару 59 – 60 втулке, на которой эксцентрично установлен ролик, к которому посредством гидравлики прижимается стакан, связанный с червяком люльки. При работе станка эксцентриковый ролик, совершая планетарное движение, перемещает червяк люльки в осевом направлении с переменной скоростью. В итоге червячное колесо 68 дополнительно поворачивает люльку на угол $\Theta^\circ_{дон}$

Вывод ФН для гитары i_m модификации профиля основан на использовании РП следующего вида:

Θ° поворота люльки $\rightarrow \Theta^\circ_{дон}$ дополнительного поворота люльки.

УКЦ:

$$\Theta^\circ_{дон} = \Theta^\circ 135/2 26/38 i_m 2/60.$$

ФН:

$$i_m = 0,65 \Theta^\circ_{дон}/\Theta^\circ.$$

Полученное значение для i_m корректируется с учетом решения неравенства

$$i_m < 100^\circ/(\Theta^\circ A_m),$$

где $A_m = 2,08333$ – константа.

3.4. Повышение производительности зубообрабатывающих станков

Основным направлением в развитии зубообрабатывающих станков является повышение их производительности. Это неразрывно связано с упрощением кинематики станков, совершенствованием узлов и механизмов и заменой механической части электрической. В зубообрабатывающих станках все шире применяют индивидуальные приводы в кинематических группах. Согласованность вращения шпинделя инструмента с вращением делительного стола заготовки обеспечивается синхронизацией электродви-

гателей индивидуальных приводов. На определенном этапе для упрощения электрической схемы в расчетных цепях регулирования передаточного отношения между инструментом и заготовкой предусматривается механический орган настройки в виде гитары сменных зубчатых колес. По мере развития нелинейной электроники механические внутренние связи, воспроизводящие станочное зацепление, заменяются электронными с использованием синхронных следящих систем и интерполяторов. Использование регулируемых электроприводов позволяют осуществлять бесступенчатое регулирование частот вращения исполнительных органов. Индивидуальные электроприводы создают предпосылки для программного управления станками, что упрощает переналадку на обработку различных видов зубчатых колес, позволяет оптимизировать режимы резания.

Распространение получают автоматические системы управления (АСУ), которые оптимизируют режим зубообработки посредством регулирования подачи в зависимости от силы резания (адаптивное управление). Это позволяет сократить машинное время обработки на зубофрезерных станках на 10 – 40 % за счет увеличения подачи фрезы при входе и выходе из обрабатываемой заготовки, автоматического выбора режима резания в зависимости от состояния заготовки и степени затупления фрезы. АСУ позволяет производить коррекцию подачи при обработке в зависимости от конфигурации заготовки и способа ее крепления. В зубодолбежных станках регулируемые электродвигатели и электронные связи, обеспечивающие станочное зацепление, позволяют осуществлять зубообработку при многопроходном зубодолблении со спиральным врезанием с прогрессивной и регрессивной круговой подачей и минимизировать износ долбяков. Не менее важное значение имеет совмещение различных операций зубооб-

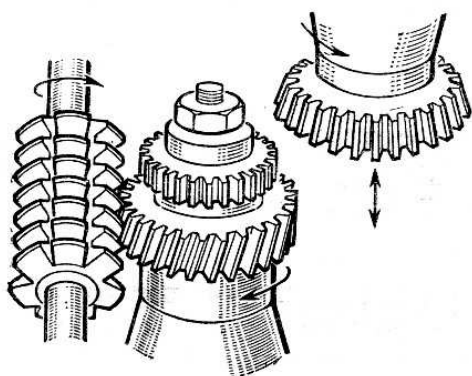


Рис.3.35. Комбинированное нарезание блока колес

работки на одной позиции. Выпускаются комбинированные зубообрабатывающие станки, позволяющие осуществлять одновременное фрезерование и долбление различных по модулю и числу зубьев венцов блока зубчатых колес (рис. 3.35). Такие станки выпускает германская станкостроительная фирма «Пфаутер» – пионер в области разработки и производства станочного оборудования для нарезания зубчатых колес червячными фрезами.

3.5. 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.

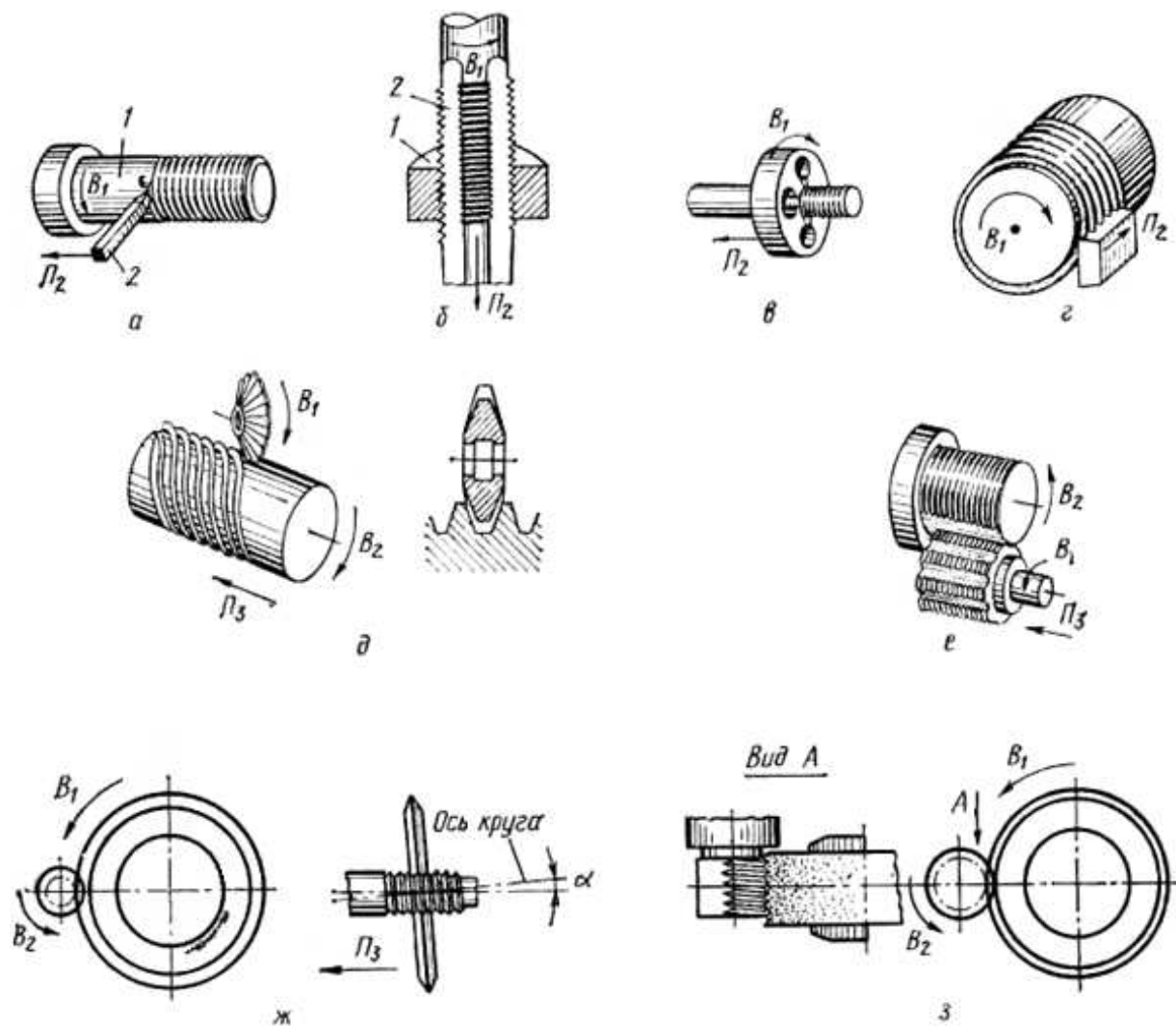


Рис. 3.36. Формообразование винтовых поверхностей на заготовках различными режущими инструментами: а – резьбовым резцом; б – метчиком; в – плашкой; г – резьбовой гребенкой; д – дисковой резьбовой фрезой; е – многониточной гребенчатой фрезой; ж – дисковым шлифовальным кругом; з – многониточным шлифовальным кругом

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. Этот метод осуществляется резьбовыми резцами (рис. 3.36, *a*), метчиками (рис. 3.36, *б*), плашками (рис. 3.36, *в*), резьбовыми гребенками (рис. 3.36, *г*), резьбонарезными головками, дисковыми резьбовыми фрезами (рис. 3.36, *д*), многоночными гребенчатыми фрезами (рис. 3.36, *е*), дисковыми (рис. 3.36, *ж*) и многоночными (рис. 3.36, *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 $\Phi_v (B_1B_2)$, а методом касания (резьбонарезной головкой, фрезой, шлифовальным кругом) – два движения: одно простое $\Phi_v (B_1)$ вращение инструмента, и второе сложное винтовое $\Phi_s (B_2П_3)$. Таким образом, кинематическая структура резьбообрабатывающих станков в первом случае состоит из одной формообразующей группы, а во втором – из двух.

В индивидуальном производстве, например, ремонтном или экспериментальном нарезание резьбы осуществляют резьбовыми 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. При нарезании резьбы метчиками и плашками нет необходимости в использовании винторезной цепи (внутренней связи группы $\Phi_s (B_1B_2)$). 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 возможность нарезания резьбы при выполнении слесарных работ. В серийном и массовом производстве для на-

резания 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, соответствующим профилю, шагу и длине нарезаемой резьбы, а также к станкам, нарезающим многозаходные цилиндрические червяки обкатным резцом. Группа обката (скорости резания) $\Phi_v (B_1 B_2)$ воспроизводит профиль резьбы, а группа подачи $\Phi_s (B_3 П_4)$, 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 $\Phi_v (B_1 П_2 П_3)$ включает не одну, а две точно настраиваемые внутренние связи.

3.5.1. 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. 3.37), 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:

$M_1 \rightarrow 3 \rightarrow i_v \rightarrow 4 \rightarrow$ 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.

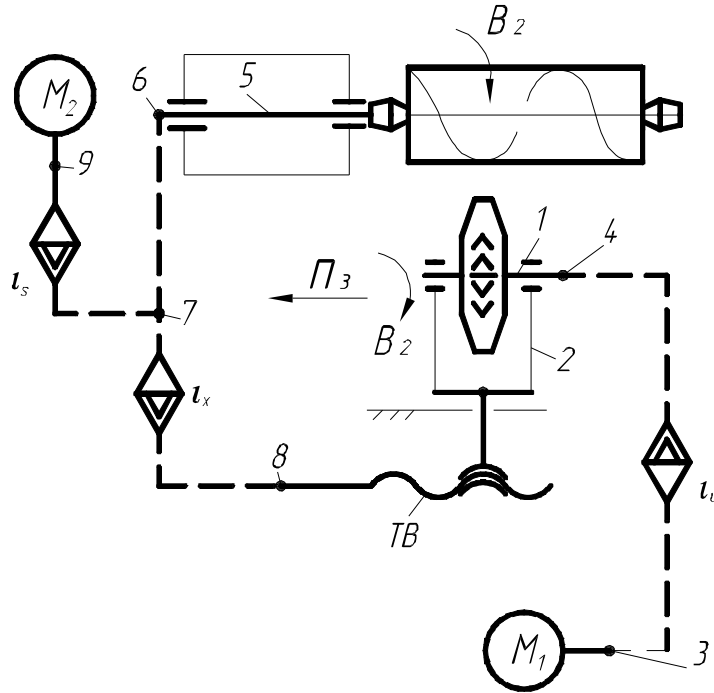


Рис. 3.37. Типовая структурная схема резьбофрезерного станка

Группа подачи $\Phi_s (B_2\Pi_3)$ сложная, винторезная. Ее внутренняя связь имеет следующий вид:

$$\text{шпиндель } 5 (B_2) \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow i_x \rightarrow 8 \rightarrow TB \rightarrow \text{суппорт } 2 (\Pi_3).$$

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 :

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя } M_1 \rightarrow n_{\phi} \text{ мин}^{-1} \text{ фрезы } (B_1)$$

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:

$$s = l i_{02} i_x t_{TB}.$$

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 резбифрезерные 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. На рис. 3.38 приведена схема резбифрезерного станка модели 561, содержащая 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. Зубофрезерные станки, работающие червячными фрезами, рассмотрены выше в п. 3. Поэтому в названной модели станка рассмотрим частную кинематическую структуру, используемую для нарезания длинных резьб дисковой фрезой. Эта структура содержит две формообразующие группы $\Phi_v (B_1)$ и $\Phi_s (B_2\Pi_3)$, соединенные между собой общим электродвигателем. Профиль резьбы воспроизводится копированием (зеркальным отображением профиля характеристического образа фрезы на заготовку), а винтовая линия – методом касания, осуществляемым движениями Φ_v и Φ_s .

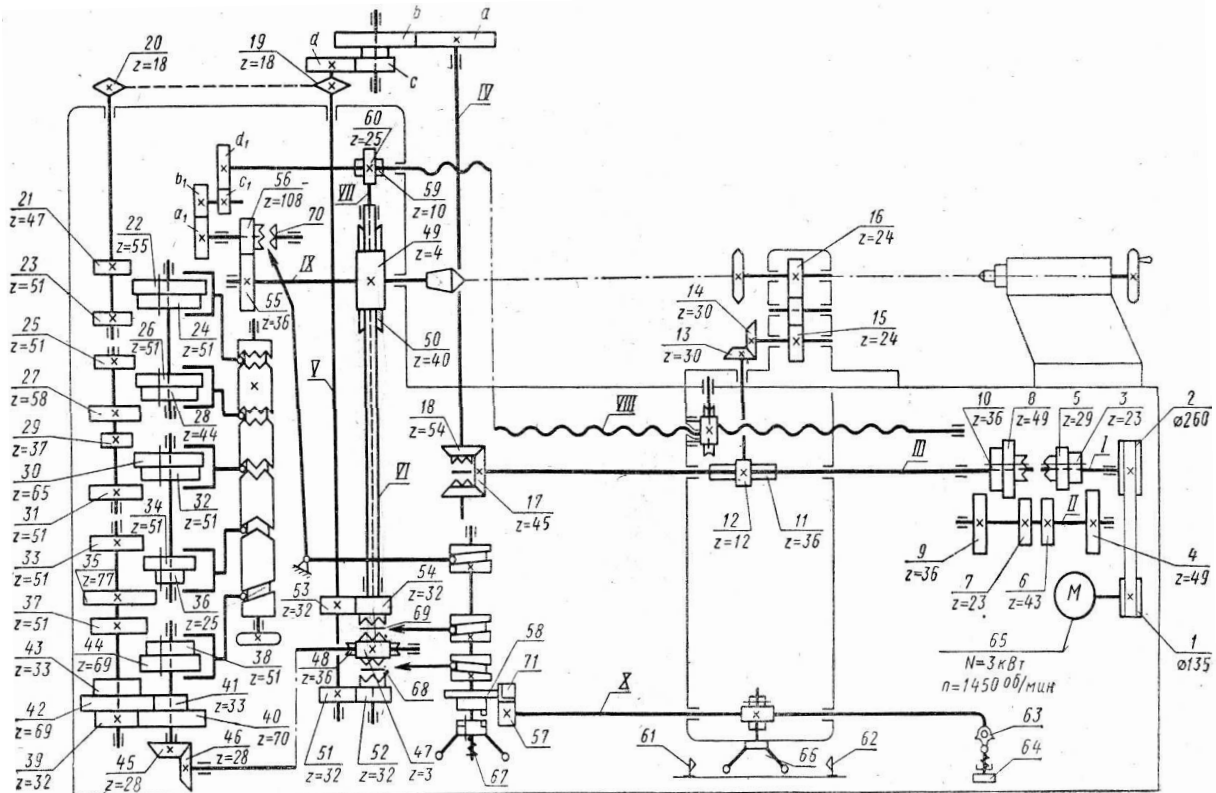


Рис. 3.38. Кинематическая схема резьбофрезерного станка для обработки длинных резьб

Группа $\Phi_v(B_1)$ простая. Ее внутренняя связь – вращательная пара: *подшипниковые опоры* → *шпиндель фрезы (B_1)*.

Внешняя связь – кинематическая цепь, соединяющая электродвигатель со шпинделем фрезы:

$$M \rightarrow 135/260 \rightarrow \text{кулачковая муфта или } (i_v = (23/49 \text{ или } 29/43) (23/49 \text{ или } 36/36)) \rightarrow 36/12 \rightarrow 30/30 \rightarrow 24/24.$$

Группа настраивается на один параметр – скорость резания пятиступенчатой шестеренчатой коробкой i_v .

Группа $\Phi_s(B_2\Pi_3)$ сложная. Ее внутренняя связь: *шпиндель заготовки (B_2)* → $36/108 \rightarrow (i_x = (a_1/b_1) (c_1/d_1)) \rightarrow \text{ТВ} \rightarrow \text{суппорт } (\Pi_3)$.

Внешняя связь:

$$M \rightarrow i_v \rightarrow \text{реверс } 45/54 \rightarrow (i_y = (a/b) (c/d)) \rightarrow 18/18 \rightarrow \text{коробка подач } i_s \rightarrow 28/28 \rightarrow 3/36 \rightarrow \text{кулачковая муфта } 69 \rightarrow 4/40 \rightarrow \text{шпиндель заготовки}.$$

Группа настраивается на траекторию гитарой i_x ; на скорость – коробкой подач i_s ; на направление – реверсом; на путь и исходную точку – по

упорам. Во внутренней связи группы расположена гитара обката i_y . В рассматриваемой структуре эта гитара не является органом настройки, а используется как механизм с постоянным передаточным отношением, равным единице.

Значения круговых частот вращения шпинделя фрезы определяется на основе следующих РП:

$$n_{\text{м}} \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя} \rightarrow n_{\text{ф}} \text{ мин}^{-1} \text{ фрезы (} B_1 \text{)}.$$

УКЦ (ФН):

$$n_{\text{ф}} = 1450 (135/260) [(23/49 \text{ или } 29/43) (23/49 \text{ или } 36/36) \text{ или муфта, соединяющая валы 1 и 111}] (12/36) (30/30) (24/24) = \{55, 80, 120, 170, 250\}.$$

Таким образом, привод вращения фрезы имеет пять значений круговых частот.

РП для гитары i_x :

$$1 \text{ об. шпинделя заготовки (} B_2 \text{)} \rightarrow t \text{ мм перемещения инструмента (} \Pi_3 \text{)}.$$

УКЦ:

$$t = (36/108) i_x (t_{TB} = 12).$$

ФН:

$$i_x = t/4.$$

Расчетная цепь круговых подач связывает электродвигатель со шпинделем заготовки. В этой цепи последовательно соединены тридцатидвухступенчатая коробка подач и пятиступенчатая коробка привода вращения фрезы. Поэтому РП для коробки круговых подач i_s запишем относительно вала 111 в виде:

$$1 \text{ оборот вала 111} \rightarrow s_z z_{\text{ф}} n_{\text{ф}} / \pi D_p \text{ оборота шпинделя заготовки,}$$

где s_z – подача на зуб фрезы;

$z_{\text{ф}}$ – число зубьев фрезы;

$n_{\text{ф}}$ – круговая частота фрезы;

D_p – средний диаметр фрезеруемой резьбы.

УКЦ:

$$s_z z_{\text{ф}} n_{\text{ф}} / \pi D_p = i_s i_{02}.$$

ФН:

$$i_s = 0,38 s_z z_{\text{ф}} n_{\text{ф}} / D_p.$$

Управление станком осуществляется следующим образом. Зубчатые блоки в коробке скоростей перемещаются двумя рукоятками, а в коробке подач – поворотом кулачкового барабана. Муфты 68, 69 распределитель-

ного механизма переключаются цилиндрическими кулачками, поворачиваемыми рукоятками 66, 67. Для установки муфт в то или иное положение рукоятка 67 оттягивается, поворачивается и фиксируется в гнездах зубчатого колеса 58. Управлять муфтами можно и рукояткой 66. При ее повороте пара винтовых зубчатых колес сообщает вращение валу X и зубчатому колесу 57, которое через двухстороннюю зубчатую рейку 71 передает вращение колесу 58 и рукоятке 67. С правой стороны вала X находится фасонный рычаг 63, с которым контактирует кнопка 64 конечного переключателя. Рычаг 63 имеет выступы и впадины. Когда кнопка оказывается во впадине, электродвигатель отключается. Переключение фрезерной головки после нарезания резьбы на обратный ускоренный ход и останов ее после окончания цикла производится с помощью упоров 61 и 62, воздействующих на выступы рукоятки 66.

В крупносерийном и массовом производстве используют полуавтоматические резьбофрезерные станки, например, 5М5Б62 (рис. 3.39) для фрезерования коротких наружных и внутренних резьб групповой (гребенчатой) фрезой.

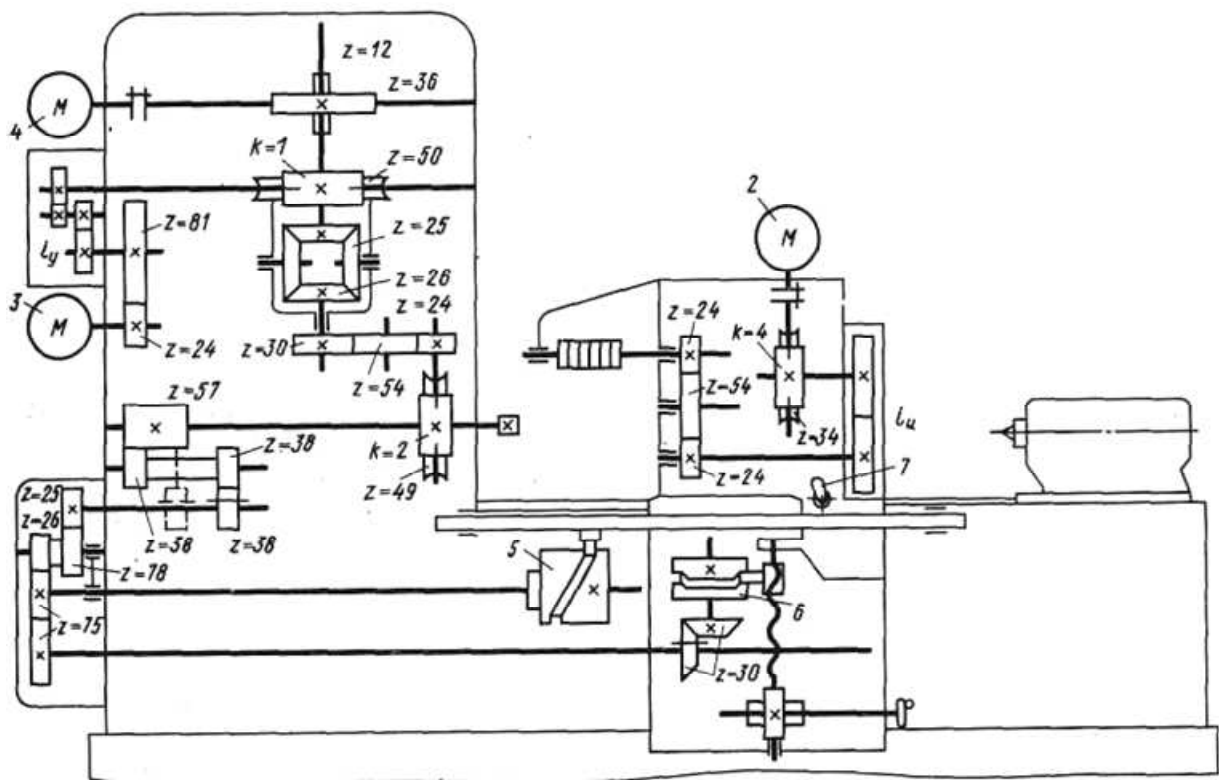


Рис. 3.39. Кинематическая схема резьбофрезерного станка для обработки коротких резьб

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 состоит из двух формообразующих групп $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_s(B_2\Pi_3)$ и группы врезания $Vp(\Pi_4)$.

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 .

Сложная группа $\Phi_s(B_2\Pi_3)$ воспроизводит винтовую линию. Ее внутренняя связь имеет следующий вид:

*шпиндель заготовки (B_2) $\rightarrow 57/38 \rightarrow$ реверс $\rightarrow 25/78 \rightarrow 26/15 \rightarrow$
 \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 не настраиваемая цепь:

$M_4 \rightarrow 36/12 \rightarrow \Sigma \rightarrow 30/24 \rightarrow 2/49.$

Группа врезания $Vp(\Pi_4)$ осуществляет врезание в радиальном направлении на полную глубину зубофрезерования. Ее внутренняя связь:

поперечные направляющие станины \rightarrow фрезерная бабка (Π_4).

Внешняя связь включает часть внешней и внутренней связи группы Φ_s и имеет вид:

$M_3 \rightarrow 24/81 \rightarrow i_y \rightarrow 1/50 \rightarrow \Sigma \rightarrow 30/24 \rightarrow 2/49 \rightarrow 57/38 \rightarrow$
 $\rightarrow 29/26 \rightarrow 15/15 \rightarrow 30/30 \rightarrow$ *кулачок 6 (Π_4).*

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 оборот заготовки $\rightarrow t$ 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 фреза 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. 3.40.

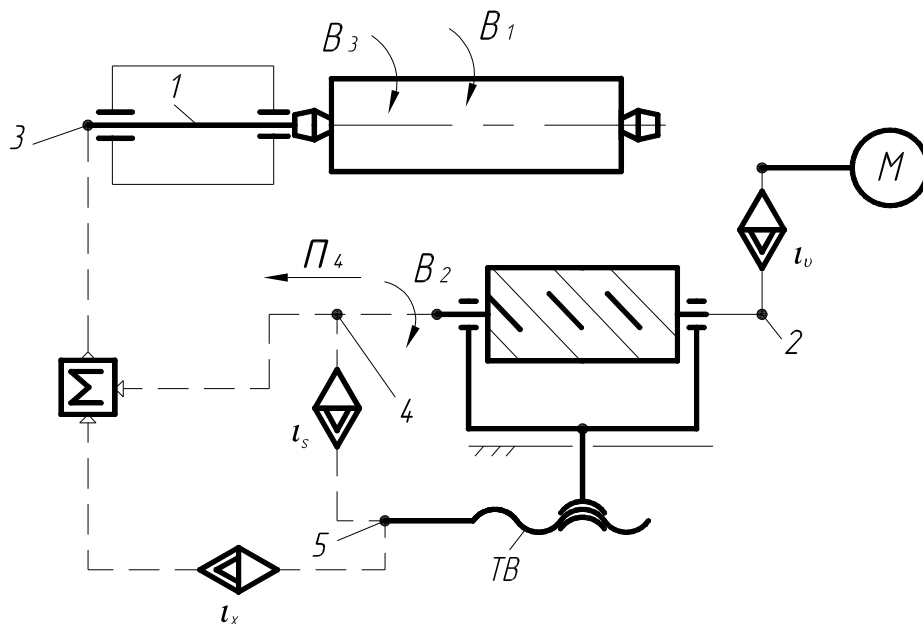


Рис. 3.40. Структурная схема станка для фрезерования резьб червячной фрезой

Формообразующая часть структуры станка состоит из двух сложных групп: скорости резания $\Phi_v (B_1 B_2)$ и подачи $\Phi_s (B_3 \Pi_4)$, 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) $\rightarrow 3 \rightarrow \Sigma \rightarrow 5 \rightarrow TB \rightarrow$ суппорт фрезы (Π_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.

3.5.2. Резьбонакатные станки

Накатывание резьбы получило широкое распространение в крупносерийном производстве. Накатанные резьбы, по сравнению с нарезанными, вследствие уплотнения поверхностного слоя, обладают большей усталостной прочностью и долговечностью. Процесс накатывания резьбы более производительен, 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.

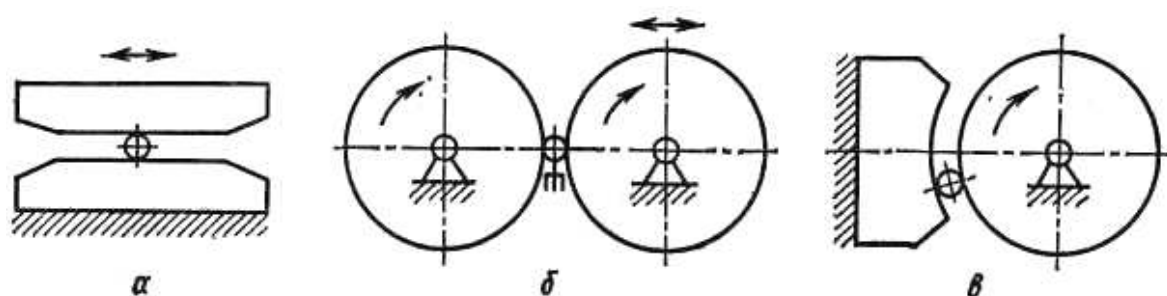


Рис. 3.41. Основные схемы накатывания резьбы

При накатывании резьбы плоскими плашками (рис. 3.41, *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. 3.41, *б*), которым 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.

При накатывании резьбы роликом и сегментной плашкой (рис. 3.41, *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 накатыва-

ние резьб роликами получило широкое распространение, в том числе, в инструментальном производстве при накатывании резьбы на метчиках.

На рис. 3.42 приведена схема выпускаемого серийно универсального резьбонакатного станка-полуавтомата модели 5933.

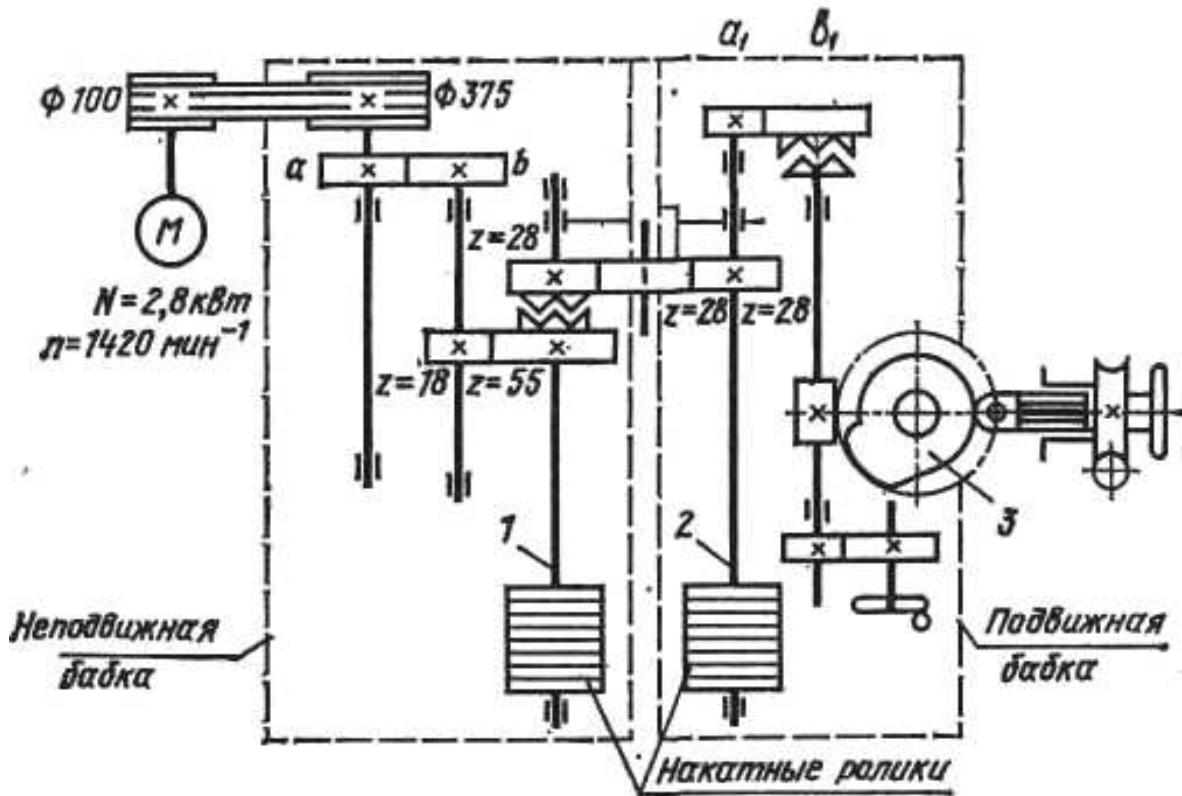


Рис. 3.42. Кинематическая схема резьбонакатного станка

Станок предназначен для наружного накатывания метрических и дюймовых резьб двумя накатными роликами в крупносерийном производстве. Диаметр накатываемой резьбы 6 – 30 мм; максимальная длина резьбы 40 мм; максимальный шаг резьбы 2,5 мм. Можно накатывать правые и левые резьбы.

При накатывании резьбы накатываемая деталь устанавливается на ножевой опоре между накатными роликами.

Кинематическая структура станка содержит две простые кинематические группы: скорости накатывания (аналог скорости резания) $\Phi_v (B_1)$ и радиальной подачи на высоту витка резьбы (аналог подачи врезания) $Bp_s (П_2)$.

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:

$$\begin{array}{ccccccc} M \rightarrow (100/375) \rightarrow i_v = a/b \rightarrow (18/55) \rightarrow \text{шпиндель 1} \rightarrow \text{ведущий ролик} \rightarrow & & & & & & \\ & \downarrow & & & & & \downarrow \\ & \rightarrow (28/28) \rightarrow \text{шпиндель 2} \rightarrow \text{ведомый ролик} \rightarrow \text{деталь (B}_1\text{)}. & & & & & \end{array}$$

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 $Vp_s (II_2)$.

Внутренняя связь:

направляющие станины станка \rightarrow *подвижная бабка*.

Внешняя связь:

$$M \rightarrow (100/375) \rightarrow i_v = a/v \rightarrow (18/55) \rightarrow (28/28) \rightarrow i_s = a_1/b_1 \rightarrow \rightarrow \text{червячная передача} \rightarrow \text{кулачок 3} \rightarrow \text{подвижная бабка (II}_2\text{)}.$$

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 $39 - 265 \text{ мин}^{-1}$.

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:

$$(n_p/60) t_{\text{ц}} \text{ об. накатных роликов} \rightarrow 1 \text{ об. кулачка 3.}$$

УКЦ:

$$1 = (n_p/60) t_{\text{ц}} (28/28) (i_s = (a_1/b_1)) i_{\text{чп}},$$

ФН:

$$i_s = c_1/n_p t_{\text{ц}}$$

где $c_1 = 60/i_{\text{чп}}$;

$i_{\text{чп}}$ – передаточное отношение червячной передачи;

$t_{\text{ц}}$ – время цикла накатывания резьбы, с.

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.

3.5.3. Специализированные станки для нарезания червяков

В крупносерийном производстве при обработке червяков используют резьбообрабатывающие станки, работающие обкатным резцом. Класс воспроизведения винтовой поверхности червяка: обкат + касание. Для его реализации необходимо чашечный резец в виде зубчатого колеса с профилем зуба, форма которого является сопряженной при обкате с профилем резьбы нарезаемого червяка, катить без скольжения относительно нарезаемого червяка. Формообразующая часть кинематической структуры таких станков для нарезания цилиндрических червяков отличается от рассмотренной выше (см. рис. 3.40) иным расположением инструмента относительно заготовки и наличием в группе скорости резания органа настройки на траекторию. На рис. 3.43 приведена кинематическая схема станка модели ЕЗ-10А, представляющая рассматриваемую группу резьбообрабатывающих станков. На станке нарезают одно- и многозаходные цилиндрические червяки, имеющие максимальный диаметр 100 мм, максимальную длину 300 мм и максимальный шаг витка 15 мм.

Кинематическая структура станка состоит из двух сложных групп, осуществляющих два движения формообразования: движение скорости резания (обката) $\Phi_v (B_1 B_2)$, винтовое движение подачи $\Phi_s (B_3 П_4)$.

Группа $\Phi_v (B_1 B_2)$.

Внутренняя связь – кинематическая цепь, соединяющая шпиндель резца со шпинделем заготовки:

шпиндель резца (B_1) $\rightarrow 30/1 \rightarrow i_0 \rightarrow 26/26 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_x \rightarrow$ *шпиндель заготовки* (B_2).

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow 110/310 \rightarrow i_v \rightarrow 25/40 \rightarrow 24/40 \rightarrow$ *звено соединения связей* 26/26 (*реверс*).

Во внутренней связи группы расположены две гитары: i_x и i_0 . Двухваловая гитара i_0 имеет небольшой набор сменных колес. Трехколесная гитара i_x выполнена с переставной промежуточной осью, ввертываемой в одно из резьбовых отверстий станины станка между ведущим и ведомым валами гитары. Такая конструкция позволяет передавать через гитару

большие нагрузки при большем числе вариантов настройки, чем при использовании двухколесной гитары. Однако она не обеспечивает все возможные варианты настройки расчетной цепи обката. Поэтому во внутреннюю связь группы последовательно установлены две гитары, обеспечивающие совместно все возможные варианты настройки.

Группа настраивается на траекторию гитарами i_x и i_0 ; на скорость – гитарой i_y ; на направление – реверсом 26/26.

Группа $\Phi_s (B_3\Pi_4)$.

Внутренняя связь – кинематическая цепь, связывающая шпиндель заготовки 2 с тяговым валом инструментального суппорта,

шпиндель заготовки 2 (B_3) $\rightarrow i_x \rightarrow \Sigma \rightarrow 90/1 \rightarrow i_y \rightarrow 40/80 \rightarrow 18/36 \rightarrow 18/36 \rightarrow$ тяговый вал \rightarrow инструментальный суппорт (Π_4).

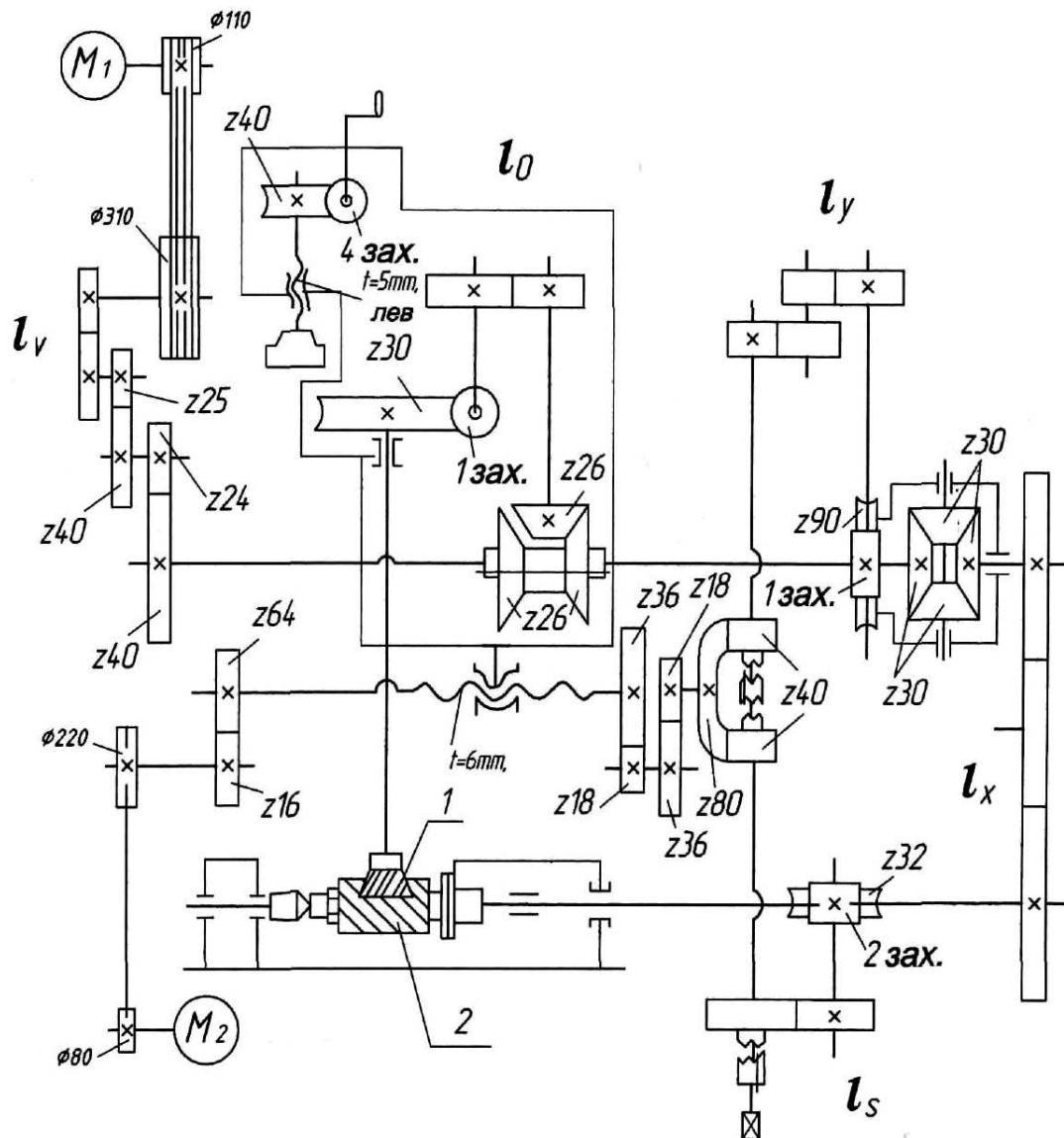


Рис. 3.43. Кинематическая схема станка для нарезания цилиндрических червяков

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow 110/310 \rightarrow i_v \rightarrow 25/40 \rightarrow 24/40 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_x \rightarrow 2/32 \rightarrow i_s \rightarrow \text{вал реверса } 40/80.$$

Группа настраивается на траекторию гитарой i_y ; на скорость – гитарой i_s ; на направление – реверсом 40/80; на путь и исходное положение – копиром.

Исходными данными для расчета настройки станка являются режимы резания и параметры червяка и инструмента.

Гитара i_x . Расчетная цепь совпадает с внутренней связью группы Φ_v , воспроизводящей червячное зацепление.

Поэтому РП имеют вид:

$$1 \text{ оборот заготовки } (B_2) \rightarrow k/z \text{ поворота обкатного резца } (B_1),$$

где k – количество заходов нарезаемого червяка;

z – количество зубьев резца.

УКЦ:

$$k/z = 1 (1/i_x) (i_\Sigma = 1) (26/26) i_0 (1/30).$$

ФН:

$$i_x = i_0 (z/30k).$$

Гитара i_v : Скорость резания при обкатном точении резьбы задается по круговой частоте заготовки. Поэтому РП:

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \text{ об. электродвигателя } 1 \rightarrow n_p \text{ мин}^{-1} \text{ об. заготовки.}$$

УКЦ:

$$n_p = (n_{M1} = 1440) (110/310) i_v (25/40) (24/40) i_\Sigma (i_x = i_0 z/30 k).$$

ФН:

$$i_v = n_p k/6 i_0 z.$$

Гитары i_x и i_0 требуют точной настройки. Поэтому при подборе зубчатых колес сначала подбирают колеса для гитары i_0 из имеющегося для нее набора сменных колес. По подобранным колесам определяют передаточное отношение этой гитары и подставляют его в ФН для гитары i_x . Затем по результирующему передаточному отношению подбирают колеса для этой гитары. В заключение подбирают колеса для гитары i_v . Точная настройка этой гитары не требуется.

Гитара i_y .

РП для этой гитары, определяющей траекторию винтового движения, имеют вид

$$T \text{ мм перемещения резца } (П_4) \rightarrow 1 \text{ дополнительному об. заготовки } (B_3),$$

где T – шаг нарезаемого червяка.

УКЦ:

$$1 = (T/(t_{TB} = 6)) (36/18) (36/18) (80/40) i_y (i_{\Sigma} = 2) i_x.$$

ФН:

$$i_y = (90/8) k/zTi_0.$$

Гитара i_s .

РП:

1 об. заготовки \rightarrow s мм продольного перемещения резца.

УКЦ:

$$s = 1 (2/32) i_s (40/80) (18/36) (18/36) (t_{TB} = 6).$$

ФН:

$$i_s = (64/3) s.$$

При наладке станка посредством электродвигателя M_2 осуществляют установочные перемещения инструментального суппорта. А червячной передачей, управляемой посредством рукоятки, устанавливают исходное положение по копиру.

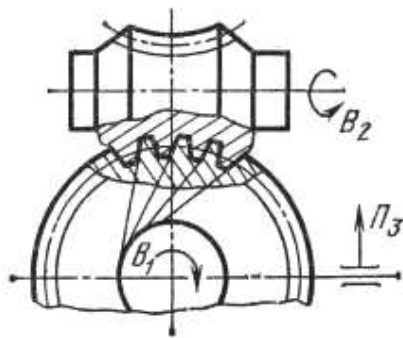


Рис. 3.44. Схема нарезания глобоидного червяка

На рис. 3.44 приведена схема формообразования поверхности глобоидного червяка обкатным резцом. Кинематическая структура станка в этом случае содержит только одну сложную группу формообразования $\Phi_v (B_1 B_2)$, аналогичную группе того же назначения в рассмотренной схеме станка по рис. 3.40, и простую группу радиального врезания $Vr (P_3)$, настраиваемую на скорость (подачу) и путь врезания.

3.5.4. 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. 3.36 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 по-

лучается 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 для инструментального производства, как правило, в одном станке объединяют резьбошлифовальные и резьбозатылюющие структуры.

Рассмотрим кинематическую схему (рис. 3.45) универсального резьбошлифовального станка модели 5822М. Назначение станка – шлифование цилиндрических и конических калибров-пробок и калибров-колец, точных винтов и червяков, затылование метчиков, модульных червячных фрез и др. В качестве инструмента можно использовать одно- и многониточные круги.

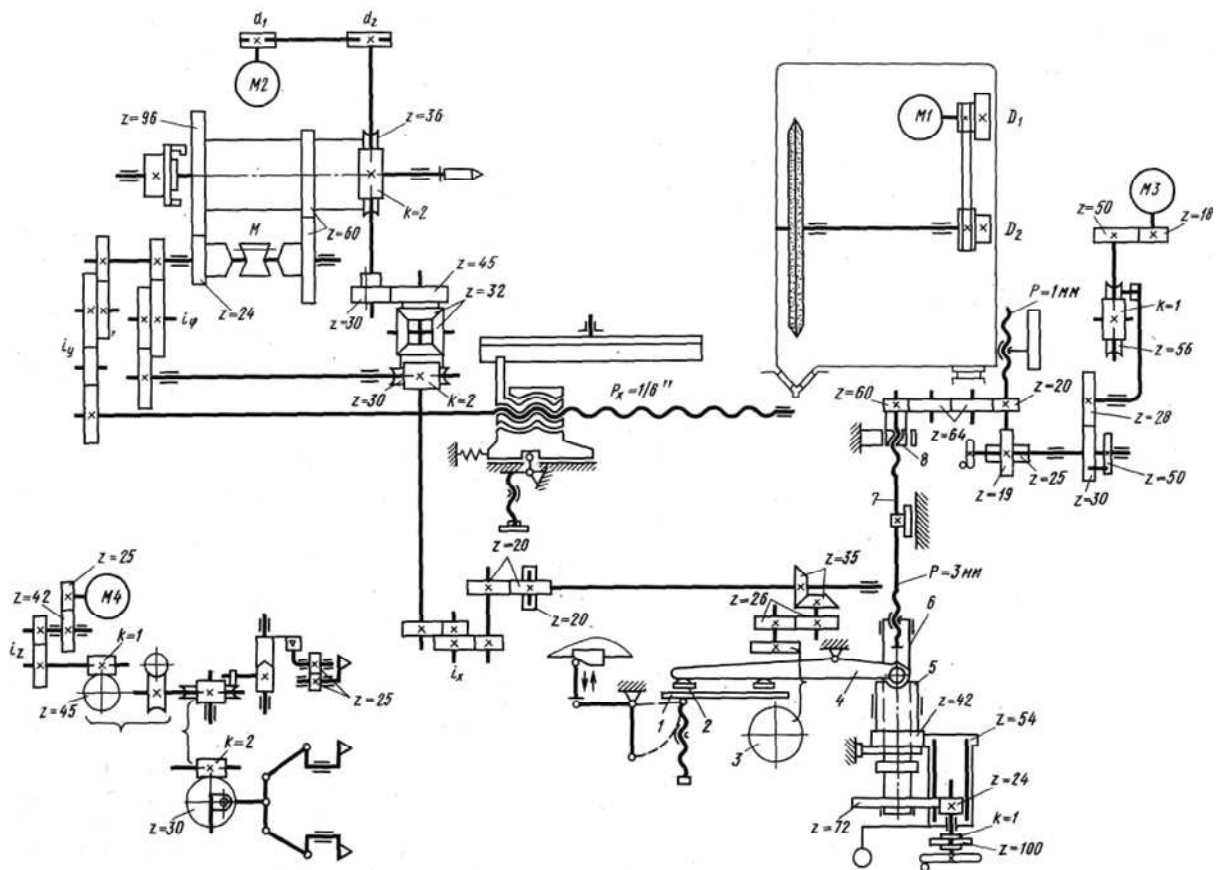


Рис. 3.45. Кинематическая схема универсального резьбошлифовального станка

Размеры устанавливаемых деталей: диаметр 200 мм; длина 500 мм. Диаметр шлифуемой резьбы: однониточным кругом от 3 до 150 мм; многониточным кругом от 10 до 120 мм. Шаг шлифуемой метрической резьбы:

одноточным кругом от 0,25 до 24 мм; многоточным кругом от 1 до 4 мм. Шаг шлифуемой дюймовой резьбы, нитки на 1 дюйм: одноточным кругом от 28 до 3; многоточным кругом от 24 до 6.

Частная кинематическая структура для шлифования резьбы дисковым кругом содержит две формообразующие группы: скорости резания $\Phi_v(B_1)$ и винторезной подачи $\Phi_s(B_2\Pi_3)$.

Группа Φ_v простая.

Внутренняя связь – вращательная пара:

подшипниковые опоры → *шпиндель шлифовального круга*.

Внешняя связь:

$M_3 \rightarrow (i_v = D_1/D_1) \rightarrow$ *шпиндель шлифовального круга* (B_1).

Группа настраивается на скорость ступенчатыми быстросменными шкивами i_v .

Группа Φ_s сложная.

Внутренняя связь:

шпиндель заготовки (B_2) → 60/60 или 96/24 → i_y → *ТВ* → *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.

Исходными данными для настройки станка являются параметры шлифуемой резьбы, абразивного круга и режимы резания.

Сменные шкивы i_v .

РП:

$n_{M1} \text{ мин}^{-1}$ электродвигателя $M_1 \rightarrow n_u \text{ мин}^{-1}$ шлифовального круга (B_1).

УКЦ:

$n_u = (n_{M1} = 1500) (i_v = D_1/D_2)$

ФН:

$i_v = n_u/1500$.

Сменные шкивы обеспечивают следующие частоты вращения шлифовального круга: при наружном шлифовании – 1440; 1680; 2010; 2380; при внутреннем шлифовании – 11800; 9000; 6000.

Гитара i_y .

РП:

1 об. шпинделя заготовки (B_2) $\rightarrow t$ 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 $0,3 - 45 \text{ мин}^{-1}$ 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

$$s_{\Pi M} = (n_{M3} = 1500) (18/50) (1/56) (20/30) (k/50) (19/25) (t_{TB} = 1) = k/10,$$

где $s_{\Pi M}$ – подача правящих механизмов;

$k = 50$ – число зубьев храпового колеса, захватываемых собачкой.

Одновременно вместе с подачей салазок правящих механизмов производится компенсирующая подача шлифовальной бабки.

УКЦ (ФН) для компенсирующей подачи имеет вид:

$$s_{ШБ} = (s_{\Pi M}/1) (20/64) (64/60) (t_{TB} = 3) = k/10,$$

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 резцов многоиточным кругом, устанавливаемым вместо дискового круга, включает группу скорости резания Φ_v (B_1), группу винторезной подачи Φ_s ($B_2\Pi_3$) и группу радиального врезания Bp (Π_4).

Кинематические группы скорости резания Φ_v и винторезной подачи Φ_s такие же, как и в частной структуре для шлифования резцы дисковым кругом.

Простая группа врезания Bp (Π_4) осуществляет врезание шлифовального круга на полную глубину зубошлифования.

Внутренняя связь группы:

поперечные направляющие суппорта → шлифовальная бабка (Π_4).

Внешняя связь:

*$M \rightarrow d_1/d_2 \rightarrow 30/45 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_x \rightarrow 20/20 \rightarrow 35/35 \rightarrow 26/26 \rightarrow$
 \rightarrow кулачок врезания 3 \rightarrow рычаг 1 \rightarrow ползушка 2 \rightarrow рычаг 4 \rightarrow
 \rightarrow кулак быстрого отвода 5 \rightarrow корпус 6 гайки поперечной подачи \rightarrow
 \rightarrow винт 7 поперечной подачи \rightarrow гайка 8 компенсирующей подачи \rightarrow
 \rightarrow шлифовальная бабка (Π_4).*

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 анализируемого станка, используемые при затыловании режущих инструментов, рассмотрим в соответствующем разделе после изучения основных схем формообразования затылованных поверхностей и вывода общего уравнения затылования.

3.6. Затыловочные станки

Затылование – это специальный вид обработки задних поверхностей зубьев режущих инструментов. Чаще всего затылуют зубья фрез: дисковых, цилиндрических с прямолинейными и спиральными стружечными канавками, резьбовых и червячных, а также зубья метчиков.

Фрезы с затылованными зубьями (рис. 3.46, а) перетачивают только по передним поверхностям, причем плоскость заточки проходит через ось фрезы, благодаря чему профиль зубьев и задний угол сохраняются неизменными. Поэтому фрезы, применяемые для обработки фасонных поверхностей, обязательно подвергают затылованию. Затылование зубьев обычно производят по архимедовой спирали.

Во время затылования заготовка 1 (рис. 3.46, б) равномерно вращается, а резец 2 совершает поступательно-возвратное перемещение – движение затылования. Перемещение резца осуществляется от равномерно вращающегося кулачка 3, профиль которого выбирают в зависимости от спада h затылка зуба фрезы (рис. 3.46, в). Приблизненно

$$h = \pi D \operatorname{tg} \alpha / z,$$

где D – диаметр фрезы;
 z – число зубьев фрезы;
 α – задний угол.

При затыловании за один оборот заготовки фрезы резец должен подойти к ней столько раз, сколько зубьев у фрезы.

При затыловании дисковых фрез, когда периметр профиля зуба невелик, применяют один фасонный резец. Во время обработки заготовка фрезы получает равномерное вращение, а резец – движение затылования и

подачу на глубину резания. При затыловании цилиндрических фрез с прямолинейными стружечными канавками резец дополнительно перемещается параллельно оси заготовки (продольная подача). При затыловании цилиндрических фрез со спиральными стружечными канавками необходимо, чтобы резец, перемещаясь вдоль оси заготовки, следовал бы по спиральной линии зуба.

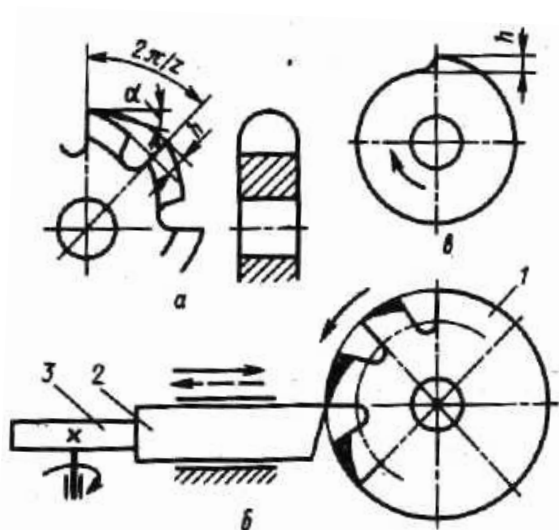


Рис. 3.46. Схема затылования зубьев дисковой фрезы

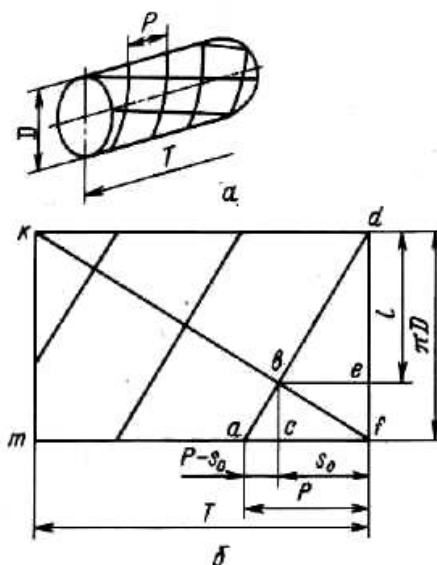


Рис. 3.47. Развертка червячной фрезы

Рассмотрим вывод общего уравнения затылования на примере затылования червячной фрезы. Червячная фреза (рис. 3.47, а) имеет резьбовую нарезку с шагом P и спиральные стружечные канавки с шагом T , которые выполнены перпендикулярно винтовой нарезки. На рис. 3.47 б, приведена развертка червячной фрезы, где kf – направление спиральной стружечной канавки, а линии, перпендикулярные ей, – винтовая нарезка, D – диаметр червячной фрезы.

Во время затылования резец при продольном перемещении должен за один цикл обработки переместиться на величину s_0 , для того чтобы он пришел в точку b , находящуюся на линии спиральной стружечной канавки.

Из подобия треугольников $\Delta adf \sim \Delta bde$ (рис. 3.47, б) определим обороты заготовки за один цикл затылования

$$l/\pi d = be/af = s_0/P .$$

Выразим отношение s_0/P через известные величины P и T . Тогда из подобия треугольников $\Delta abc \sim \Delta adf$ и $\Delta bfc \sim \Delta kfm$ получим

$$bc/\pi D = (P - s_0)/P \quad \text{и} \quad bc/\pi D = s_0/T.$$

Таким образом,

$$(P - s_0)/P = s_0/T \quad \text{или} \quad P/T = (P - s_0)/s_0 = (P/s_0) - 1; \quad (T + P)/T = P/s_0,$$

и окончательно

$$s_0/P = T/(T + P).$$

За один цикл затылования кулачок должен выполнить один оборот, тогда уравнение кинематической цепи может быть записано

$$T/(T + P) \text{ оборота заготовки} \rightarrow 1 \text{ обороту кулачка.}$$

Однако расчет настройки расчетной цепи затылования, как правило, ведут на один оборот заготовки. Поэтому разделив обе части уравнения на величину $T/(T + P)$ получим

$$1 \text{ оборот заготовки} \rightarrow (T + P/T) \text{ кулачка.}$$

Это соответствует условию, что затылуемая фреза имеет один зуб. Если затылуемая фреза имеет z зубьев, тогда:

$$1 \text{ оборот заготовки} \rightarrow z ((T + P)/T) \text{ оборота кулачка.}$$

Или окончательно:

$$1 \text{ оборот заготовки} \rightarrow z + zP/T \text{ оборота кулачка.}$$

Это и есть общее уравнение затылования. Уравнение получено при условии, что кулачок имеет один рабочий профиль. В современных затыловочных станках используют несколько кулачков с различным числом k рабочих профилей. Например, во всех модификациях станка модели 1811 используется три сменных кулачка с одним, двумя и тремя рабочими профилями. Введем в уравнение затылования поправку на k рабочих профилей. Тогда уравнение затылования примет вид:

$$1 \text{ оборот заготовки} \rightarrow z/k + z/k (P/T) \text{ или } z/k (1 + P/T) \text{ оборота кулачка.}$$

В современных универсальных затыловочных станках при затыловании цилиндрических фрез и метчиков со спиральными стружечными канавками или червячных фрез первое слагаемое z/k выполняется цепью затылования, а второе – $z/k (P/T)$ дифференциальной цепью. При этом в кинематической структуре обе названные цепи соединены между собой планетарным дифференциалом. При затыловании цилиндрических фрез с прямолинейными стружечными канавками второе слагаемое равно нулю, так как $T = \infty$. В специализированных бездифференциальных станках более ранних выпусков, например, станке модели 1708 (США) осуществляется бездифференциальная настройка по приведенному уравнению затылования.

При затыловании многозубого инструмента необходимо движение деления. Это движение в зависимости от затылуемого инструмента может быть элементарным (при затыловании дисковой фрезы) или двухэлементарным винтовым (при затыловании червячной фрезы). Движение деления осуществляется после затылования каждого очередного зуба затылуемого инструмента. При этом движение деления является частью сложного формообразующего движения, следовательно, выполняется формообразующей группой.

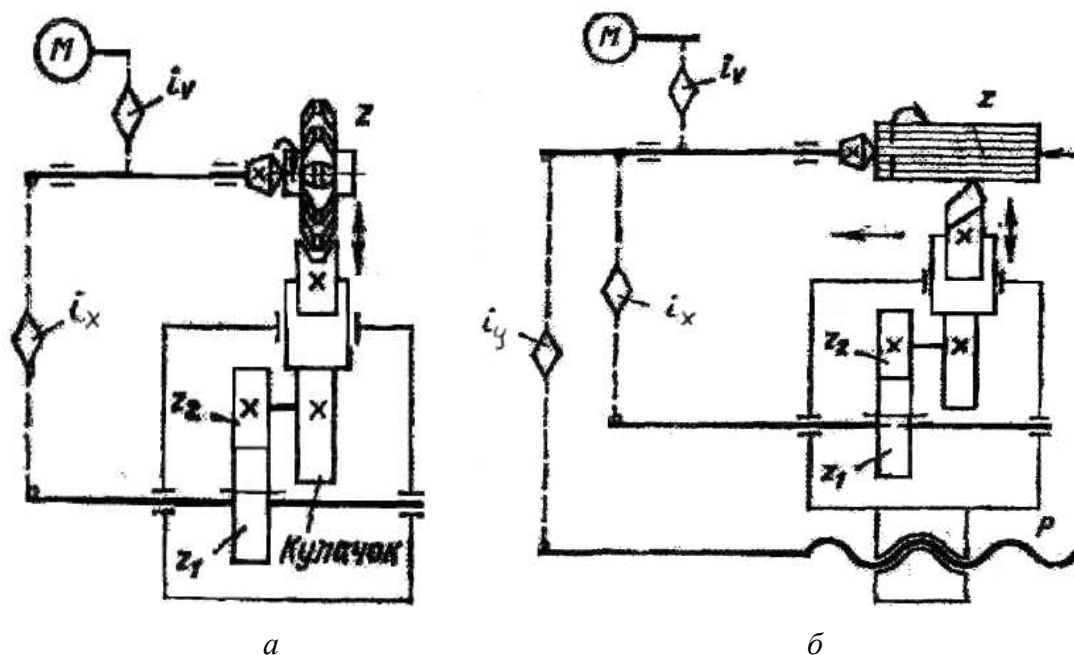


Рис. 3.48. Типовые структурные схемы токарно-затыловочных станков:
а – для затылования дисковых фасонных фрез; *б* – для затылования цилиндрических фрез с прямолинейными стружечными канавками

Формообразующая часть типовой структурной схемы токарно-затыловочного станка (рис. 3.48, *а*) состоит из сложной двухэлементарной группы $\Phi_v (B_1\Pi_2)$, воспроизводящей заднюю поверхность зубьев инструмента (направляющую).

Внутренней связью группы, называемой цепью деления, является структурная цепь:

(B_1) шпиндель $\rightarrow i_x \rightarrow z_1/z_2 \rightarrow$ кулачок затылования \rightarrow поперечный суппорт (Π_2), соединяющая шпиндель затылуемого инструмента с поперечным суппортом, несущим затылующий резец.

Внешняя связь – структурная цепь:

$M \rightarrow i_v \rightarrow$ шпиндель (звено соединения связей),

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

Группа настраивается на траекторию органом настройки i_x и кулачком затылования; на скорость – органом настройки i_v ; на путь – кулачком затылования; на исходное положение – лимбом. Кулачок затылования выполняет также функцию специального реверса и отсчетного звена для движения деления.

Формообразующая часть типовой структурной схемы станка для затылования цилиндрических фрез с прямолинейными стружечными канавками (рис. 3.48, б) состоит из сложной трехэлементарной группы $\Phi_v(B_1\Pi_2\Pi_3)$, получаемой посредством введения во внутреннюю связь, рассмотренной двухэлементарной группы дополнительной цепи, воспроизводящей винто-резное движение (продольную подачу) резца.

Структура дополнительной цепи:

(B_1) шпиндель $\rightarrow i_y \rightarrow$ тяговый вал $P \rightarrow$ продольный суппорт (Π_3) ,

обеспечивает функциональную связь заготовки с продольным перемещением резца при затыловании.

При затыловании цилиндрических инструментов со спиральными стружечными канавками необходимо, чтобы резец, перемещаясь вдоль оси фрезы, следовал бы за спиральной линией режущей кромки ее зуба. Это условие обеспечивается введением в предшествующую структурную схему параллельно цепи деления дополнительной цепи, называемой дифференциальной (рис. 3.49). Исполнительными органами обеих цепей являются шпиндель и поперечный суппорт. Поэтому эти цепи соединены между собой планетарным дифференциалом.

Структура дополнительной цепи:

(B_1) шпиндель $\rightarrow i_y \rightarrow i_\varphi \rightarrow \Sigma \rightarrow z_1/z_2 \rightarrow$ кулачок затылования \rightarrow суппорт (Π_2) .

Станкостроительная отрасль выпускает токарно-затыловочные станки как универсальные, содержащие все три рассмотренные структурные схемы, так и специальные классов точности Π и B для обработки инструментов диаметром 50 – 500 мм, длиной 80 – 1225 мм и модулем 1 – 42 мм. Отрасль выпускает также шлифовально-затыловочные станки, отнесенные к группе резьбошлифовальных станков

Рассмотрим универсальный токарно-затыловочный станок модели 1Б811. Станок предназначен для затылования дисковых и фасонных фрез, затылуемых радиально, вдоль оси и под углом, а также червячно-модульных фрез с модулем до 8 мм.

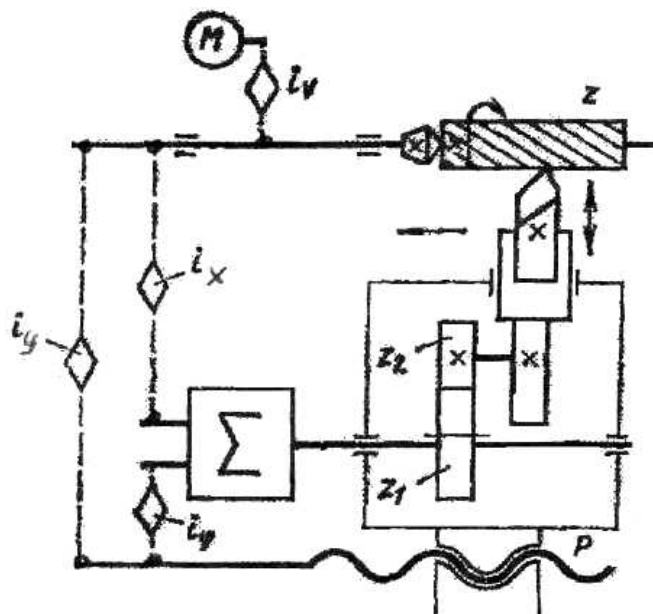


Рис. 3.49. Структурная схема станка для затылования цилиндрических фрез со спиральными стружечными канавками

Кинематическая структура (рис. 3.50) для затылования червячных модульных фрез состоит из сложной трехэлементарной группы формообразования $\Phi_v (B_1\Pi_2\Pi_3)$. Эта группа во внутренней связи содержит две кинематические цепи:

- цепь деления, связывающую шпиндель с кулачком и состоящую из двух параллельных ветвей, соединенных коническим дифференциалом;
- винторезную цепь, связывающую шпиндель с ходовым винтом.

Первая ветвь цепи деления:

$$\text{шпиндель } (B_1) \rightarrow 96/24 \rightarrow (80/20 \text{ или } 50/50) \rightarrow 44/36 \rightarrow 45/47 \rightarrow 47/33 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_x \rightarrow 27/27 \rightarrow \text{кулачок} \rightarrow \text{суппорт } (\Pi_2).$$

Вторая ветвь цепи деления:

$$\text{шпиндель } (B_1) \rightarrow ((96/24) (80/20) (54/54)) \text{ или } ((96/24) (50/50) (54/54)) \text{ или } (54/54) \rightarrow (36/36 \text{ реверс}) \rightarrow i_y \rightarrow 48/36 \rightarrow 42/42 \rightarrow i_\varphi \rightarrow 3/19 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_x \rightarrow 27/27 \rightarrow \text{кулачок} \rightarrow \text{суппорт } (\Pi_2).$$

Винторезная цепь:

$$\text{шпиндель } (B_1) \rightarrow ((96/24) \rightarrow (80/20) (54/54)) \text{ или } ((96/24) (50/50) (54/54)) \text{ или } (54/54) (36/36 \text{ реверс}) \rightarrow i_y \rightarrow \text{тяговый вал } P_x \rightarrow \text{суппорт } (\Pi_3).$$

Внешняя связь группы:

$$M \rightarrow 25/56 \rightarrow 34/34 \text{ или } 22/46 \text{ или } 28/40 \rightarrow 46/46 \text{ или } 24/68 \rightarrow 45/54 \rightarrow 50/50 \text{ или } 20/80 \rightarrow 24/96 \rightarrow \text{шпиндель } (B_1).$$

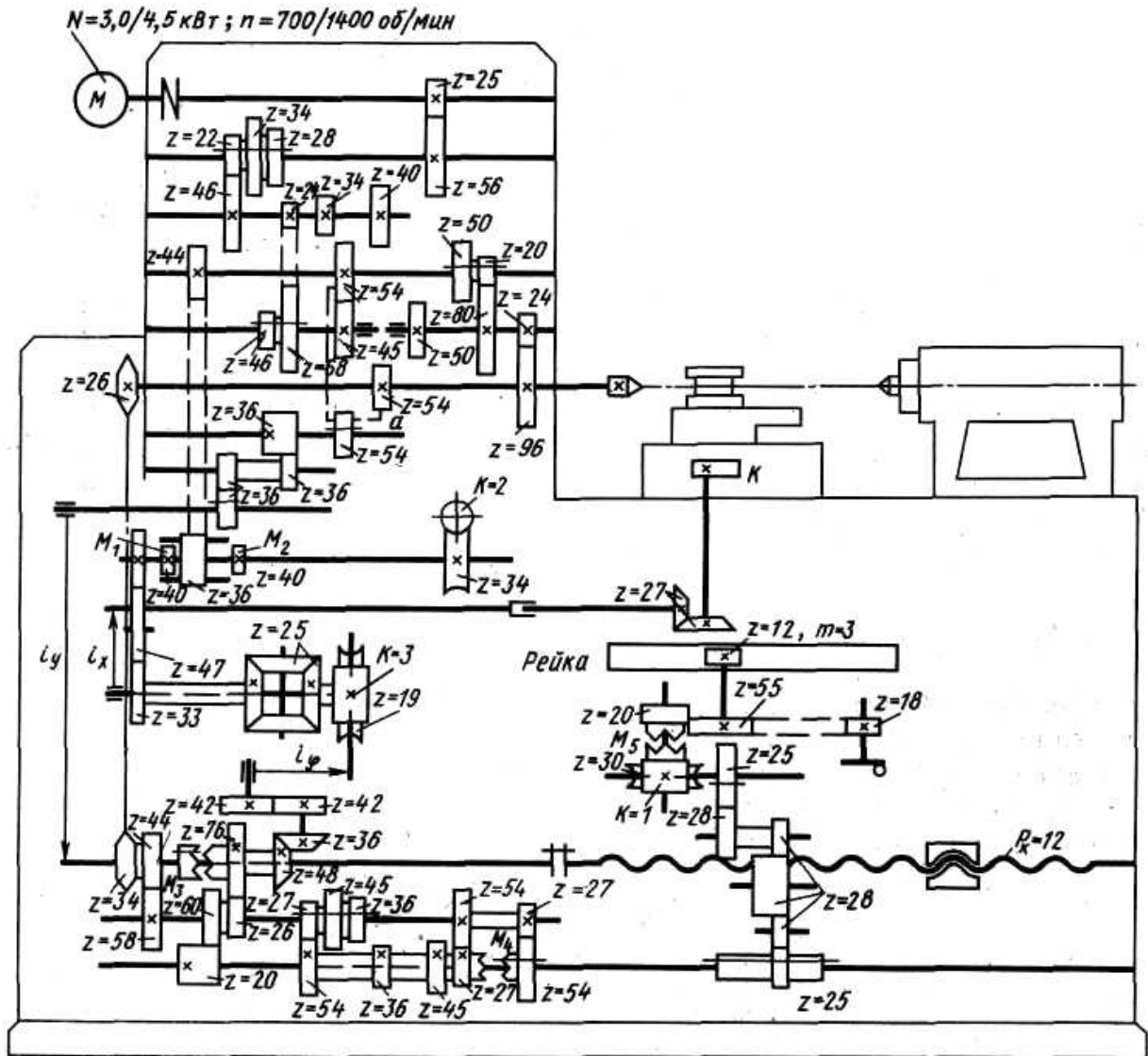


Рис. 3.50. Кинематическая схема токарно-затыловочного станка

Движение, воспроизводимое группой, сложное с незамкнутой траекторией и настраивается по следующим параметрам: траектория – гитарами i_x , i_y , i_φ и кулачком; скорость – коробкой скоростей i_v ; путь и исходное положение – кулачком и лимбом (упором). При этом кулачок выполняет функцию специального реверса и отсчетного звена в движении деления.

Рассмотрим настройку станка. Исходными данными для расчета настройки являются параметры затылуемой фрезы и режимы резания.

Гитара i_x . Расчетная цепь совпадает с первой ветвью цепи деления. В соответствии с общим уравнением затылования РП для расчетной цепи имеют вид

$$1 \text{ оборот шпинделя} \rightarrow z/k \text{ оборотов кулачка.}$$

УКЦ (муфта M_1 включена):

$$z/k = (96/24) ((80/20) \text{ или } (50/50)) (44/36) (45/43) (i_\Sigma = 1/2) i_x (27/27).$$

ФН:

$$i_{x1} = 3z/10k; \quad i_{x2} = 3z/40k.$$

Первое значение используется при затыловании фрез, у которых $z = 1 - 10$, а второе – при $z = 4 - 40$.

При затыловании вращающийся кулачок, соприкасаясь с пальцем, запрессованным в плите суппорта, сообщает последнему поступательно-возвратное движение.

Гитара i_y . Расчетная цепь совпадает с винторезной цепью внутренней связи. Поэтому РП имеют вид

$$1 \text{ об. шпинделя} \rightarrow P \text{ мм перемещения суппорта.}$$

УКЦ:

$$P = 1 [(96/24)((80/20)(54/54) \text{ или } (50/50)(54/54))] \text{ или } (54/54)(36/36) i_y (t_{Px} = 12).$$

ФН:

$$i_{y1} = P/12; \quad i_{y2} = P/48; \quad i_{y3} = P/192.$$

Гитара i_φ . Дифференциальное движение обеспечивает при затыловании червячных фрез со спиральными стружечными канавками дополнительный поворот кулачка затылования, от которого перемещается резец в радиальном направлении при продольном перемещении суппорта. Возможны следующие три расчетные цепи, включающие гитару i_φ :

– кинематическая цепь, связывающая ходовой винт с кулачком, при включенной муфте M_3 ;

– кинематическая цепь, связывающая зубчато-реечную передачу суппорта с кулачком, при выключенной муфте M_3 и включенной муфте M_5 ;

– кинематическая цепь, связывающая шпиндель станка с кулачком.

РП для первых двух расчетных цепей имеют один и тот же вид:

$$P \text{ мм перемещения суппорта} \rightarrow zP/kT \text{ дополнительного поворота кулачка.}$$

УКЦ для первой расчетной цепи:

$$zP/kT = P/(P_x = 12) (48/36) (42/42) i_\varphi i_\Sigma i_x (27/27).$$

ФН:

$$i_\varphi = 114 z/k T i_x.$$

УКЦ для второй расчетной цепи:

$$zP/k T = P/\pi (m = 3) (z = 12) \cdot (55/20) (30/1) (25/28) (28/25) (20/60)(26/76) \\ (48/36) (42/42) i_\varphi (3/19) i_\Sigma i_x (27/27).$$

ФН:

$$i_\varphi = 114 z/k T i_x.$$

После подстановки в полученные выражения обоих значений i_x , получим

$$i_{\varphi 1} = 380/T; \quad i_{\varphi 2} = 1520/T.$$

РП для третьей расчетной цепи согласно общего уравнения затылования имеют вид

1 об. шпинделя $\rightarrow zP/kT$ дополнительного поворота кулачка.

УКЦ:

$$zP/kT = 1 [(96/24) ((80/20) (54/54) \text{ или } (50/50) (54/54))] \\ \text{или } (54/54) (36/36) i_y (48/36) (42/42) i_\varphi (3/19) i_\Sigma i_x 27/27.$$

ФН получим после подстановки в УКЦ значений i_y, i_x, i_Σ :

$$i_{\varphi 1} = 380/T; \quad i_{\varphi 2} = 1520/T.$$

Таким образом, при использовании любой из трех расчетных цепей, различающихся между собой количеством передач и конечными, исполнительными звеньями, получаем одну и ту же ФН для рассматриваемой гитары. Данный пример подтверждает тезис о возможности в ряде сложных кинематических структур искусственно назначать для одного и того органа настройки более одной расчетной цепи.

При обработке фрез с правыми спиральными стружечными канавками в гитару дополнительно устанавливается паразитная сменная шестерня.

Коробка i_y круговых частот вращения шпинделя. Это движение осуществляется от двухскоростного асинхронного электродвигателя. Прямое (рабочее) вращение осуществляется при $n_M = 700 \text{ мин}^{-1}$.

РП:

$n_M \text{ мин}^{-1}$ оборотов электродвигателя $\rightarrow n_{ш} \text{ мин}^{-1}$ оборотов шпинделя.

УКЦ:

$$n_{ш} = (n_M = 700) (25/56) ((22/46) \text{ или } (34/34) \text{ или } (28/40)) \\ ((46/46) \text{ или } (24/68)) (45/54) ((50/50) \text{ или } (20/80)) (24/96).$$

В соответствии с УКЦ коробка обеспечивает 12 частот вращения шпинделя в пределах $2,8 - 63 \text{ мин}^{-1}$. Обратное вращение осуществляется реверсированием электродвигателя при $n_M = 1400 \text{ мин}^{-1}$, при этом частота вращения шпинделя в два раза выше, чем при рабочем ходе.

Частная кинематическая структура $\Phi_v (B_1\Pi_2)$ для затылования дисковых фрез образуется из рассмотренной структуры для затылования червячных фрез посредством исключения из ее внутренней связи второй ветви цепи деления, называемой дифференциальной, и винторезной цепи. Рассматриваемая структура, состоящая из сложной двухэлементарной группы,

настраивается на траекторию гитарой i_x ; на скорость – коробкой частот вращения шпинделя i_v ; на путь и исходное положение – кулачком и лимбом. При этом УКЦ для органов настройки i_x и i_v не изменяются.

Кинематика станка содержит также классическую токарную структуру для обработки цилиндрических поверхностей. Эта структура состоит из двух простых формообразующих групп: скорости резания $\Phi_v (B_1)$ и продольной подачи $\Phi_s (P_2)$, получаемых посредством иной коммутации кинематических цепей, образующих затыловочную структуру.

Группа Φ_v .

Внутренняя связь – элементарная вращательная пара:

подшипниковые опоры → шпиндель.

Внешняя связь совпадает с внешней связью затыловочной структуры. Настройка этой связи рассмотрена при анализе затыловочной структуры.

Группа Φ_s .

Внутренняя связь – элементарная поступательная пара:

направляющие станины → инструментальный суппорт.

Внешняя связь – кинематическая цепь, соединяющая электродвигатель с инструментальным суппортом. В ее составе коробка круговых частот вращения шпинделя i_v , коробка продольных подач i_s , тяговый вал в виде зубчато-реечной передачи. Группа настраивается на скорость (продольную подачу) коробкой i_s ; на путь и исходное положение – упорами (лимбом).

Коробка i_s продольных подач соединена со шпинделем цепной передачей. Муфты M_1 и M_3 выключены, а муфта M_5 включена.

РП:

1 об. шпинделя → s_{np} мм продольного перемещения суппорта.

УКЦ:

$$s_{np} = 1 (26/34) (44/58) ((45/36) \text{ или } (27/54) \text{ или } (36/45)) i_n (25/28) (1/30) (20/55) (t_{TB} = \pi m z = 36 \pi),$$

где i_n – передаточное отношение перебора, управляемого муфтой M_4 .

При включенной муфте M_4 $i_n = 1$, а при выключенной $i_n = (27/54) (27/54) = 1/4$.

Коробка подач обеспечивает шесть значений продольных подач в пределах $s_{np} = 0,1 - 1,0$ мм/об.

Рассмотрим частные кинематические структуры для затылования абразивными кругами режущих инструментов, входящие в кинематику универсального резьбошлифовального станка модели 5822М (см. рис. 3.45).

Кинематическая структура для затылования шлифованием дисковых инструментов, например, дисковых модульных фрез состоит из формообразующих групп скорости резания $\Phi_v(B_1)$ и деления (затылования) $\Phi_s(B_2\Pi_3)$.

Простая группа Φ_v скорости резания во всех частных структурах анализируемой кинематической схемы одна и та же. Ее структура рассмотрена при анализе частной структуры для шлифования резьбы дисковым кругом.

Внутренняя связь сложной группы деления Φ_s соединяет шпиндель заготовки со шлифовальной бабкой и выполнена в виде:

*шпиндель заготовки (B_2) \rightarrow 30/45 \rightarrow Σ \rightarrow i_x \rightarrow 20/20 \rightarrow 35/35 \rightarrow 26/26 \rightarrow
 \rightarrow кулачок затылования 3 \rightarrow рычаг 1 \rightarrow ползушка 2 \rightarrow рычаг 4 \rightarrow
 \rightarrow кулак быстрого отвода 5 \rightarrow корпус 6 гайки поперечной подачи \rightarrow
 \rightarrow винт 7 \rightarrow гайка 8 компенсирующей подачи \rightarrow шлифовальная бабка (Π_3).*

Внешняя связь группы:

$M_2 \rightarrow d_1/d_2 \rightarrow 2/36 \rightarrow$ *шпиндель заготовки.*

Группа настраивается на траекторию гитарой сменных колес i_x и кулачком врезания 3; на скорость – изменением круговой частоты вращения управляемого электродвигателя M_2 постоянного тока; на путь и исходное положение – кулачком врезания 3 и винтом 7 поперечной подачи. При этом кулачок врезания 3 выполняет также функцию специального реверса и отсчетного звена в движении деления.

РП для гитары i_x сменных колес имеет вид:

$1 \text{ об. шпинделя} \rightarrow z/k \text{ об. кулачка затылования,}$

где z – число зубьев затылуемой дисковой фрезы;

k – количество рабочих профилей кулачка затылования.

УКЦ:

$z/k = 1 (36/2) (30/45) i_{\Sigma} i_x (20/20) (35/35) (26/26).$

ФН:

$i_x = z/6k.$

Частная кинематическая структура для затылования цилиндрических фрез с прямолинейными стружечными канавками включает формообразующие группы скорости резания $\Phi_v(B_1)$ и деления (затылования) $\Phi_s(B_2\Pi_3\Pi_4)$.

Группа деления Φ_s включает две внутренние связи:

– кинематическую цепь деления, соединяющую шпиндель заготовки со шлифовальной бабкой через кулачок затылования и совокупность рычагов и винтов;

– винторезную цепь, связывающую шпиндель заготовки с ходовым винтом (тяговым валом).

Внешняя связь группы соединяет управляемый электродвигатель M_2 со звеном соединения связей, функцию которого выполняет шпиндель заготовки.

В анализируемой структуре цепь деления и внешняя связь группы совпадают с аналогичными связями рассмотренной выше кинематической структуры для абразивного затылования дисковой модульной фрезы.

Вторая внутренняя связь (винторезная цепь) имеет вид:

шпиндель заготовки (B_2) \rightarrow (60/60) или (96/24) $\rightarrow i_y \rightarrow$ тяговый вал P_x (Π_4).

РП для гитары сменных зубчатых колес i_y :

1 об. шпинделя (B_2) $\rightarrow P$ мм перемещения шлифовальной бабки (Π_4).

УКЦ:

$$P = 1 (60/60 \text{ или } 96/24) i_y ((t_{TB} = (1/6) 25,4)).$$

ФН:

$$i_{y1} = 6P/25,4; \quad i_{y2} = 6P/100,16.$$

Первое значение используют при затыловании фрез с шагом до 8 мм, второе – с шагом более 8 мм.

При затыловании червячных модульных фрез со спиральными стружечными канавками кулачку затылования необходимо сообщить дополнительный поворот при перемещении шлифовальной бабки в продольном направлении. Такой вариант затылования выполняется частной кинематической структурой, отличающейся от рассмотренной тем, что ее внутренняя связь содержит дополнительную настраиваемую кинематическую цепь, параллельную цепи деления. Эта цепь имеет вид:

шпиндель заготовки (B_2) \rightarrow 60/60 или 96/24 $\rightarrow i_\phi \rightarrow \Sigma \rightarrow i_x \rightarrow$ 20/20 \rightarrow 35/35 \rightarrow 26/26 \rightarrow кулачок затылования 3 \rightarrow рычаг 1 \rightarrow ползушка 2 \rightarrow рычаг 4 \rightarrow кулак быстрого отвода 5 \rightarrow корпус 6 гайки поперечной подачи \rightarrow винт 7 \rightarrow гайка 8 компенсирующей подачи \rightarrow бабка (Π_3).

Гитара сменных колес i_ϕ является дополнительным органом настройки на траекторию в группе деления настраиваемой структуры. Для вывода ФН этой гитары можно наметить следующие две расчетные кинематические цепи:

– цепь, совпадающую с приведенной внутренней связью, т. е. цепь, соединяющую шпиндель заготовки с кулачком затылования;

– цепь, соединяющую тяговый вал (ходовой винт) с кулачком затылования.

В соответствии с общим уравнением затылования РП для первой расчетной цепи имеют вид:

1 об. шпинделя $\rightarrow z/k (P/T)$ об. кулачка затылования.

УКЦ:

$$z/k (P/T) = 1 (60/60) \text{ или } (96/24) i_{\varphi} (2/30) i_{\Sigma} i_x (20/20) (20/20) (35/35) (26/26),$$

где $i_x = z/6$;

$$i_{\Sigma} = 1/2.$$

ФН:

$$i_{\varphi 1} = 45P/kT; \quad i_{\varphi 2} = 180P/kT.$$

Для второй расчетной цепи РП:

P мм перемещения суппорта $\rightarrow zP/kT$ дополнительного поворота кулачка.

УКЦ:

$$zP/kT = P/(P_x = (1/6)25,4) (1/i_y) i_{\varphi} (2/30) i_{\Sigma} i_x (20/20) (20/20) (35/35) (26/26),$$

где $i_x = z/6$;

$$i_{\Sigma} = 1/2;$$

$$i_{y1} = 6P/25,4; \quad i_{y2} = 6/100,16.$$

ФН:

$$i_{\varphi 1} = 45P/kT; \quad i_{\varphi 2} = 180P/kT.$$

3.7. Токарные автоматы и полуавтоматы

Автоматом называют станок, который многократно производит рабочие и вспомогательные (холостые) движения узлов по циклу обработки детали.

Полуавтоматом называют станок, работающий по автоматическому циклу, но часть вспомогательных операций выполняют вручную. Токарные автоматы и полуавтоматы используют для обработки деталей сложной формы из прутка и штучных заготовок (рис. 3.51). 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.

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 в серийном производствах.

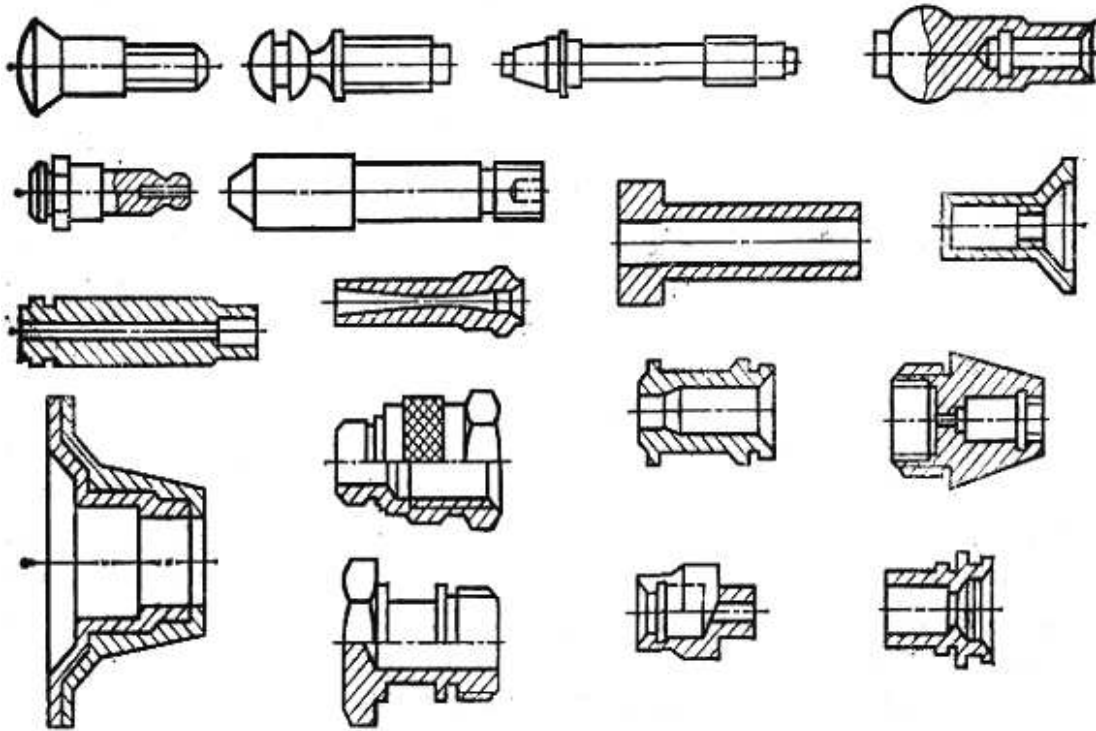


Рис. 3.51. Детали, обрабатываемые на автоматах и полуавтоматах

3.7.1. 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 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. 3.52).

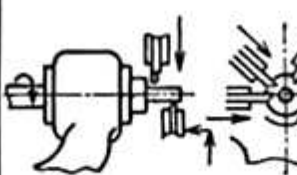
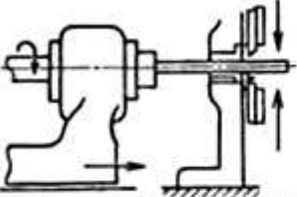
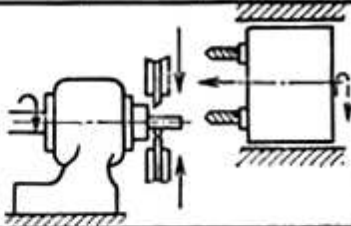
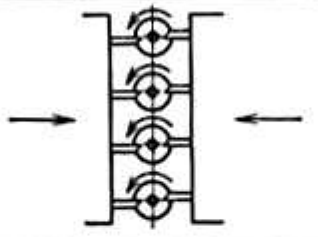
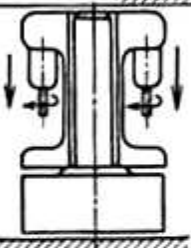
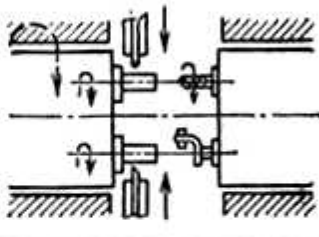
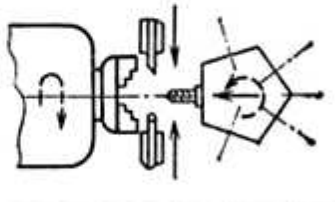
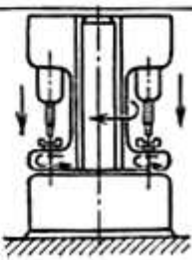
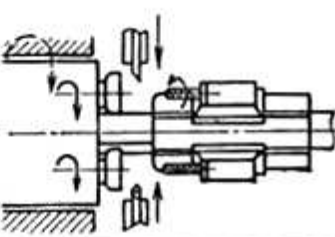
Тип станка		Вид работы		
		Фасонно-отрезные	Продольно-фасонные	Последовательные револьверные
Автоматы	Одношпиндельные			
	Многошпиндельные			
Полуавтоматы	Одношпиндельные	<i>Многорезцовые</i>		
	Многошпиндельные			

Рис. 3.52. Классификация автоматов и полуавтоматов

По принципу действия многошпиндельные станки различают 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 различ-

ным 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 хода выполняются при неизменной 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 $t_{\text{ц}}$ складывается из времени рабочих, т. е. затрачиваемых на обработку детали t_p и холостых t_x ходов. Таким образом,

$$t_{\text{ц}} = t_p + t_x.$$

Цикловая производительность автомата

$$Q = 1/t_{\text{ц}} = 1/(t_p + t_x) = Q_0 (t_x + 1),$$

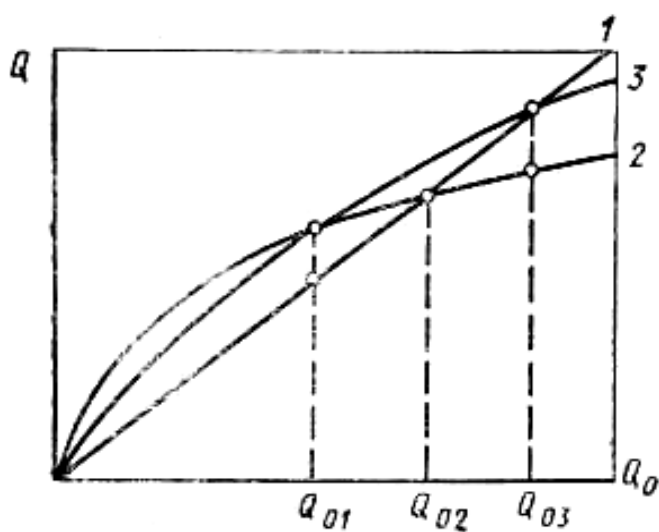


Рис. 3.53. Цикловая производительность автоматов трех групп

где $Q_0 = 1/t_p$ — идеальная производительность автомата непрерывного действия, у которого холостые хода совмещены с рабочими.

Зависимости цикловой производительности от идеальной для трех групп автоматов позволяют выявить рациональные области применения каждой группы (рис. 3.53). 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.

Действительная штучная производительность меньше цикловой из-за дополнительного вспомогательного времени на обслуживание автомата и инструмента:

$$Q_{шт} = Qk_x,$$

где $k_x < 1$ – коэффициент, учитывающий долю вспомогательного времени от времени цикла обработки.

3.7.2. Одношпиндельные токарно-револьверные автоматы

Представителем гаммы современных токарно-револьверных автоматов является высокопроизводительный одношпиндельный прутковый автомат модели 1E140 (рис. 3.54), который применяют для обработки деталей сложной формы из круглого, квадратного или шестигранного калиброванного прутка. Автомат имеет револьверную головку с шестью гнездами для державок инструментов, четыре поперечных суппорта и командоаппарат для автоматического изменения частот вращения шпинделя.

Техническая характеристика.

Наибольший диаметр обрабатываемого прутка 40 мм; наибольший диаметр нарезаемой наружной резьбы по стали М24, по латуни М32; наибольшая длина подачи прутка 105 мм; наибольший ход суппорта 100 мм; наименьшее и наибольшее расстояние от торца шпинделя до револьверной головки 75 – 210 мм; пределы частот вращения шпинделя: при левом вращении 80 – 2500 мин⁻¹, при правом вращении 40 – 315 мин⁻¹; число ступеней частот вращения шпинделя 12, из них три автоматически переключаемых; время переключения частоты вращения шпинделя 0,25 с и направления вращения шпинделя 0,5 с; время поворота револьверной головки 0,5 сек; время обработки одной детали 11,6 – 363 с.

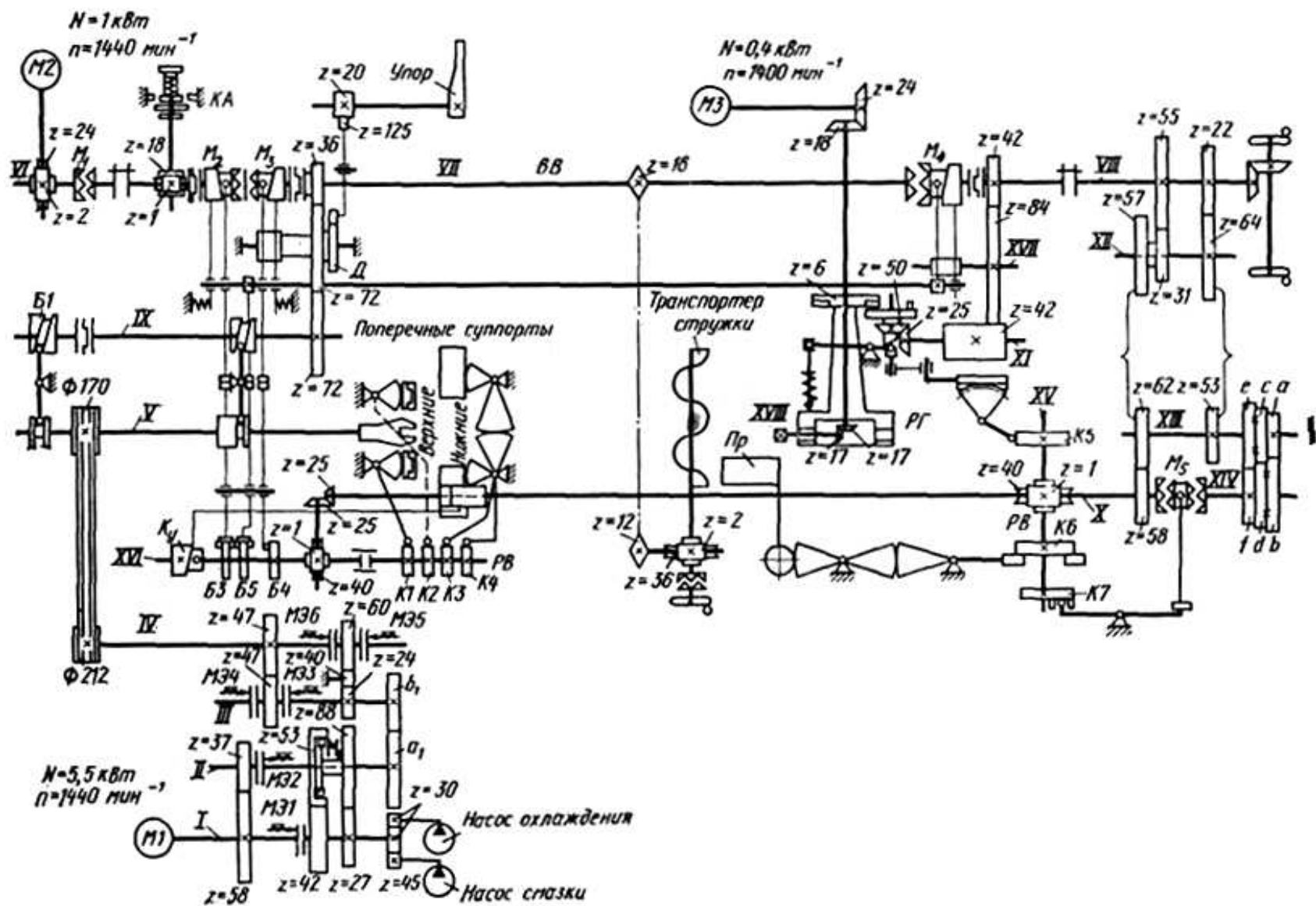


Рис. 3.54. Кинематическая схема токарно-револьверного автомата

Пруток пропускают через направляющую трубу и закрепляют в шпинделе станка цанговым зажимом. Инструменты устанавливают в револьверной головке и на поперечных суппортах. Инструментами револьверной головки протачивают наружные поверхности, обрабатывают отверстия и нарезают резьбу, инструментами поперечных суппортов обрабатывают фасонные и конусные поверхности, подрезают торцы, снимают фаски и отрезают готовые детали.

Кинематическая структура автомата содержит группу скорости резания $\Phi_{v1} (B_1)$, группу сверлильного приспособления $\Phi_{v2} (B_2)$, группу подач $\Phi_s (Pi)$, выполняющую также функцию системы временного управления.

Группа скорости резания Φ_{v1} .

Внутренняя связь имеет вид:

опоры шпиндельной бабки → *шпиндель V обрабатываемого прутка*
(B_1).

Внешняя связь – кинематическая цепь:

$M_1 \rightarrow i_v \rightarrow 212/170 \rightarrow$ *шпиндель V* (B_1).

Группа настраивается на скорость автоматической коробкой скоростей i_v , включающей гитару сменных колес, на направление – реверсом, совмещенным с коробкой скоростей. Коробка скоростей i_v обеспечивает автоматическое переключение трех скоростей через шестерни 58/37, 42/53, 27/68 с вала 1 на вал 11 через электромагнитные муфты МЭ1 и МЭ2 при работе обгонной муфты M_0 и реверс выходного вала IV через шестерни 47/47 и 24/40 40/60 посредством электромагнитных муфт МЭ3, МЭ4, МЭ5, МЭ6. Гитара сменных зубчатых колес a_1/b_1 служит для расширения диапазона регулирования частот вращения шпинделя.

Группа сверлильного приспособления Φ_{v2} размещается в одном из гнезд револьверной головки PG . Внутренняя связь группы:

корпус PG → *сверлильный шпиндель* (B_2).

Внешняя связь – короткая кинематическая цепь:

$M_3 \rightarrow 24/18 \rightarrow 17/17 \rightarrow$ *сверлильный шпиндель* (B_2).

Сверлильный шпиндель имеет постоянную круговую частоту вращения около 1900 мин⁻¹. Направление его вращения противоположно к вращению шпинделя автомата и обеспечивает высокие скорости резания при сверлении отверстий малого диаметра.

Группа подач $\Phi_s (Pi)$ наряду с движениями рабочих подач поперечных и продольного суппортов выполняет также функцию системы временного управления циклом обработки, включающем управление

рабочими и вспомогательными движениями и их последовательностью. Внутренняя связь группы – элементарные поступательные пары: направляющие станины станка → поперечные и продольный суппорты (Π_i).

Внешняя связь:

$M_2 \rightarrow 2/24 \rightarrow M_1 \rightarrow$ вспомогательный вал (BB) VII $\rightarrow 22/64 \rightarrow 64/53 \rightarrow$
 $\rightarrow (i_u = a/b (c/d, e/f)) \rightarrow 1/40 \rightarrow$ распределительный вал (PB) XV $\rightarrow K5 (TB)$
 $\rightarrow \rightarrow$ продольный суппорт ($\Pi_{прод}$) и $25/25 \rightarrow$ распределительный вал (PB)
 XVI $\rightarrow \rightarrow K1 - K4 (TB) \rightarrow$ поперечные суппорты ($\Pi_{non 1-4}$).

Группа настраивается на путь, скорость и исходное положение суппортов жесткими программносителями, функцию которых выполняют кулачки $K1 - K5$, установленные на поперечном XV и продольном XVI распределительных валах. Гитара сменных зубчатых колес i_u используется для задания времени цикла обработки. Во внешней связи предусмотрена также цепь ускоренного вращения PB от BB через зубчатые передачи $\frac{55}{31} \cdot \frac{57}{62} \cdot \frac{62}{58} \cdot \frac{1}{40}$ при включении цепи ускоренного хода муфтой M_5 .

РП для гитары сменных зубчатых колес i_u :

$$\frac{n_m}{60} \cdot t_p \text{ об. электродвигателя } M_2 \rightarrow \frac{\alpha_p^0}{360^0} \text{ об. } PB,$$

где t_p – время рабочих ходов, сек;

$\alpha_p^0 = 200^\circ$ – угол поворота PB за время рабочих ходов, по паспорту автомата.

УКЦ:

$$\frac{\alpha_p^0 = 200^0}{360^0} = \frac{n_m = 1440}{60} \cdot t_p \cdot \frac{22}{64} \cdot \frac{64}{53} \cdot i_u \cdot \frac{1}{40} \cdot \left(\frac{25}{25}\right).$$

ФН:

$$i_u = \frac{22}{100} \cdot t_u.$$

Рабочие и холостые ходы в группе Φ_s при включенной муфте M_1 осуществляет электродвигатель M_2 , передающий движение BB VII и далее по внешней связи PB XV и XVI. Включение и выключение муфты M_1 производят вручную.

Круговая частота вращения BB составляет $1440 (2/24) = 120 \text{ мин}^{-1}$. Круговая частота ускоренного вращения PB составляет $120 (55/31) (57/62) (62/58) (1/40) = 5 \text{ мин}^{-1}$.

На BB установлены однооборотная муфта M_2 и самовыключающиеся после двух оборотов зубчатые муфты M_3 и M_4 . Муфта M_2 включает перио-

дически командоаппарат *КА*, получающий вращение от *ВВ* через червячную передачу 1/18. При включении муфты M_3 вращение через зубчатые колеса $(36/72) \cdot (72/72)$ передается валу XIII, на котором установлены цилиндрические кулачки Б1 и Б2, управляющие механизмами подачи и зажима прутка, смонтированными на шпинделе V. С учетом передаточного отношения от *ВВ* VII за два оборота муфты M_3 вал IX сделает один оборот. Частота вращения вала IX постоянна и равна $120 \cdot (36/72) \cdot (72/72) = 60 \text{ мин}^{-1}$, а время подачи и зажима прутка за один оборот вала IX равно 1 сек. Через зубчатые колеса 36/72 движение передается на кулачок Д, управляющий через зубчатый сектор $z = 125$ и колесо $z = 20$ качающимся упором для прутка. При включении муфты M_4 вращение передается на мальтийский механизм поворота револьверной головки через зубчатые колеса 42/84 на широкое колесо $z = 42$. С этого колеса через коническую передачу 25/50 движение передается поводку мальтийского креста, установленного на одной оси с револьверной головкой (*РГ*). Торцевой кулачок на конической шестерне 50 выводит фиксатор из *РГ*. За два оборота муфты M_4 поводок совершает один оборот. Мальтийский крест имеет шесть пазов и за один оборот поводка поворачивается на 60° .

На поперечном *РВ XV* установлен дисковый кулачок *К5* подачи продольного (револьверного) суппорта, кулачок *К6* привода приемника *ПР* деталей и кулачок *К7* переключения кулачковой муфты M_5 . На продольном *РВ XVI* установлены кулачковые барабаны *Б3*, *Б4*, *Б5* включения зубчатых муфт M_2 , M_3 , M_4 и дисковые кулачки K_1 , K_2 , K_3 , K_4 подачи поперечных суппортов, цилиндрический кулак K_y подачи вспомогательного продольного суппорта.

Настройка токарно-револьверных одношпиндельных автоматов включает разработку технологии изготовления детали на автомате, составление расчетно-технологической карты наладки, выбор инструментов и нормальной специальной оснастки. Процесс изготовления детали включает перечисление переходов, режимов резания и длин перемещений инструментов, режущего, вспомогательного и измерительного инструмента. Эти данные сводят в объединенную операционно-наладочную карту автомата (рис. 3.55). Обязательно указывают вспомогательные переходы: 1 – подача прутка до упора, 2, 4, 7 и 11 – переключение револьверной головки, 13 – переключение направления и частоты вращения шпинделя. Переключение частоты вращения шпинделя совмещено с переключением револьверной головки и в карте наладки не учитывается. Время вспомогательных переходов для автомата постоянно. Подача материала и поворот головки осуществляется за 1 с, переключение направления вращения шпинделя за 0,5 с, переключение скорости вращения шпинделя – за 0,25 с.

Эскиз детали	Наименование операции	Автоматная	Вид обработки	Скорость резания, м/мин	Частота вращения шпинделя, об/мин	Коэффициент приближения											
	Автомат	1E140	Обточка	90	800	1											
	Материал	Сталь	Нарезание резьбы	5,5	80	10											
	Заготовка	36x2500 8-9 качества ГОСТ 7417-75	Срез плашки	—	200	4											
	Марка	A12 ГОСТ 1414-75	Фаски, отрезка	40	400	2											
	Охлаждение	Сульфурезол	Рабочее число оборотов шпинделя	2586													
	Холодное число оборотов					860											
Число оборотов шпинделя для изготовления одной детали					3446												
Эскиз обработки по переходам	№ п/п	Наименование переходов	Рабочий ход, мм	Подход, мм/об	Обороты шпинделя на данный переход	Скорость резания	Квадратный диск										
							Сотые		Радиус								
							от	до	от	до							
	1	Подача прутка до упора					2	0	2	113	113						
							2	2	4	112	112						
	3	Обточка $\Phi 28$	27	0,08	350	350	10	4	14	113	140						
								4	4	14	118	118					
	5	Обточка фаски 1,5x45° и зацентровка	7	0,09	80	160	5	18	23	120	127						
								6	0,5	23	23,5	127	127				
								7	5	23,5	28,5	102	102				
	8	Обточка $\Phi 21,86_{-0,14}$ и сверление	27	0,068	400	400	11,5	28,5	40	104	131						
								9	0,5	40	40,5	131	131				
								10	27	0,08	350	350	10,5	40,5	51	131	104
	11	Медленный отход	27	0,08	350	350	10,5	4,5	51	55,5	83						
								12	4,5	51	55,5	83	83				
								11	4,5	51	55,5	83	83				
	12	Нарезание резьбы M22x2,5	22,5	2,5	9	90	3	55,5	58,5	84,5	103						
								13	22,5	2,5	9	36	1	58,5	59,5	103	84,5
								14	3,5	0,03	(120)	(240)	(7)	(68)	(75)	78,5	82
								15	3,5	0,03	(120)	(240)	(7)	(68)	(75)	78,5	82
	16	Отход резца	3,5	0,03	(120)	(240)	(7)	(0,5)	(75)	(75,5)	82						
								16	(0,5)	(75)	(75,5)	82	55				
								17	2	0,03	(68)	(136)	(4)	(66)	(70)	78	80
								18	2	0,03	(68)	(136)	(4)	(66)	(70)	78	80
								19	2	0,03	(68)	(136)	(4)	(66)	(70)	78	80
								20	2	0,03	(68)	(136)	(4)	(66)	(70)	78	80
	20	Верхний суппорт	18	0,03	600	1200	35	62	97	77,5	95						
								21	3	97	100	95	95				
Итого:							2586	76	24								

Рис. 3.55. Операционно-наладочная карта обработки штуцера на автомате 1E140

Наладку инструментов по принятому процессу и порядок чередования переходов производят с учетом наладочных и базовых размеров $РГ$ и шпинделя. По паспорту автомата наименьшее и наибольшее расстояние от торца шпинделя до $РГ$ (без оправки инструмента) равно 64 и 180 мм. При наладке перехода 3 принято, что резцовая оправка занимает 58 мм, а минимальное расстояние между шпинделем и головкой 85 мм, следовательно, в исходном положении резца для обточки длины 25 мм расстояние от торца шпинделя до $РГ$ равно $85 + 25 = 110$ мм, т. е. укладывается в размеры настройки.

Длина рабочих ходов инструментов

$$L = L_p + L_n + L_{пер}$$

где L_p – длина рабочего хода по чертежу, мм;

L_n – длина подвода инструментов, мм;

$L_{пер}$ – длина перебега инструмента, мм.

В переходе 3 для рабочего хода инструмента принято:

$$L = L_p + L_n = 25 + 2 = 27 \text{ мм.}$$

Для наладки станка рекомендуются следующие средние значения установочных размеров L_n и $L_{пер}$: резец проходной – 1,5 мм; резец фасонный – 0,5 мм; резец отрезной – 0,5 мм; сверло, зенкер, развертка 1 – 2 мм; метчик, плашка – 2 мм.

Размер диаметра обработки (обточки, расточки) устанавливают регулировкой инструмента на размер по чертежу.

Расчет и назначение подач и скоростей резания производят по условиям обработки согласно нормативам резания. Для перехода 3 принято $s = 0,08$ мм/об., $v = 80$ м/мин, а для перехода 12 : $s = 2,5$ мм/об. (равна шагу нарезаемой резьбы), $v = 5,5$ м/мин.

Переходы выполняют с различной скоростью резания, и время одного оборота шпинделя для различных переходов неодинаково, поэтому нельзя его складывать без приведения к общему расчетному числу оборотов.

Коэффициент приведения:

$$k = n_0/n,$$

где n_0 – наибольшая частота вращения шпинделя;

n – частота вращения на данном переходе.

Поэтому,

$$k_1 = 800/800 = 1, \quad k_2 = 800/400 = 2, \quad k_3 = 800/200 = 4, \quad k_4 = 800/80 = 10.$$

Так, для 5, 14, 17, 20 переходов расчетные обороты шпинделя

$$n_{pi} = n_i k_i, \quad n_{p5} = n_5 k_2 = 80 \cdot 2 = 160, \quad n_{p17} = 68 \cdot 2 = 136, \quad n_{p20} = 600 \cdot 2 = 1200, \quad n_{p14} = 120 \cdot 2 = 240.$$

Рассчитанные аналогичным способом с учетом коэффициентов приведения числа оборотов других переходов вносят в таблицу. В карте настройки в скобках указаны числа оборотов для совмещенных операций, не учитываемых в расчете времени цикла работы станка. Расчетное число оборотов шпинделя, необходимых для совершения всех рабочих переходов, составит сумма чисел расчетных оборотов (без скобок), $\sum n_p = 2586$ оборотам.

По условиям наладки цикл работы должен совершиться за один полный оборот кулачков, выполняющих холостые и рабочие ходы переходов. В графе «сотые доли» имеются две колонки: сотые доли для рабочих и холостых ходов. Сотые доли холостых ходов выбирают по данным паспорта автомата. Для 1-го перехода 2 сотых диска кулачка, для 4, 7, 11 переходов 2 – 5 сотых, для 9, 21 переходов соответственно 0,5 и 3 сотых.

Общая сумма сотых долей холостых ходов соответствует 24 лучам из общего числа 100 лучей полного оборота РВ. Поэтому число расчетных оборотов для выполнения холостых ходов:

$$\sum n_x = \sum n_p \cdot 24/76 = 2586 \cdot 24/76 = 816.$$

Продолжительность цикла работы складывается из суммы времен переходов, которые можно подсчитать по числу оборотов шпинделя для выполнения каждого перехода. Для этой цели в графе «обороты шпинделя» предусмотрены две колонки: обороты шпинделя на данный переход и обороты шпинделя для расчета. Обороты шпинделя на данный переход (ход):

$$n_{ход} = L/s,$$

где L – длина перемещения инструмента, мм;
 s – подача, мм/об.

Для перехода 3 число оборотов на переход $n_{ход} = 27/0,08 = 338$ оборотам. Учитывая время выстоя резца в конце перехода для зачистки, принято $n_{ход} = 350$ оборотов. Рассчитанные числа оборотов переходов занесены в графу «обороты на данный переход».

Числа оборотов шпинделя для расчета вычисляют с учетом режимов работы на каждом переходе. На станке установлено четыре режима чисел оборотов шпинделя: 5, 14, 17, 20 переходы – 400; 3, 8, 10 переходы – 800; 12, 13 переходы – 200 мин¹. Эти обороты подсчитаны по соответствующим режимам и согласованы с числами оборотов шпинделя. Из перечисленных чисел оборотов шпинделя наиболее быстроходным является 800 мин¹. Оно взято за основное расчетное число.

Пересчет чисел оборотов каждого перехода в число оборотов для расчета производят с помощью коэффициентов приведения k . Общее число расчетных оборотов шпинделя для полного цикла работы:

$$\sum n = n_p + n_x = 2586 + 816 = 3402.$$

Продолжительность цикла работы:

$$t_{\text{ц}} = (n_p + n_x)/n_0 = 3402/800 = 4,25 \text{ мин} = 255 \text{ сек.}$$

По паспортным данным подбирают необходимые сменные колеса для настройки гитары $i_{\text{ц}}$ по расчетному циклу работы. Циклу $t_{\text{ц}} = 258 \text{ сек}$ соответствуют сменные колеса $a = 20$, $b = 80$, $c = 60$, $d = 71$.

Число сотых долей для рабочих ходов

$$a_i = n_{pi}/n_l,$$

где n_l – число расчетных оборотов на одну сотую

$$n_l = \sum n/100 = 3402/100 = 34,02 \text{ об/луч.}$$

Для 3-го перехода число сотых

$$a_3 = n_{p3}/n_l = 350/34,02 = 10.$$

Рассчитанное число лучей для переходов вносим в карту. Общее число лучей рабочих и холостых ходов должно равняться сумме $\sum a_i = 100$. Радиусы кулачков диска определяют из конструктивных условий, исходя из размеров роликов, рычагов, соотношения плеч рычагов и размеров дисков кулачков.

Профили кулачков вычерчивают на бланках, разделенных на 100 частей прямыми или кривыми лучами (рис. 3.56, а, б). Радиусы криволинейных лучей равны длине рычага качания. На бланки наносят соответственно с картой настройки участки сектора кривых рабочих и холостых ходов. На каждом участке определяют максимальные и минимальные радиусы зоны расположения кривой и на этом участке строят для рабочих движений архимедову спираль, а для холостых ходов кривые вычерчивают по шаблону.

Кривые барабанов можно рассчитать по рис. 3.56, д. Задано: a – число лучей поворота барабана; L – перемещение исполнительного механизма при соотношении рычагов 1 : 1; D – диаметр барабана. Величины α , β и l определяются следующим образом: угол сектора кривой барабана $\alpha = 3,6^\circ a$, где $3,6^\circ$ – цена одного луча. Длина дуги по барабану $l = \pi Da/360^\circ$. Необходимый угол подъема кривой барабана $\beta = \arctg h/l$.

Наладка автомата заключается в снятии с РВ кулачков револьверной головки и поперечных суппортов, смене державок инструмента. Затем производят смену зубчатых колес в коробке скоростей и в приводе РВ. Устанавливают новые кулачки револьверной головки и поперечных суппортов размещают резцы, начиная с отрезного резца, регулируют длину подачи прутка и хода инструментов.

Производительность автомата при рассмотренной настройке

$$Q = 3600/258 \approx 13 \text{ деталей/час.}$$

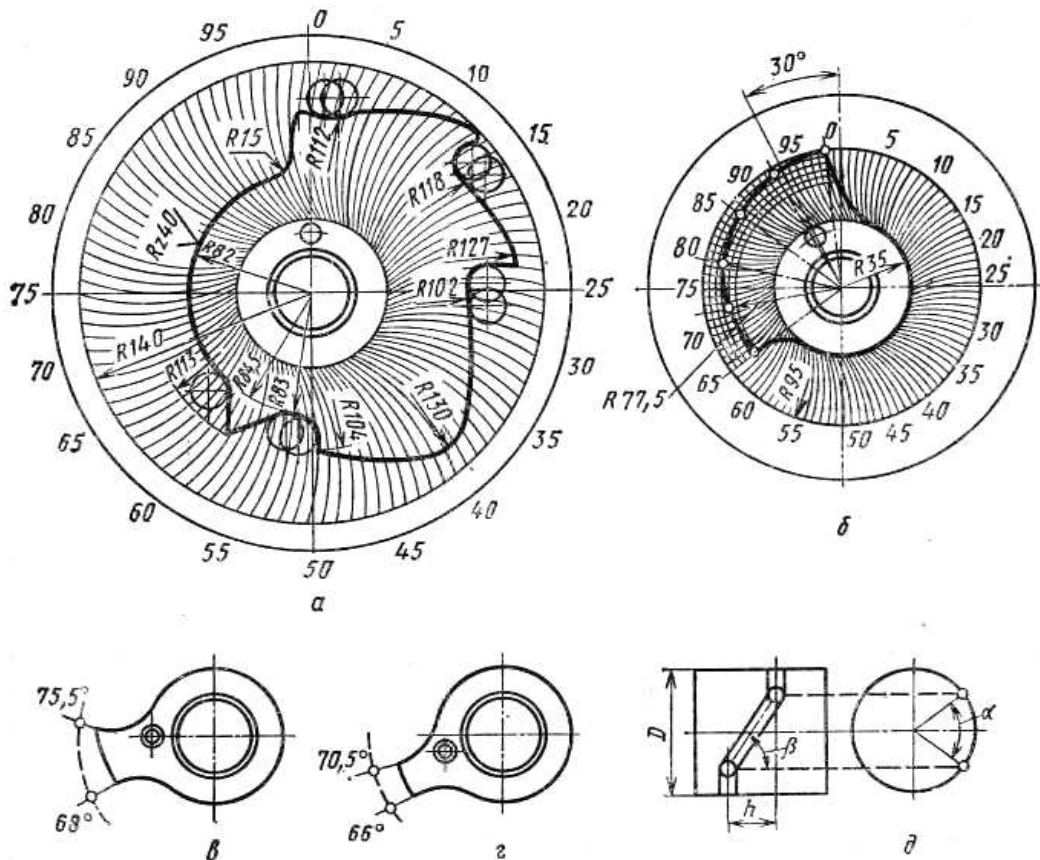


Рис. 3.56. Кулачки токарно-револьверного автомата модели 1E140:
a – продольного суппорта; *б* – вертикального поперечного суппортов;
в – переднего; *г* – заднего; *д* – вспомогательного вала

3.7.3. Многошпиндельные прутковые автоматы

Гамма горизонтальных многошпиндельных автоматов построена на базе шестишпиндельных моделей, принятых за основные. Подобие основных узлов и механизмов, высокая унификация обеспечивают высокое качество изготовления, стабильную точность и высокую надежность станков. На многошпиндельных автоматах выполняют центрование, черновую, чистовую и фасонную обточку, подрезку, снятие фасок, проточку канавок, сверление, зенкерование, развертывание, нарезание наружных и внутренних резьб, фрезерование шлицев, отрезку. Кроме того, можно выполнять операции без снятия стружки: накатку рифлений, клеймение цифр и марок, накатку резьбы, раскатку отверстий, обкатку цилиндра, конуса и сферы (рис. 3.57).

Направление вращения шпинделей в многошпиндельных автоматах не меняется при обработке. Поэтому нарезание резьб метчиками и плашками производят при отставании инструмента, а свинчивание посредст-

вом обгона вращающейся детали. Для фрезерования шлицев используют специальное приспособление, обеспечивающее помимо вращения фрезы синхронное с рабочим шпинделем вращение фрезерной головки (рис. 3.57, поз. III).

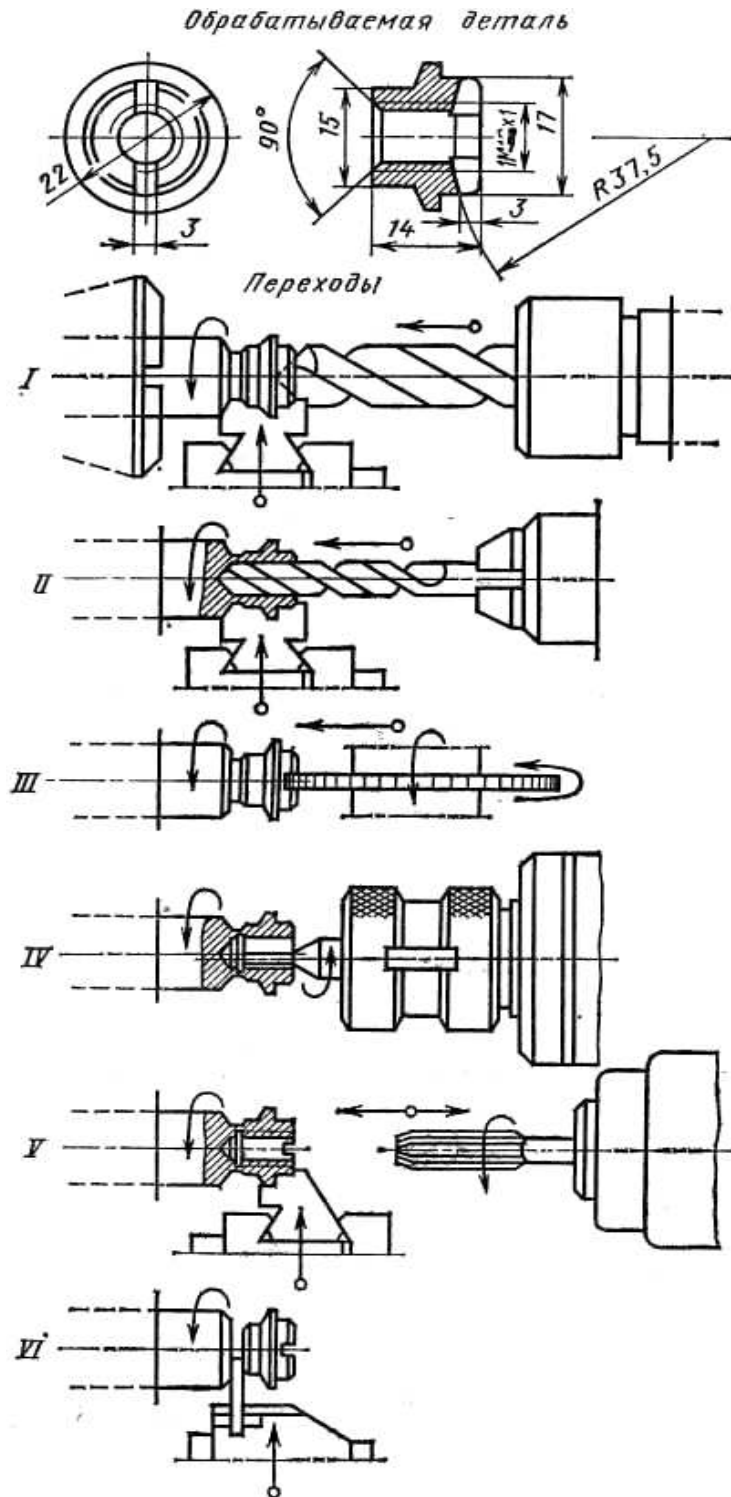


Рис. 3.57. Последовательность операций при обработке гайки на шестишпиндельном автомате

Горизонтальные многошпиндельные автоматы характеризуются последовательным принципом действия, когда операции по обработке детали равномерно распределяются по всем позициям I – VI. При большом числе шпинделей на шестишпиндельных и, особенно, на восьмишпиндельных автоматах применяется параллельно-последовательный принцип действия, когда одна или две детали с базированием по отверстию и наружной поверхности на станках с двойной индексацией проходят одновременно последовательную обработку.

Автомат 1Б240-6 (рис. 3.58) является базовой моделью многошпиндельных автоматов. При использовании постоянных кулачков автомат имеет регулируемые ходы продольного и поперечных суппортов, что упрощает и ускоряет наладку. Автомат предназначен для изготовления деталей из прутков круглого и многогранного сечения.

Техническая характеристика. Наибольший диаметр прутка 40 мм, наибольшая длина подачи прутка 180 мм; частоты вращения шпинделей 154 – 2120 мин⁻¹; число скоростей – 24; наибольший рабочий ход продольного суппорта 166 мм, поперечных верхних суппортов 65 мм, средних и нижних 40 мм; время холостого хода – 2,7 с; время обработки одной детали – 288 с.

Каждая позиция шпинделей обслуживается продольным и поперечным суппортами. Две верхние позиции могут оснащаться дополнительными устройствами, имеющими независимую подачу. В пяти позициях продольного суппорта могут быть установлены приспособления для сверл, разверток, резбовых плашек и метчиков. На первой шпиндельной позиции используется откидной упор для выдвигания прутка на размер обработки.

Кинематическая группа скорости резания $\Phi_v(B_1)$ простая.

Внутренняя связь – вращательные пары:

корпус шпиндельного блока → *шпиндели заготовок* (B_1).

Внешняя связь – кинематическая цепь главного движения:

$M_1 \rightarrow 124/317 \rightarrow i_v \rightarrow (55/37 \text{ или } 25/67) 45/45 \rightarrow 49/38 \rightarrow \text{шпиндели } (B_1)$.

Группа настраивается только на один параметр – скорость (резания) двухколесной гитарой зубчатых колес $i_v = A/B$. Для этой гитары РП имеют вид:

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{ш} \text{ мин}^{-1}$$

УКЦ:

$$n_{ш} = 1450 \frac{124}{317} (\eta = 0,96) (i_v = \frac{A}{B}) (\frac{55}{37} \text{ или } \frac{25}{67}) \frac{45}{45} \frac{49}{38}$$

ФН при зацеплении 55/37 и 25/67 имеет вид соответственно:

$$i_{v1} = n_{ш}/1047; \quad i_{v2} = n_{ш}/263.$$

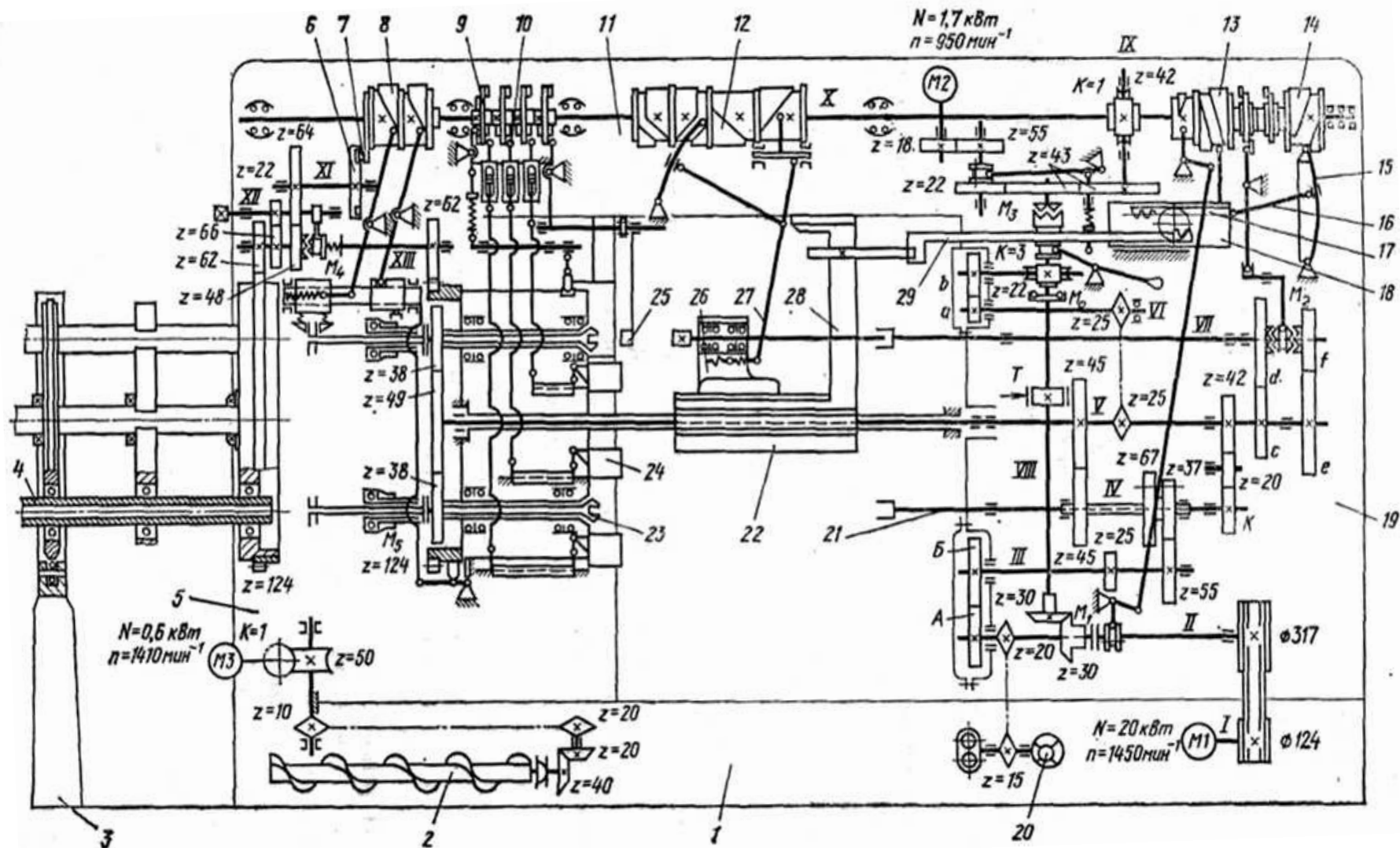


Рис. 3.58. Кинематическая схема шестишпиндельного пруткового автомата

Блок зубчатых колес 37 – 67 используют для быстрого переключения частоты вращения шпинделей. Для точной настройки частот вращения шпинделей служит комплект из 12 пар сменных зубчатых колес *A, B*.

При нарезании резьбы метчиками и плашками вращательное движение инструментальному шпинделю, установленному на продольном суппорте, сообщается от вала *V* посредством двухколесных гитар *c/d* и *e/f*. Процессом нарезания резьбы управляет плоский кулачок барабана 13, установленного на *PВ*, посредством переключения муфты *M₂*. При нарезании резьбы движение инструментальному шпинделю сообщается через гитару *c/d*, а при свинчивании – через гитару *e/f*.

РП для обеих гитар имеют вид:

$$n_{uu} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_u \text{ мин}^{-1},$$

где n_u – круговая частота вращения инструмента.

УКЦ:

$$n_u = 38/49 \cdot M_2 \cdot c/d \text{ или } e/f$$

ФН:

$$c/d = e/f = 6,1 n_u.$$

При нарезании резьбы:

$$n_u = n_{uu} - n_v,$$

где $n_v = 1000 v/\pi D$;

v – скорость резания, м/мин;

D – средний диаметр резьбы.

При свинчивании (вывинчивании) инструмента:

$$n_u = n_{uu} + n_c,$$

где $n_c = (2 - 3) n_v$.

Быстросверлильный шпиндель устанавливается на продольном суппорте и соединяется с валом 21. Направление вращения этого шпинделя противоположно направлению вращения шпинделей заготовок. Вращательное движение быстросверлильному шпинделю сообщается от электродвигателя M_1 по внешней связи группы скорости резания до центрального вала *V* и далее через передачи 42/20, сменное колесо k и вал 21.

Группа подачи $\Phi_s (P_2)$ выполняет также функцию системы временного управления циклом обработки, включающем управление рабочими и вспомогательными движениями исполнительных органов станка и последовательностью выполнения этих движений.

Внутренняя связь группы:

направляющие станины → *поперечные и продольный суппорт (P₂)*.

Внешняя связь – кинематическая цепь, соединяющая электродвигатель M_1 с РВ (вал X), выполняющем в приводе подач функцию ТВ:

$M_1 \rightarrow 124/317 \rightarrow i_v \rightarrow (55/37 \text{ или } 25/67) 45/45 \rightarrow 25/25 \rightarrow i_u = a/b \rightarrow 3/22 \rightarrow 43/43 \rightarrow 1/42 \rightarrow РВ \rightarrow \text{кулачки (ТВ) 9, 10} \rightarrow \text{рычаги} \rightarrow \text{поперечные суппорты (}\Pi_2 \text{ non)} \text{ и барабан (ТВ) 13} \rightarrow \text{продольный суппорт (}\Pi_2 \text{ прод)}.$

Группа настраивается на путь, скорость и исходное положение суппортов жесткими программоносителями, функцию которых выполняют кулачки 9, 10 и барабан 13. Гитара i_u используется для задания времени обработки.

РП для гитары i_u :

$$\frac{n_{ш}}{60} \cdot t_p \text{ об. шпинделей} \rightarrow \frac{\alpha_p^\circ}{360^\circ} \text{ об. РВ},$$

УКЦ:

$$\frac{\alpha_p^\circ}{360^\circ} = \frac{n_{ш}}{60} \cdot t_p \cdot \frac{38}{49} \cdot \frac{25}{25} \cdot (i_u = \frac{a}{b}) \cdot \frac{3}{22} \cdot \frac{43}{43} \cdot \frac{1}{42}.$$

ФН:

$$i_u = \frac{\alpha_p \cdot 60 \cdot 49 \cdot 22}{360 \cdot n_{ш} \cdot t_p \cdot 3} = \frac{60 \alpha_p}{n_{ш} t_p}.$$

Ускоренное вращение для вспомогательных движений РВ получает от вала II при включении фрикционной муфты M_1 от кулачкового барабана 13. Обгонная муфта M_o на валу VIII разъединяет цепь рабочей подачи от цепи ускоренного вращения. Ускоренный ход РВ (УКЦ):

$$n_{x.x} = 1450 \frac{124}{317} \eta \frac{30}{30} \frac{43}{43} \frac{1}{42} = 13 \text{ мин}^{-1}.$$

При переключении вращения РВ с быстрого хода на медленный включается тормоз T на валу VIII, управляемый от РВ синхронно с муфтой M_1 .

Поперечные суппорты приводятся в движение рычажной системой от дисковых кулачков 9 и 10, установленных на РВ. Диапазон рабочих ходов суппортов при четырех сменных кулачках обеспечивается регулируемыми рычагами. Изменение плеч рычага обеспечивается переставной тягой.

Продольный суппорт предназначен для установки резцедержавок с инструментами и приспособлений для сверлильных и резьбонарезных работ. В поперечном сечении продольный суппорт имеет шестигранную (по

числу рабочих позиций) форму с направляющими для приспособлений типа «ласточкин хвост». Продольный суппорт скользит по трубе, охватывающей центральный вал, и имеет призматические направляющие в траверсе 11, с которой он соединен вертикальным кронштейном 28. Продольный суппорт имеет быстрый подвод на длине 120 мм, медленный рабочий ход, регулируемый в пределах 20 – 80 мм, и быстрый отвод. Такой цикл движения осуществляет двухреечный механизм, размещенный в каретке 18 с шестерней $z = 18$, $m = 4$ мм. Рейки 17 и 29 находятся с обеих сторон и при вращении реечной шестерни получают противоположное движение. Каретка связана с барабаном 13 на РВ, рейка 17 тягой 16 и рычагом 15 с барабаном 14, а рейка 29 с кронштейном 28 продольного суппорта 22. При вращении РВ первой в движение приводится каретка от кулака барабана 13. Рычаг, а с ним и рейка 17 стоят неподвижно, так как на барабане 14 в данный момент проходит постоянный участок. По неподвижной рейке 17 обкатывается реечная шестерня, двигаясь вместе с кареткой, и выдвигает рейку 29. На рейке 29 суммируются два движения: от хода каретки и вращения реечной шестерни. Продольный суппорт получает ход в 2 раза больше хода каретки. Происходит быстрый подвод суппорта к рабочим шпинделям. Затем на равномерном участке кулачка барабана 13 каретка останавливается по упору. Второй кулак барабана 14 медленно поворачивает рычаг 15, который через тягу 16 перемещает рейку 17. Реечная шестерня поворачивается уже вокруг неподвижной оси, медленно перемещает рейку 29, а с ней и суппорт. Изменяя место закрепления тяги 16 на рычаге 15, получают разный ход суппорта при постоянном радиусе кулачка.

Шпиндельный блок является основным узлом автомата и определяет точность обработки. Шпиндельный блок включает барабан, группу шпинделей, механизмы подъема, поворота и фиксации барабана (рис. 3.59). В барабане 1 расточены цилиндрические гнезда под опоры шпинделей 2. На барабане установлен венец зубчатого колеса 3, служащий для поворота шпиндельного блока. В корпусе барабана размещены фиксирующие замки 5 для рычагов фиксации 6 и запирающие 14.

Периодический поворот блока и его фиксация осуществляется простой ненастраиваемой группой деления $D (B_4)$.

Внутренняя связь:

корпус → *шпиндельный блок* (B_4).

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow 124/317 \rightarrow i_v \rightarrow (55/37 \text{ или } 25/67) 45/45 \rightarrow 25/25 \rightarrow i_{\text{ш}} = a/b \rightarrow 3/22 \rightarrow$
 $\rightarrow 43/43 \rightarrow 1/42 \rightarrow \text{РВ} \rightarrow \text{поводок } 7 \rightarrow \text{мальтийский крест } 6 \rightarrow 64/48 \rightarrow$
 $\rightarrow \text{вал XIII} \rightarrow 62/124 \rightarrow \text{шпиндельный блок и барабан с труба}$
и для прутковых заготовок.

Параметр путь, т. е. поворот шпиндельного блока на угловой шаг, равный $1/6$ обеспечивается четырехпазовым мальтийский крестом. Поворот блока осуществляется на поддерживающей колодке. Перед поворотом производится расфиксация и подъем барабана на $0,3 - 0,4$ мм от опорной поверхности. От кулака 11 РВ приводится в движение рычаг 10, который через тягу 9 выбирает зазор Б и поворачивает промежуточный рычаг 8. Последний выводит из гнезда замка 5 фиксирующий рычаг 6, а через тягу 12 и регулировочный стержень 13, запирающий рычаг 14 из противоположного относительно вертикальной оси гнезда. Затем от другого кулака РВ через рычаг 7 и тягу 4 поворачивается качающийся на оси 16 рычаг 17 с опорной колодкой 15, поднимая шпиндельный блок. После поворота блок опускается на поверхность и фиксируется рычагами 6 и 14.

Особенности настройки и наладки многшпиндельных автоматов. Одновременная обработка деталей накладывает особые условия на разрабатываемый технологический процесс, заключающийся в необходимости выдерживать равную продолжительность обработки на позициях и выбирать режимы обработки (главным образом скорость резания) с учетом постоянства частоты вращения шпинделей. Наличие приспособлений 26 (см. рис. 3.58) с независимым вращением от вала VII со сменными шестернями c, d и e, f , вала 21 и независимой подачей от кулаков 12 РВ через рычажную систему 27 инструментальных шпинделей, устанавливаемых на продольном суппорте 22, позволяет для сверления, зенкерования, развертывания, нарезания резьбы устанавливать наиболее выгодные режимы обработки.

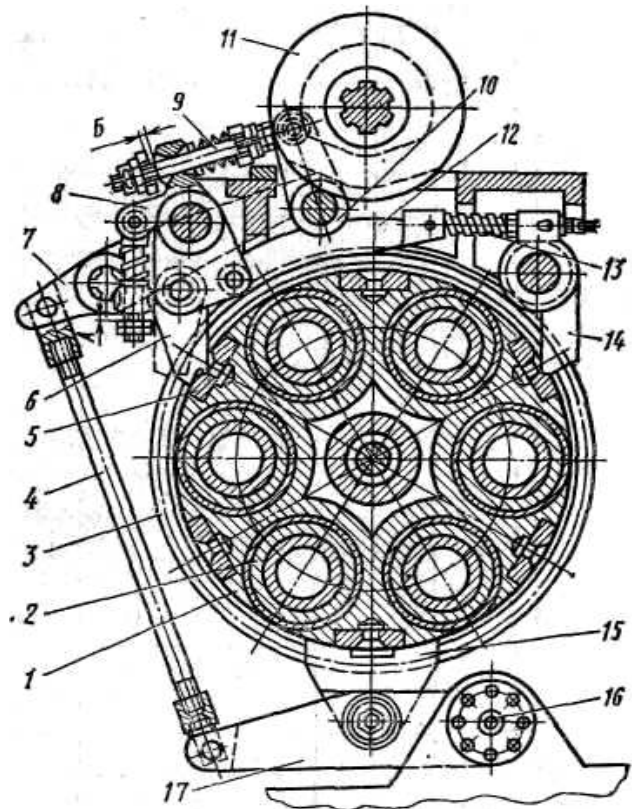


Рис. 3.59. Шпиндельный блок

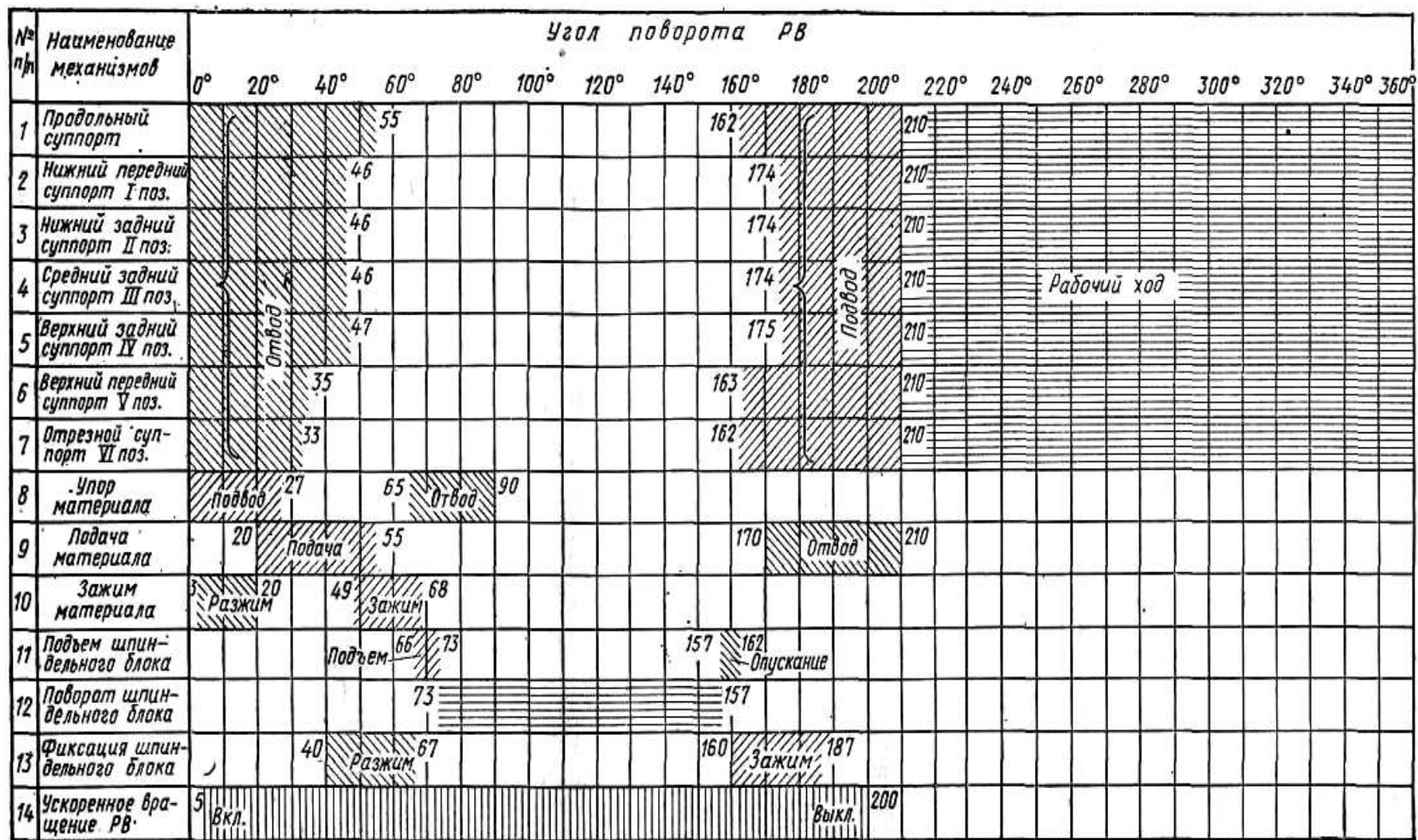


Рис. 3.60. Циклограмма работы многошпindelного пруткового автомата

При разработке процесса длины рабочих ходов выбирают так, чтобы при заданных режимах время обработки было одинаковым. Выявляется лимитирующая операция, на которой длинный проход невозможно разделить на два из-за удорожания оснастки и потери, точности обработки. На других позициях, исходя из времени лимитирующей операции, режимы следует понизить до выравнивания времен. Необходимо стремиться к минимальному числу инструмента.

Последовательность обработки деталей строят так, чтобы на позициях I, II, III выполняли черновые, а на позиции IV, V, VI – чистовые операции. Такое построение обеспечивает наиболее рациональный сход стружки в корыто с нижних позиций, а минимальный сход стружки с верхних суппортов, попадая в зону черновой обработки, не оказывает существенного влияния на стружкообразование. Отвод стружки из корыта станины 1 производят шнеком 2, привод которого осуществляется от электродвигателя M_3 через червячную передачу 1/50, цепную передачу 10/20 и коническую 20/40.

Из рис. 3.57 и 3.60 видно, что суппорты вступают в работу одновременно при угле 210° поворота РВ и заканчивают работу при угле 360° .

При наладке автомата используется привод наладочного вращения РВ от электродвигателя M_2 . При наладке посредством муфты M_3 рабочий привод РВ отключают, и при включении электродвигателя M_2 образуется кинематическая цепь наладочного вращения РВ:

$$n_{PB} = (n_{M_2} = 950) \frac{18}{55} \frac{22}{43} \frac{43}{43} \frac{1}{42} = 4 \text{ мин}^{-1}.$$

Охлаждение инструмента в зоне обработки осуществляют подачей СОЖ с помощью лопастного насоса 20, приводимого в действие цепной передачей 20/15 от вала II. Соосно лопастному насосу на одном и том же валу установлен шестеренный насос смазки.

3.7.4. Токарные 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. 3.61). 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

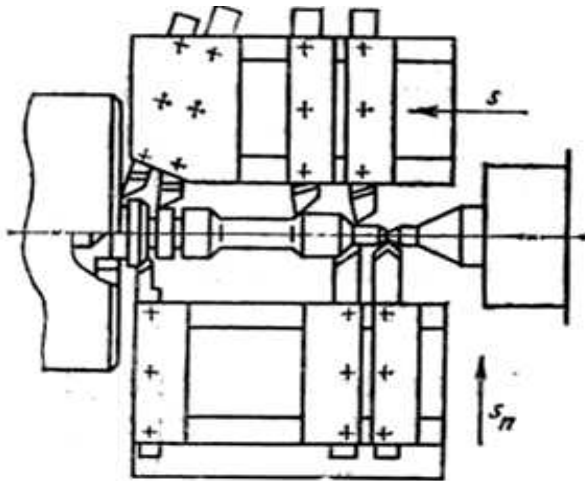


Рис.3.61. Схемы обработки с использованием многолезцовой наладки

Обрабатываемой детали над станиной 400 мм, над суппортом 250 мм; наибольшая длина детали 710 мм.

Кинематическая группа скорости резания $\Phi_v(B_1)$

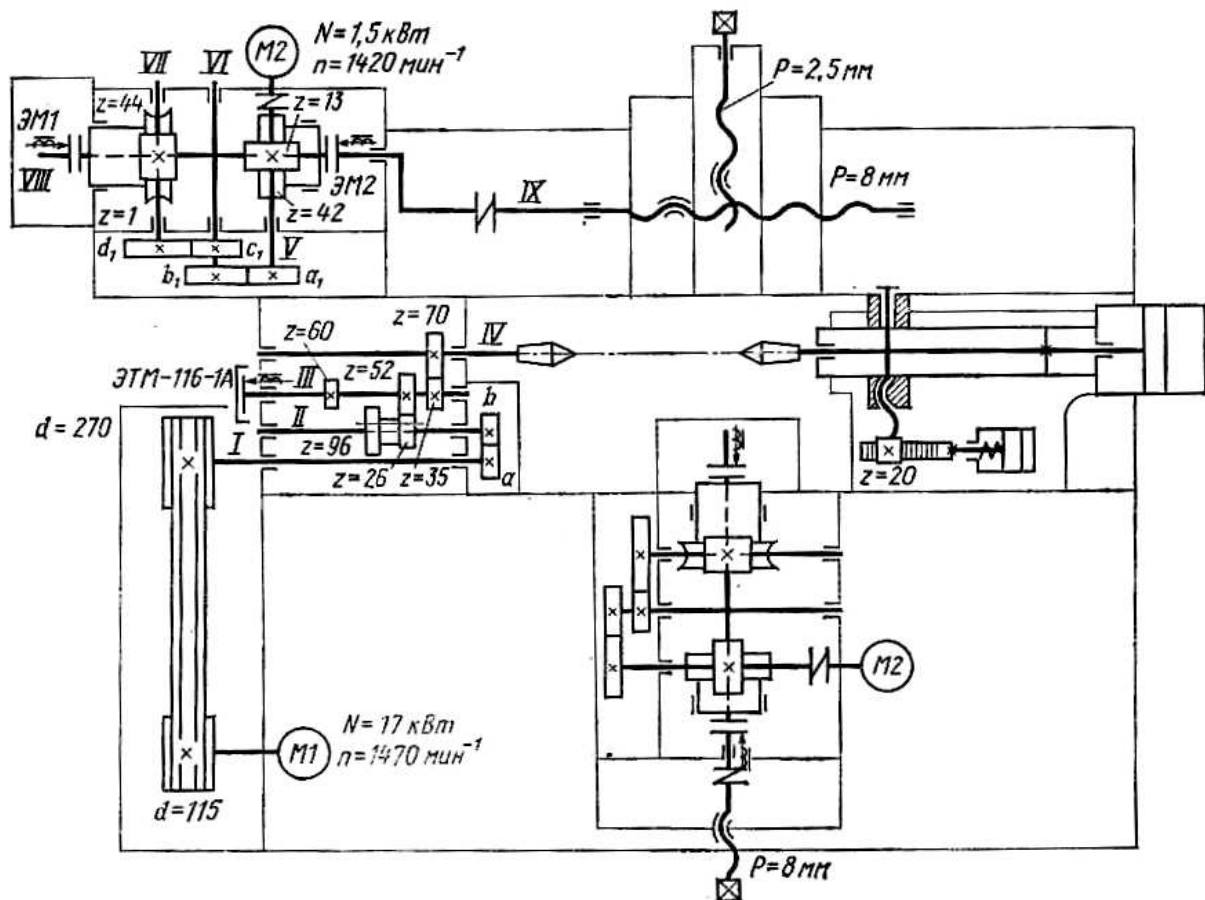


Рис. 3.62. Кинематическая схема многолезцового полуавтомата

канавками, фасками и галтелями. В качестве заготовок используют поковки, отливки и прокат. Обработку осуществляют в центрах.

Типовым представителем токарных многолезцовых станков является полуавтомат модели 1Н713 (рис. 3.62), предназначенный для обработки многоступенчатых валов втулок, фланцев и колец в патроне или в центрах при помощи многолезцовой наладки.

Техническая характеристика.

Наибольший диаметр устанавли-

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 :

$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n \text{ мин}^{-1}$ 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 $63 - 1250 \text{ мин}^{-1}$.

Кинематические группы продольной подачи $\Phi_{S1} (II_2)$ и $\Phi_{S2} (II_3)$ конструктивно одинаковы и оснащены унифицированными коробками подач.

Внутренняя связь:

направляющие (прод. или попер.) → соответствующий суппорт (Π).

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:

$$n_{M2} \text{ мин}^{-1} \rightarrow s \text{ мм/мин} (\Pi).$$

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 $25 - 400 \text{ мм/мин}$.

Ускоренное перемещение суппортов осуществляется при включенной муфте ЭМ2 (ЭМ1 выключена) от электродвигателя M_2 через зубчатые колеса с винтовыми зубьями $13/42$ и ходовой винт с шагом $P = 8 \text{ мм}$. 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. Автоматическим циклом работы полуавтомата управляет командоаппарат, содержащий путевые микропереключатели, на которые воздействуют переставные упоры, установленные на суппортах.

3.8. Станки с числовым программным управлением

В мелкосерийном и серийном многономенклатурном производстве с частой сменой объекта изготовления получили наибольшее распространение автоматизированные станки с числовым программным (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 графическим дисплеем. Ввиду того, что программа составляется заранее, то благодаря быстрой смене программносителя станок с ЧПУ переналаживается в 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 предварительных ручных 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 %).

3.8.1. 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 поколения могут служить токарный станок модели 16К20Ф3, вертикально-фрезерный станок модели 6Р13Ф3 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 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, значительно-го 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 фрезерный станок модели ФП-7 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. Компонировка станка наряду с повышенной жесткостью обеспечивает обычно 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 5 – 6 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. Такие станки приспособлены для встраивания в автоматизированные производственные системы.

3.8.2. Технологические особенности станков с ЧПУ

По назначению системы ЧПУ разделяют на управляющие траекториями движения исполнительных органов и на управляющие режимом работы (рис. 3.63). 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.

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 замкнутой цепью управления (без обратной связи) и с

замкнутой цепью управления (с обратной связью). Система с обратной связью управления обеспечивает наивысшую точность перемещения.

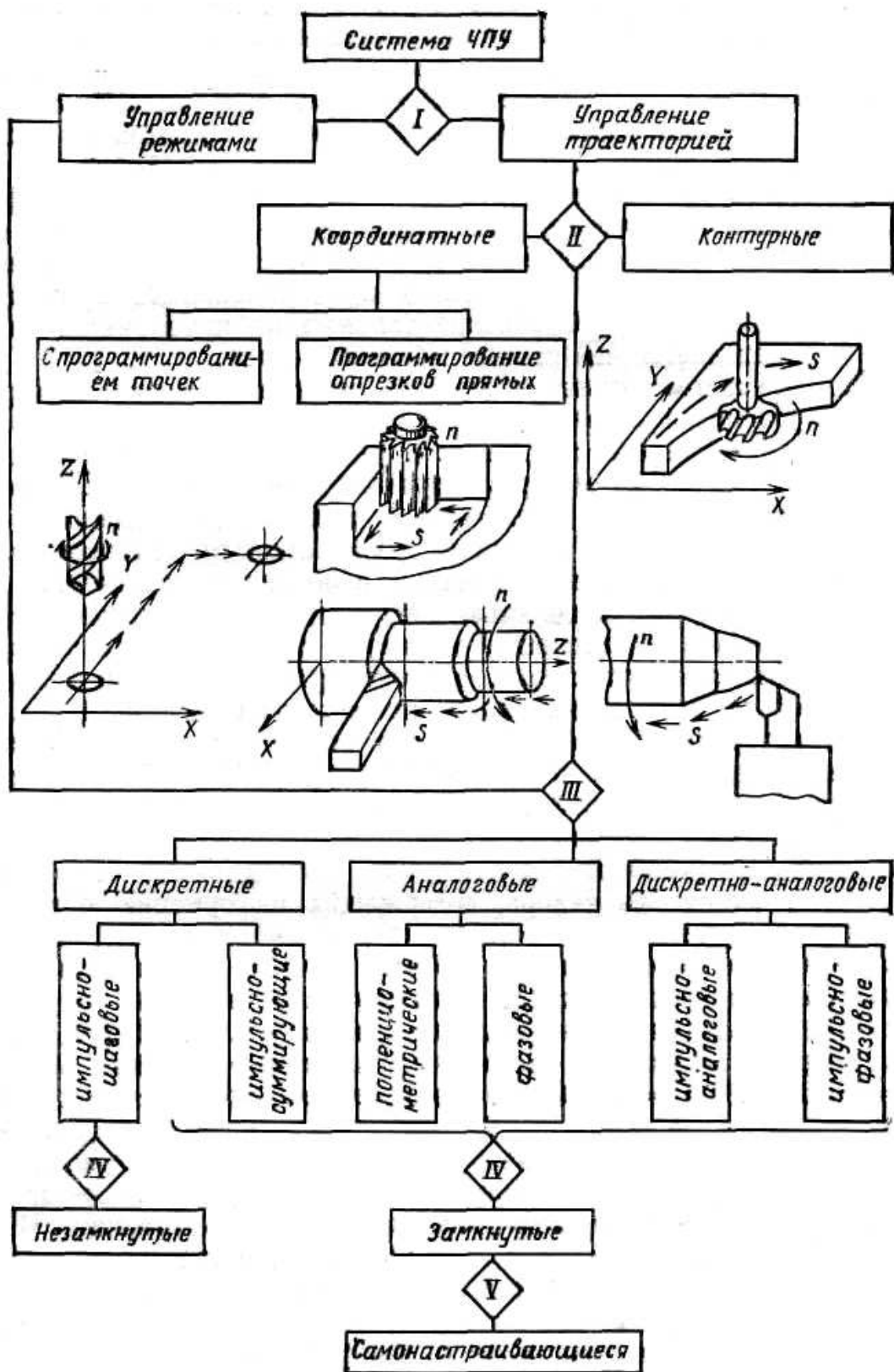


Рис. 3.63 Классификация систем ЧПУ

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. Сравнение 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 программируемому перемещению. 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. 3.64). 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 деся-

тичные разряды. 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.

Дорожки										Выполняемая функция	
8	7	6	5	4	с/д	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	Угловой размер относительно: оси X
	○				○		○			B	оси Y
○	○				○		○			C	оси Z
○	○				○	○	○			F	Подача
	○				○	○	○	○		G	Подготовительная операция
○	○			○	○			○		I	Используется при обработке, дуги окружности
○	○			○	○			○		J	
	○			○	○			○	○	K	
	○			○	○	○		○		M	Вспомогательная операция
	○			○	○	○	○			N	Номер кадра
○	○		○		○			○		R	
	○		○		○			○	○	S	Частота вращения
○	○		○		○	○				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. 3.64 Условные обозначения кода ISO – 7bit

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. 3.65. Примеры расположения осей на токарном, вертикально-сверлильном и горизонтально-расточном станках с ЧПУ приведены на рис. 3.66.

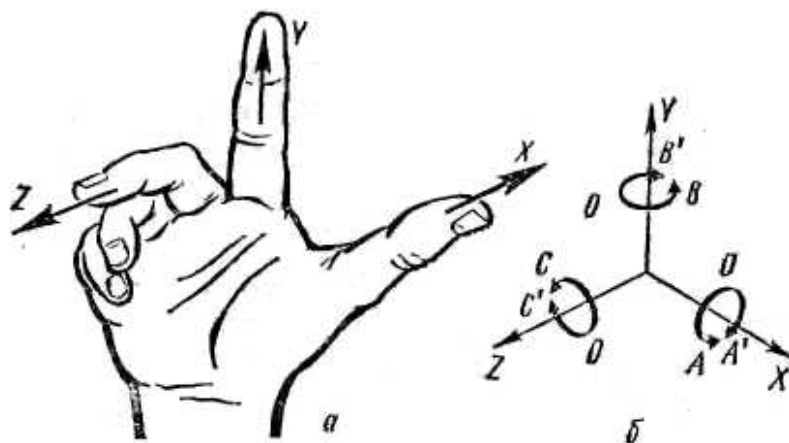


Рис. 3.65. Расположение осей координат на станках с ЧПУ:
a – правосторонняя система координат; *б* – первичные оси

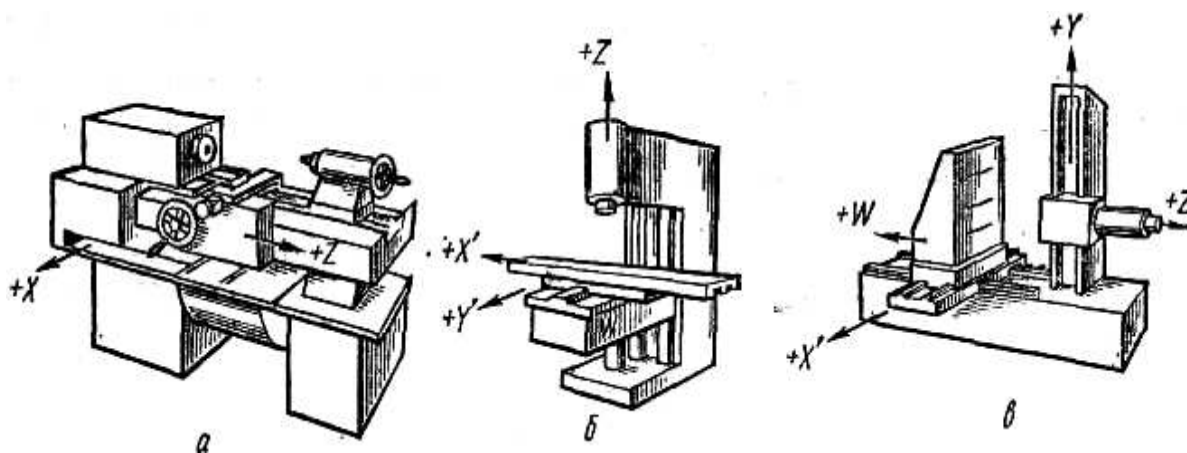


Рис. 3.66. Примеры расположения осей координат на станках с ЧПУ:
a – токарный станок; *б* – вертикально-фрезерный станок;
в – горизонтально-расточной станок

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.

В качестве примера рассмотрим обработку корпуса штуцера (рис. 3.67) 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.

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.

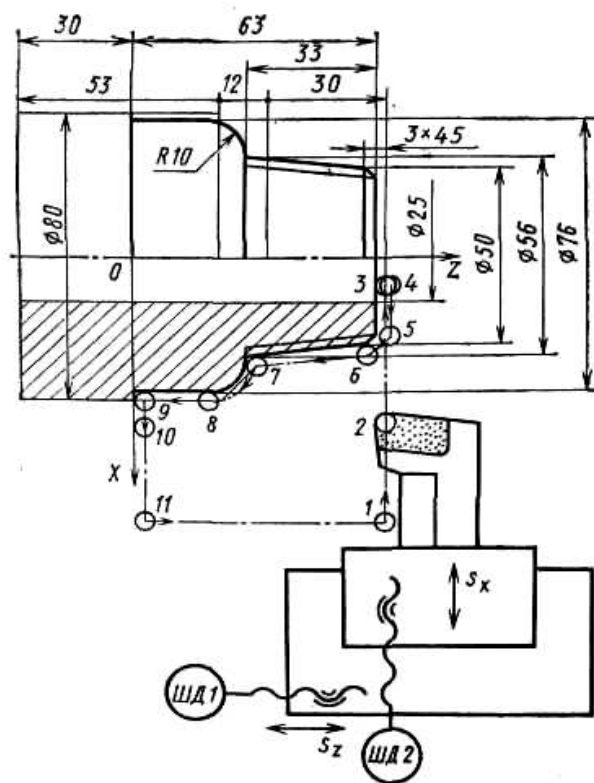


Рис. 3. 67. Схема расчетных программных перемещений суппорта

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 настройке станка, которая зависит от положения револьверной головки, вылета резца и длины патрона. Распечатка управляющей программы приведена на рис. 3.68.

№ 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. 68. Программа для обработки штуцера в коде ISO-7bit

3.8.3. 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, применение 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 измене-

нии направления движения; идентичность характеристик механизмов подачи 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. 3.69). 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.

Передача винт-гайка в большинстве приводов подачи 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 зазо-

ров, длительно сохраняет первоначальную точность, имеет КПД около 0,9 при полной нагрузке на передачу. Шариковая винтовая пара (рис. 3.70) 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 канна 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 относительный 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.

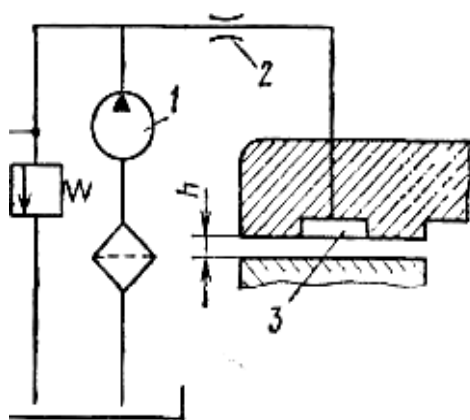


Рис. 3.69. Схема гидростатических незамкнутых направляющих

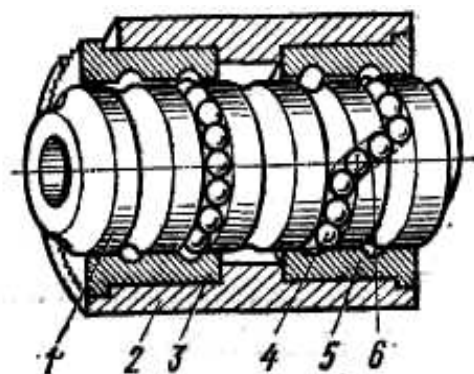


Рис. 3.70. Шариковая винтовая пара

Гидростатическая передача винт-гайка (рис. 3.71) 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, определяе-

мого 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 восприятию осевой нагрузки слоями масла.

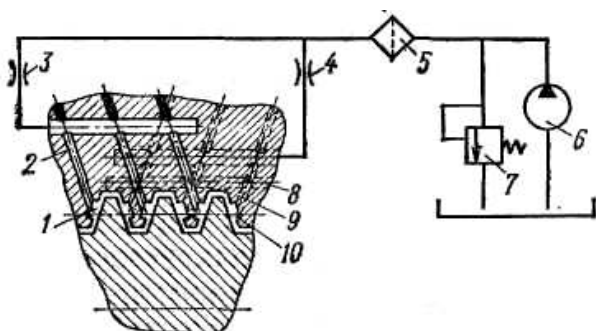


Рис. 3.71. Схема гидростатической передачи винт-гайка

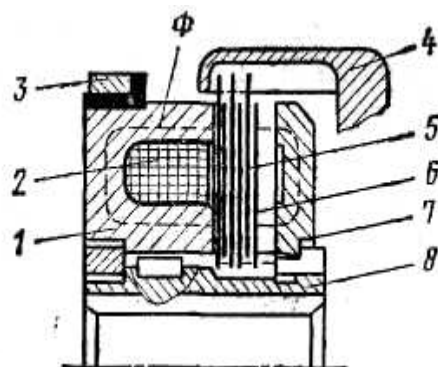


Рис. 3.72. Электромагнитная многодисковая муфта

Электромагнитные муфты используют в приводах скорости резания, подачи и вспомогательных перемещений для получения автоматических циклов обработки. Муфта (рис. 3.72) 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) механизмов 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 подачи станков применяют быстродействующие высокомоментные силовые шаговые электродвигатели на 16 кГц и следящерегулируемые тиристорные электроприводы постоянного тока.

3.8.4. Токарный патронно-центровой станок модели 16К20Ф3

Станок 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. Он имеет 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 Н221М. Устройство ЧПУ обеспечивает движение формообразования, изменение значений подач и частот вращения шпинделя, индексацию резцовой головки и в большинстве случаев нарезание резьбы по программе. Число управляемых координат равно двум, из них одновременно управляемых две.

Кинематическая структура станка (рис. 3.73) содержит традиционные для токарно-винторезных станков группы формообразования.

Внешняя связь группы $\Phi_v (B_1)$ скорости резания (главное движение) имеет вид:

$$M_1 \rightarrow 126/182 \rightarrow АКС \rightarrow 200/280 \rightarrow 40/54 \rightarrow B_1 (30/60 \text{ или } 65/43) \rightarrow \\ \rightarrow \text{шпиндель VI } (B_1).$$

Автоматическая коробка скоростей (АКС) обеспечивает девять переключаемых в цикле частот вращения шпинделя вследствие включения электромагнитных муфт. Вал 11 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 $B1$, что обеспечивает получение двух диапазонов частот вращения шпинделя ($35 - 560$ и $100 - 1600 \text{ мин}^{-1}$). Практически шпиндель имеет 12 частот вращения.

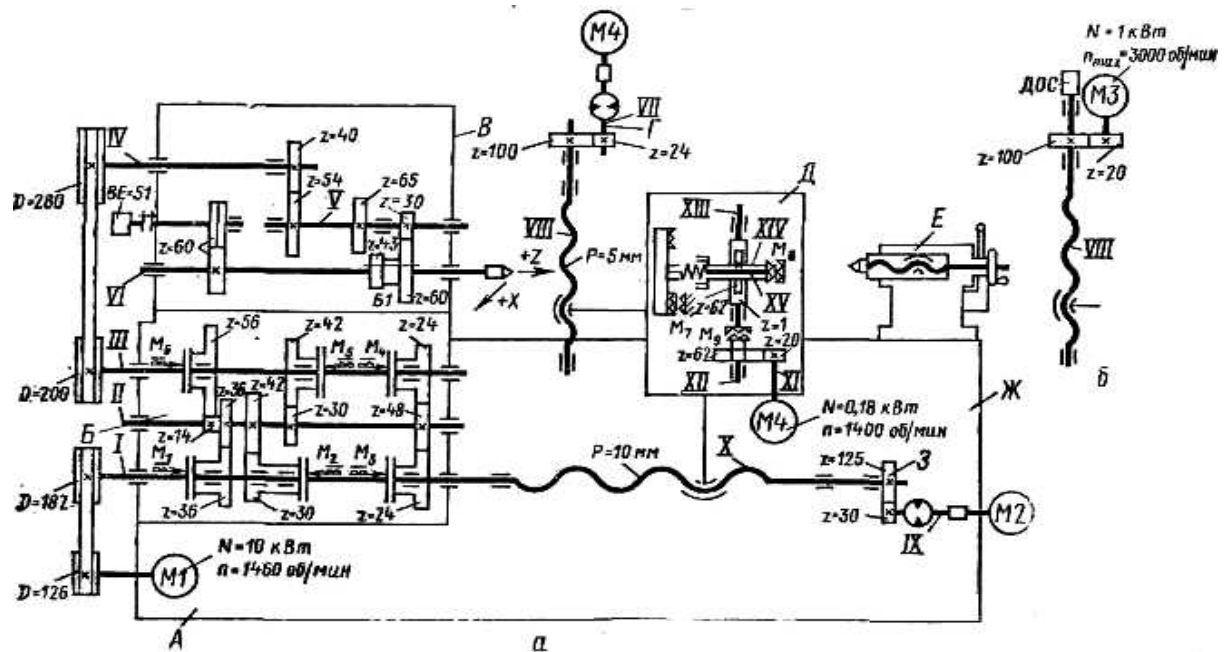


Рис. 3.73. Кинематическая схема токарного станка с ЧПУ

УКЦ для минимальной частоты вращения шпинделя:

$$n_{min} = 1460 \cdot \frac{126}{182} \cdot 0,985 \cdot \frac{24}{48} \cdot \frac{14}{56} \cdot \frac{200}{280} \cdot 0,985 \cdot \frac{40}{54} \cdot \frac{30}{60} \text{ мин}^{-1}.$$

В винторезной модификации станка устанавливают датчик (измерительный преобразователь ВЕ-51) резьбонарезания, связанный со шпинделем беззазорной зубчатой передачей 60/60.

Группы продольной подачи Φ_{S1} (Π_2) и поперечной подачи Φ_{S2} (Π_3) могут иметь два исполнения: с гидравлическим шаговым приводом (рис. 3.73, а) и с электродвигателем постоянного тока (рис. 3.73, 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 $1,5^0$.

Минимальная поперечная подача (цена импульса):

$$s_{\text{поп min}} = (1/240) (24/100) 5 = 0.005 \text{ мм}.$$

В случае применения двигателей постоянного тока на шариковые ходовые винты устанавливаются 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 B_c (B_4) поворота шестипозиционного резцедержателя с горизонтальной осью вращения, оснащенный съемной инструментальной головкой.

Внешняя связь группы имеет вид:

$$M_4 \rightarrow 20/62 \rightarrow 1/67 \rightarrow \text{поворотный резцедержатель } (B_4).$$

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.

3.8.5. Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ модели 6P13Ф3

Станок 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 6M13, на базе которого он выпускается.

Техническая характеристика. Размеры рабочей поверхности стола 400×600 мм; число частот вращения шпинделя 18; пределы частот вращения шпинделя $40 - 2000 \text{ мин}^{-1}$; 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. 3.74) содержит традиционные для вертикально-фрезерных станков кинематические группы скорости резания $\Phi_v(B_1)$ и подач $\Phi_{S1}(II_2)$, $\Phi_{S2}(II_3)$, $\Phi_{S3}(II_4)$.

Внешняя связь группы скорости резания $\Phi_v(B_1)$:

$M1 \rightarrow 31/49 \rightarrow B1 \rightarrow B2 \rightarrow B3 \rightarrow 39/39 \rightarrow 48/48 \rightarrow \text{шпиндель } (B_1)$.

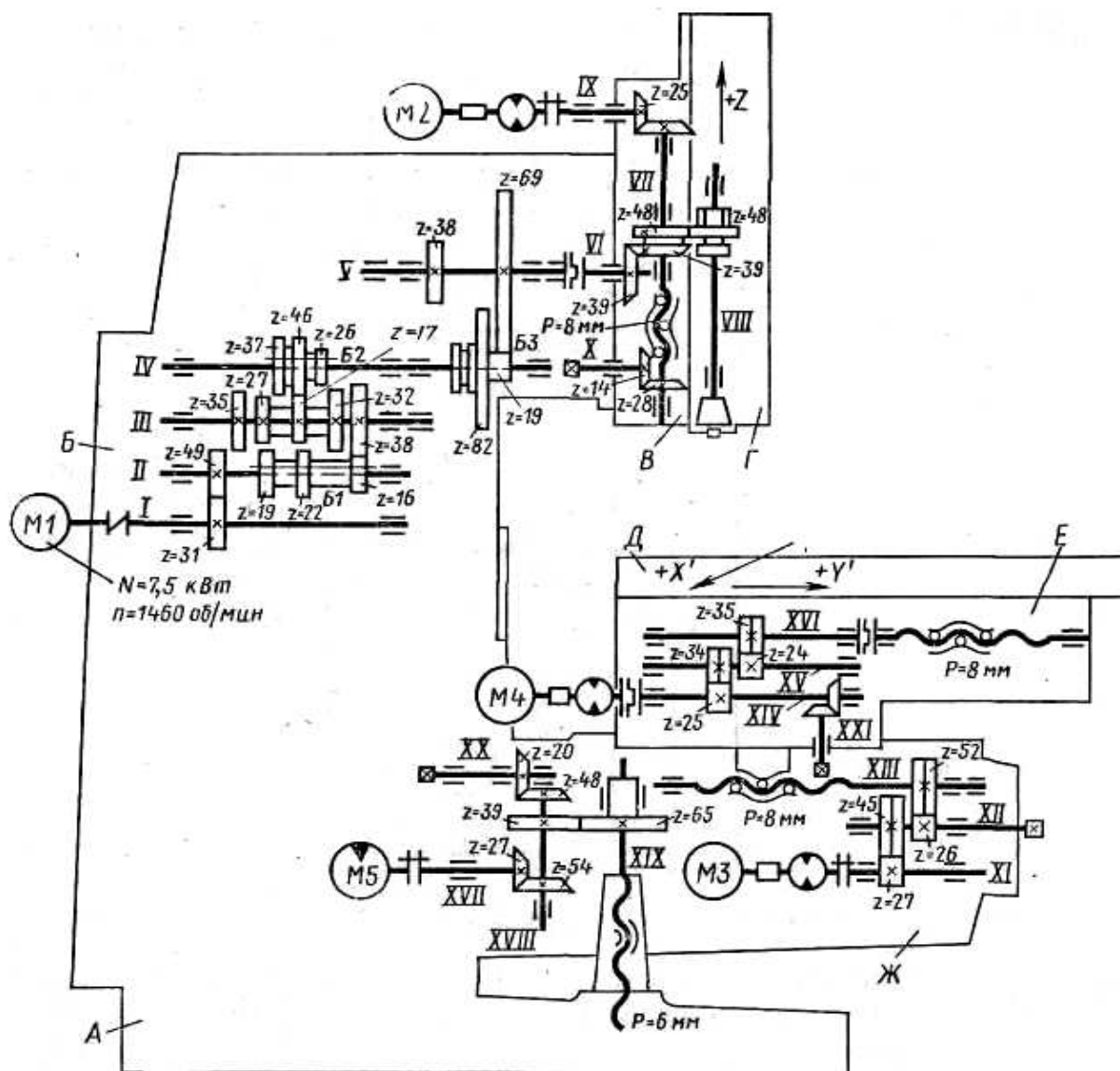


Рис. 3.74. Кинематическая схема вертикально-фрезерного станка с ЧПУ (ссылка)

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 Φ_{s1} (Π_2) вертикальной подачи (координата Z):
 $M2 \rightarrow 25/25 \rightarrow TB$ (винт-гайка качения) \rightarrow ползун шпиндельной головки (Π_2).

Группа настраивается на скорость изменением круговой частоты шагового электродвигателя; на путь, исходное положение и направление – программносителем. Квадратом на валу X через коническую передачу 14/28 можно переместить ползун вручную.

Внешняя связь группы Φ_{s2} (Π_3) поперечной подачи (координата Y'):

$M3 \rightarrow$ беззазорный редуктор (27/45 \rightarrow 26/52) \rightarrow
 $\rightarrow TB$ (винт-гайка качения) \rightarrow поперечные салазки (Π_3).

Группа настраивается на скорость изменением круговой частоты шагового электродвигателя; на путь, исходное положение и направление – программносителем. Квадратом на валу XII через передачу 26/52 можно переместить поперечные салазки вручную.

Внешняя связь группы Φ_{s3} (Π_4) продольной подачи (координата X'):

$M4 \rightarrow$ беззазорный редуктор (25/34 \rightarrow 24/35) $\rightarrow TB$ (винт-гайка качения) \rightarrow
 \rightarrow продольные салазки (Π_4).

Группа настраивается на скорость изменением круговой частоты шагового электродвигателя; на путь, исходное положение и направление – программносителем. 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 Φ_{s1} , Φ_{s2} , Φ_{s3} подобраны так, что при подаче на шаговые электродвигатели одного импульса исполнительные органы указанных групп переместятся на 0,01 мм.

Вспомогательная группа Bc (Π_5) обеспечивает установочные вертикальные перемещения консоли. Ее внешняя связь:

$Гидромотор M5 \rightarrow 27/54 \rightarrow 39/65 \rightarrow TB \rightarrow консоль (\Pi_5)$.

Посредством квадрата на валу ХХ можно переместить консоль вручную.

Гидросистема осуществляет перемещение исполнительных органов станка по соответствующим координатам, установочное вертикальное перемещение консоли, зажим ползуна шпиндельной головки, отжим инструмента.

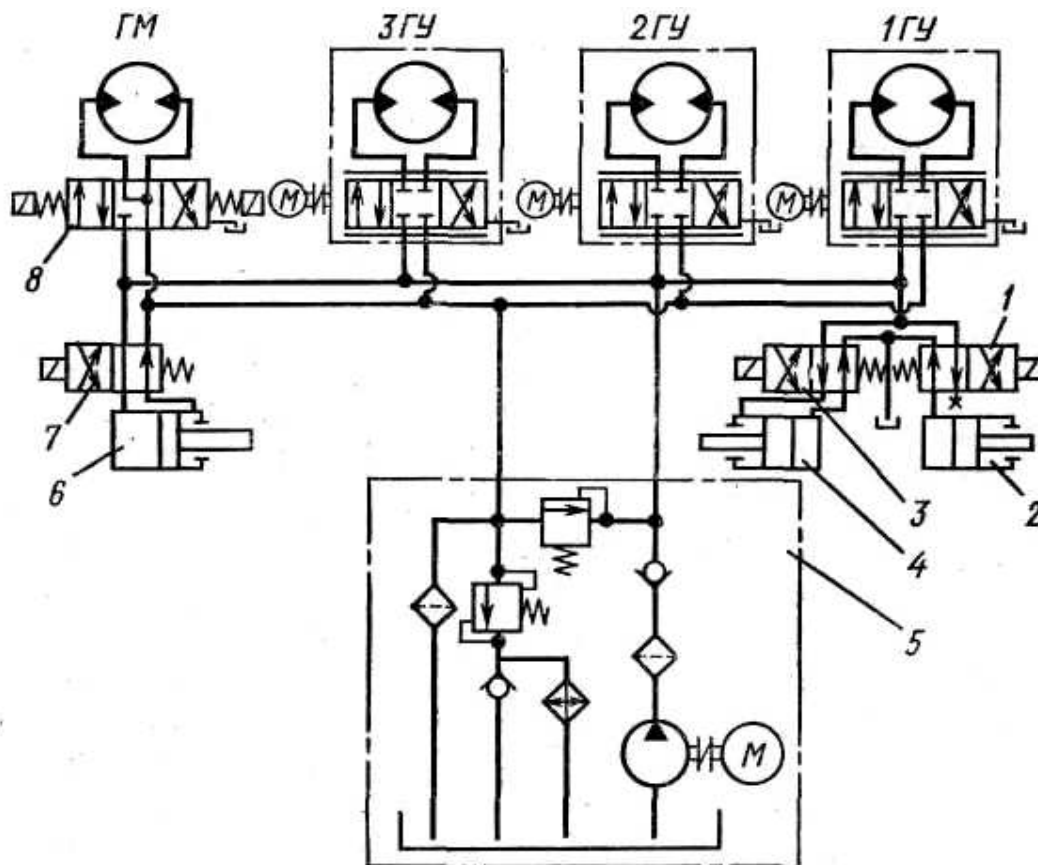


Рис. 3.75. Принципиальная гидравлическая схема станка

Питание гидросистемы (рис. 3.75) 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.

3.8.6. Вертикальный сверлильно-фрезерно-расточной полуавтомат с ЧПУ модели 243ВМФ2

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 обработки 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 2 – 4 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 *II* и *B*.

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 вспомога-

тельных 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.

Полуавтомат модели 243ВМФ2 относится к многооперационным станкам с ЧПУ второго поколения. Он предназначен для комплексной обработки деталей небольших и средних размеров при подходе инструмента с одной стороны. Класс точности станка *B*. Он обеспечивает точность расстояний между осями обработанных отверстий 0,016 мм; точность диаметра отверстий 0,01.

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 (все-го/одновременно) 3/2. Система ЧПУ позволяет ввести 35 коррекций по длине и 5 коррекций по радиусу.

Внешняя связь группы скорости резания $\Phi_v(B_1)$:

$M1 \rightarrow$ двухременной вариатор $V_r \rightarrow$ трехступенчатая коробка скоростей \rightarrow
 \rightarrow зубчатоременная передача 31/31 \rightarrow шпиндель (B_1).

Группа настраивается на скорость трехступенчатой коробкой скоростей и двухременным вариатором. При отклонении скорости (круговой частоты шпинделя) от заданной, тахогенератор ТГ 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. 3.76).

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 зубчатоременную передачу 30/30. Два нижних диапазона получают при переключении блока $B1$ двумя электромагнитами (на схеме не показаны). Внутри каждого диапазона скорость изменяется вариатором.

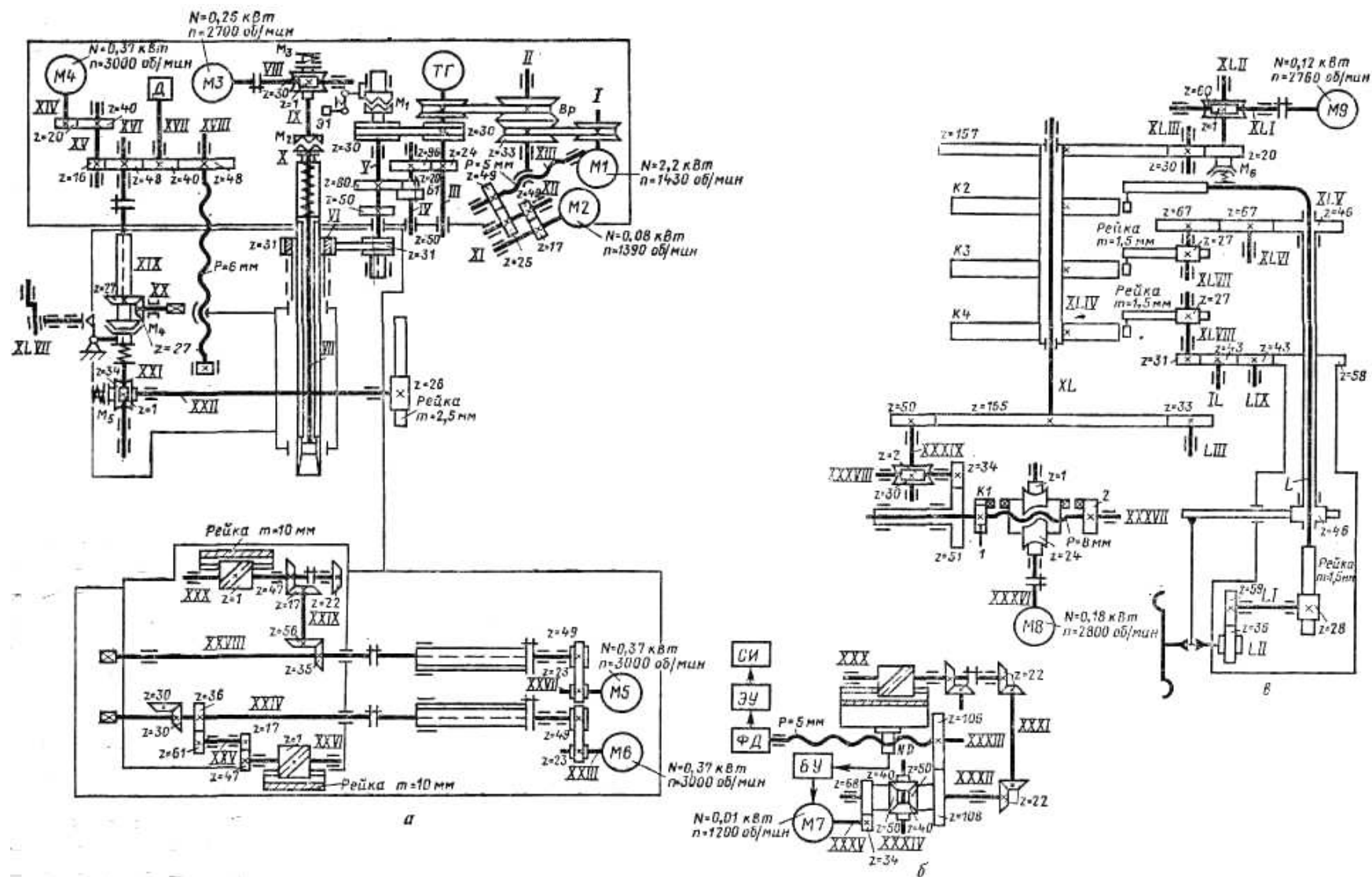


Рис. 3.76. Кинематическая схема многооперационного вертикального сверлильно-фрезерно-расточного полуавтомата с ЧПУ

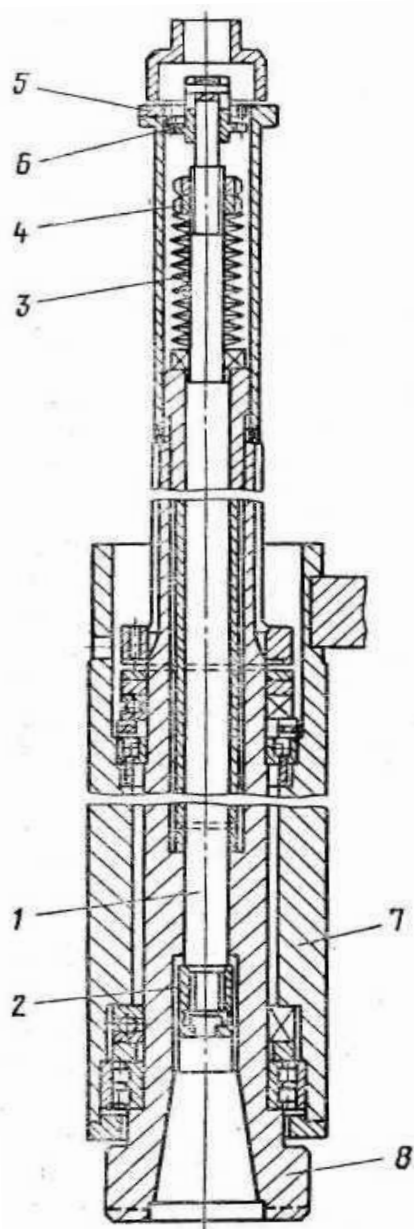


Рис. 3.77. Шпиндель станка

Шпиндель станка 8 (рис. 3.77) 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 (см. рис. 3.76, 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 внутренняя 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 Φ_{S1} (P_3) подачи шпинделя и группа Bc (P_4) установочного перемещения шпиндельной головки (координата Z) оснащены общим электродвигателем постоянного тока $M4$ типа МИ22ФТ.

Внешняя связь группы Φ_{S1} :

$M4 \rightarrow 20/40 \rightarrow 16/48 \rightarrow 48/40 \rightarrow 40/48 \rightarrow TB XVII$ (винт-гайка качения) \rightarrow ползун перемещения гильзы шпинделя (P_3).

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 (Π_4):

$M_4 \rightarrow 20/40 \rightarrow 16/48 \rightarrow$ *шлицевой вал XVI – втулка XIX* \rightarrow *муфта M_4* \rightarrow $1/34 \rightarrow$ *TB (зубчато-реечная передача)* \rightarrow *шпиндельная головка (Π_4)*.

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.

Группы Φ_{S2} (Π_5) продольной подачи стола и Φ_{S3} (Π_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.

Внутренняя связь группы Φ_{S2} :

$M_5 \rightarrow$ *зубчато-ременная передача 23/49* \rightarrow $35/56 \rightarrow$ $27/47 \rightarrow$ \rightarrow *червячно-реечная передача* \rightarrow *продольный стол (Π_5)*.

Внутренняя связь группы Φ_{S3} :

$M_6 \rightarrow$ *зубчато-ременная передача 23/49* \rightarrow $36/61 \rightarrow$ $17/47 \rightarrow$ \rightarrow *червячно-реечная передача* \rightarrow *поперечные салазки (Π_6)*.

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 (см. рис. 3.76, 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 M_7 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 подачи 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. 3.78):

– 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 отработанный 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.

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.

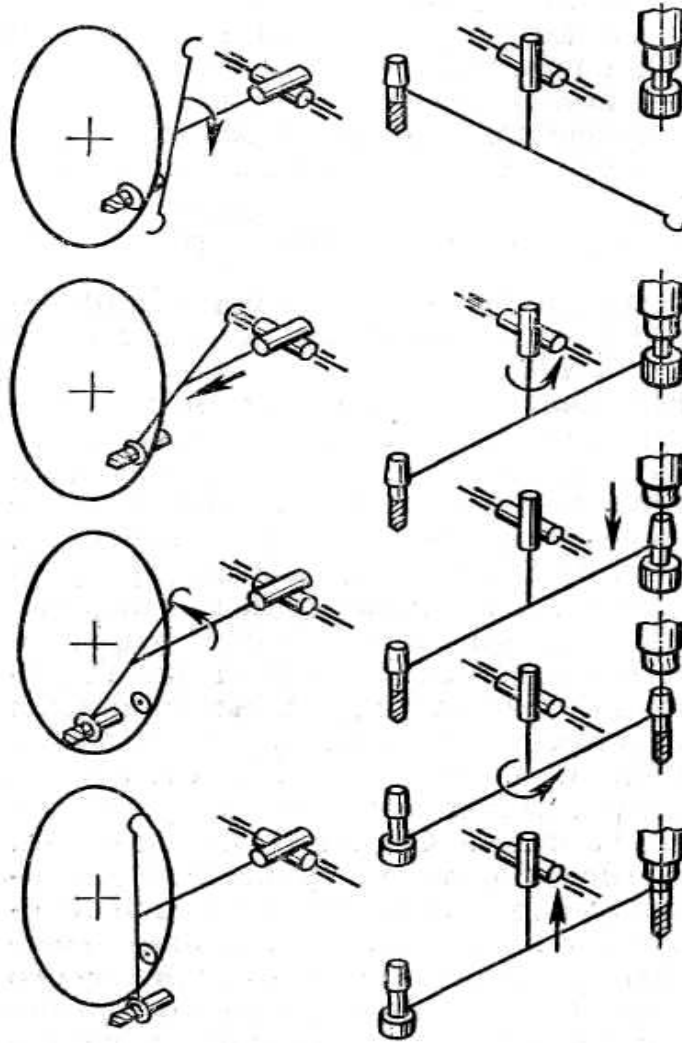


Рис. 3.78. Схема работы автооператора

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 корпусе. Выходные сигналы выключателей, закодированные в двоично-десятичном коде, обеспечивают выбор позиции барабана.

Вращение магазина (см. рис. 3.76, в) осуществляется группой *Bc* (B_7).

Внутренняя 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 1 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 1 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 Bc (B_8), внутренняя 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 LI .

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° .

3.9. 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 конструк-

ции 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-тые годы прошлого столетия. Так в статье, опубликованной в одном из машиностроительных журналов, посвященной появлению на заводах США манипуляционных механизмов первого поколения, сообщалось: «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. 3.79) – 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.

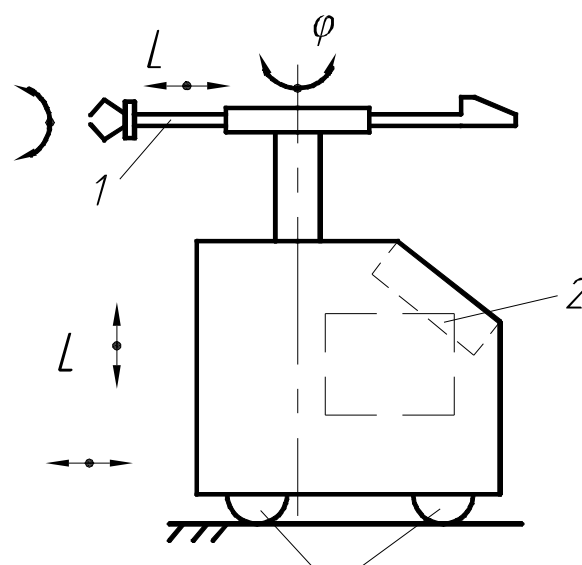


Рис. 3.79. Классическая структура промышленного робота

Таким образом, ПР – это автономно работающая машина – автомат, предназначенная для воспроизведения не-которых 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.

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. 3.79), 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 (кость 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. 3.80) 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); выдвигание 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. 3.80. Линейные перемещения выполняются со скоростью 0,7 – 1 м/сек, а угловые – со скоростью 90°/сек.

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° приналадке манипулятора. Грузоподъемность каждой руки 10 кг. Пневмогидравлические приводы подъема-опускания и поворота манипулятора размещены в основании ПР. Для выдвигания 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.

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. 3.81, *а*), нескольких станков 2 (рис. 3.81, *б*). Робот может перемещаться вдоль фронта станков (рис. 3.81, *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.

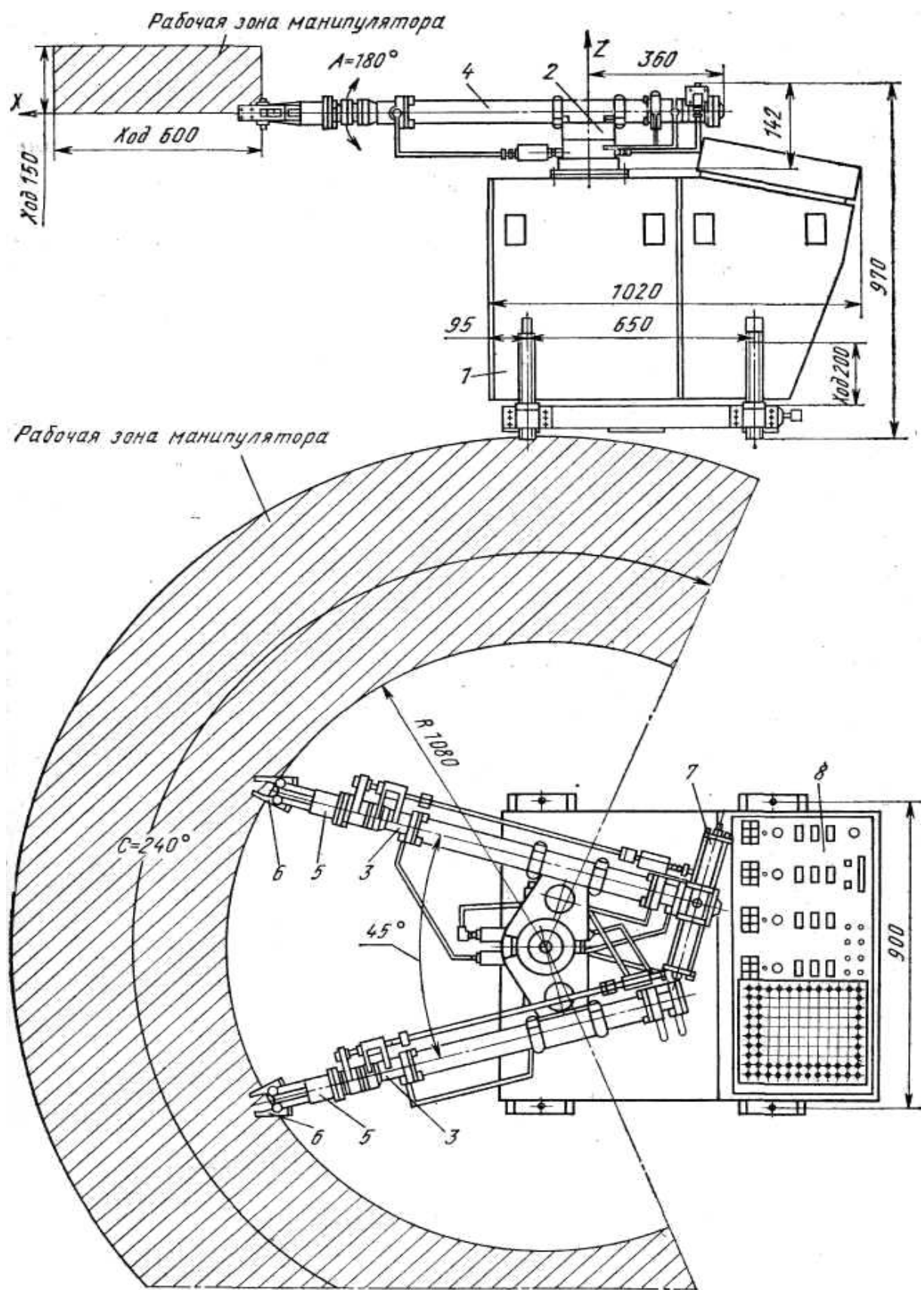


Рис. 3. 80. Универсальный промышленный робот первого поколения

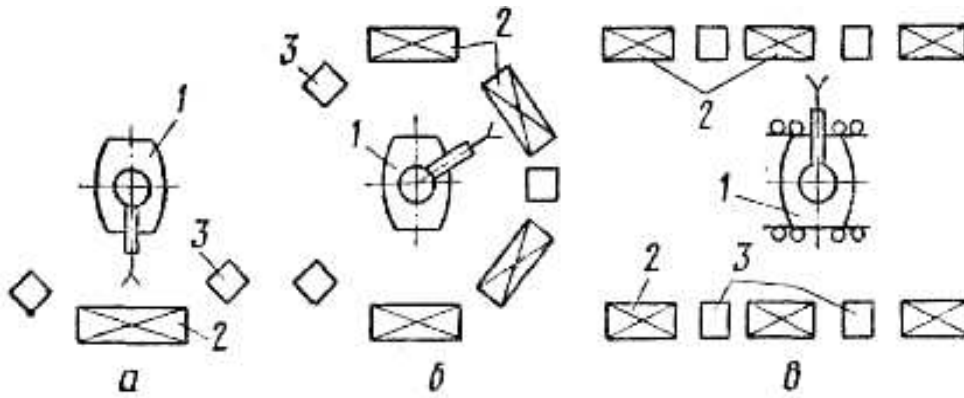


Рис. 3.81. Возможные компоновки робототехнических комплексов

На рис. 3.82 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.

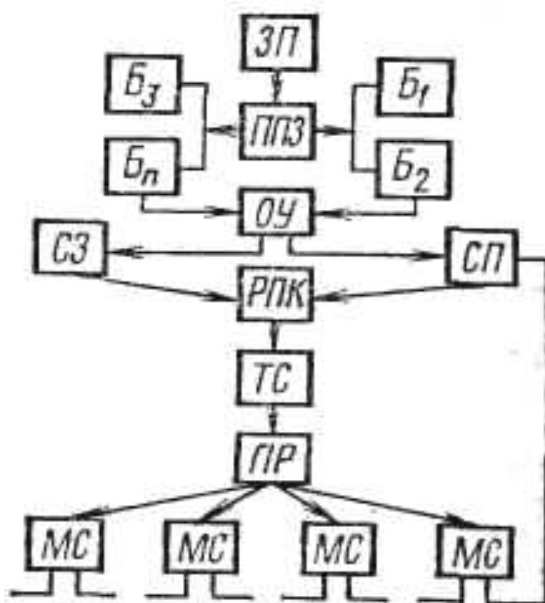


Рис. 3.82. Блок-схема автоматизированного участка с использованием роботов

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 перенастраиваемостью. В соответствии

с этими признакам 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.

3.9.1. 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. 3.83 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.

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; пово-

рот 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.

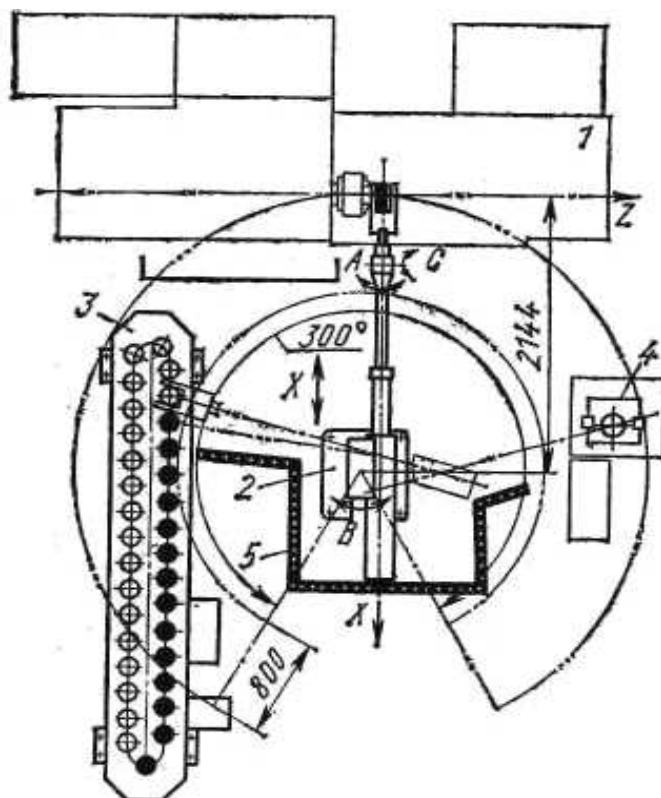


Рис. 3.83. Гибкий производственный модуль для токарной обработки:

● — заготовка; ○ — деталь

Микропроцессорное устройство ЧПУ централизованно управляет всем оборудованием модуля во время автоматического цикла работы.

В составе гибкого производственного модуля ПР обслуживает 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. 3.84). 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 .

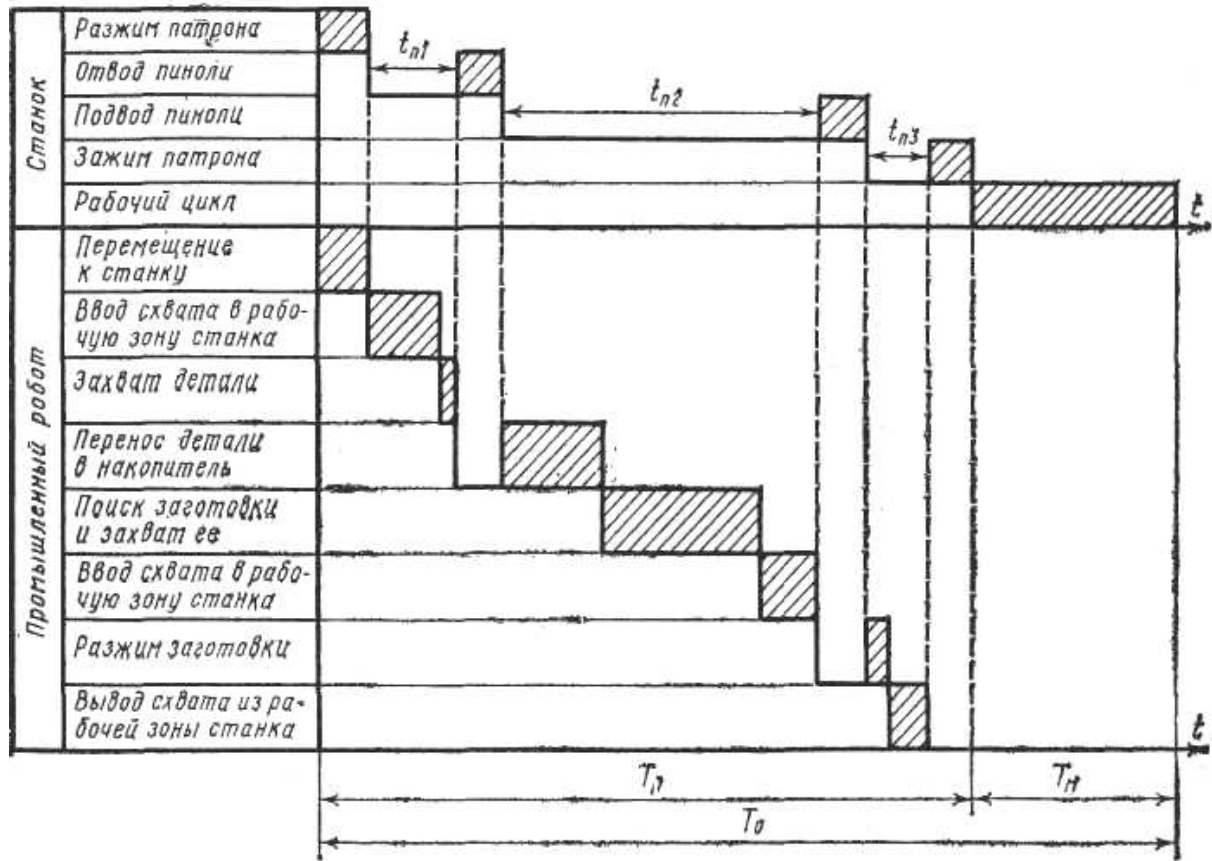


Рис. 3. 84. Циклограмма обслуживания токарного станка промышленным роботом

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. 3.85) 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, смонтиро-

ванного 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.

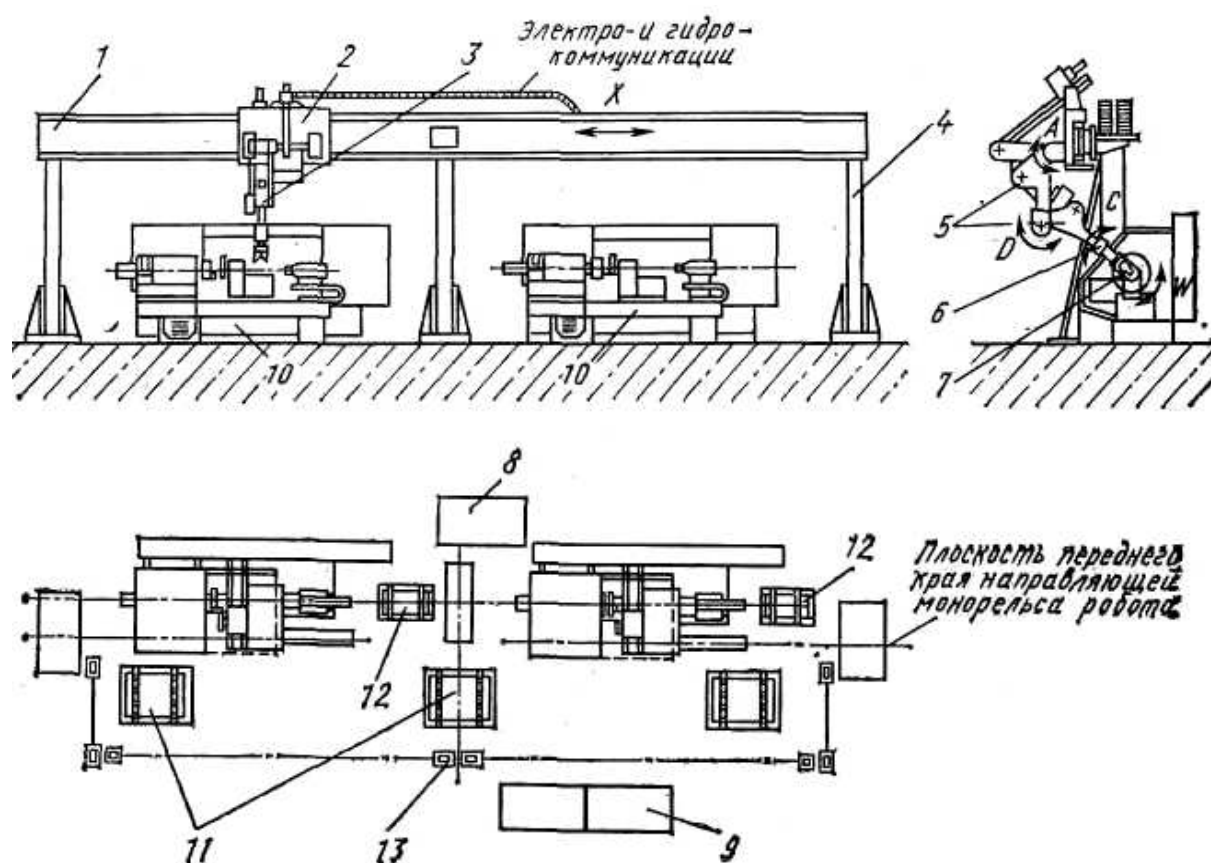


Рис. 3.85. Гибкая производственная система для обработки деталей типа тел вращения

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 – гидравлические 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 заго-

товки 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 в рабочей зоне манипулятора. Рабочая зона манипулятора имеет ограждение 13.

Гибкая производственная система по рис. 3.85 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 5 – 6) 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 выбору 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.

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, питчевой, 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. Продольнофрезерные 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 координаторасточные станки: область использования, размерный ряд, кинематическая структура, особенности конструкции.

32. Горизонтальнорасточные 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 дуговыми 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 одноточным кругом. Расчет настройки.

- 57 Кинематическая структура резьбошлифовального станка для обработки резьбы многониточным кругом. Расчет настройки.
58. Схемы затылования дисковых и червячных фрез. Исполнительные движения при затыловании. Общее уравнение затылования.
59. Токарно-затыловочный станок как объединение частных кинематических структур для затылования различных инструментов. Типовая структура станка для затылования дисковых модульных фрез.
60. Типовая кинематическая структура для затылования инструментов (гребенчатых фрез, метчиков и т.п. инструментов) с прямолинейными стружечными канавками.
61. Типовая кинематическая структура для затылования инструментов (червячных фрез, метчиков и т. п.) с винтовыми стружечными канавками.
62. Токарные автоматы: область использования, типаж, размерные ряды, особенности компоновки основных типов автоматов.
63. Типовая кинематическая структура автомата для продольного точения. Методика расчета настройки.
64. Типовая кинематическая структура фасонно-отрезного автомата. Методика расчета настройки.
65. Типовая кинематическая структура токарно-револьверного автомата. Методика расчета настройки.
66. Схема токарной обработки с использованием многолезвцового наладки: область использования, особенности выбора режимов обработки. Кинематическая структура многолезвцового токарного полуавтомата. Расчет настройки.
67. Агрегатные станки: область использования, особенности компоновки, модульный принцип проектирования из нормализованных узлов.
68. Типовая кинематическая структура токарно-винторезного станка с числовым программным управлением.
69. Типовая кинематическая структура вертикально-фрезерного станка с числовым программным управлением.
70. Промышленные роботы: назначение, поколения (типы), область использования, типовая структура робота.
71. Промышленные роботы 1-го типа (роботы-манипуляторы), работающие совместно с металлорежущими станками, оснащенными системами числового программного управления.
72. Робототехнический комплекс, гибкий производственный модуль, гибкая производственная система. Примеры.

ОРГАНИЗАЦИЯ РЕЙТИНГОВОГО КОНТРОЛЯ

Суммарный рейтинг студента по дисциплине «Станочное 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 течение семестра – 25 баллов;
- за 100%-ное посещение лабораторных работ в течение 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 общетехнических 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 – 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.

Полубкатная 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

1.1. Металлорежущие станки : учеб. для машиностроительных втузов / под ред. В. Э. Пуша. – М. : Машиностроение, 1985.

Дополнительная

2.1. Пуш, В. Э. Конструирование металлорежущих станков / В. Э. Пуш. – М. : Машиностроение, 1977.

2.2. Волчкевич, Л. М. Автоматы и автоматические линии : учеб. пособие. в 2 ч. / Л. М. Волчкевич, М. М. Кузнецов, Б. А. Усов. – М. : Высш. шк., 1976.

2.3. Металлорежущие станки и автоматы : учеб. / под ред. А. С. Проникова. – М. : Машиностроение, 1981.

2.4. Трофимов, А. М. Металлорежущие станки : альбом с приложением / А. М. Трофимов. – 2 изд. – М. : Машиностроение, 1979.

2.5. Металлорежущие станки : учеб. / под ред. В. К. Тепинкичиева. – М. : Машиностроение, 1973.

2.6. Ермаков, Ю. М. Металлорежущие станки : учеб. / Ю. М. Ермаков, Б. А. Фролов. – М. : 1985.

2.7. Голембиевский, А. И. Основы системологии способов формообразующей обработки в машиностроении / А. И. Голембиевский. – Мн. : Наука и техника, 1986.

2.8. Голембиевский, А. И. Системный анализ процесса зубодолбления / А. И. Голембиевский. – Мн. : Наука и техника, 1993.

2.9. Данилов, В. А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием / В. А. Данилов. – Мн. : Наука и техника, 1995.

Методическая

3.1. 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.

3.2. Голембиевский А. И. Методические указания к учебно-исследовательским работам «Исследование кинематики и настройки металлорежущих станков для обработки нестандартных поверхностей» по

курсу «Металлорежущие станки» для студ. спец. 0501 / А. И. Голембиевский. – Новополоцк : изд. НПИ, 1979.

3.3. Голембиевский, А. И. Методические указания к учебно-исследовательской работе «Разработка структурных схем металлорежущих станков со сложной кинематической структурой» по курсу «Металлорежущие станки» для студ. спец. 0501 / А. И. Голембиевский, А. И. Трофимов. – Новополоцк : изд. НПИ, 1980.

3.4. Голембиевский, А. И. Методические указания к учебно-исследовательским работам «Синтез кинематической структуры металлорежущих станков» по курсу «Металлорежущие станки» для студ. спец. 0501 / А. И. Голембиевский, А. И. Трофимов, В. А. Терентьев. – Новополоцк : изд. НПИ, 1981.

3.5. Данилов, В. А. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Металлорежущие станки» для студ. спец. 0501 / В. А. Данилов. – Новополоцк : изд. НПИ, 1977.

3.6. Данилов, В. А. Методические указания к выполнению учебно-исследовательской работы «Анализ кинематической структуры станков с неравномерным движением исполнительных органов» по курсу «Металлорежущие станки» для студ. спец. 0501 / В. А. Данилов. – Новополоцк : изд. НПИ, 1982.

3.7. Терентьев, В. А. Методические указания к учебно-исследовательской работе «Гидрокопировальный станок модели 1722 и исследование точности копировальной обработки» для студ. спец. 0501 / В. А. Терентьев. – Новополоцк : изд. НПИ, 1984.

3.8. Голембиевский, 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.

3.9. 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 и 1202 / В. А. Терентьев. – Новополоцк : изд. НПИ, 1989.

3.10. 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.

3.11. 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.

3.12. 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.

3.13. Данилов, В. А. Методические указания к лабораторной работе «Обработка некруглых поверхностей на металлорежущих станках» по курсу «Станочное оборудование автоматизированных производств» для студ. спец. 1201 и 1202 / В. А. Данилов. – Новополоцк: изд. НПИ, 1989.

3.14. 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.

3.15. Лабораторный практикум по металлорежущим станкам / под ред. А. И. Кочергина. – Мн. : Выш. шк., 1986.

3.16. Руководство к лабораторным работам по курсу «Металлорежущие станки» / под общ. ред. П. Г. Петрухи. – М. : Высш. шк., 1973.

Учебное издание

ГОЛЕМБИЕВСКИЙ Анатолий Иосифович

СТАНОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
для студентов специальностей 1-36 01 01, 1-36 01 03

Редактор *М.В. Хартова*

Дизайн обложки *И.С. Васильевой*

Подписано в печать 09.10.06. Формат 60×84 1/16. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 17,6. Уч.-изд. л. 15,1. Тираж 155 экз. Заказ №

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