

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Н. Н. СЕРГЕЛЬ

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ

**Учебное пособие
для студентов инженерных специальностей
высших учебных заведений**

**В 2 частях
Часть 2**

**Допущено Министерством образования
Республики Беларусь в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений
по машиностроительным специальностям**

**Барановичи
РИО БарГУ
2009**

УДК 621.9.06 (075.8)

ББК 65.305.46

С32

А в т о р

Н. Н. Сергель

Р е ц е н з е н т ы:

В. И. Ходырев, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»

Белорусско-Российского университета;

М. И. Михайлов, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого

А. И. Кочергин, кандидат технических наук, профессор кафедры Белорусского национального технического университета

Сергель, Н. Н.

С32

Металлорежущие станки [Текст] : учеб. пособие для студентов инженер. специальностей высш. учеб. заведений : в 2 ч. / Н. Н. Сергель. — Барановичи : РИО БарГУ, 2009. — Ч. 2. — 257, [3] с. — экз.

ISBN 978-985-498-233-5 (Ч. 2)

ISBN 978-985-498-231-1

В пособии дается сжатое описание основного современного металлорежущего оборудования с учетом предполагаемых направлений его развития.

Освещены вопросы и темы, предусмотренные программой курсов, изучающих устройство, конструкцию и применение металлорежущих станков.

Книга предназначена для студентов машиностроительных специальностей университетов, может быть полезна конструкторам, технологам и эксплуатационникам оборудования машиностроительных предприятий.

УДК 621.9.06 (075.8)

ББК 65.305.46

ISBN 978-985-498-233-5 (Ч. 2)

ISBN 978-985-498-231-1

© Сергель Н. Н., 2009

© БарГУ, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

3 Устройство металлообрабатывающих станков и их эксплуатация . . .	4
3.6 Станки шлифовальной группы	4
3.7 Конструкции шлифовальных станков для выполнения специальных операций	34
3.8 Зубообрабатывающие станки	48
3.9 Станки фрезерной группы	107
3.10 Фрезерные станки с ЧПУ	132
3.11 Станки для электрофизических и электрохимических методов обработки	139
3.12 Строгальные и протяжные станки	172
4 Многооперационные станки	186
5 Гибкие производственные системы металлообработки	219
6 Агрегатные станки	231
7 Автоматические линии	260
Список использованных источников	276
Список Интернет-сайтов	278

УСТРОЙСТВО МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЯ

3.6 Станки шлифовальной группы

Общие сведения о шлифовальных станках. Шлифовальные станки — оборудование, использующее в качестве режущего инструмента абразивный или алмазный инструмент. Развитие шлифовальных станков в современном представлении долго сдерживалось отсутствием соответствующих абразивных материалов. Только в 1893 году появился первый искусственный абразив — электрокорунд. Применение шлифовальных станков определяется высокими требованиями к качеству поверхности, точности размеров, формы и положения обрабатываемых поверхностей и возможностью обработки труднообрабатываемых материалов. На шлифовальные станки, как правило, поступают заготовки, предварительно обработанные на других станках с оставлением небольшого припуска под шлифование. Величина припуска зависит от требований к шероховатости и точности обработки.

Вид и конструкция шлифовального станка определяется схемой шлифования, учитывающей форму обрабатываемой поверхности и ее расположение относительно рабочей поверхности шлифовального круга (станки для шлифования периферией или торцом круга) при обработке. Также учитывается направление движения подачи (продольно-шлифовальные и врезные шлифовальные станки), положение главного шпинделя (станки с горизонтальным или вертикальным шпинделями) и способ установки заготовки (центровые, патронные и бесцентровые станки, с магнитными плитами и зажимными спецприспособлениями).

Для всех шлифовальных станков характерна высокая производительность, которая определяется высокоскоростным режимом шлифования, позволяющим снимать большой объем материала в единицу времени (до $500 \text{ мм}^3 / \text{мин}$ на 1 мм ширины круга) и широкой автоматизацией цикла обработки. При силовом шлифовании величина удельного съема металла достигает $1\ 200 \dots 2\ 000 \text{ мм}^3 / \text{мин}$ на 1 мм ширины круга.

Достижимая размерная точность обработки при шлифовании, которую можно надежно обеспечивать, зависит от обрабатываемой

поверхности. Если это вал, то круглое наружное однократное, двукратное и бесцентровое шлифование обеспечивают в стандартных условиях обработки 5—6-й квалитет точности и шероховатость поверхности $Ra = 0,63 \dots 0,16$ мкм. Внутреннее шлифование, как более затруднительное и выполняемое с меньшими скоростями резания, позволяет получить 6—7-й квалитеты и шероховатость в пределах $Ra = 2,5 \dots 0,32$ мкм. В специальных условиях удается добиться значительно более высокого качества (шероховатость снижается, например, до 0,02 мкм).

Допуск отклонения формы, обеспечиваемый при шлифовании, составляет 0,1...0,3 мкм.

Эти результаты могут быть превышены при создании во время обработки особых условий.

Классификация шлифовальных станков. Основная классификация любых изделий, в том числе и станков, во-первых, должна проводиться по их основному эксплуатационному назначению. Главным параметром для шлифовальных станков является вид обрабатываемой поверхности, согласно которому они делятся на:

- 1) станки для обработки плоских поверхностей;
 - а) плоскошлифовальные (рис. 3.77, а, б);
 - б) торцешлифовальные (рис. 3.77, в);
 - в) продольношлифовальные (рис. 3.77, и);
- 2) станки для обработки цилиндрических поверхностей;
 - а) круглошлифовальные (центровые — рис. 3.77, д, е);
 - б) бесцентровошлифовальные (рис. 3.77, ж);
 - в) внутришлифовальные (рис. 3.77, з);

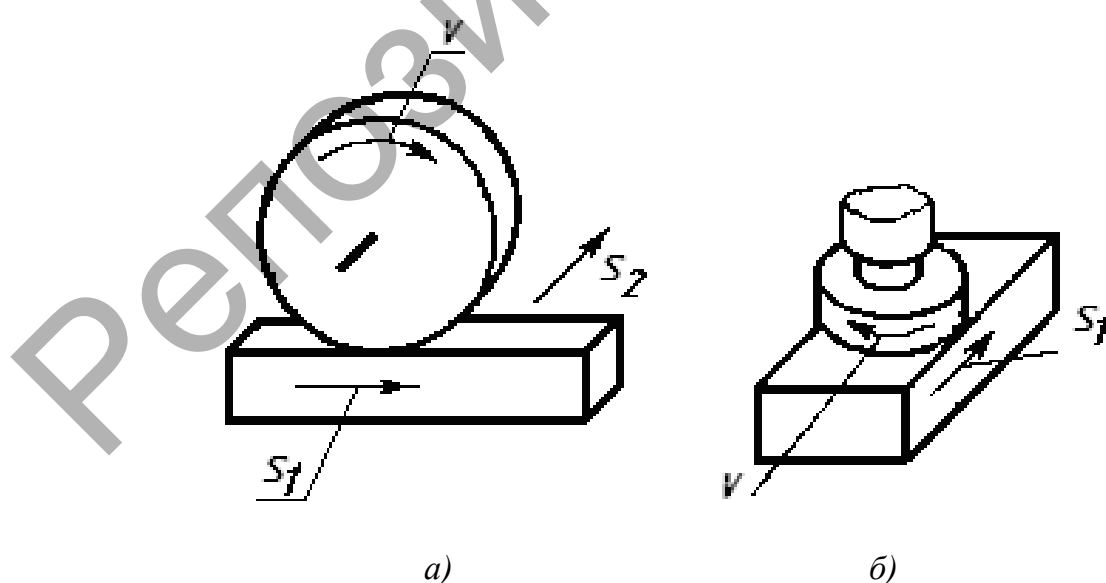


Рисунок 3.77 — Основные виды шлифования

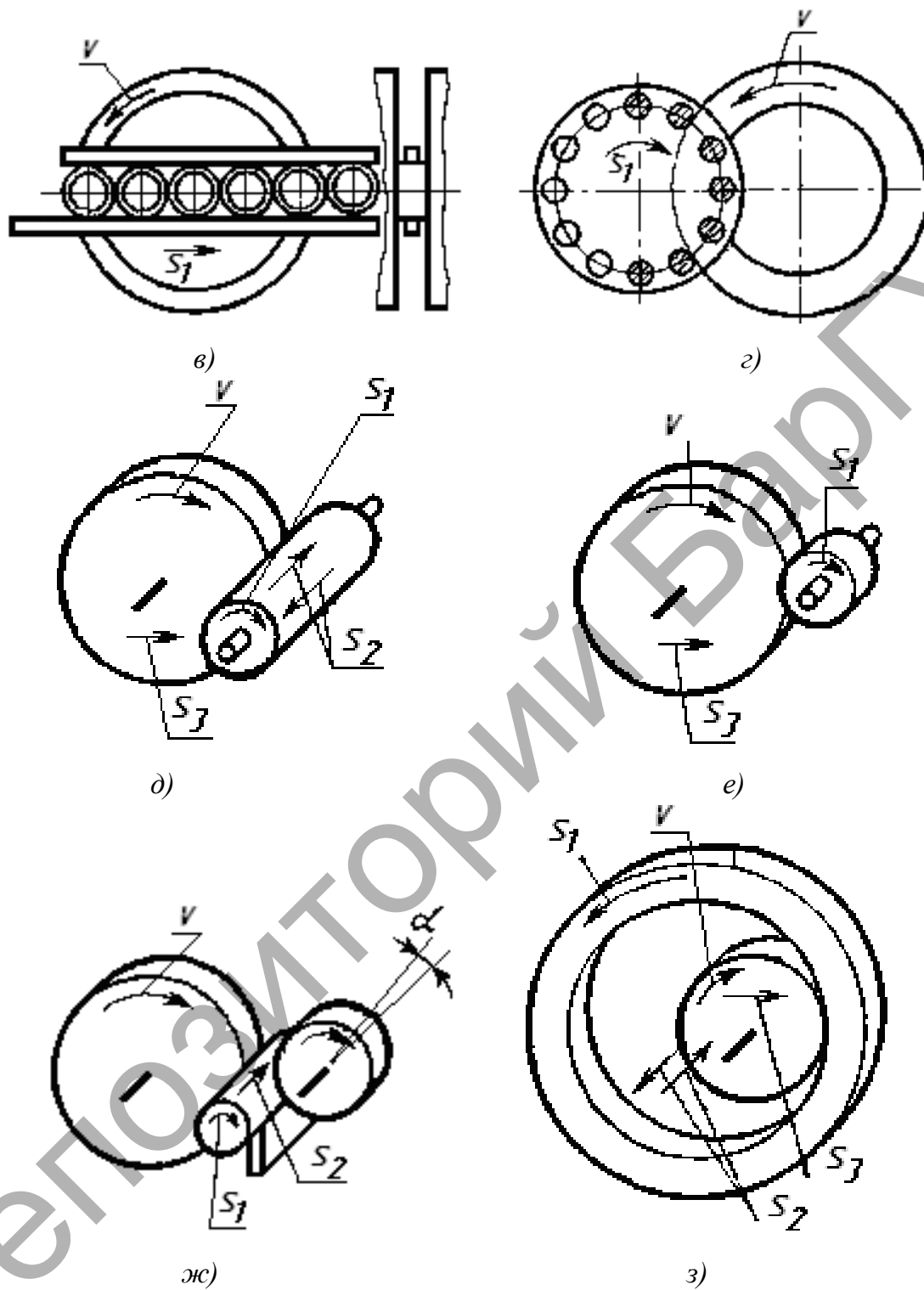


Рисунок 3.77 — Окончание

- 3) станки для обработки винтовых поверхностей (резьбошлифовальные);
 4) станки для обработки эвольвентных поверхностей (зубошлифовальные);
 5) станки для обработки фасонных поверхностей (профилешлифовальные).

По существовавшей в СССР классификации станки шлифовальной группы делятся на следующие *типы* (это деление применяется и сейчас для серийно выпущенных станков):

- 1) круглошлифовальные;
- 2) внутришлифовальные;
- 3) обдирочно-шлифовальные;
- 4) специализированные шлифовальные;
- 5) тип станков не предусмотрен;
- 6) заточные;
- 7) плоскошлифовальные с прямоугольным или круглым столом;
- 8) притирочные и полировальные;
- 9) разные станки, работающие абразивным инструментом.

По уровню автоматизации шлифовальные станки, как и другие, бывают неавтоматизированные и автоматизированные (полуавтоматические и автоматические). *По степени точности* — нормальной (Н, в обозначении не указывается), повышенной (в конце обозначения после третьей или четвертой цифры пишется буква П), высокой (В), особо высокой (А) и особо точные (С).

По уровню специализации шлифовальные станки можно классифицировать на:

- 1) простые — для шлифования цилиндрических деталей и конических с малой конусностью;
- 2) универсальные — для шлифования цилиндрических, конических с большой конусностью и других поверхностей тел вращения в центрах и в патроне, а также для внутреннего шлифования и обработки торцов. Универсальность достигается установкой поворотной шлифовальной и передней бабок, приспособления для внутреннего шлифования и подшлифовки торцов;
- 3) специализированные — для шлифования разнообразных изделий. В данную группу входят хонинговальные, полировальные, притирочные, суперфинишные, профилишлифовальные, зубошлифовальные, резьбошлифовальные станки.

Станки для круглого наружного шлифования предназначены для обдирочного и чистового шлифования гладких и прерывистых цилиндрических и торцовых поверхностей тел вращения. В станках используются шлифовальные и алмазные круги.

По способу базирования обрабатываемой детали данные станки делятся на следующие группы: 1) центровые (деталь базируется в центрах (рис. 3.77, а, б); 2) патронные (деталь базируется в патроне); 3) бесцентровые (деталь базируется по одной или нескольким обрабатываемым поверхностям). При бесцентровом шлифовании применяются схемы базирования на ведущем круге с опорным ножом (рис. 3.77, в).

Схема работы станка с продольной подачей. В этом заготовку устанавливают в центрах или закрепляют в патроне. При продольной

подаче обязательны следующие движения (см. рис. 3.77, а, в, г):

- 1) вращение шлифовального круга — главное движение резания v ;
- 2) вращение заготовки вокруг своей оси — движение круговой подачи s_1 ;
- 3) прямолинейное возвратно-поступательное движение s_2 (заготовки или шлифовального круга);
- 4) движение поперечной подачи s_3 (шлифовального круга на заготовку или заготовки на шлифовальный круг) — поперечная подача или подача на глубину резания. При бесцентровом шлифовании поперечная подача отсутствует — припуск снимается за один проход.

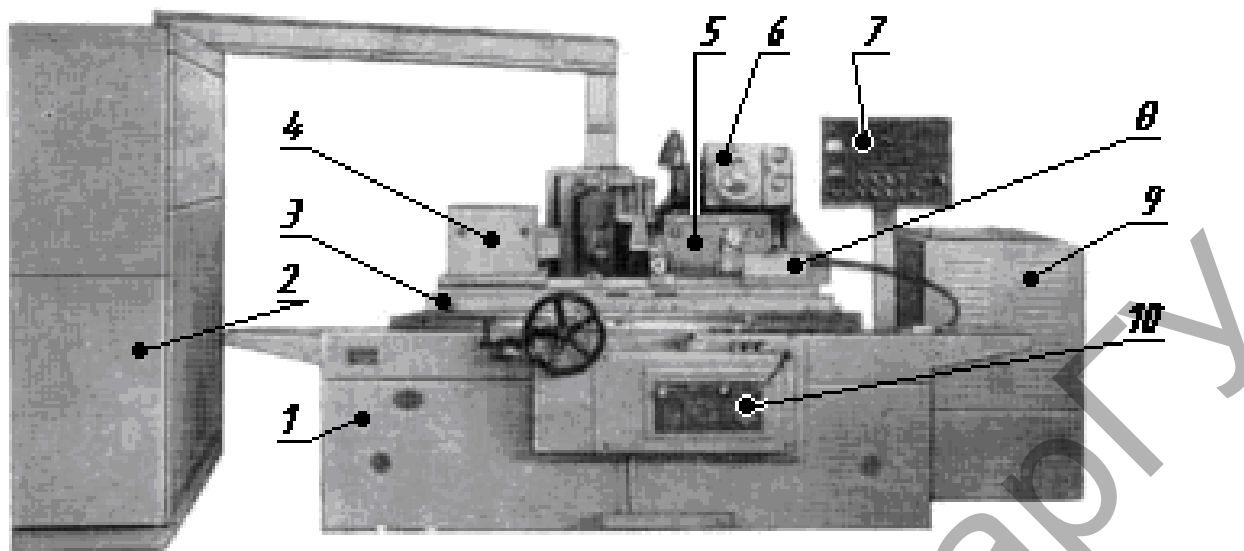
При шлифовании с продольной подачей поперечная подача осуществляется периодически в конце каждого двойного или одинарного хода стола. Данная схема позволяет получить обработанную поверхность более высокой точности по продольному профилю, но при этом края абразивного круга быстрее изнашиваются, что требует дополнительной правки круга, а это снижает производительность труда.

Схема работы станка методом врезания. При круглом врезном наружном шлифовании (см. рис. 3.77, б) высота круга должна равняться длине заготовки или быть несколько больше ее, тогда нет необходимости в продольной подаче. В отличие от шлифования с продольной подачей (см. рис. 3.77, а) при врезном шлифовании поперечная подача производится непрерывно в течение всего шлифования. Таким образом, для наружного врезного шлифования нужны следующие движения: 1) вращение шлифовального круга v ; 2) вращение шлифуемой заготовки s_1 вокруг своей оси; 3) непрерывное движение подачи шлифовального круга s_3 .

Данный метод обработки при более высокой производительности не обеспечивает того уровня точности продольного профиля, как метод шлифования с продольной подачей, но он более производителен и незаменим при фасонном шлифовании.

Круглошлифовальные станки. Компоновки круглошлифовальных станков весьма разнообразны и зависят от метода шлифования, способа базирования и назначения станка. Наиболее распространена компоновка круглошлифовального центрового станка, показанная на рисунке 3.78. *Основные узлы станка:* станина 1 с продольными направляющими для стола 3 и поперечными направляющими для шлифовальной бабки 5. Внутри станины размещается гидроцилиндр, обеспечивающий возвратно-поступательное движение стола. Ход регулируется переставными упорами. Шлифовальная бабка несет шпиндель со шлифовальным кругом. Шлифовальные станки имеют устройство для правки шлифовального круга, не показанное на рисунке. В некоторых станках шлифовальная бабка может разворачиваться относительно вертикальной оси.

На столе размещаются передняя бабка изделия 4 и задняя бабка 8. В некоторых моделях станка передняя бабка может поворачиваться на столе



1 — станина; 2 — электрошкаф; 3 — стол; 4 — бабка изделия; 5 — шлифовальная бабка;
6 — маховик ручной поперечной подачи; 7 — пульт управления; 8 — задняя бабка;
9 — гидростанция; 10 — гидропанель управления

Рисунок 3.78 — Круглошлифовальный полуавтомат модели 3М151П

относительно вертикальной оси, чем достигается обработка коротких конусов на деталях, закрепленных в патроне. Переставная задняя бабка имеет неподвижный центр, который поджимается к детали силой пружины. На лицевой стороне станины расположена панель управления работой станка.

Станок предназначен для шлифования наружных цилиндрических и торцовых поверхностей, а также пологих конусов на деталях типа валов и может работать с прибором активного контроля. На станке можно вести как продольное, так и врезное шлифование.

Техническая характеристика круглошлифовального полуавтомата модели 3М151П:

- наибольший диаметр обрабатываемой заготовки — 200 мм;
- наибольшая длина обрабатываемой заготовки — 700 мм;
- наибольший диаметр шлифовального круга — 600 мм.

Шлифовальная бабка круглошлифовального станка модели 3М151П, являющегося типовым в данной группе станков, представляет собой корпус жесткой конструкции, в котором смонтирован шпиндель шлифовального круга. Корпус шлифовальной бабки перемещается, обеспечивая подачу шлифовального круга по комбинированным направляющим (плоская и призматическая), выполненным в подобных станках чаще в виде направляющих качения или гидростатических, чем скольжения. Ручная подача шлифовальной бабки производится маховиком 6 (см. рис. 3.78),

быстрый подвод-отвод — гидроцилиндром. Шлифовальная бабка (рис. 3.79) данного станка перемещается по роликовым направляющим 1. Опоры шпинделя 2 — гидродинамические. Вкладыши 3, поворачиваясь на сферических концах винтов 4, образуют масляный клин, обладающий высокой жесткостью. Винты 4 стопорятся гайками 5. Осевой опорой шпинделя служит подпятник скольжения, образованный комплектом сферических шайб 6, охватывающих бурт шпинделя. Зазор в подпятнике регулируют гайкой 7. Уплотнение представляет собой неподвижное кольцо 8, охватывающее шпиндель и прижатое пружинами 9 к фланцу (например, 10). Вращение кругу сообщается с помощью клиноременной передачи от асинхронного электродвигателя.

Круг оборудован устройством балансировки. Кроме того, на шлифовальной бабке установлено устройство для правки шлифовального круга.

Схема гидравлического привода стола. Круглошлифовальные станки с базированием детали в патроне или в центрах имеют столы различной конструкции. У круглошлифовального центрального станка на продольных направляющих станины установлен нижний стол 1 (рис. 3.80), который несет на себе поворотный верхний стол 3. При шлифовании конусов верхний стол может быть повернут на небольшой угол с помощью

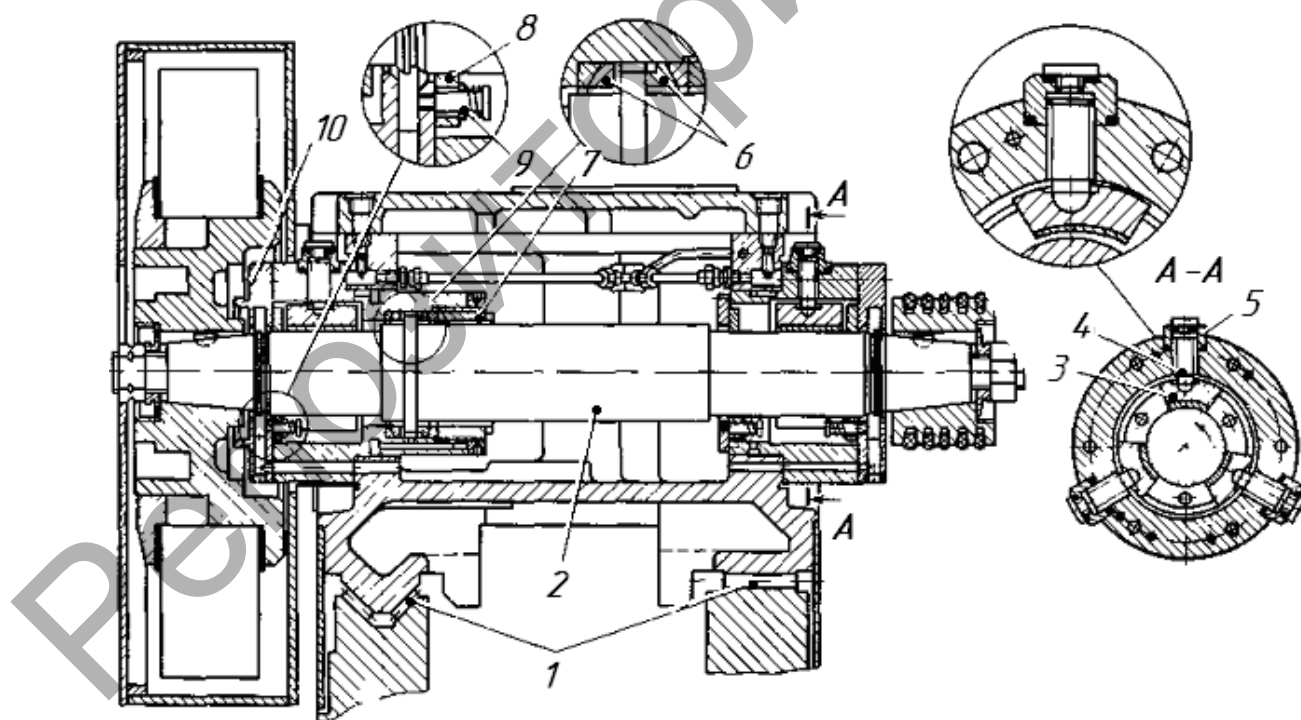


Рисунок 3.79 — Шлифовальная бабка станка 3М151П

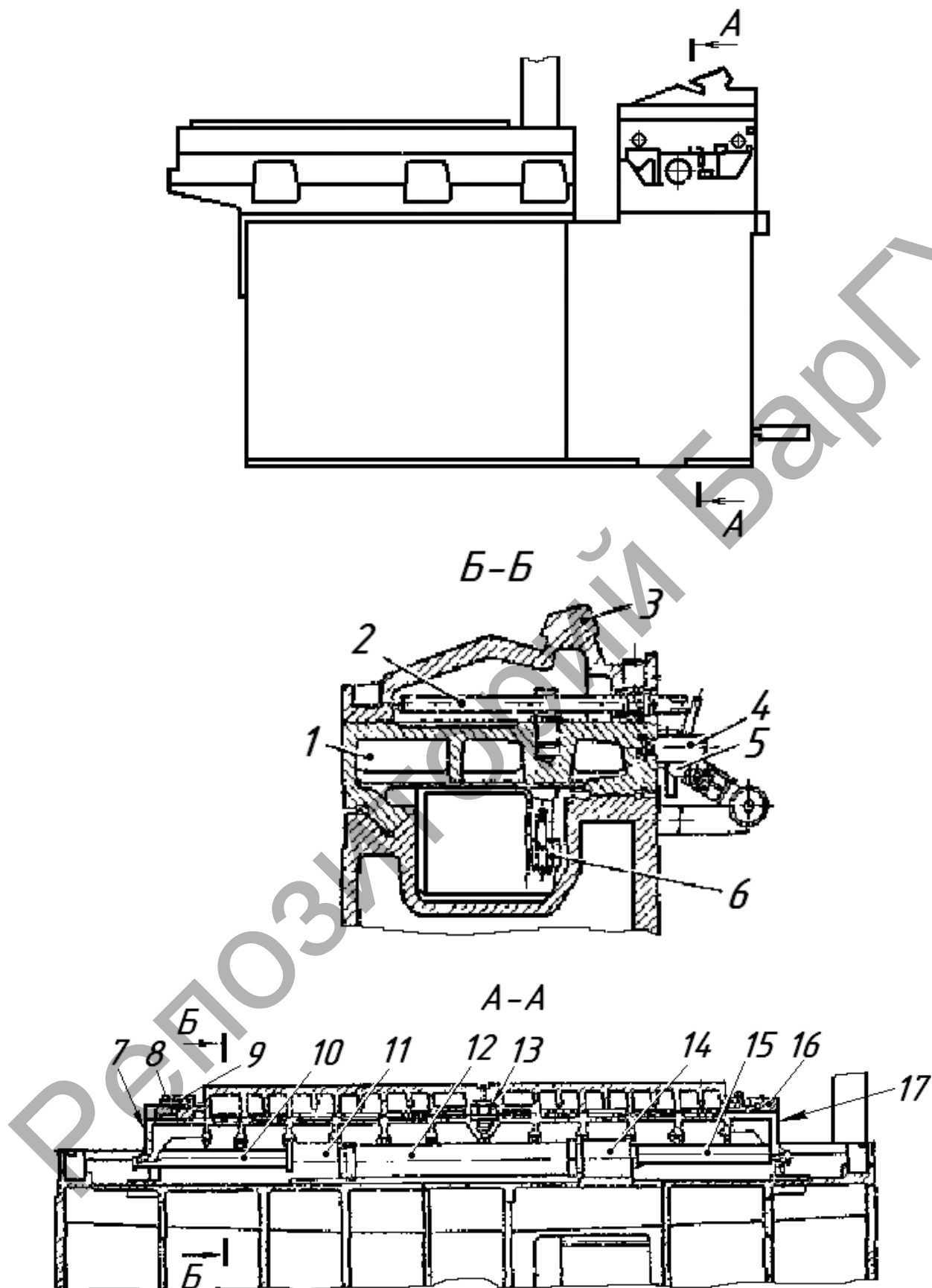


Рисунок 3.80 — Стол круглошлифовального станка модели 3М151П

винта 2 вокруг шарикоподшипника 13. У некоторых станков этот поворот может быть довольно существенным (например, у станка модели 3Э110М он может составлять до $\pm 10^\circ$). Верхний стол закрепляется в нужном положении прижимами 9 и 16. Левый прижим снабжен шкалой и индикаторным устройством 8 для отсчета угла поворота верхнего стола и конусности детали.

Ручное продольное перемещение нижнего стола по направляющим станины производится вращением маховика 33 (рис. 3.81) специального механизма, шестерня которого 11 находится в зацеплении с рейкой (см. рис. 3.80), закрепленной на нижнем столе.

Для гидравлического перемещения стола предусмотрен цилиндр 12, крышки 11 и 14 которого закреплены на станине станка. Концы 10 и 15 двустороннего штока поршня этого цилиндра связаны с нижним столом кронштейнами 7 и 17. В Т-образном обращенном к рабочему пазу нижнего стола закреплены упоры, положение которых определяет длину хода стола при автоматическом реверсе. На передней стенке станины закреплен откидывающийся индикаторный упор 5, на который действует закрепленный в Т-образном пазу упор 4, что позволяет отсчитывать тонкие продольные перемещения нижнего стола.

Приведенная на рисунке 3.80 конструкция стола применяется в основном на станках универсального назначения для шлифования напроход и осевого фиксирования при врезном шлифовании.

Кинематическая схема станка модели 3М151П. Привод шлифовального круга состоит из асинхронного электродвигателя 14 (см. рис. 3.81) и клиноременной передачи 21-22. Привод движения круговой подачи изделия состоит из двигателя 45 постоянного тока и двух клиноременных передач 46-44 и 42-47. Ремни второй передачи натягивают путем удаления оси вала VI от оси 8 за счет эксцентричного расположения первой оси во втулке с червячным венцом 43. Особенность центровых круглошлифовальных станков — неподвижность шпинделя передней бабки с передним центром. Вращение заготовке передается через планшайбу и поводок 7. Это повышает точность обработки, так как исключается биение шпинделя.

Привод продольной подачи 12 (рис. 3.80) может быть гидравлическим — от цилиндра 30 (см. рис. 3.81) и ручным — от маховика 33. Гидропривод и ручной привод соединены так, что не могут действовать одновременно: при включении гидропривода давление в цилиндре 39 выключает муфту 37 и разрывает связь реечного колеса 11 с механизмом ручного привода. Осевым перемещением на себя маховика 33 вместе с валом X рабочий может изменить скорость ручного перемещения (за один оборот маховика) более чем в 6,5 раза (включается передача 31-34). Реверс стола производится переключением золотника от упоров стола или через специальную рукоятку с пальцем реверса.

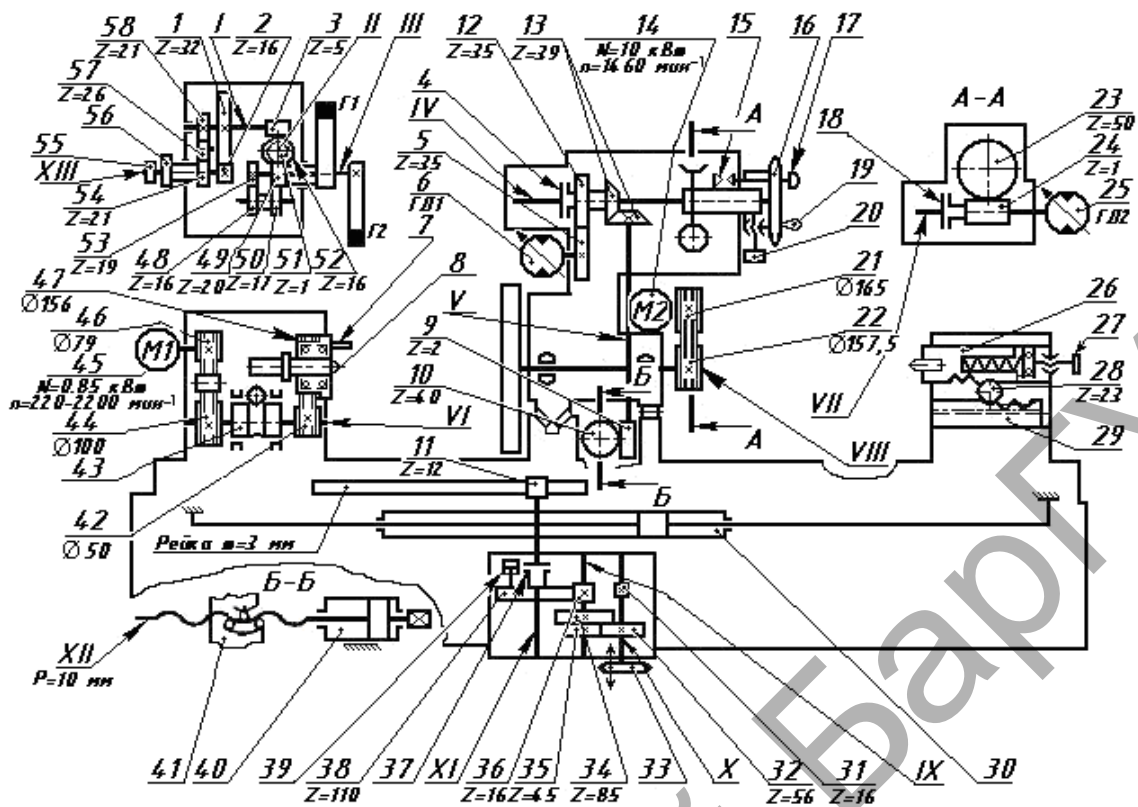


Рисунок 3.81 — Кинематическая схема круглошлифовального полуавтомата модели 3М151П

Привод поперечного перемещения шлифовальной бабки имеет четыре источника движения. Гидродвигатель 6 является источником быстрого установочного перемещения. От него через зубчатую передачу 5-12 крутящий момент передается блоку цилиндрического и конического колес на валу IV (муфта 4 выключена) и далее на вертикальный вал V, через червячную передачу 9-10 гайке 41 шариковой винтовой пары XII (сечение Б-Б) с шагом $P = 10$ мм. Ходовой винт не может вращаться. С помощью гидроцилиндра 40 он удерживается в осевом направлении. Ходовая гайка вращается и вместе со шлифовальной бабкой перемещается поступательно. Цилиндр 40 служит для быстрого отвода и подвода бабки. Ручное перемещение от маховика 19 передается на блок колес 13-12 через муфту 4 и далее по цепи. Гидродвигатель 25 связан с маховиком (а через него с ходовой гайкой) муфтой 18, червячной передачей 24-23 и фрикционным соединением с помощью винта 20 (маховик зажимают на втулке — ступице червячного колеса).

Если утопить кнопку 17, то связанный с ней стержень при повороте маховика упрется в упор 15, ограничив поперечное перемещение бабки. Это позволяет наладить станок на шлифование партии заготовок до упора. Периодическая микроподача шлифовальной бабки производится от храпового механизма.

Пиноль 26 задней бабки под действием пружины зажимает заготовку в центрах. Сжатие пружины и, следовательно, усилие зажима регулируются рукояткой 27. Отводят пиноль с помощью зубчатой рейки, выполненной на корпусе пиноли. Реечное колесо 28 можно поворачивать рукояткой (не показанной на схеме) или, нажимая на педаль, расположенную внизу станины 6 (см. рис. 3.78), от гидросистемы плунжером-рейкой 29.

Механизм для балансировки шлифовального круга закреплен на его фланце. Ось рукояток XIII и ось поворота грузов Г1 и Г2 являются продолжением оси шлифовального шпинделя. От углового положения грузов Г1 и Г2 зависит положение общего центра вращающихся масс (круга с фланцами и механизма балансировки с грузами). Если при вращении круга взяться рукой за рукоятку 55 и удерживать ее от вращения, то зубчатые колеса, обкатываясь вместе с корпусом вокруг колеса 2 на оси XIII, получают вращение вокруг своих осей (это равноценно вращению рукоятки при неподвижном корпусе механизма).

Вслед за цилиндрической передачей 2-1 и двумя червячными передачами 3-52 и 51-49 начнет поворачиваться относительно круга груз Г1. Вместе с ним в ту же сторону, но немного медленнее, через передачи 49-50 и 48-53 будет поворачиваться груз Г2. В результате будет меняться угол между грузами и положение биссектрисы этого угла относительно неуравновешенной массы. Соответственно общий дисбаланс будет увеличиваться или уменьшаться. По электронному индикатору, показывающему размах колебаний шлифовальной бабки, определяют

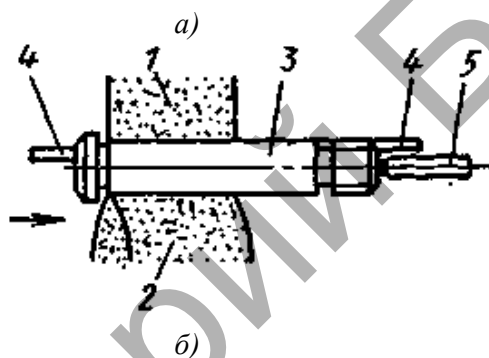
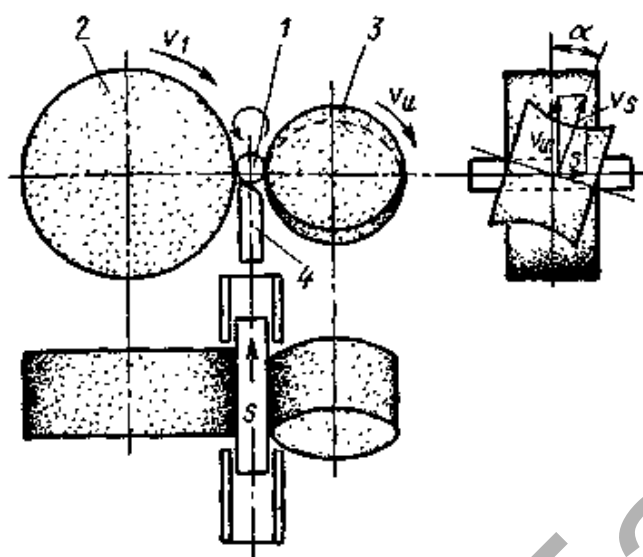
момент наилучшей уравновешенности и отпускают рукоятку 55. Если этот момент упущен и необходимо вернуть грузы обратно, для чего опускают рукоятку 55 и останавливают рукоятку 56. Благодаря паразитному колесу 57 направление движения грузов изменятся. Груз Г1 делает один (дополнительный) оборот за 128 оборотов шлифовального круга. На практике часто качество балансировки при отсутствии электронного индикатора, определяют по вибрации станка на ощупь (органолептически).

Схема работы на бесцентрово-шлифовальном станке. Бесцентрово-шлифовальные станки появились (правда, не в современном виде) в 1916 году и с 20-х годов получили более широкое распространение. Предназначены для высокопроизводительного шлифования поверхностей типа тел вращения малого диаметра и большой длины, а также деталей, не имеющих центровых отверстий.

Резание при бесцентровом шлифовании выполняется шлифовальным кругом так же, как на обычных центровых или патронных круглошлифовальных станках. Особенность этого процесса определяется спецификой закрепления и движения подачи шлифуемой заготовки. Для бесцентрового наружного шлифования (см. рис. 3.77, в) нужны следующие движения: вращение шлифовального круга γ , вращение заготовки s_1 , в которое она приводится ведущим кругом, и продольная подача заготовки s_2 , для получения которой ведущий круг устанавливают под небольшим углом α к оси шлифовального круга. Движение s_3 поперечной подачи отсутствует, но оно компенсируется формой шлифовального круга. Как сказано выше, при бесцентровом шлифовании весь припуск снимается за один проход.

Схема обработки на бесцентрово-шлифовальных станках зависит от одного из *трех способов шлифования*: 1) шлифование на проход (рис. 3.82, а); 2) шлифование до упора (рис. 3.82, б); 3) врезное шлифование (рис. 3.82, в). При бесцентровом шлифовании обрабатываемая деталь 1 (рис. 3.82, а) устанавливается на опорный нож 4 между шлифовальным 2 и ведущим 3 кругами. Шлифовальный круг вращается со скоростью $v_k = 30—60$ м / с, а ведущий — со скоростью $v_b = 10—40$ м / мин. Так как коэффициент трения между ведущим кругом 3 и деталью больше, чем между деталью и шлифовальным кругом 2, то ведущий круг сообщает детали вращение со скоростью круговой подачи v_b . Перемещение заготовки вдоль периферии круга 2 осуществляется в результате поворота ведущего круга 3 на угол α до 9° или за счет наклона опорного ножа 4. Чтобы при наклоне оси обеспечить линейный контакт ведущего круга с цилиндрической поверхностью детали, ведущему кругу в процессе правки придают форму гиперboloида. Такая форма придана только ведущему кругу, так как только он наклонен относительно оси детали.

При врезном шлифовании (см. рис. 3.82, в) ведущий круг сообщает детали только вращательное движение. Ось ведущего круга устанавливают горизонтально или под небольшим углом ($\alpha = 30'$), чтобы в



a — шлифование на проход; *б* — в упор; *в* — врезанием
 Рисунок 3.82 — Схема бесцентрового шлифования

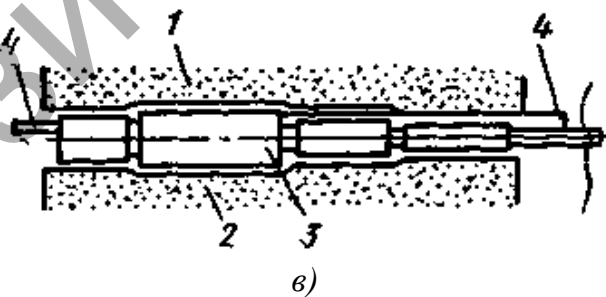


Рисунок 3.82 — Окончание

процессе шлифования создать поджим к неподвижному упору 4. В этом случае ведущему кругу придается при правке цилиндрическая форма. Для снятия всего припуска нужна поперечная подача, которая в зависимости от конструкции станка может осуществляться разными способами:

- за счет перемещения ведущего круга и опорного ножа относительно неподвижной шлифовальной бабки;

- перемещением шлифовальной бабки и опорного ножа относительно неподвижного ведущего круга;

- перемещением шлифовального и ведущего кругов относительно неподвижного опорного ножа.

Бесцентровым врезным шлифованием обрабатывают детали с цилиндрической, конической, сферической и фасонной поверхностями, ступенчатые валики, детали с разобленными поверхностями. Данный метод очень легко поддается автоматизации в массовом и крупносерийном производствах.

Компоновка бесцентровошлифовального станка модели 3М184.

Наиболее существенным компоновочным отличием станков с бесцентровым базированием детали является способ установки опорного ножа — на станине или на салазках ведущей бабки. В последнем случае нож может перемещаться относительно оси ведущего круга и вместе с ним, а бабка шлифовального круга закреплена неподвижно относительно станины. Станки с неподвижным ножом обеспечивают сохранение постоянства оси детали независимо от износа кругов, что облегчает настройку станков в автоматические линии. В этом случае не надо подналадки транспортных устройств по мере износа кругов, но конструкция станков усложняется, так как вводятся механизмы, обеспечивающие перемещение обеих бабок, понижается жесткость шлифовальной бабки и всей системы.

Компоновка станка представлена на рисунке 3.83. На станине 1 неподвижно установлена бабка 2, несущая шпиндель со шлифовальным кругом 11.

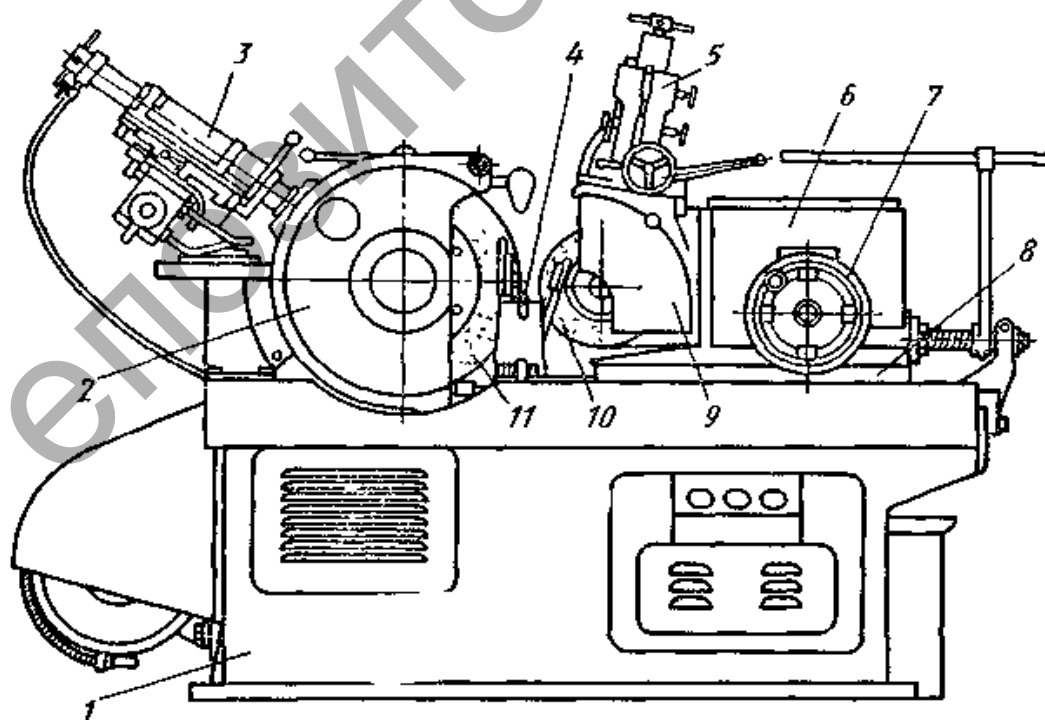


Рисунок 3.83 — Бесцентровый круглошлифовальный станок

Справа в продольных направляющих станины размещена плита 8, на которой установлена бабка 6 с поворотной головкой 9 и ведущим кругом 10. На станине закреплена направляющая призма (нож) 4, являющаяся опорой для детали. Установка бабки 6 ведущего круга на размер обрабатываемой детали и компенсация износа круга производятся перемещением бабки по направляющим станины вместе с плитой 8 с помощью маховичка 7 и винтовой передачи. Механизмы привода смонтированы внутри станины. Вращение кругам сообщают электродвигатели, расположенные снизу на станине. Для периодической правки шлифующего и ведущего кругов алмазными карандашами служат специальные устройства 3 и 5.

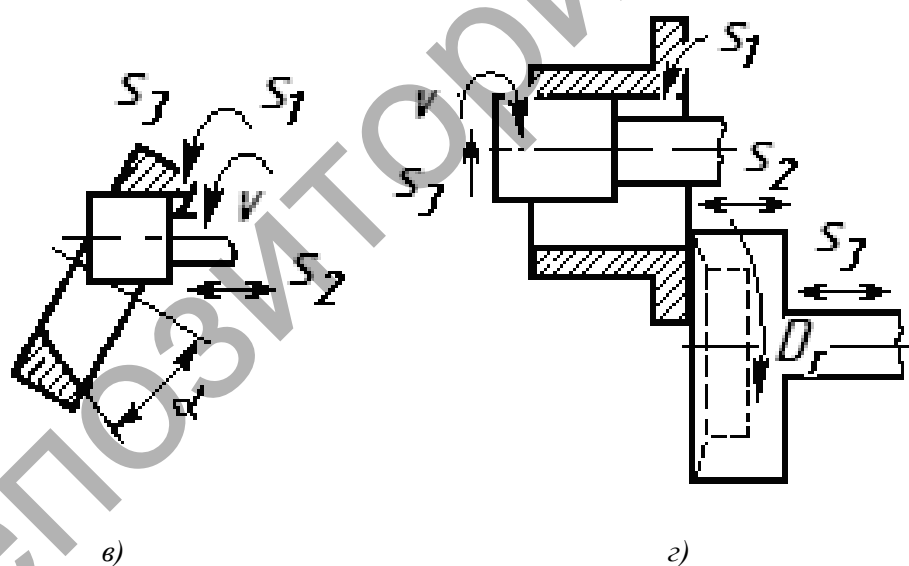
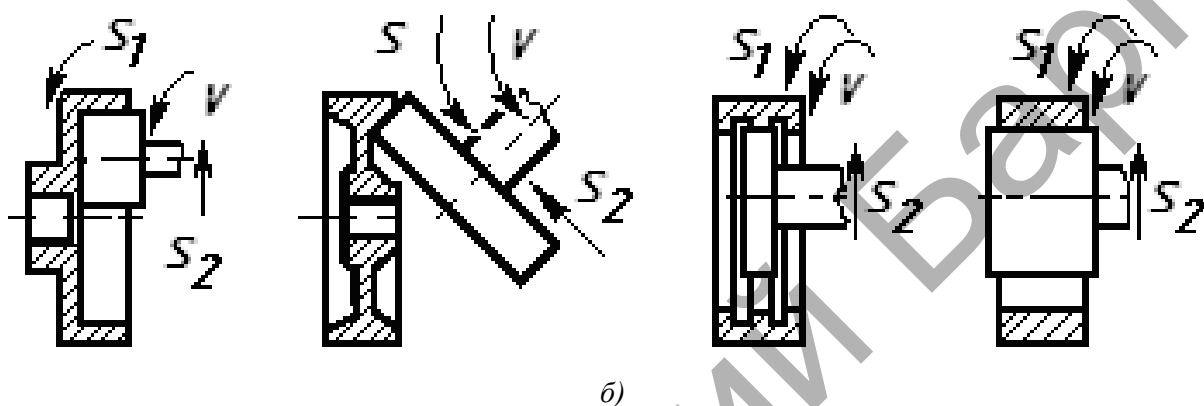
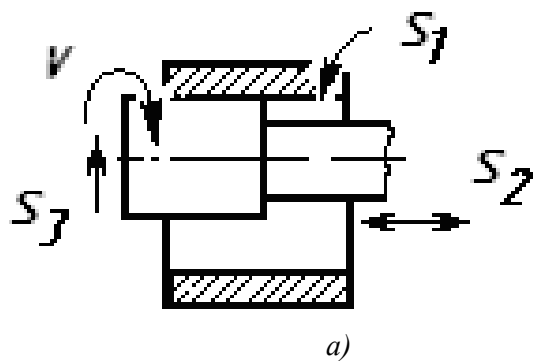
Схема круглого внутреннего шлифования с продольной подачей для данного способа шлифования нужны те же движения, что и при круглом наружном шлифовании с продольной подачей: вращение шлифовального круга v , продольная подача s_2 заготовки или круга, поперечная подача s_3 шлифовального круга. Возможны также внутреннее врезное (рис. 3.84, б) и внутреннее бесцентровое (см. рис. 3.84, д, е) шлифование. Основная техническая трудность внутреннего шлифования — малый диаметр обрабатываемого отверстия и, как результат, малый диаметр шлифовального круга и низкие скорости резания.

Станки для круглого внутреннего шлифования предназначены для шлифования отверстий методами продольной и поперечной подачи.

Наибольшее распространение получили патронные станки, у которых главным движением является вращение шлифовального круга, а заготовка закрепляется в трехкулачковом самоцентрирующем патроне (см. рис. 3.84, а — з). Круговая подача обеспечивается вращением заготовки, а продольная и поперечная подачи — перемещением шлифовального шпинделя или бабки изделия.

Схема планетарного шлифования, применяемого для обработки заготовок, которым невозможно таким образом сообщить движение круговой подачи s_1 , реализована в станках, имеющих особый характер движения шпинделя. Станки для планетарного шлифования применяются для обработки негабаритных деталей, которые невозможно закрепить в патроне из-за их большой массы или неправильной формы. Деталь устанавливается на столе 3 (рис. 3.85), а шлифовальный шпиндель 2 совершает вращательное движение вокруг своей оси и оси обрабатываемого отверстия детали (см. рис. 3.84, ж).

Установка и крепление заготовок на внутришлифовальных станках. Станки для внутреннего шлифования могут быть патронными, бесцентровыми и планетарными. В первом случае деталь базируется в патронах разных конструкций, цангах, зажимных оправках, а во втором — на роликах (рис. 3.86) или башмаках. На планетарных внутришлифовальных станках обрабатывают крупные детали, закрепленные с помощью прихватов неподвижно на столе. Возможно применение вместо патрона специального зажимного приспособления, закрепляемого на шпинделе бабки изделия.



а — шлифование цилиндрического открытого отверстия с подачей s_2 вдоль образующей; б — шлифование отверстия или отверстия и торца одновременно (подача s_2 отсутствует); в — шлифование конического открытого отверстия с подачей s_2 ; г — шлифование отверстия и торца двумя различными кругами; д — бесцентровое шлифование на башмаках; е — бесцентровое шлифование на роликах; ж — планетарное шлифование

Рисунок 3.84 — Схемы внутреннего шлифования

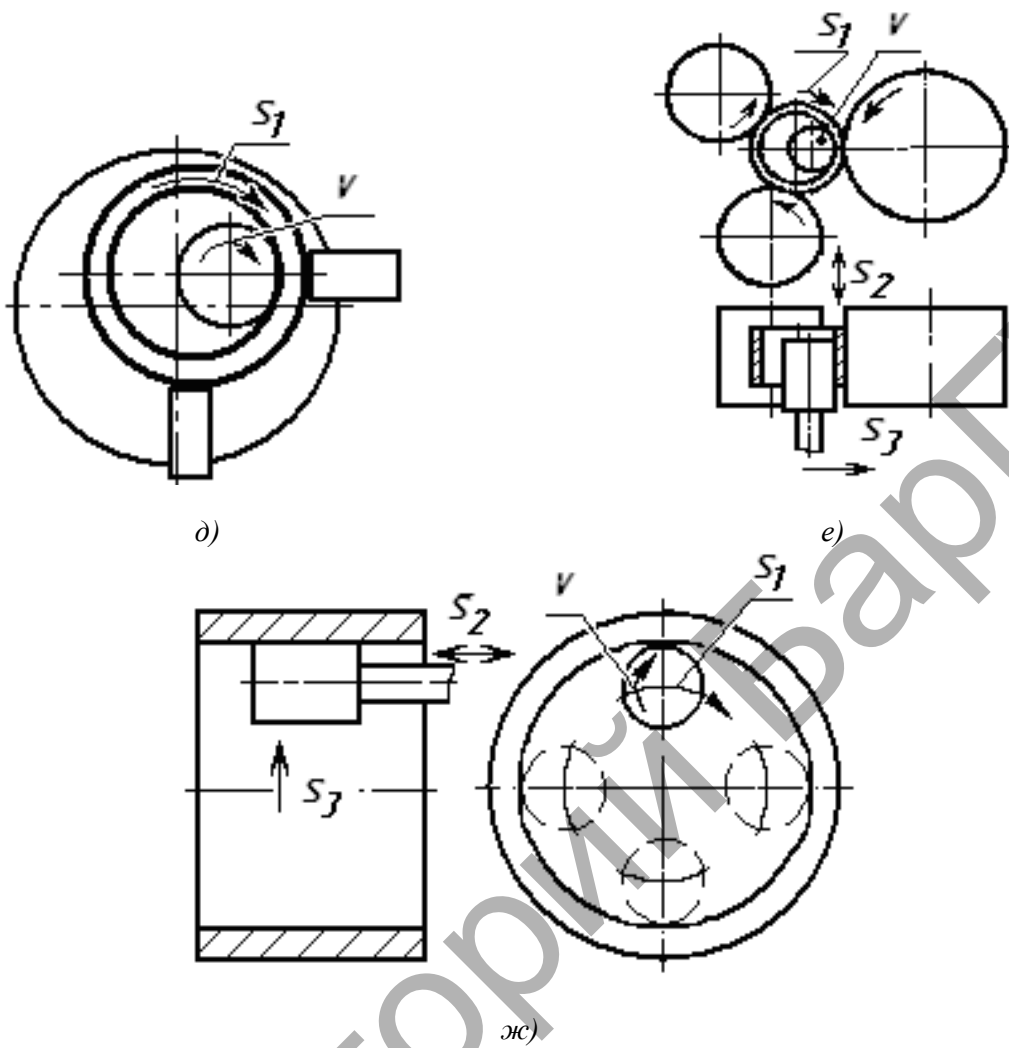


Рисунок 3.84 — Окончание

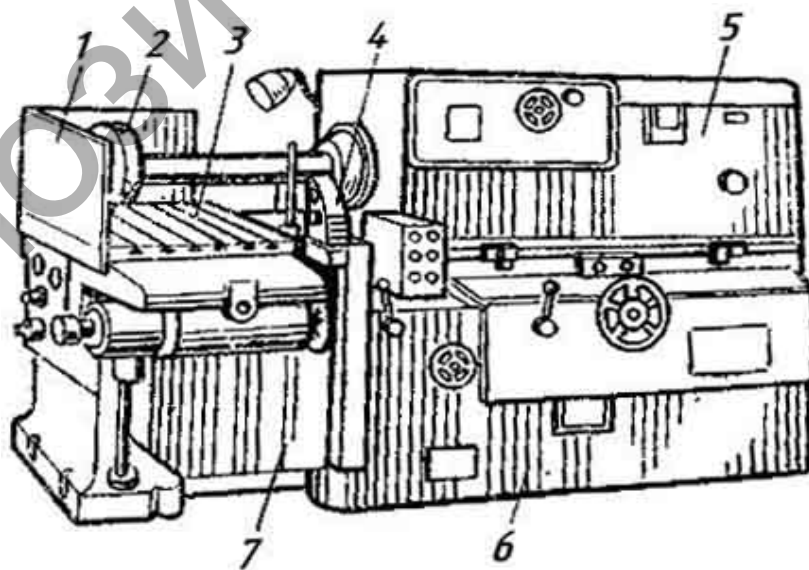


Рисунок 3.85 — Общий вид планетарного внутришлифовального станка модели MB6020

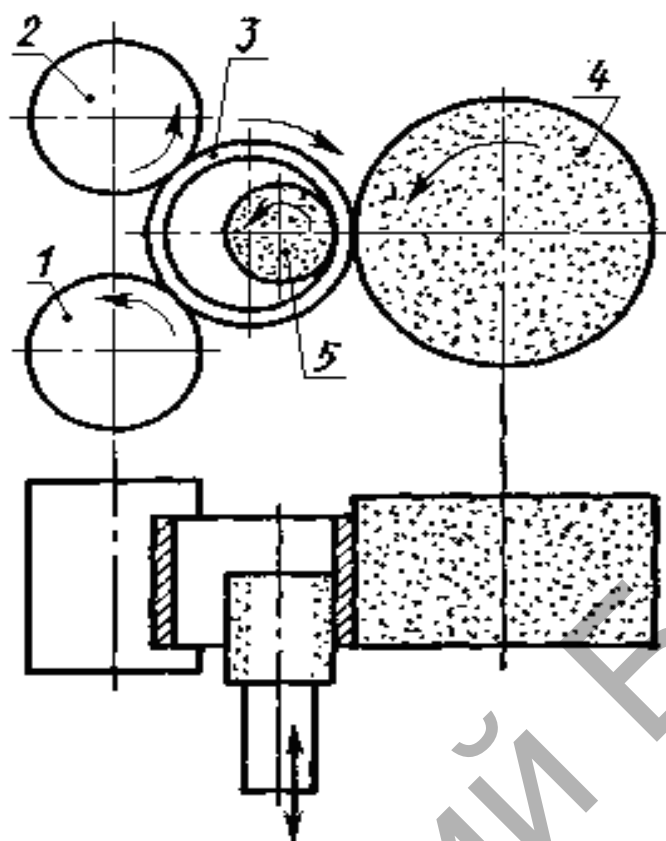


Рисунок 3.86 — Схема внутреннего бесцентрового шлифования

Бесцентровое внутреннее шлифование. На станках для внутреннего бесцентрового шлифования (см. рис. 3.86) деталь 3, находясь в контакте с ведущим кругом 4, обрабатывается шлифующим кругом 5. Такие станки пригодны только для обработки деталей, у которых уже точно обработана наружная поверхность.

Наибольшее применение бесцентрово-шлифовальные станки для внутреннего шлифования находят в подшипниковой промышленности для обработки колец подшипников.

Компоновка станка модели 3К227В гаммы 3К Саратовского станкостроительного завода имеет традиционную схему. На рисунке 3.87 представлен общий вид станка. На верхней плоскости станины 8 установлен мост 1 с бабкой изделия 2, которая может поворачиваться вокруг вертикальной оси, на корпусе бабки установлено торцешлифовальное устройство 3. Стол 7 со шлифовальной бабкой 4 перемещается возвратно-поступательно от гидроцилиндра по направляющим качения вдоль станины. Слева от станка расположен бак 9 для СОЖ с электронасосом и магнитным сепаратором, сзади — насосная станция, электрошкаф 6 с аппаратурой и пульт управления 5.

Кинематическая схема станка модели 3К227В (рис. 3.88) обеспечивает следующие *параметры его работы*:

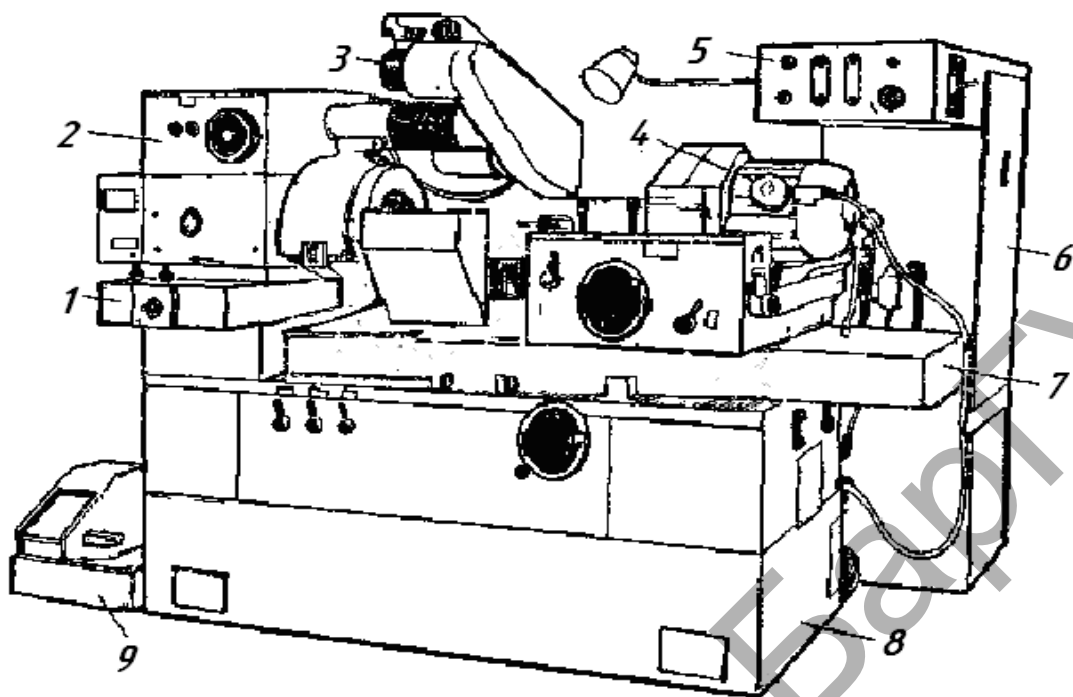


Рисунок 3.87 — Общий вид универсального внутришлифовального станка модели 3К227В

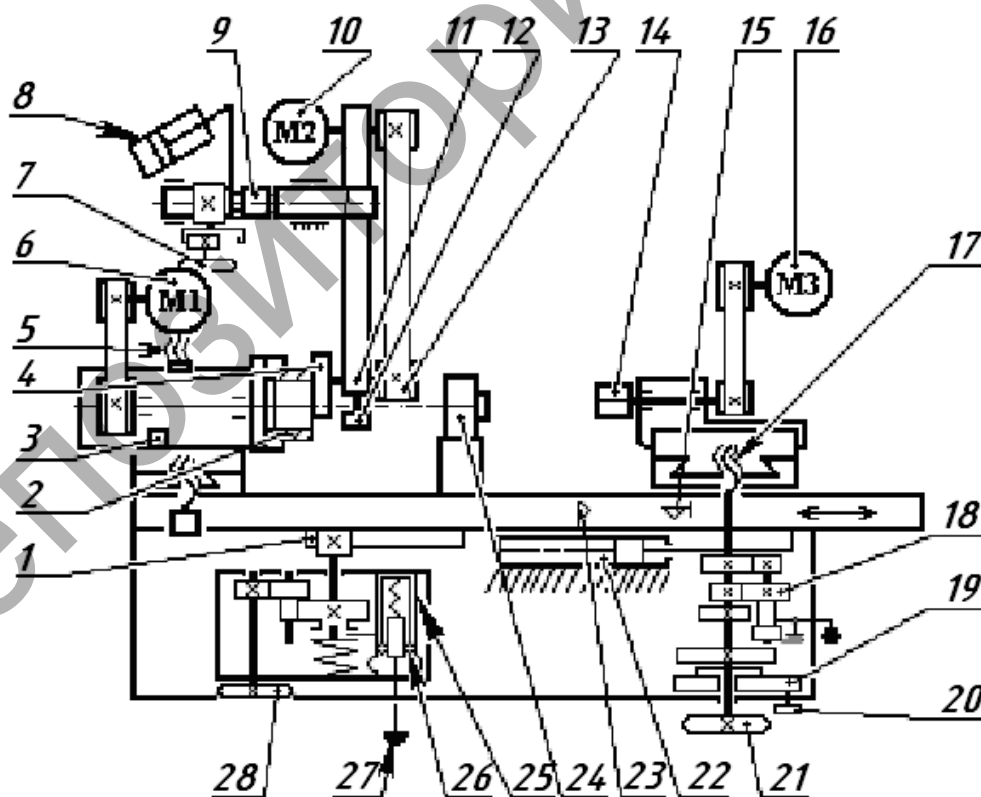


Рисунок 3.88 — Кинематическая схема универсального внутришлифовального станка модели 3К227В

- диаметр шлифуемого отверстия — 20...100 мм;
- наибольшая длина шлифования — 125 мм;
- скорость шлифования — 20...35 м / с;
- частота вращения шлифовального круга — 9 000...24 000 мин⁻¹;
- мощность привода шлифовального круга — 4,0 кВт;
- частота вращения изделия — 140...1 000 мин⁻¹.

Привод шлифовального круга осуществляется через плоскоремennую передачу (которая может обеспечить скорость до 100 м / с) от асинхронного электродвигателя 16. Для привода шлифовального круга 4 торцешлифовального устройства использован асинхронный электродвигатель 10. Хобот с торцешлифовальным шпинделем поворачивается гидроцилиндром 8. Продольное возвратно-поступательное перемещение стола выполняется от гидроцилиндра 22. Ручное перемещение стола производится вращением маховичка 28. Через ряд зубчатых передач движение передается на реечное зубчатое колесо и рейку 1. Которое при включении гидравлической системы автоматически с помощью гидроцилиндра выводится из зацепления с рейкой.

Шлифуемая заготовка 2 вращается электродвигателем 6 постоянного тока с помощью плоскоремennой передачи. Частоту вращения заготовки изменяют бесступенчато. Винт 5 служит для натяжения ремня. Поворот бабки изделия происходит с помощью червячной и цепной передач 3.

Продольное перемещение торцешлифовального устройства сообщается маховиком 7 через зубчатые колеса на круговую рейку 9. Тонкую (малую) подачу круга 4 на врезание осуществляют вращением маховичка 12 через передачу 13 и резьбовую пару 11. Для точной продольной подачи при шлифовании внутреннего торца заготовки предусмотрен торцовый упор. Откидной упор 15, закрепленный на столе станка, прижимается действием гидроцилиндра 22 к переключателю 23, расположенному на станине. Поворотом рукоятки переключателя 23 включается продольная подача стола и шлифовального круга. Поперечная подача бабки шлифовального круга может выполняться вручную и автоматически. Ручное перемещение выполняется с помощью маховичка 21. Ручную рабочую поперечную подачу дозировано можно сообщать с помощью рычага храповой передачи. Автоматическая поперечная подача бабки шлифовального круга на двойной ход стола включается краном гидросистемы.

Шлифовальный круг для внутреннего шлифования 14 правят алмазом, установленным в правильном устройстве 24. Шлифовальный круг 4 торцешлифовального устройства правят вручную при качательном движении державки с алмазом.

Плоскошлифовальные станки предназначены для чистовой обработки плоских и фасонных поверхностей на деталях разных размеров. *По принципу работы* плоскошлифовальные станки делятся на две основные группы: для шлифования периферией круга и для шлифования торцом круга. *Периферией*

круга работают станки с прямолинейным возвратно-поступательным движением стола и с вращающимся столом. Торцом круга работают станки с вертикальным шпинделем и прямолинейным возвратно-поступательным движением стола одноколонные и двухколонные и с вращающимся столом. С одним или двумя вертикальными шпинделями, а также торцешлифовальные станки с двумя кругами с горизонтальными осями и вращающимся столом.

В массовом и крупносерийном производствах применяют автоматизированные станки, на которых обрабатываются детали без непосредственного участия рабочего

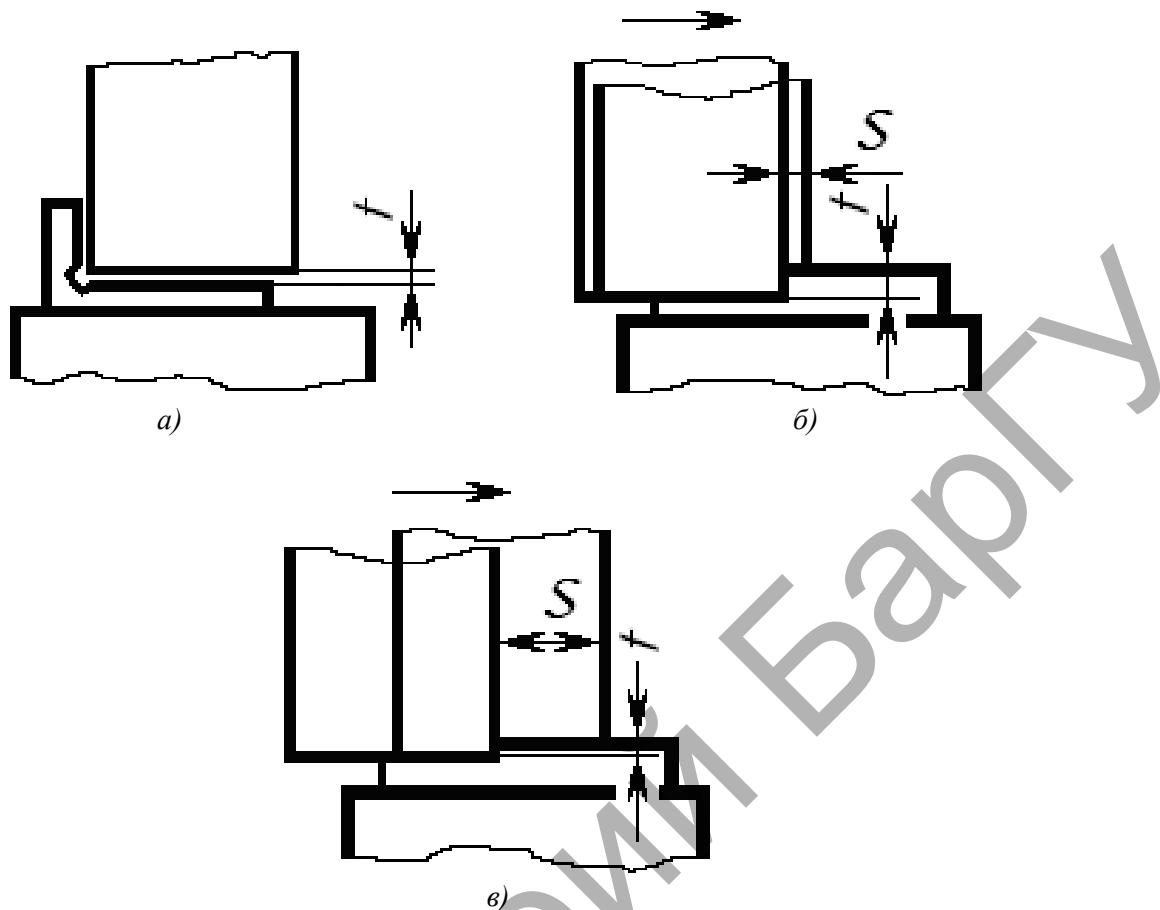
Для шлифования крупногабаритных деталей применяют продольно-шлифовальные станки портального типа, у которых одна шлифовальная бабка перемещается по поперечине портала, а вторая — по стойке.

Для шлифования длинных деталей целесообразно применять станок с прямолинейным движением стола, а для деталей кольцевой формы (колец, втулок, дисков, эксцентриков и т. п.), у которых обрабатываются торцы, а также для шлифования небольших деталей прямолинейного профиля (плиток, планок и др.) — станок с круглым столом. Такой станок имеет меньшие размеры, его шпиндель загружается равномернее и отсутствует реверсирование стола, что сокращает время обработки детали.

Схемы плоского шлифования периферией и торцом круга. Виды плоского шлифования периферией круга представлены на рисунке 3.89, а шлифование торцом круга — на рисунке 3.90. Для плоского шлифования необходимы следующие движения (см. рис. 3.77, *д, е, ж, з*): 1) вращение шлифовального круга — главное движение резания v ; 2) поступательное перемещение заготовки — движение подачи s_1 ; 3) движение поперечной подачи s_2 (заготовки или шлифовального круга в направлении, перпендикулярном движению s_1); 4) движение подачи на глубину шлифования (шлифовального круга на заготовку или заготовки на шлифовальный круг). В том случае, когда высота шлифовального круга больше ширины заготовки, поперечная подача отсутствует.

Разновидностью плоского шлифования торцом круга является *двустороннее торцовое шлифование*, т. е. одновременная обработка двух торцов заготовки двумя шлифовальными кругами. Главное движение резания v выполняет шлифовальный круг, а движение подачи s_1 , выполняемое заготовкой, может быть прямолинейным поступательным (рис. 3.77, *ж*) или поступательным движением по криволинейной траектории (рис. 3.77, *з*), в данном случае по окружности.

Шлифование с непрерывной врезной подачей (рис. 3.89, *а*) применяется при обработке деталей, ширина которых меньше высоты шлифовального круга или когда шлифуемая плоскость ограничена буртами. Шлифование ведется без поперечной подачи. Круг подается только на глубину t при выходе его за пределы детали с одной или двух сторон во время реверсирования стола.



a — врезанием; *б* — глубинным методом; *в* — с малой подачей на глубину и большой поперечной подачей
 t — подача на глубину; s — продольная подача

Рисунок 3.89 — Способы шлифования периферией круга

Глубинное шлифование (рис. 3.89, *б*) — процесс, при котором за каждый ход стола при очень малой скорости продольной подачи снимается большой припуск t .

Шлифование с прерывистой поперечной подачей (рис. 3.89, *в*) позволяет качественно обрабатывать даже большие поверхности. Шлифование с непрерывной подачей применяется, например, в станках с круглым столом и горизонтальным шпинделем.

Чистовое шлифование плоских и фасонных поверхностей производится периферией круга. Таким образом, *станки с прямоугольным столом, шлифующие периферией круга*, применяют для обработки:

- деталей с жесткими допусками на плоскостность (линеек, шпонок, клиньев и др.);
- фасонных деталей с применением профилированных кругов (шлицевых резцов, фасонных резцов, шаблонов, деталей штампов и т. п.);

- деталей с недостаточно развитой базовой поверхностью (рам, стоек, и т. п.), закрепляя их на станке при помощи всевозможных прокладок и упорных планок, производя шлифование с возможно меньшими усилиями, чтобы не опрокинуть или не сдвинуть обрабатываемую деталь;
- деталей с буртиками, пазами, канавками, где шлифование торцом затруднено или невозможно;
- направляющих станин, салазков и т. п.

При всех способах шлифования периферией круга дуга контакта круга с деталью значительно меньше, чем при шлифовании торцом круга. Поэтому периферией круга шлифуют детали, закаленные до высокой твердости, обладающие невысокой жесткостью, с высокими требованиями к точности. Производительность обработки при шлифовании периферией круга ниже, чем торцом. При шлифовании торцом круга наибольшее распространение получили следующие способы.

Однопроходный способ шлифования (рис. 3.90, а), применяемый на станках с круглым столом, при котором вертикальная подача круга ведется сразу на всю глубину шлифования и съем всего припуска t происходит за один оборот стола, вращающегося с небольшой скоростью.

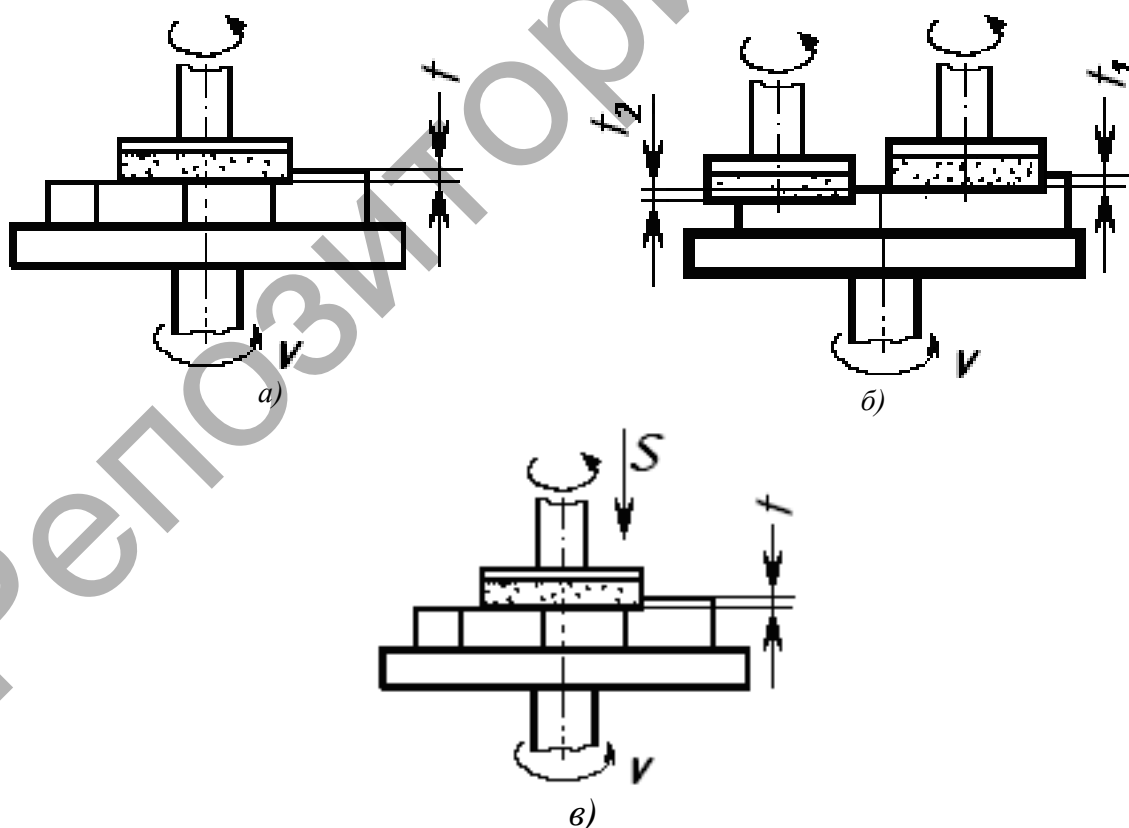


Рисунок 3.90 — Способы шлифования торцом круга

Для съема большего припуска и обеспечения высокой точности обработки применяют *станки с несколькими шлифовальными головками*, расположенными на одной окружности концентричной оси вращения стола (рис. 3.90, б). При этом припуск снимается последовательно всеми кругами, под которыми проходит деталь. Первый круг снимает большую часть припуска t , каждый последующий снимает все меньше и меньше, последний круг служит для доводки.

При *многопроходном шлифовании* (рис. 3.90, в) деталь, установленная на столе, перемещается с относительно большой скоростью v (до 40—50 м / мин), несколько раз проходит под шлифовальным кругом, постепенно подаваемым на глубину до тех пор, пока не будет снят весь припуск.

Двустороннее шлифование (см. рис. 3.77, ж) является разновидностью торцового шлифования, при этом производительность повышается благодаря одновременному шлифованию двух торцов и не требуется предварительная обработка базовой поверхности детали.

При шлифовании торцом круга образуется большая дуга контакта и снимается стружка значительной толщины, поэтому такой способ шлифования очень производителен. Однако при работе торцом круга из-за большого нагрева возможны прижоги и микротрещины на поверхности и деформации обрабатываемой детали; кроме того, этот способ не обеспечивает высокой точности. Станки, работающие торцом круга, рекомендуется применять для обдирочного и чернового шлифования.

Компоновки плоскошлифовальных станков очень разнообразны, как разнообразны и способы плоского шлифования и обрабатываемые детали. Плоскошлифовальные станки с горизонтальным шпинделем, работающим периферией круга, имеющие прямоугольный стол и крестовый суппорт применяют в инструментальном производстве, как наиболее точные.

Плоскошлифовальные станки с *прямоугольным столом* общего назначения выпускают с горизонтальными и вертикальными шпинделями. По сравнению со станками с крестовым суппортом станки этой группы имеют повышенную жесткость, оснащены шлифовальными кругами больших размеров и электродвигателями большей мощности. На таких станках (рис. 3.91) на тумбе, расположенной в центре и отлитой за одно целое со станиной 1, крепится колонна 3, представляющая собой жесткую литую раму с проемом в средней части. По обе стороны проема расположены вертикальные направляющие 4, по которым перемещается каретка 2, имеющая горизонтальные направляющие для поперечного (ручного или гидравлического) перемещения шлифовальной бабки. Размещение каретки и шлифовальной бабки между направляющими повышает жесткость станка.

Плоскошлифовальные станки с *круглым столом и горизонтальным шпинделем* выпускаются неавтоматизированные и полуавтоматы. Станки со столом, наклон которого относительно горизонта можно регулировать, применяют для шлифования плоских, выпуклых, вогнутых и конусных поверхностей.

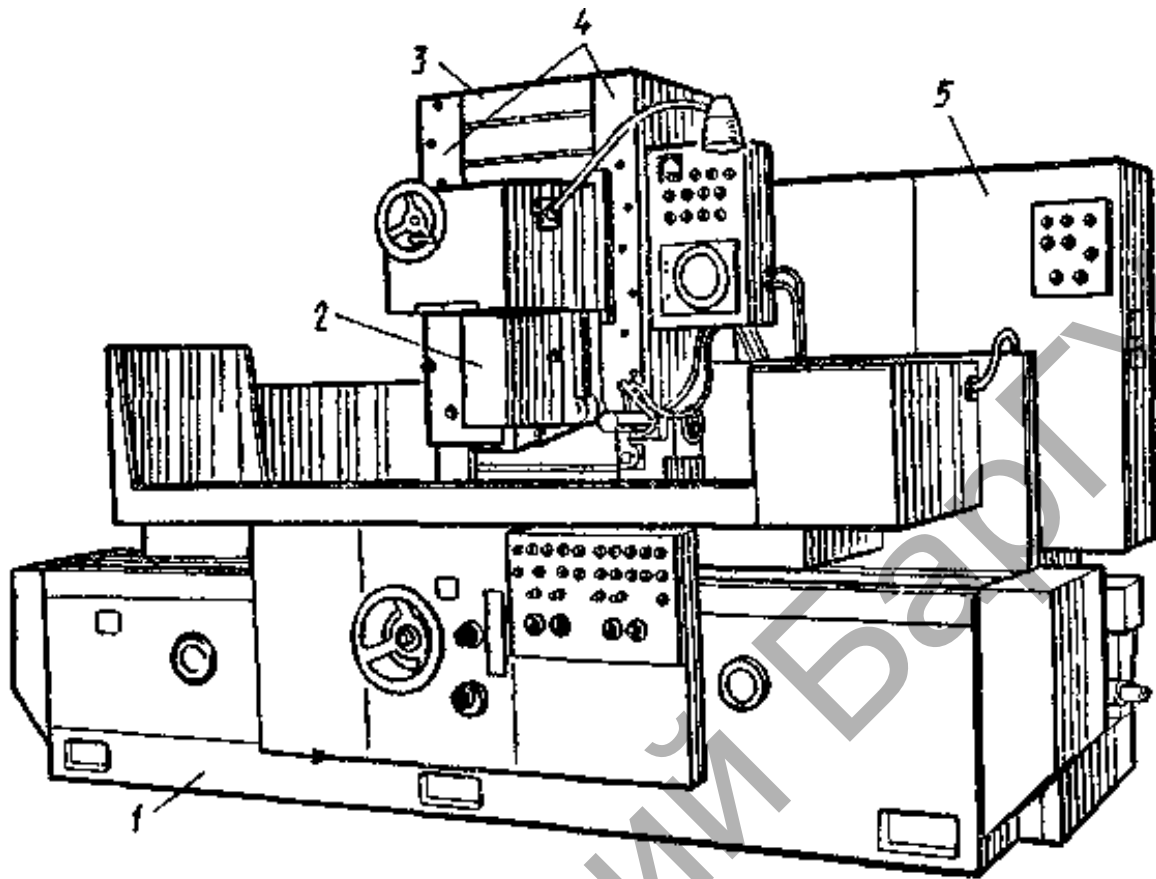


Рисунок 3.91 — Общий вид плоскошлифовального полуавтомата с прямоугольным столом

На рисунке 3.92 представлен общий вид одного из станков модельного ряда с круглым столом диаметром от 250 до 1 000 мм. Эти станки имеют следующую компоновку. На станине 1, представляющей собой массивную чугунную отливку коробчатой формы, по направляющим которой перемещается каретка со столом 2, закреплена колонна 3 с проемом, в который может вдвигаться стол, когда центр его подходит к оси симметрии шлифовального круга. Шлифовальная бабка 4 перемещается в замкнутых прямоугольных направляющих качения, расположенных в проеме колонны, что обеспечивает минимальный вылет шпинделя относительно направляющих.

Плоскошлифовальные станки с круглым столом и вертикальным шпинделем имеют три разновидности: с выдвижным и не выдвижным столами и непрерывного действия. У станков с выдвижным столом, для перемещения его из зоны загрузки в зону обработки, в конструкции предусмотрена каретка, а у станков непрерывного действия загрузка и выгрузка заготовок производятся без остановки вращения стола и без прекращения обработки.

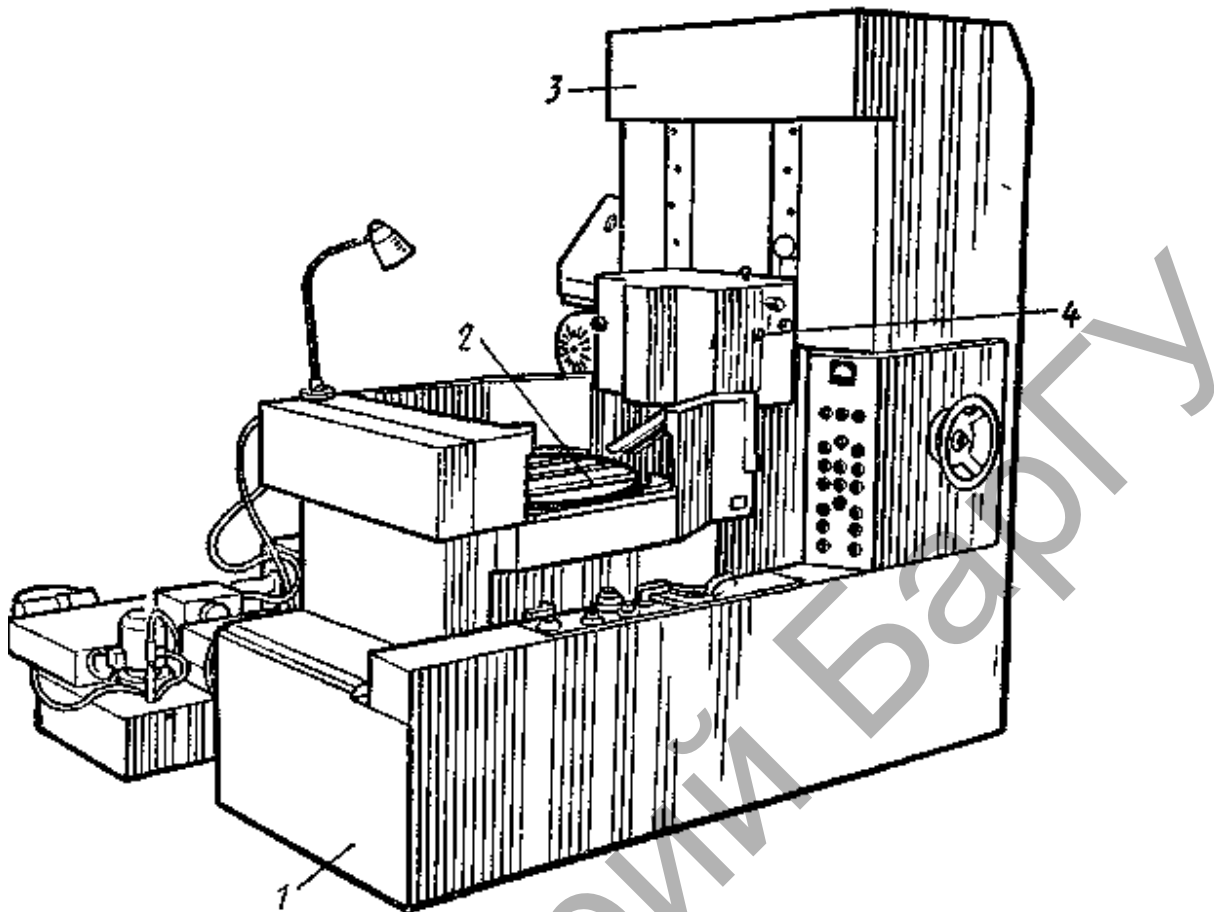


Рисунок 3.92 — Общий вид плоскошлифовального станка с круглым столом

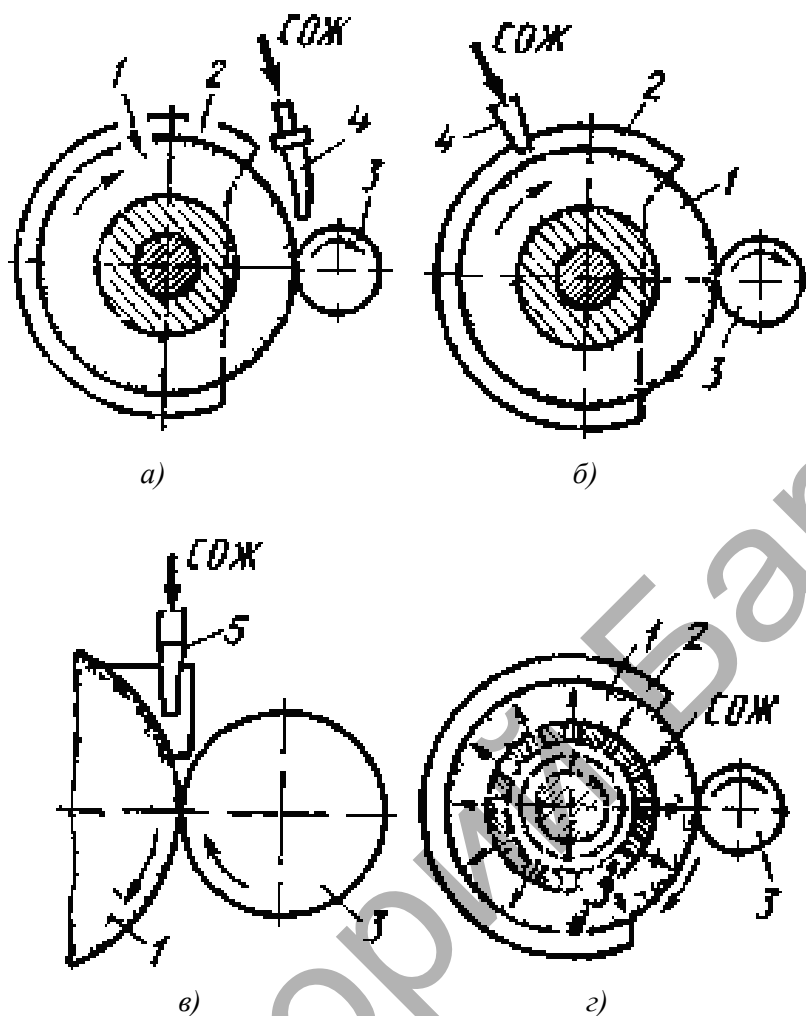
Схемы подачи смазочно-охлаждающей жидкости при шлифовании.

Для отвода теплоты, образующейся в зоне резания, уменьшения трения и удаления отходов шлифования применяют различные смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). По составу и свойствам СОЖ, используемые при шлифовании, делят на эмульсии и масла. *Эмульсией* называют жидкость, в которой во взвешенном состоянии находятся микроскопические частицы другой жидкости. Основой эмульсии для шлифования является вода с добавлением небольшого количества специальных присадок, обеспечивающих смазочный эффект.

Чем больше площадь поверхности контакта шлифовального круга с заготовкой и тверже материал обрабатываемой заготовки, тем большее количество СОЖ необходимо подавать в зону шлифования.

Эффективность воздействия СОЖ на процесс шлифования зависит не только от ее состава, но и от способа подвода. Схемы основных способов подачи СОЖ приведены на рисунке 3.93.

Подачу СОЖ свободнопадающей струей (поливом) применяют наиболее широко (рис. 3.93, а). Смазочно-охлаждающие жидкости подают



1 — шлифовальный круг; 2 — кожух; 3 — заготовка;
4 — сопло; 5 — насадка

Рисунок 3.93 — Схемы основных способов подачи СОЖ при шлифовании

в зону шлифования центробежным насосом через сопло, имеющее щелевое или круглое отверстие. Угол наклона сопла влияет на результаты шлифования. При угле наклона 75° к горизонтальной плоскости повышается съём металла и снижается износ круга. Из-за пористости круга, шероховатости его поверхности и большой скорости кругом нагнетается поток воздуха, который затрудняет попадание СОЖ в зону шлифования. Для улучшения подвода жидкость подают до контакта круга с заготовкой, что способствует ее попаданию в зону шлифования. Количество подводимой жидкости колеблется в пределах 8—10 л на 10 мм высоты круга в 1 мин.

Подача СОЖ струей под высоким давлением (рис. 3.93, б) как в зону шлифования, так и вне ее, позволяет удалить с поверхности круга

свободные металлические частички, очистить поры и абразивные зерна круга от отходов шлифования.

Подача СОЖ в распыленном газами состоянии (охлаждение туманом) *под высоким давлением* производится через сопло в зону резания в виде воздушно-жидкостной смеси (рис. 3.93, в). Струя смеси обладает большой кинетической энергией и поэтому способна разрушить воздушно-паровую оболочку быстро вращающегося круга. Поскольку подача СОЖ в виде воздушно-жидкостной смеси сопровождается обдувом круга сжатым воздухом, это способствует удалению стружки и продуктов износа инструмента из зоны резания.

Подача СОЖ через поры шлифовального круга (рис. 3.93, г) обладает тем преимуществом, что температура заготовки уменьшается не только в результате лучшего подвода жидкости, но и вследствие ее смазывающего свойства и меньшего трения круга о поверхность заготовки.

Один из недостатков этого способа состоит в том, что он неприменим для кругов на вулканитовой и бакелитовой связках, так как они не имеют сквозных пор. Кроме того, опасно неравномерное заполнение пор круга жидкостью, что может привести к вибрации станка вследствие неуравновешенности круга. Поэтому СОЖ подают только при вращающемся круге, а шлифование начинают через 2—5 мин после ее подачи, которую прекращают также за несколько минут до выключения станка.

Существуют и другие способы подачи жидкости: *по торцовым каналам круга* или *шлифование в среде СОЖ*. Эти способы применяют редко и ограниченно. Так, шлифование в среде СОЖ применяют главным образом при ленточном и плоском шлифовании.

Особенности конструкций шлифовальных станков с ЧПУ. В шлифовальных станках, широко применяются системы ЧПУ, благодаря которым упрощается переналадка, повышается точность обработки в результате использования прецизионных элементов привода (передача винт-гайка качения) и точных измерительных средств.

Так как операции шлифования, как правило, завершающие, то шлифовальные станки должны обеспечить точность позиционирования гораздо более высокую, чем станки других групп. Это требует использования в станках с ЧПУ измерительных систем с высокой разрешающей способностью, обеспечивающих жесткие допуски на точность позиционирования. Кроме того, в шлифовальных станках изменение диаметра шлифовального круга ввиду его износа и правки вызывает необходимость применения механизма автоматической компенсации положения оси шлифовального круга относительно детали. Эти особенности вызывают технические трудности при оснащении станков системами ЧПУ и увеличивают их стоимость.

Поэтому УЧПУ, применяемые на шлифовальных станках, должны обеспечивать ручной ввод и редактирование УП непосредственно у станка, а также ввод технологических и геометрических коррекций в процессе обработки. Такая коррекция может производиться вручную (оператором) или автоматически (с помощью приборов активного контроля).

Наибольшее распространение получили круглошлифовальные станки с ЧПУ. Их применение особенно целесообразно в тех случаях, когда должна обрабатываться деталь с различными переходами, например шейками различных диаметров. Применение станка с ЧПУ особенно эффективно в мелкосерийном и единичном производствах, где величина партии настолько мала, что постоянная переналадка приводит к большим затратам времени.

В настоящее время выпускаются шлифовальные станки с ЧПУ следующих *основных типов*: 1) круглошлифовальные; 2) плоскошлифовальные; 3) внутришлифовальные; 4) заточные. Созданы также многоцелевые шлифовальные станки и гибкие производственные модули на их основе. Несмотря на различные компоновки и конструкции отдельных узлов, все эти станки имеют ряд общих технических показателей, связанных с применением в качестве режущего инструмента абразивных кругов. Так, во внутришлифовальных станках с помощью приводов с ЧПУ обеспечивают движение поперечной и продольной подачи, осцилляции шлифовального круга. Используют устройства с ЧПУ для правки круга, особенно со сложным профилем. Для управления процессами используются устройства ЧПУ типа *CNC* с дисплеями. Работа программируется и контролируется системой с обратной связью. Программа может корректироваться во время работы станка. Существуют контурно-шлифовальные станки с ЧПУ для обработки отверстий сложной формы с прямолинейной образующей. Станок имеет вертикальную компоновку с крестовым столом.

Система координат. Для шлифовальных станков характерно наличие одной одновременно управляемой оси координат. Общее же *число управляемых координат*, например, в плоскошлифовальных станках с горизонтальным шпинделем и обработкой периферией круга следующее:

- одна (вертикальная подача шлифовального круга, если механизм правки расположен на столе или колонне станка);
- две (вертикальная и поперечная подача шлифовального круга, если механизм правки расположен на столе или колонне станка);
- три (вертикальная и поперечная подача шлифовального круга и вертикальная подача правки, если механизм правки расположен на шлифовальной бабке).

Дополнительно осуществляется управление от УЧПУ следующими *параметрами*: 1) частотой вращения шлифовального круга (для ста-

билизации скорости резания при износе круга); 2) частотой вращения круглого стола, на котором закреплена деталь (для стабилизации скорости точки контакта круга с деталью и подачи на оборот круга); 3) подачей стола (в станках для глубинного шлифования). В плоскошлифовальных станках с вертикальным шпинделем и обработкой торцом круга всегда применяется одна управляемая координата (вертикальная подача правки при контроле положения круга относительно правящего инструмента).

Чтобы удовлетворить требования по числу управляемых координат, УЧПУ шлифовальными станками изготавливают по модульному принципу, допускающему наращивание числа управляемых координат.

Система координат круглошлифовального станка с ЧПУ приведена на рисунке 3.94. Она подчиняется, как и у всех станков, рекомендациям ИСО.

Внешний вид круглошлифовального полуавтомата с ЧПУ модели 3К152ВФ20 приведен на рисунке 3.95. Этот станок предназначен для наружного шлифования по программе с одной установки цилиндрических и пологих конических поверхностей и зачистки торцевых поверхностей. Ступени на валах обрабатываются последовательно одним кругом. Подторцовка осуществляется продольным перемещением стола.

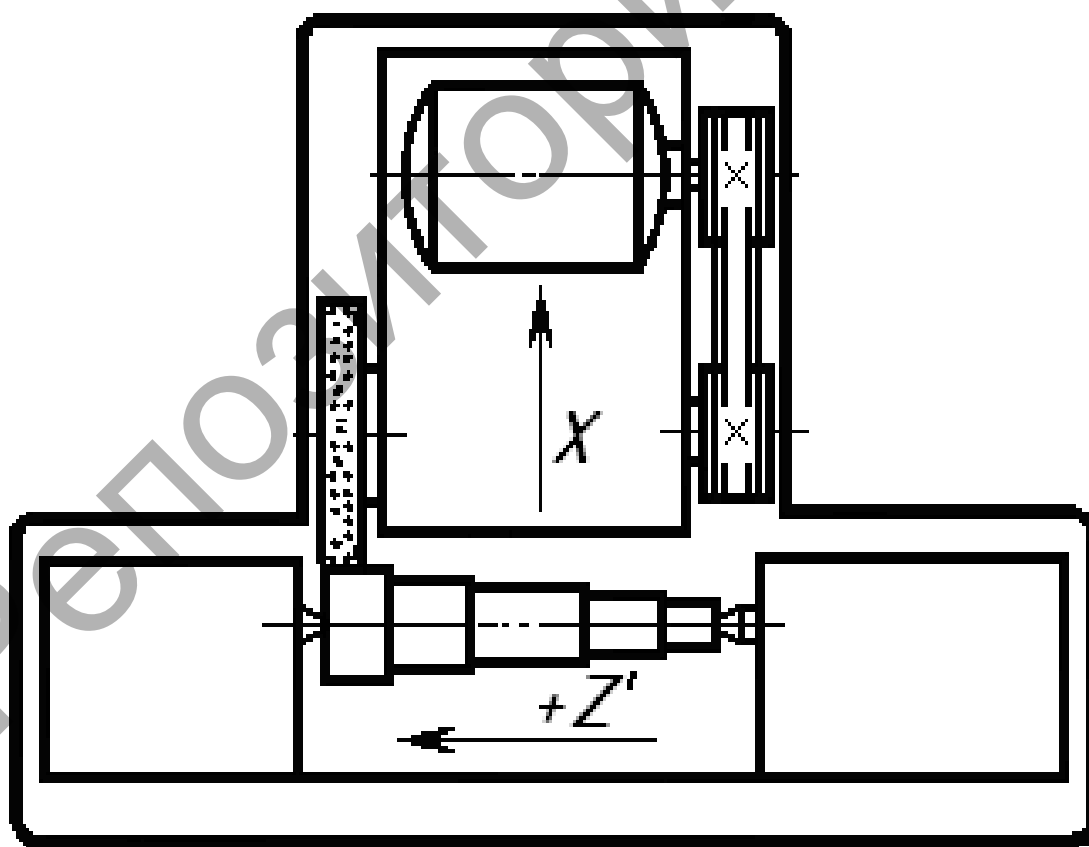


Рисунок 3.94 — Система координат круглошлифовального станка с ЧПУ

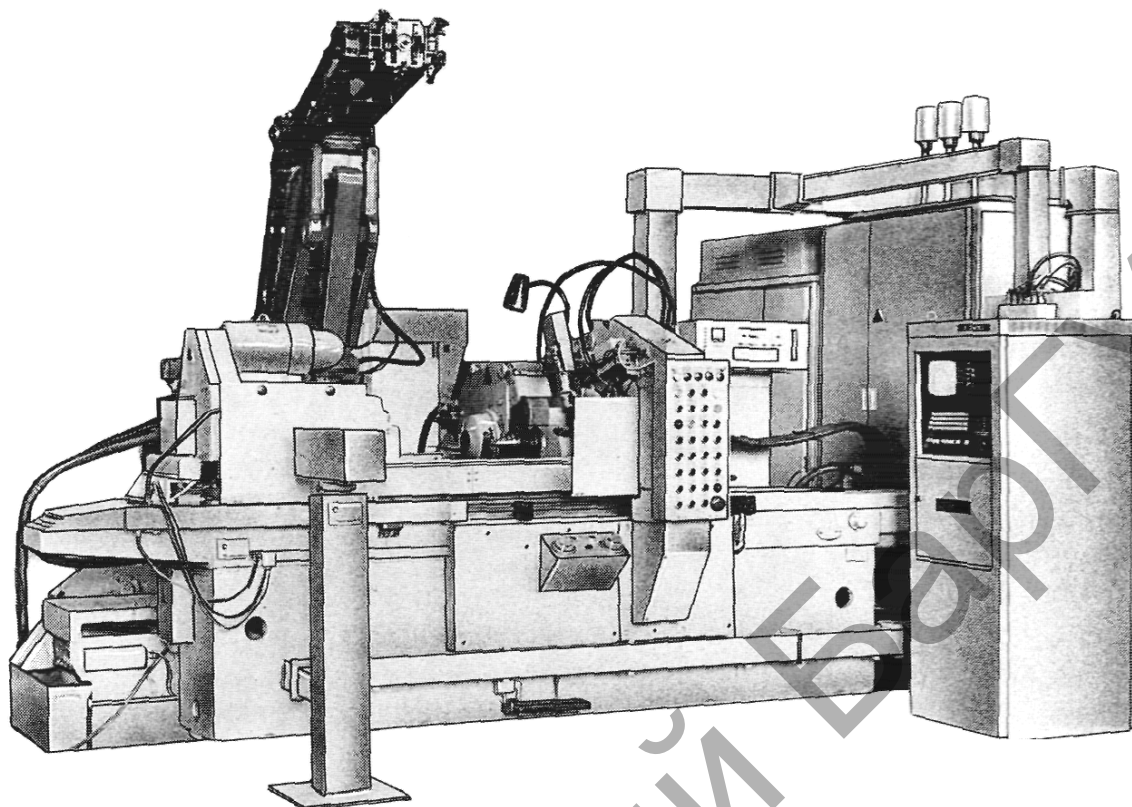


Рисунок 3.95 — Круглошлифовальный полуавтомат модели 3К152ВФ20

3.7 Конструкции шлифовальных станков для выполнения специальных операций

К специальным шлифовальным станкам относят оборудование, выполняющее отделочные операции при обработке самых разных поверхностей. К таким шлифовальным операциям причисляют хонингование, суперфиниширование, притирку, обработку зубьев зубчатых колес, резьбы и т. п.

Хонинговальные станки. Хонингование представляет собой процесс окончательной обработки. При этом детали обрабатываются мелкозернистыми абразивными и алмазными брусками, закрепленными в хонинговальной головке (хоне), совершающей вращательное движение и возвратно-поступательное перемещение вдоль оси. Бруски с заданным усилием (давлением) прижимаются в радиальном направлении.

Назначение, технологические возможности. Указанные станки применяются главным образом для обработки отверстий в гильзах, блоках цилиндров, шатунах, зубчатых колесах и других деталях. Процесс хонингования обеспечивает обработку деталей с шероховатостью

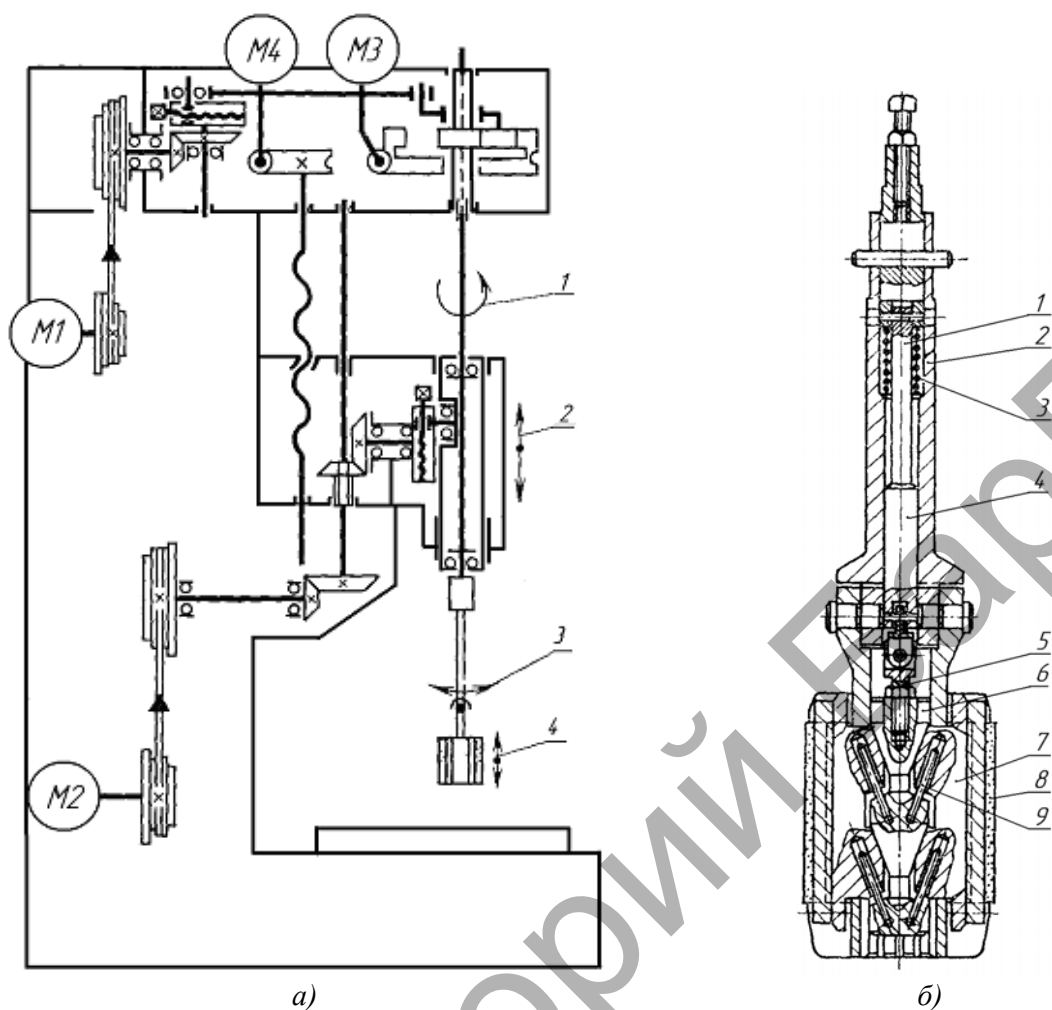
$Ra = 0,32...0,04$ мкм и исправляет погрешности формы (конусообразность, отклонение от овальности и пр.), для чего обеспечиваются жесткие требования допуска по диаметру. Хонингованием обрабатывают отверстия диаметром от 2,5 до 1 500 мм (с максимальной длиной хонингуемых отверстий до 25 м) [8]. Обработка деталей происходит с подачей СОЖ (керосина, минерального масла, эмульсии).

Компоновка хонинговального станка. Станки изготавливаются для хонингования внутренних, реже наружных поверхностей с вертикальным и горизонтальным расположением одного или нескольких шпинделей.

Одношпиндельные вертикальные хонинговальные станки построены на базе вертикально-сверлильных станков. Такой станок состоит из основания с колонной, на вершину которой укреплена коробка скоростей с электродвигателем. На направляющих колонны смонтирована шпиндельная бабка со шпинделем и закрепленной на нем хонинговальной головкой. На основании станка расположен стол с установленной в приспособлении обрабатываемой деталью. Шпинделю от коробки скоростей сообщается вращение, а от гидроцилиндра — возвратно-поступательное перемещение.

Кинематическая схема модели *хонинговального станка с двойным осциллированием* приведена на рисунке 3.96, а. Привод круговой 3 и осевой 4 осцилляции, круговой 1 и осевой 2 подачи осуществляется от электродвигателей постоянного тока М1, М2, М3, М4 с регулируемыми частотами вращения, что обеспечивает возможность получения оптимальных режимов резания. Кривошипно-шатунный механизм обеспечивает круговые колебания хонинговальной головки, а кривошипный механизм — осевые. Вращение шпинделя (круговая подача) осуществляется от электродвигателя М3 через планетарный механизм, который это движение суммирует с движением круговой осцилляции. Возвратно-поступательное движение шпиндельной головки (осевая подача) идет от реверсивного электродвигателя М4 через винтовую пату. Путем изменения радиусов кривошипов кривошипных механизмов изменяются значения амплитуд колебаний, а необходимое рассогласование их частот достигается путем регулирования частоты вращения двигателя М2 — осевой осцилляции. Возможно использование осциллирования только для одного движения [43].

При этом возможно бесступенчатое регулирование параметров траектории и сетка рисок на поверхности обработки будет иметь нужную форму и размеры. Встроенный в шпиндель станка механизм обеспечивает нужную радиальную подачу хонинговальных брусков и их давление на обрабатываемую поверхность. При данной схеме обработки в 1,5—2 раза повышается производительность съема металла и в два раза снижается шероховатость обработанной поверхности.



а — хонинговальный станок; б — плавающая хонинговальная головка

Рисунок 3.96 — Схема хонинговального станка с круговым и осевым осциллирующими движениями и плавающей хонинговальной головки

Схема хонинговальной головки. На рисунке 3.96, б изображена однорядная хонинговальная головка с оригинальным механизмом отвода брусков от обрабатываемой поверхности [8].

При смещении штока 1, расположенного в отверстии корпуса 2, разжимной конус 6 перемещает вниз колодки 7 с абразивными брусками 8 до тех пор, пока осевое усилие, приложенное к штоку 1, не уравновесится сопротивлением, возникающим вследствие поджатия брусков к обрабатываемой поверхности.

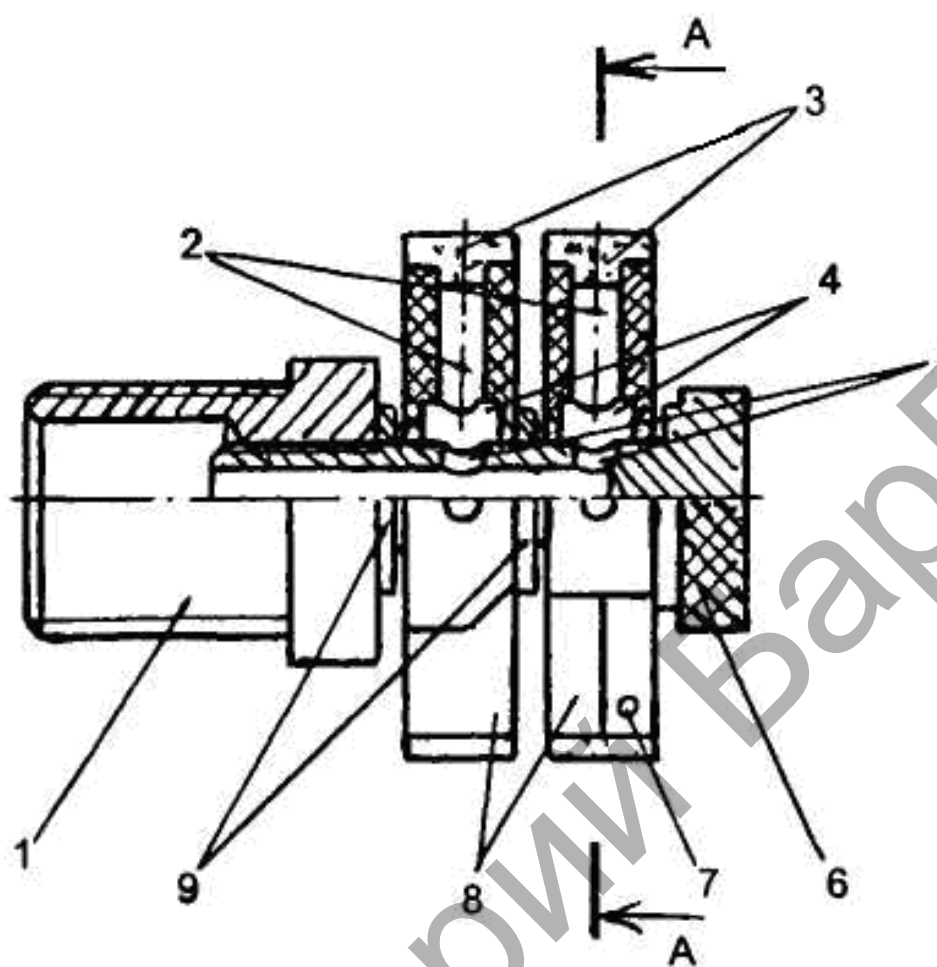
Штифты 9, запрессованные в разжимной конус 6, в этот период не воспринимают нагрузки, так как их диаметр меньше, чем диаметр отверстия в колодке 7, в которое входит верхняя часть штифта. Зазор между штифтами и отверстиями в колодке может составлять 0,5...0,6 мм на сторону.

По окончании цикла хонингования под действием пружины 3 шток сдвигается вверх, перемещая разжимной конус 6. Штифты 9 также

передвигаются вверх. При этом движении штифты вначале выбирают зазор, а затем начинают сдвигать бруски к центру хонинговальной головки. При вращении головки вхолостую центробежные силы практически не изменяют положения брусков, так как разжимной конус находится в нижнем крайнем положении и штифты прижаты к стенке отверстий колодки 7.

Хонингование длинномерных отверстий деталей осуществляют при помощи специальной хонинговальной головки (рисунок 3.97), состоящей из закрепленного в корпусе 1 распылителя 6 с выпускными каналами 5 и втулок 8 с выходными каналами 7. Втулки выполнены с радиальными каналами, соединенными с выходными, диаметр которых меньше диаметра радиальных каналов 2. Противоположно расположенные радиальные каналы выполнены со смещением относительно друг друга, оси выходных каналов расположены под острым углом к плоскости радиальных каналов для обеспечения возможности вращения хонинговальных втулок в противоположные стороны. Кроме того, в каждой хонинговальной втулке устройство имеет расположенные по окружности кольцевые канавки 4, а также магниты 10, противоположные концы которых выполнены с разноименными полюсами. На концах радиальных каналов хонинговальных втулок установлены алмазные бруски 3, между втулками — прокладки 9.

Устройство для хонингования длинномерных отверстий деталей работает следующим образом. Под давлением из трубопровода СОЖ через канал корпуса 1, распылитель 6 и его каналы 5 поступает в кольцевые канавки 4 хонинговальных втулок 8, далее через радиальные 2 и выходные каналы 7 на обрабатываемую поверхность. За счет смещения относительно друг друга противоположно расположенных радиальных каналов, лежащих в одной плоскости, создается вращающий момент и происходит вращение втулок. При этом выходные каналы на втулках расположены с противоположных сторон радиальных каналов, обеспечивая тем самым вращение хонинговальных втулок в противоположные стороны. При взаимодействии струй СОЖ дробится на мелкие частицы — образуется равномерный факел, воздействующий на поверхность от центра хонинговальной головки до обрабатываемой поверхности отверстия детали. Прокладки 9 предназначены для уменьшения трения при вращении хонинговальных втулок. Между тесно расположенными разноименными полюсами образуется вращающее магнитное поле, которое, замыкаясь через СОЖ, «намагничивает» последнюю, а образовавшиеся «индукционные» токи «заряжают» ее, поляризуя компоненты поверхностно-активных веществ (ПАВ) СОЖ. Это позволяет интенсифицировать процесс заполнения «вакуумных ячеек» блочной структурой обрабатываемой поверхности отверстия детали ПАВ, получая качественно обработанную поверхность детали.



A-A

Магнитные силовые
линии

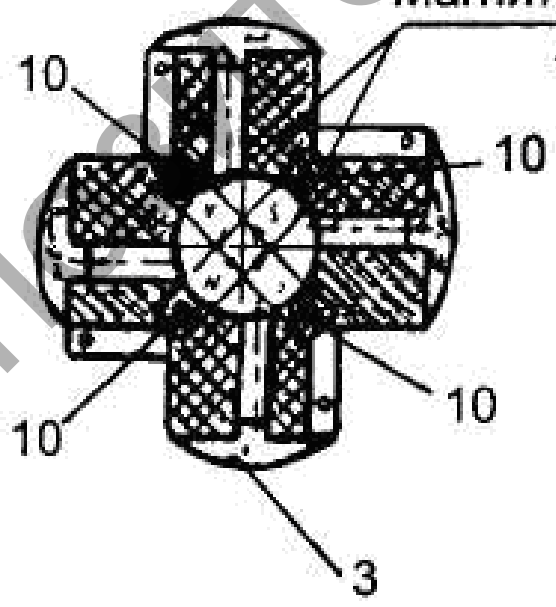


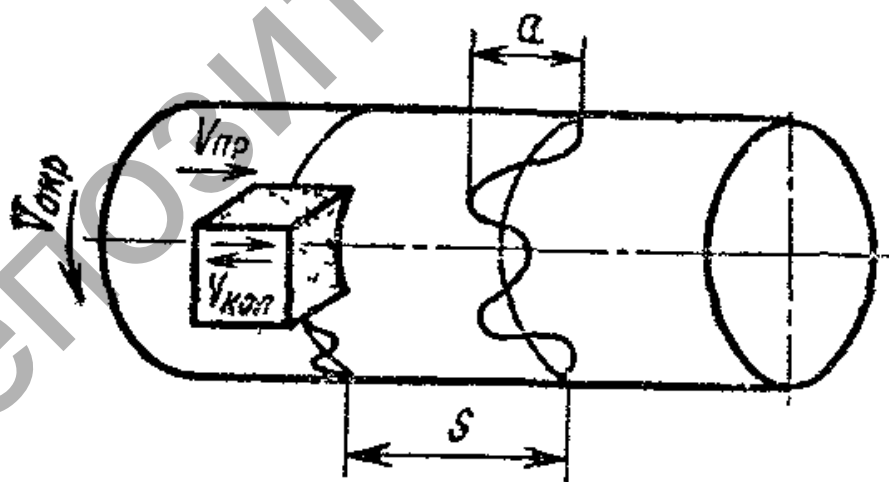
Рисунок 3.97 — Хонинговальная головка в сборе

Станки для суперфиниширования. Основные рабочие движения при суперфинишировании (рис. 3.98): 1) вращение заготовки с окружной скоростью $v_{окр}$; 2) возвратно-поступательное (колебательное) движение бруска с амплитудой 2...5 мм с частотой от 500 до 2 000 двойных ходов в минуту со скоростью $v_{кол}$; 3) движение продольной подачи бруска либо детали со скоростью $v_{пр}$. Кроме основных иногда применяют дополнительные движения, например, ультразвуковые колебания бруска или детали.

В машиностроении наиболее распространены следующие *виды суперфиниширования*: центровое, бесцентровое, торцовое плоских и сферических поверхностей.

Выпускаются универсальные и специальные суперфинишные станки. К универсальным относятся станки для обработки в центрах (рис. 3.99, а), бесцентровые (рис. 3.99, б) и станки для обработки торцовых поверхностей, а к специальным — станки для суперфиниширования шеек коленчатых и распределительных валов, для обработки желобов колец подшипников (рис. 3.99, в, г). Большинство современных суперфинишных станков — полуавтоматы. Существуют одно-, двух- и многопозиционные станки.

Центровые суперфинишные станки предназначены главным образом для обработки наружных цилиндрических поверхностей деталей, установленных в центрах. Станки могут иметь от одной до четырех инструментальных головок. Обрабатываются детали диаметром до 280 мм.



a — размах колебаний бруска;
 s — продвижение бруска за один оборот детали

Рисунок 3.98 — Рабочие движения детали и бруска при суперфинишировании

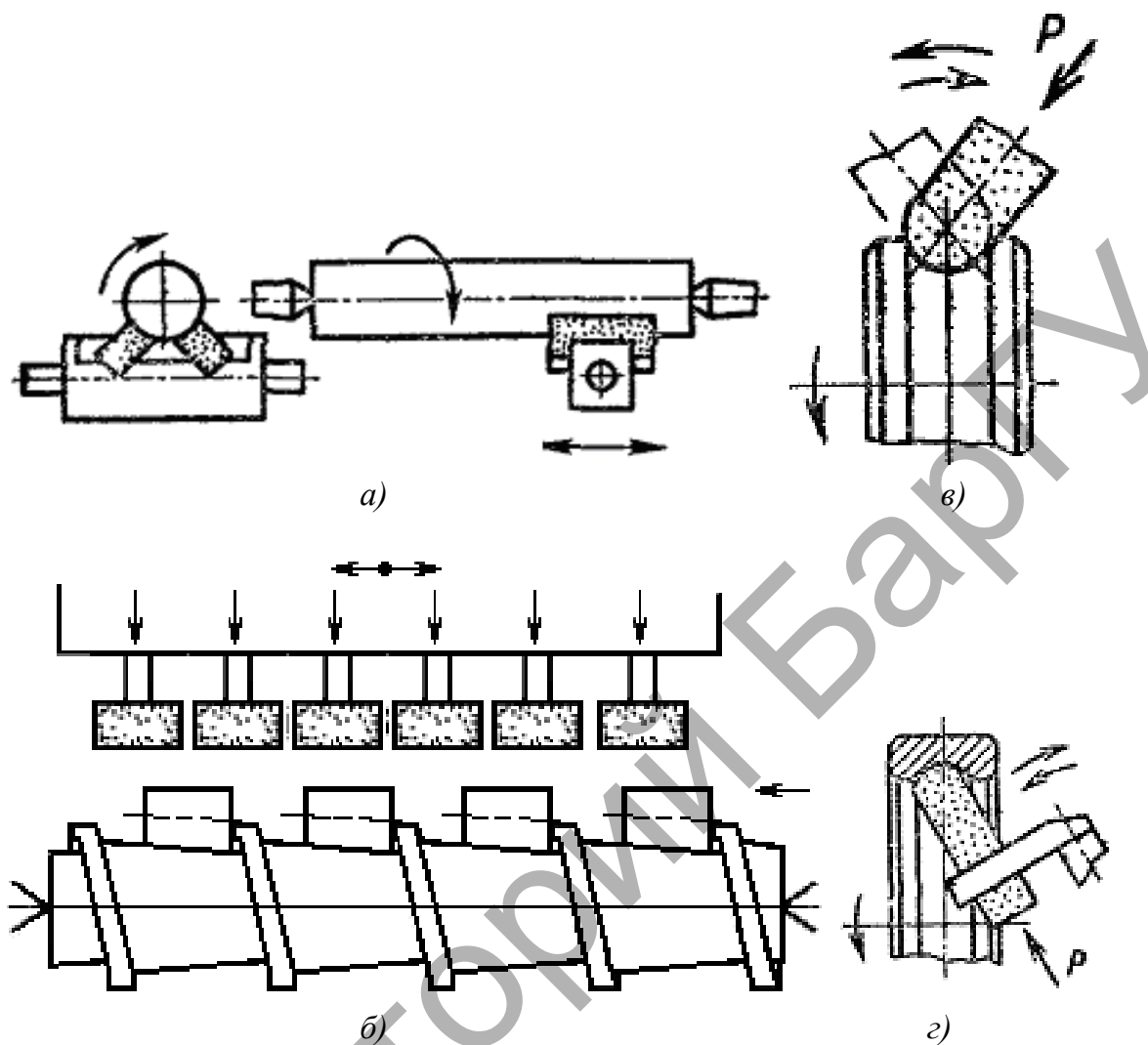


Рисунок 3.99 — Схема суперфиниширования

Заготовка устанавливается в центрах и приводится во вращение. Абразивный брусок с определенным усилием прижимается к обрабатываемой поверхности, совершая осциллирующее и возвратно-поступательное движения вдоль оси заготовки (см. рис. 3.98). Короткие и конические заготовки обрабатываются врезанием.

Бесцентровые станки предназначены для суперфиниширования деталей тел вращения диаметром от 3 до 125 мм. Обрабатываются цилиндрические, конические и бочкообразные поверхности. Различают станки для обработки напроход и врезанием. Кинематические и гидравлические схемы этих станков идентичны, узлы унифицированы. Схемы суперфиниширования конических деталей на бесцентровом станке приведена на рисунке 3.99, б.

Наложение при суперфинишировании ультразвуковых колебаний на абразивный брусок стабилизирует процесс, способствует очищению бруска от частиц металла.

Назначение, технологические возможности суперфиниширования — это отделочная обработка поверхностей деталей мелкозернистыми абразивными брусками. Суперфиниширование существенно повышает эксплуатационные свойства деталей благодаря обеспечению малой шероховатости поверхности ($Rz = 0,6 \dots 0,05$ мкм), удалению ее волнистости, значительному уменьшению огранки до $0,3 \dots 0,5$ мкм (рис. 3.100). При суперфинишировании формируется однородный поверхностный слой без структурных изменений.

К преимуществам суперфиниширования относятся простота применяемого оборудования, высокая производительность, возможность работы по автоматическому циклу с механической загрузкой деталей и активным контролем их размеров, улучшение поверхностного слоя детали в отношении наследственных дефектов.

Компоновка притирочного станка, работающего металлическими дисками, напоминает компоновку вертикально-сверлильного станка, но с высоким расположением стола с находящимся на нем притиром с деталями. Верхний притир подается с помощью маховика и прижимается к деталям сферической опорой, что позволяет ему самоустанавливаться относительно деталей без перекоса. Основное движение резания сообщается деталям с помощью планетарного механизма, смонтированного в столе. Это позволяет обеспечить хаотичность рисок, наносимых абразивом на обрабатываемой поверхности и равномерность ее обработки.

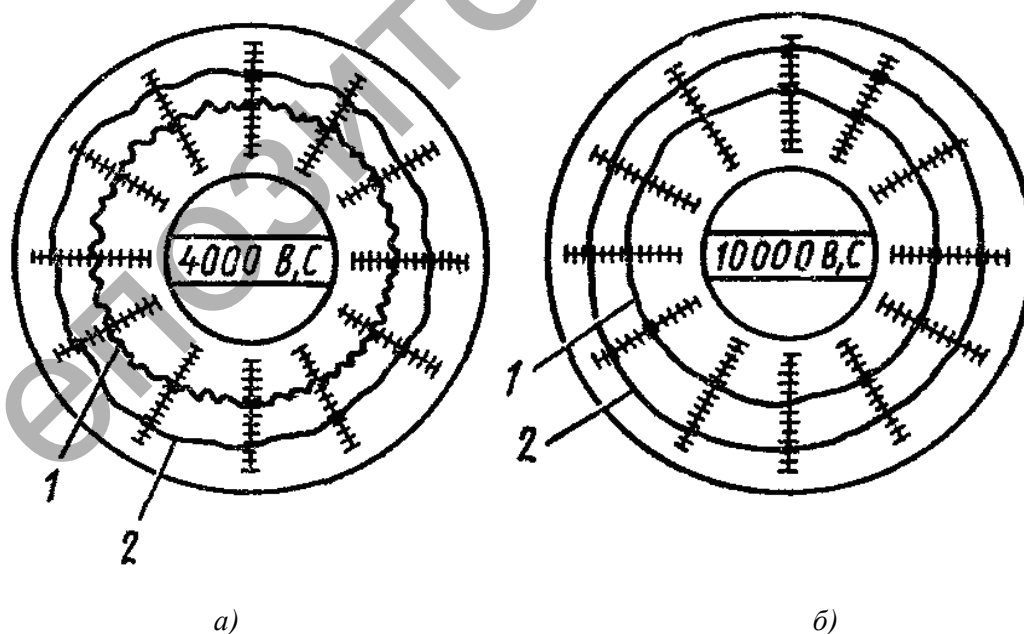


Рисунок 3.100 — Волнистость 1 и огранка 2 поверхности до (а) и после (б) суперфиниширования

Кинематическая схема притирочного станка модели ЗБ814 обеспечивает следующие параметры его работы:

диаметр притира — 450 мм;

- наибольшие размеры деталей:

круглых — 115 мм;

квадратных — 80 мм;

цилиндрических — 50 мм;

- частота вращения:

нижнего притира — 41,5; 81 мин⁻¹;

привода сепаратора 9; 19; 17; 28; 37; 54 мин⁻¹;

- сила прижима верхнего притира — 0...1 600 Н;

- точность обработки поверхностей — 0,000 5...0,001 мм;

- шероховатость доведенной поверхности — 0,02...0,08 мкм;

- мощность главного электродвигателя — 1,1 кВт;

масса станка — 1 100 кг.

Движение подачи предоставляет собой вращение или плоскопараллельное движение сепаратора. Главное движение — вращение нижнего доводочного диска осуществляется от электродвигателя М (рис. 3.101) через клиноремennую передачу Ø110 / Ø154 с помощью зубчатых колес $z = 21$, $z = 31$ и $z = 31$ на вал III и IV и далее через червячные передачи на центральный вал сепаратора V и шпиндель VI, планшайба которого несет доводочный диск. В зависимости от положения зубчатого колеса $z = 21$ вращение может быть передано валу III или IV или обоим валам одновременно. Частота вращения нижнего притира равна

$$n_{\text{пр}} = 1430 \cdot 110/154 \cdot 0,985 \cdot 21/31 \cdot 3/50 = 41,5 \text{ мин}^{-1}.$$

Перестановка шкива диаметром 110 мм с I вала на II, а шкива диаметром 154 мм со второго на первый позволяет сообщить притиру частоту вращения, равную 81 мин⁻¹. Сепаратор может быть приведен во вращение одним из трех способов:

1. Вал III отключен и вращение сепаратора осуществляется через валы IV и V, зубчатое колесо $z = 39$, вокруг которого обкатываются три сателлита $z = 21$ с частотой, равной

$$n_c = 1430 \cdot 110/154 \cdot 0,985 \cdot 21/31 \cdot 2/50 [39 / (39 + 81) - 39/21] = 42 \text{ мин}^{-1}.$$

2. Вал IV отключен и вращение сепаратору передается через вал III, шпиндель VI, на котором установлено зубчатое колесо $z = 81$ внутреннего зацепления. По нему вокруг неподвижного зубчатого колеса $z = 39$ обкатываются сателлиты $z = 21$, частота вращения которых равна

$$n_c = 1430 \cdot 110/154 \cdot 0,985 \cdot 21/31 \cdot 3/50 [81/(39 + 81)] = 28 \text{ мин}^{-1}.$$

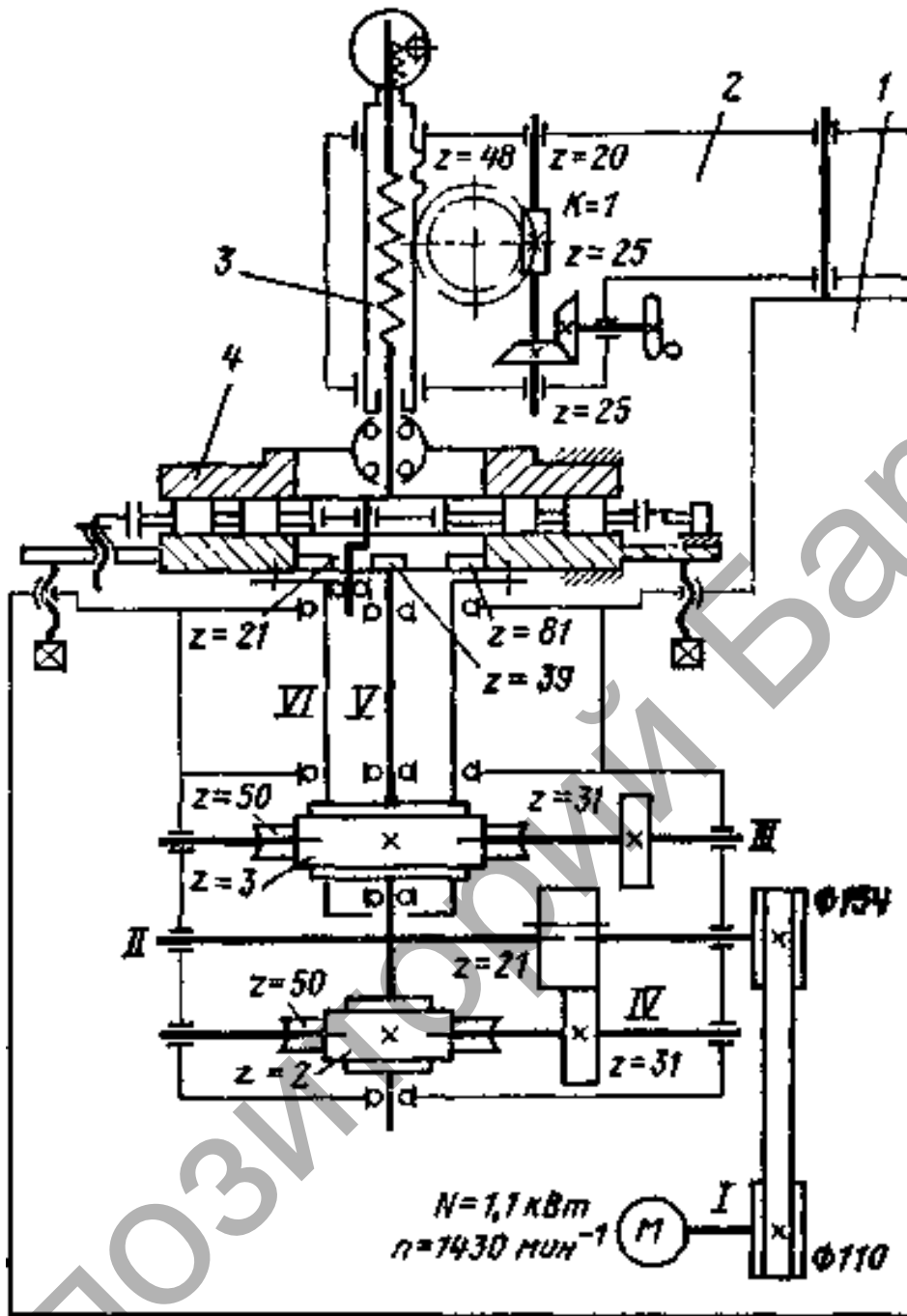


Рисунок 3.101 — Вертикально-доводочный станок модели 3Б814

3. Включены валы III и IV, сателлиты $z = 21$ обкатываются по вращающемуся колесу $z = 81$ вокруг вращающегося зубчатого колеса $z = 39$, частота вращения которых равна

$$n_c = 1430 \cdot 110/154 \cdot 0,985 \cdot 21/31 \cdot 2/50 [39 / (39 + 81)] 3 / 50 [81 / (39 + 81)] = 70 \text{ мин}^{-1}.$$

Плоскопараллельное движение сепаратору сообщается центральным эксцентриком, расположенным на торце водила планетарного механизма. Эксцентриситет регулируется от 0 до 20 мм. Если доводят верхние и нижние параллельные поверхности деталей, то вращение нижнего притира прекращается, а верхний притир стопорится от самопроизвольного вращения.

Полировальные станки. *Полирование* — это одна из заключительных операций механической обработки деталей для удаления с поверхности мельчайших неровностей и придания ей зеркального блеска. Существуют разные *методы полирования*: 1) электрохимическое (анодное) полирование (поверхность с шероховатостью от $Ra = 0,04$ мкм до $Rz = 0,024$ мкм) и глянцеование; 2) анодно-абразивное полирование неметаллическими (деревянными, резиновыми, поролоновыми) притирами и без них; 3) анодно-абразивное полирование мелких деталей в барабанах ($Rz = 0,05 \dots 0,10$ мкм); 4) механический широко распространен в машиностроении. Для полирования используются полировально-шлифовальные, бесцентрово-полировальные, ленточные станки. Электрохимическое (анодное) полирование, которое дает прекрасные результаты, будет рассмотрено позже.

В качестве инструмента при механическом полировании используются абразивные графитовые круги, круги на вулканитовой основе, войлочные круги, пропитанные жидким стеклом и посыпанные абразивным порошком или смазанные пастой ГОИ, покрытые той же пастой ГОИ кожаные ленты или круги, наклеенные на металлическую основу, абразивная лента или листы шлифовальной бумаги.

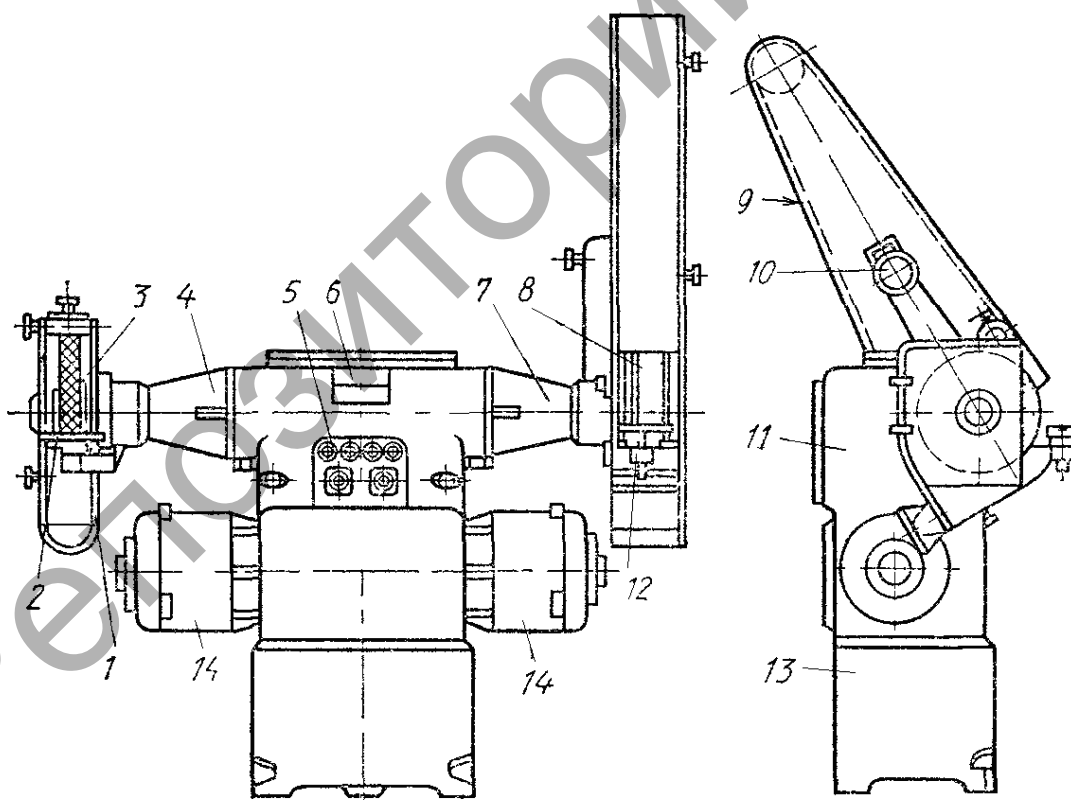
Назначение. Полирование обеспечивает снижение шероховатости поверхностей на одну ступень по сравнению с тонким шлифованием. Средние значения шероховатости, получаемые при шлифовании ($Ra = 0,4 \dots 0,2$ мкм) могут быть снижены до уровня $Ra = 0,16 \dots 0,02$ мкм, а в отдельных случаях $Ra = 0,1 \dots 0,05$ мкм. Надо помнить, что полирование не исправляет овальность.

Глянцеование, которое в быту воспринимается как хорошее полирование, в отличие от последнего, уменьшает шероховатость незначительно и по большей части дает только повышенный блеск поверхности.

Компоновочная схема универсального полировального станка (рис. 3.102, а). Применяемый инструмент предопределяет и конструкцию станков. Чаще это круглошлифовальные станки для наружного центрового и бесцентрового шлифования или обдирочно-шлифовальные станки и некоторые другие конструкции. Отдельную группу представляют станки, работающие с применением химического действия электрического тока. На рисунке 3.102, б показан полировальный станок,



a)



б)

a — общий вид станка фирмы «KNUTH»; б — схема станка модели BTM-250

Рисунок 3.102 — Универсальный полировальный станок

станина 11 которого установлена на тумбе 13. В верхней части станины размещены полировальные бабки, а в нижней — фланцевые двухскоростные электродвигатели 14. В станине смонтированы клиноременные вариаторы с выходной частотой вращения от 1 000 до 4 000 мин⁻¹ и пульт управления 5. Механизм для измерения частоты вращения шпинделя состоит из тахометра 6 и двух валиков с резиновыми дисками, закрепленными на внутренних концах шпинделей. На шпинделе 4 закреплен полировальный круг 3, который огражден кожухом 1 с подручником 2. На шпинделе 7 установлен контактный ролик 8 для абразивной ленты.

Лента ограждена кожухом 9 с подручником 12 и ее натяжение регулируется механизмом 10.

Основные схемы обработки шлифовальной лентой. В зависимости от требований к шероховатости и форме получаемых поверхностей полирование лентами производят по нескольким принципиальным схемам:

а) *обработка свободной лентой* (рис. 3.103, а), когда деталь 1 прижимается к абразивной ленте 2, расположенной между ведущим диском 3 и натяжным роликом 4. Опорный элемент отсутствует. Применяется для полирования криволинейных поверхностей деталей и в том числе отверстий;

б) *контактное полирование* (рис. 3.103, б), при котором деталь 1 прижимается к абразивной ленте 2 в зоне охвата опорного (контактного) ролика 4, воспринимающего давление детали на ленту. Ролик 3 регулирует натяжение ленты. Это наиболее распространенный вид ленточного полирования;

в) *обработка с опорной (подкладной) плитой* 1 (рис. 3.103, в), которая прилегает к задней стороне абразивной ленты 2 в зоне между ведущим диском 4 и натяжным роликом 3. Деталь 5 устанавливается на столе 6;

г) *бесцентровое полирование цилиндрических деталей* (рис. 3.103, г) производится рабочей бесконечной лентой 1, натянутой между контактным роликом 3, диском 2 и ведущей бесконечной лентой 4, которая вместо натяжного ролика имеет подкладную плиту 5. Станки для бесцентрового полирования имеют две бабки — с рабочей и ведущей бесконечными лентами. Во избежание проворачивания детали 6 лента 4 поджимается к детали подкладной плитой 5. Обрабатываемая деталь, находящаяся между двумя лентами, опирается на нож 7;

д) *полирование рулонной лентой* (рис. 3.103, д) широко применяется в подшипниковой промышленности. Быстро вращающаяся деталь 1 соприкасается с полирующей лентой 2, которая по мере износа медленно разматывается с рулона и перемещается относительно детали. Прижим ленты к детали производится колодкой 3 с помощью пневматики или гидравлики (так обычно полируют беговые дорожки подшипников);

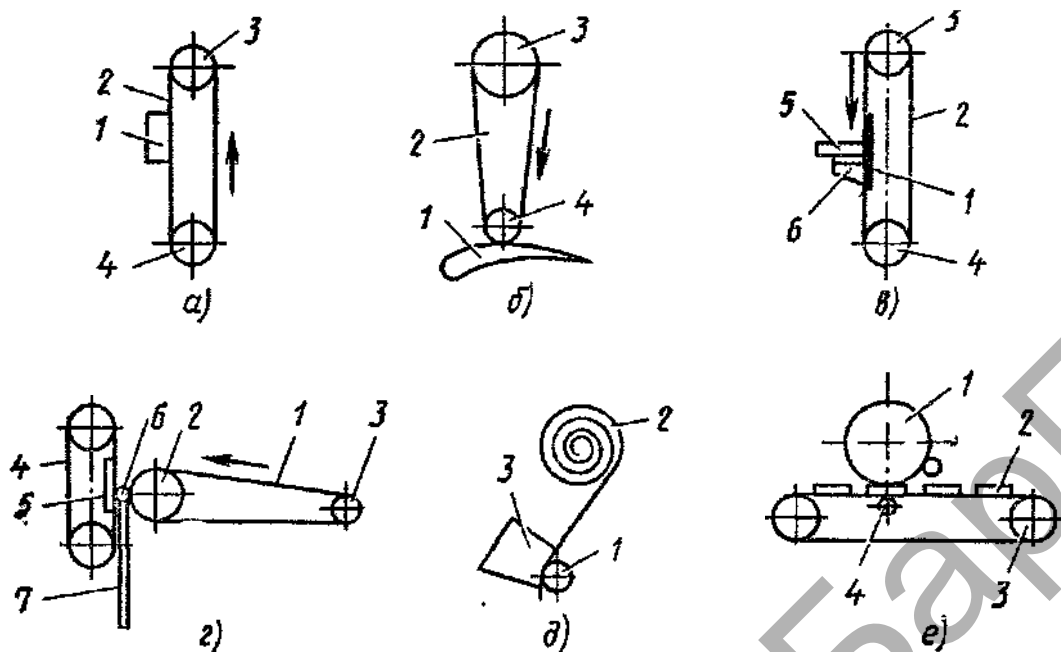


Рисунок 3.103 — Основные схемы обработки шлифовальной лентой

е) *барabanно-ленточное полирование* (рис. 3.103, e), при котором рабочим элементом служит барабан 1, покрытый лентой. Обрабатываемая деталь 2 подается под барабан конвейером 3 с помощью специальных подающих роликов. Нажимный (опорный) ролик 4 служит для прижима детали к ленте.

В крупносерийном и массовом производствах полирование с помощью абразивных лент позволило механизировать и даже автоматизировать ряд операций. Специальные автоматы и полуавтоматы с абразивной лентой применяют для полирования турбинных лопаток, колец подшипников, кулачков и других деталей.

Широкое применение при чистовой обработке листового материала и футляров приборов имеет шлифование абразивными лентами на тканевой основе. На рисунке 3.104 представлены схемы ленточного шлифования. На станке с *возвратно-поступательным движением стола* (рис. 3.104, a) на плите 1 закреплен обрабатываемый лист 4. Стол имеет гибкую конструкцию и в месте соприкосновения листа с абразивной лентой 3 поддерживается роликом 5. Бесконечная лента натягивается роликом 2 и снимает слой материала с обрабатываемого листа.

На *ленточно-шлифовальном станке* (рис. 3.104, б) обработка заготовок производится широкой абразивной лентой. Заготовки 1 устанавливаются на транспортере 4, который перемещает их под лентой 2, прижимаемой к заготовке роликом 3.

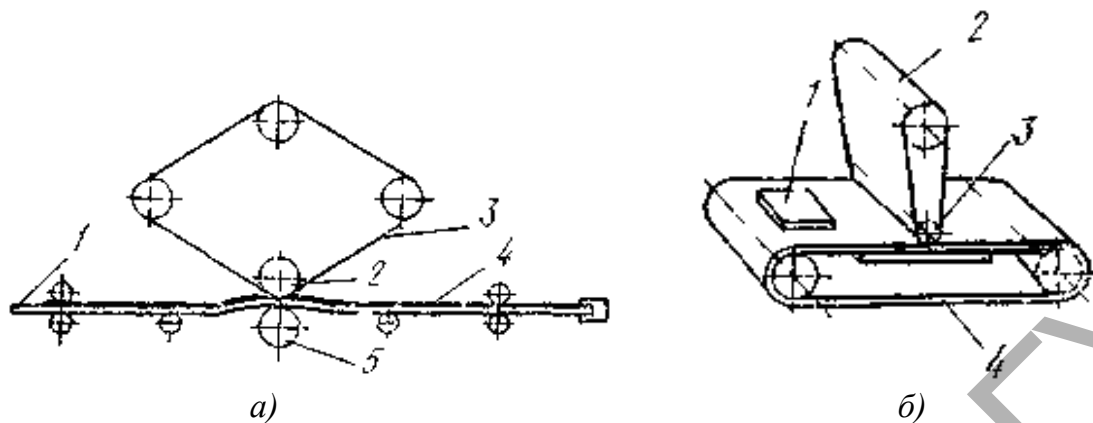


Рисунок 3.104 — Ленточное шлифование

3.8 Зубообрабатывающие станки

Чтобы лучше представить изготовление на специальном оборудовании небольших и средних по размерам деталей, сравним их с великанами среди зубчатых колес.

В тяжелом машиностроении распространены цилиндрические зубчатые колеса диаметром до 6 000 мм с модулем 10...30 мм, изготовленные из нормализованных, улучшенный или закаленных сталей, чугуна и цветных сплавов. Точность этих колес в большинстве случаев соответствует 6—8-й степеням (ГОСТ 1643-81). В таких крупных машинах, как экскаваторы, шахтные подъемники, применяют зубчатые колеса диаметром до 10 000 мм с модулем до 60 мм, но более низкой точности (9—11-й степени). Однако в приводах вращающихся цементных печей и рудоразмельных мельниц, где окружные скорости колес достигают 6...8 м/с, с целью снижения динамических нагрузок и улучшения шумовых характеристик требования к точности опять возрастают (7-я степень). Для шагающих экскаваторов применяют зубчатые венцы диаметром до 20 000 мм. В приводах (в шестеренных клетях) прокатных станов используют крупномодульные колеса с шевронным или косым зубом, выполненные заодно с валом, диаметром не более 1 600 мм, но с модулем, достигающим 60 мм. Эти зубчатые колеса изготавливают, как правило, из легированных сталей.

Особую группу составляют зубчатые передачи редукторов турбин, газотурбинных двигателей и компрессоров, работающие при окружных скоростях до 150 м/с и передающие мощности 40 000 кВт и более. Зубчатые колеса этих машин, имеющие диаметр до 5 000 мм и модуль до 12 мм, обладают высокой нагрузочной способностью и выполняются из высоколегированной стали с термической или химикотермической

обработкой. Высокие окружные скорости предъявляют повышенные требования к точности зубчатых колес, которая соответствует 3—4-й степеням. Для исключения осевых нагрузок турбинные зубчатые передачи делают шевронными с канавками посередине колеса для выхода инструмента при обработке. Длина двух полушевранов достигает 1 600...2 000 мм.

Диаметр зубчатых колес, обрабатываемых на универсальных вертикальных зубофрезерных станках, обычно не превышает 12 500 мм, диаметр валов-шестерен, нарезаемых на горизонтальных станках, — 1 800 мм.

На зубодолбежных и зубострогальных станках вертикальной компоновки обрабатывают зубчатые колеса диаметром до 6 000 мм. Зубодолбежные станки горизонтальной компоновки, работающие методом обкатки попеременно двумя долбяками, используют для нарезания прямозубых, косозубых и шевронных колес диаметром до 7 000 мм. В отличие от зубофрезерования методом обкатки на этих станках могут быть обработаны с точностью, достигающей 7-й степени, не только шевронные колеса с канавкой, но и с закрытым шевроном, однако, по сравнению с зубофрезерованием, обеспечивается значительно меньшая производительность.

Фрезерование зубьев крупного колеса длится десятки, а иногда и сотни часов. Например, черновая обработка колеса диаметром 10 836 мм с модулем 42 мм и шириной 350 мм занимает около 200 ч.

Профилирование зубьев зубчатых колес. Применение зубчатых колес для передачи вращательного движения имеет самое широкое применение. Разные условия применения вызвали появление разных видов зубчатых зацеплений: цевочное, с круглым зубом (Новикова), но наибольшее распространение получило эвольвентное (рис. 3.105), у которого боковая поверхность зуба имеет профиль эвольвенты. В основном получают зубчатые колеса обработкой резанием методами копирования или обката. Кроме обработки резанием зубчатые колеса можно получать литьем, пластической деформацией, из металлических порошков. Известен и такой метод обработки крупномодульных зубчатых колес, как *прецизионная газопламенная резка*. Станок, выполняющий данную операцию, состоит из копировальной газопламенной головки и круглого вращающегося стола. Их движения согласованы и позволяют осуществлять обработку зубьев цилиндрических колес, профиль которых вырезается полностью и не требует последующей механической обработки. При обработке этим методом зубчатых реек $m = 25$ мм из заготовки прямоугольного профиля $152,4 \times 88,9$ мм на каждый зуб тратится 50 с. Шероховатость поверхности после вырезки $Ra 2,5 \dots 0,63$ мкм; допуск на толщину зуба $T_c = 0,13$ мм. В качестве горючего применяется смесь пропана с кислородом. Станок имеет устройство компенсации тепловых деформаций.

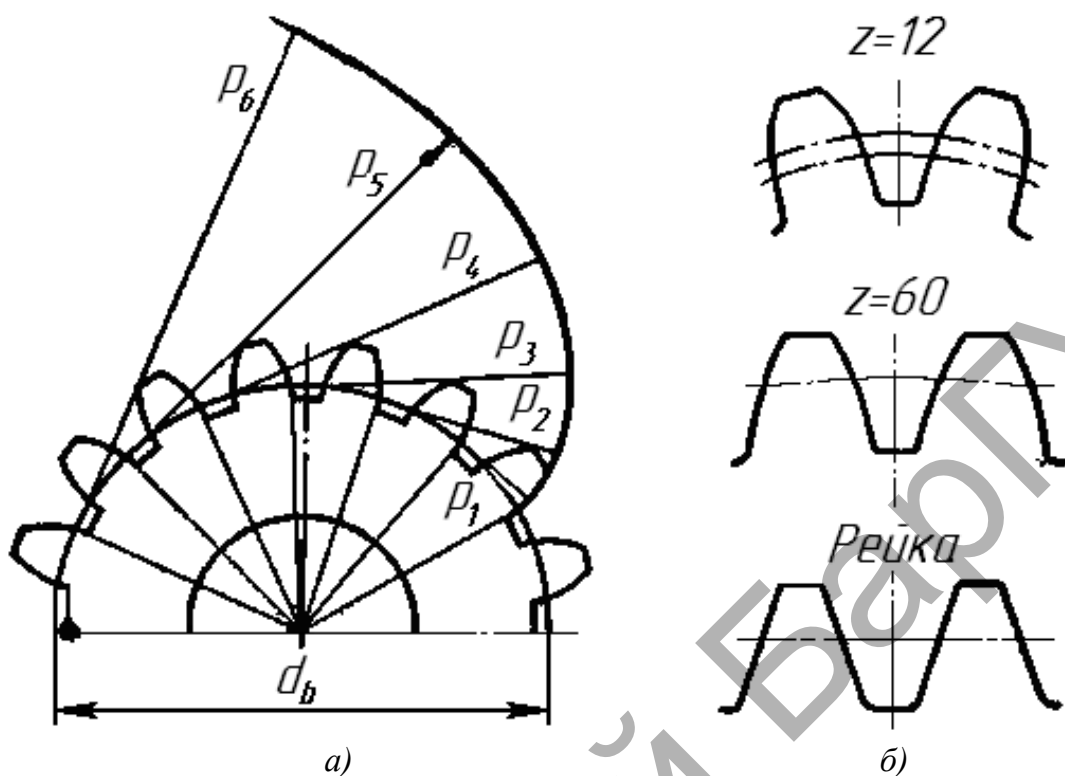
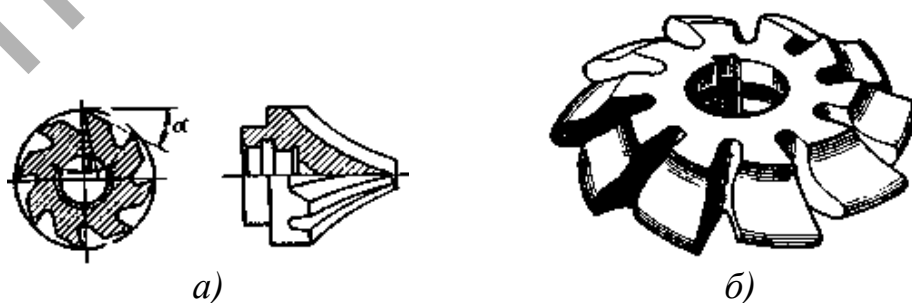


Рисунок 3.105 — Профили зубьев в зависимости от их числа, определяющие профиль инструмента при обработке методом копирования

Зуборезный инструмент для получения зубьев *по методу копирования* имеет зубья, соответствующие форме впадин нарезаемого зубчатого колеса: зубострогальный резец, дисковая или концевая модульные фрезы (рис. 3.106), протяжка (рис. 3.107), шлифовальный круг, прессформа: *по методу обкатывания* зубья можно получить с помощью долбяка (рис. 3.108, а, б), червячной модульной фрезы (рис. 3.108, в), шлифовального круга, строгальных (рис. 3.108, а, б) и обкаточных резцов, накатных роликов.



а — пальцевая; б — дисковая

Рисунок 3.106 — Пальцевая (а) и дисковая (б) модульные фрезы

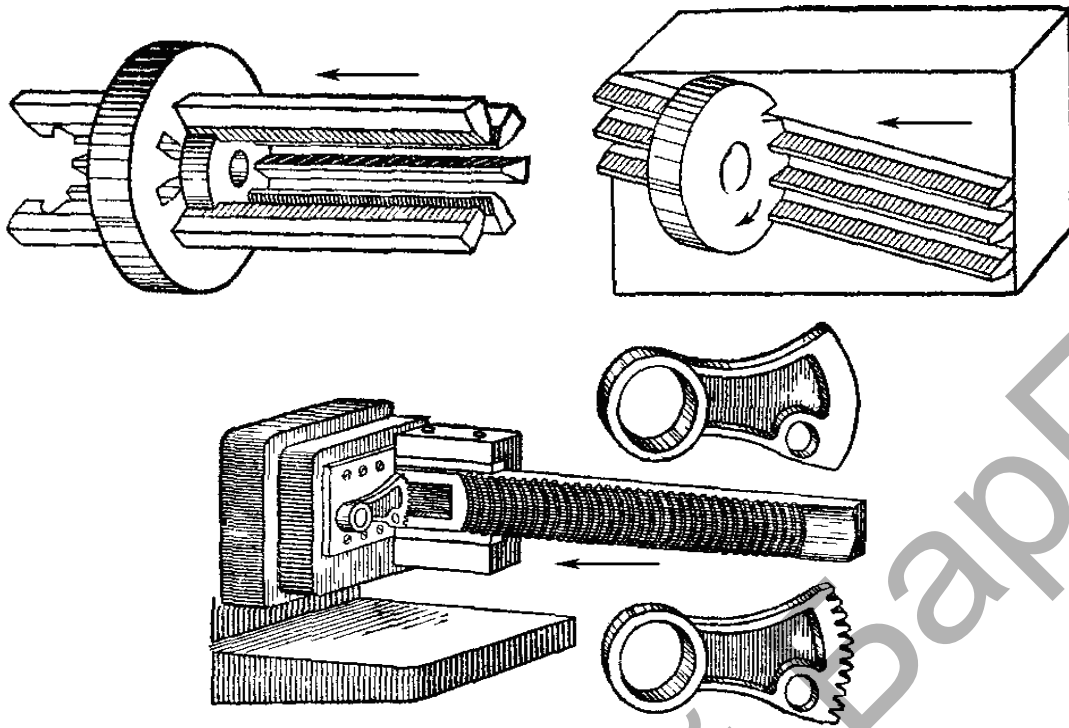
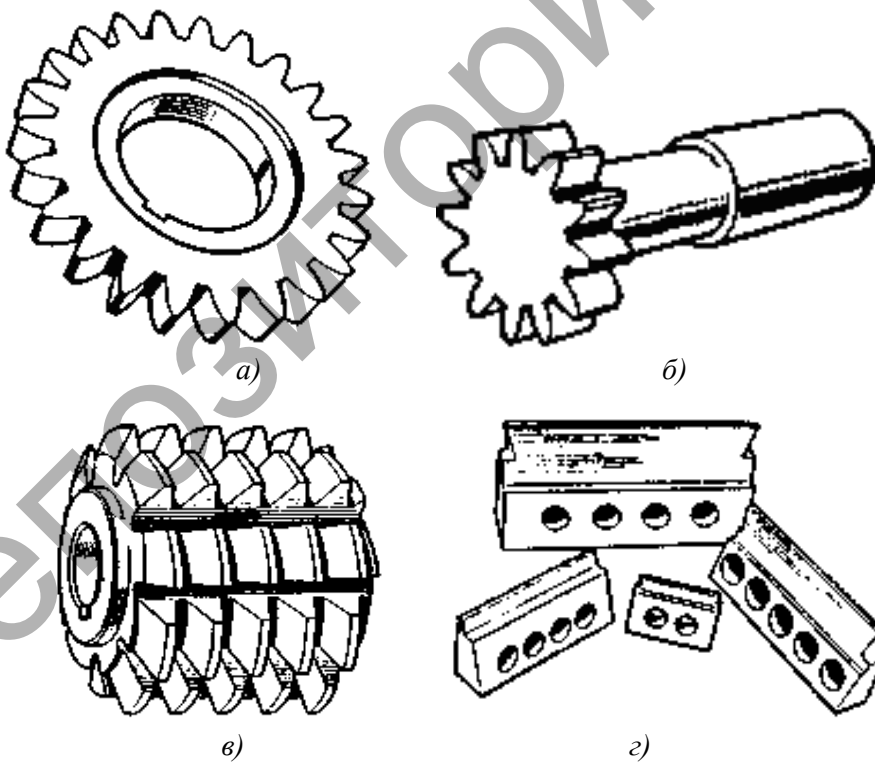


Рисунок 3.107 — Некоторые схемы протягивания зубчатых колес



a — дисковый долбяк; *б* — хвостовой долбяк;
в — цельная червячная модульная фреза; *г* — зубофрагальные резцы

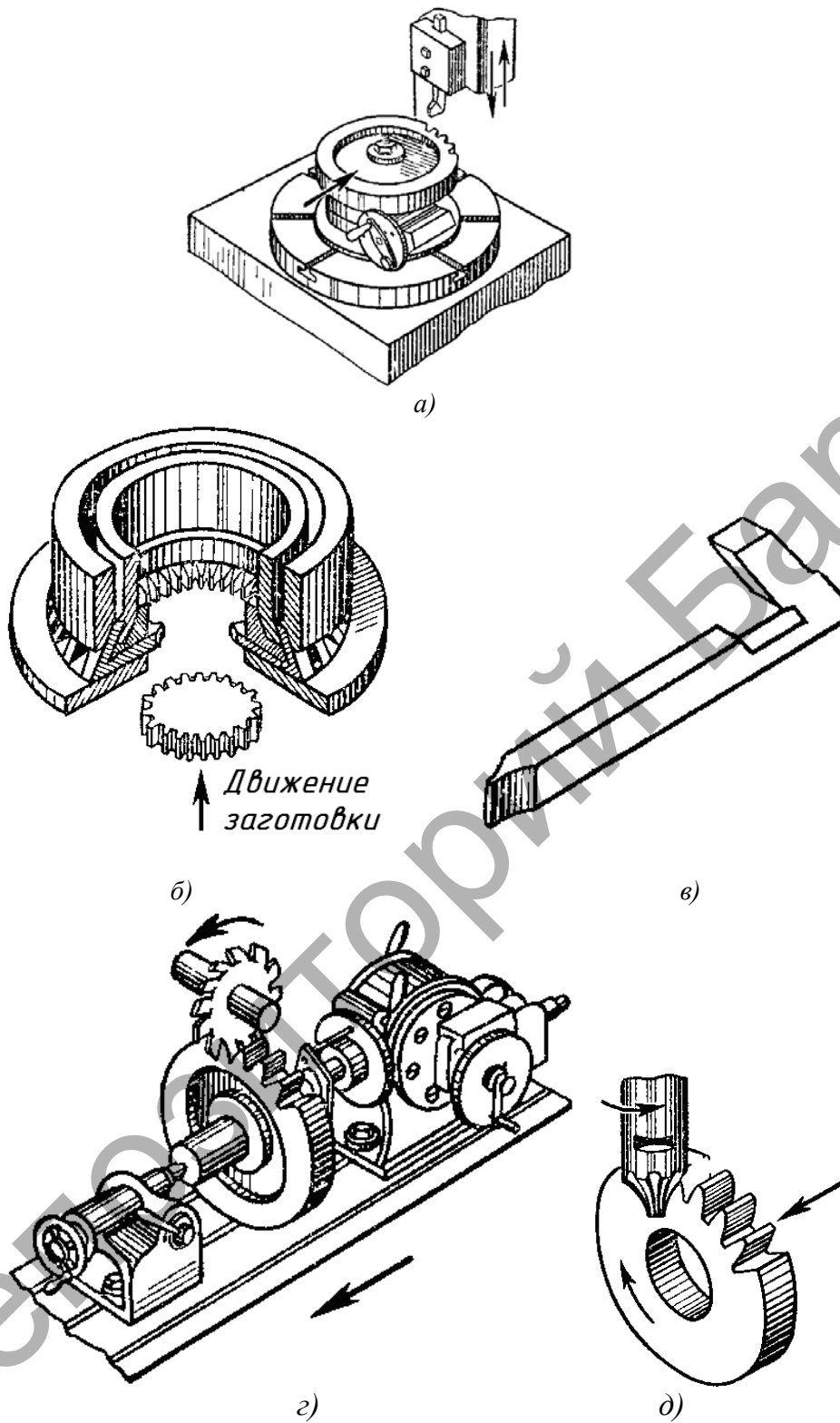
Рисунок 3.108 — Инструменты для получения зубьев по методу обкатывания

Технологический метод нарезания зубчатых колес копированием реализуется следующим образом. При единичном производстве работа выполняется на универсальных консольно-фрезерных станках и характеризуется низкой производительностью и низкой точностью обработки. В массовом производстве метод копирования используется с применением зубодолбежной резцовой головки, имеющей число резцов, равное числу зубьев нарезаемого колеса, т. е. одновременно обрабатываются все впадины. Изготовление резцовых головок сложно, так как для обработки зубчатых колес с разным модулем и разным числом зубьев нужны разные головки. То же относится и к нарезанию зубьев в массовом производстве с помощью протяжек. Они оправдываются только в производстве однотипных колес (рис. 3.109).

При использовании *метода обкатки* (огибания) зуборезный инструмент и заготовка имитируют в своем относительном движении зацепление пары сопряженных колес.

Инструменту может придаваться форма зубчатого колеса, зубчатой рейки или червяка, т. е. форма детали, которая работает в зацеплении с нарезаемым колесом. Инструментом могут быть и резцы, движения которых тогда на станке выполняются так, что их режущие кромки описывают в пространстве поверхности профиля зубьев обрабатываемого зубчатого колеса или рейки. Одновременно с обкаточным движением инструмент совершает движение резания. Метод обкатки в серийном и массовом производствах является основным, так как процесс нарезания зубьев непрерывен и легко автоматизируется. Одним и тем же инструментом нарезаются зубчатые колеса с любым числом зубьев одинакового модуля. Основными инструментами являются червячные фрезы, долбяки и режущие рейки (рис. 3.110).

Зубодолбежные станки предназначены для обработки цилиндрических зубчатых колес наружного и внутреннего зацепления с прямыми, винтовыми и шевронными зубьями, блоков зубчатых колес, зубчатых муфт, реек, колес с буртиками, копиров и храповых колес. Применяются *вертикальные* и *горизонтальные* зубодолбежные станки, последние при нарезании шевронных зубчатых колес работают двумя долбяками. Вертикальные станки имеют две разновидности. У одних радиальное врезание долбяка на глубину, равную высоте зуба, в начале обработки производится перемещением суппорта с инструментом, у других — стола с заготовкой. Режущим инструментом может быть зуборезный долбяк или зуборезная рейка. По сравнению с зубофрезерными станками долбежные менее производительны, но только на них можно обрабатывать блоки колес, колеса с внутренним зацеплением



a — долбление резцом; *б* — долбление резцовой головкой;
в — резец из резцовой головки; *г* — фрезерование дисковой
 модульной фрезой; *д* — фрезерование пальцевой модульной фрезой

Рисунок 3.109 — Методы профильного копирования при нарезания зубчатых колес

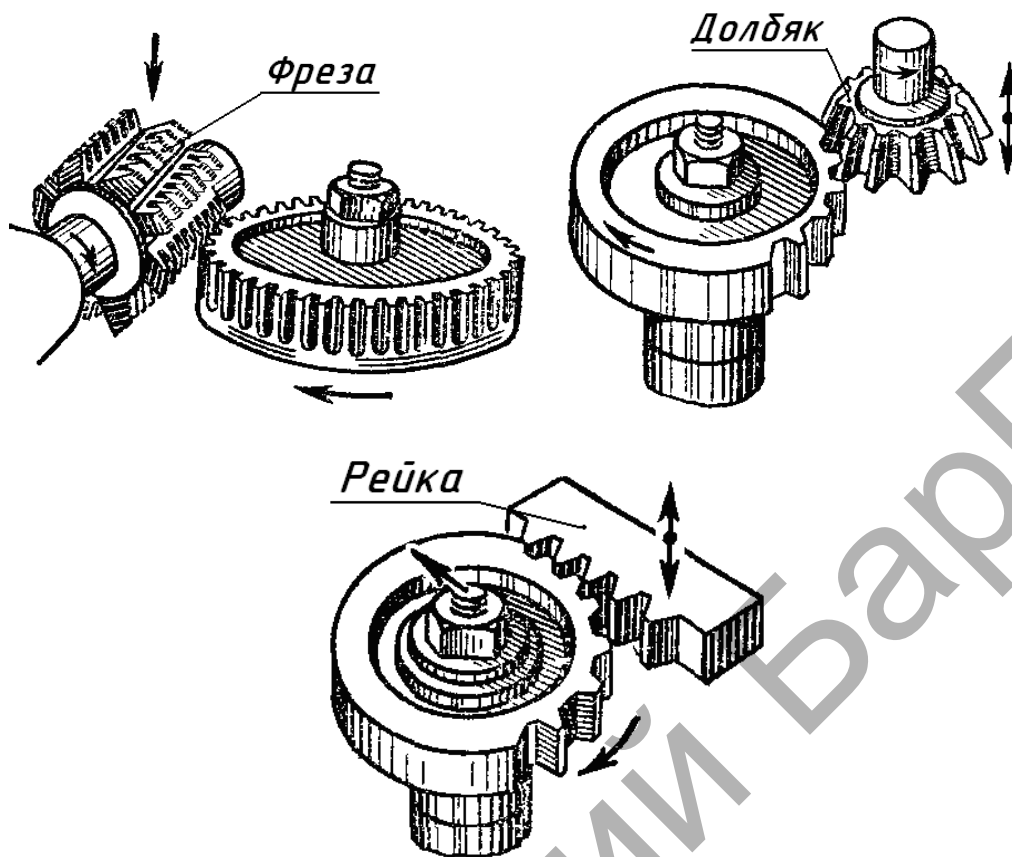
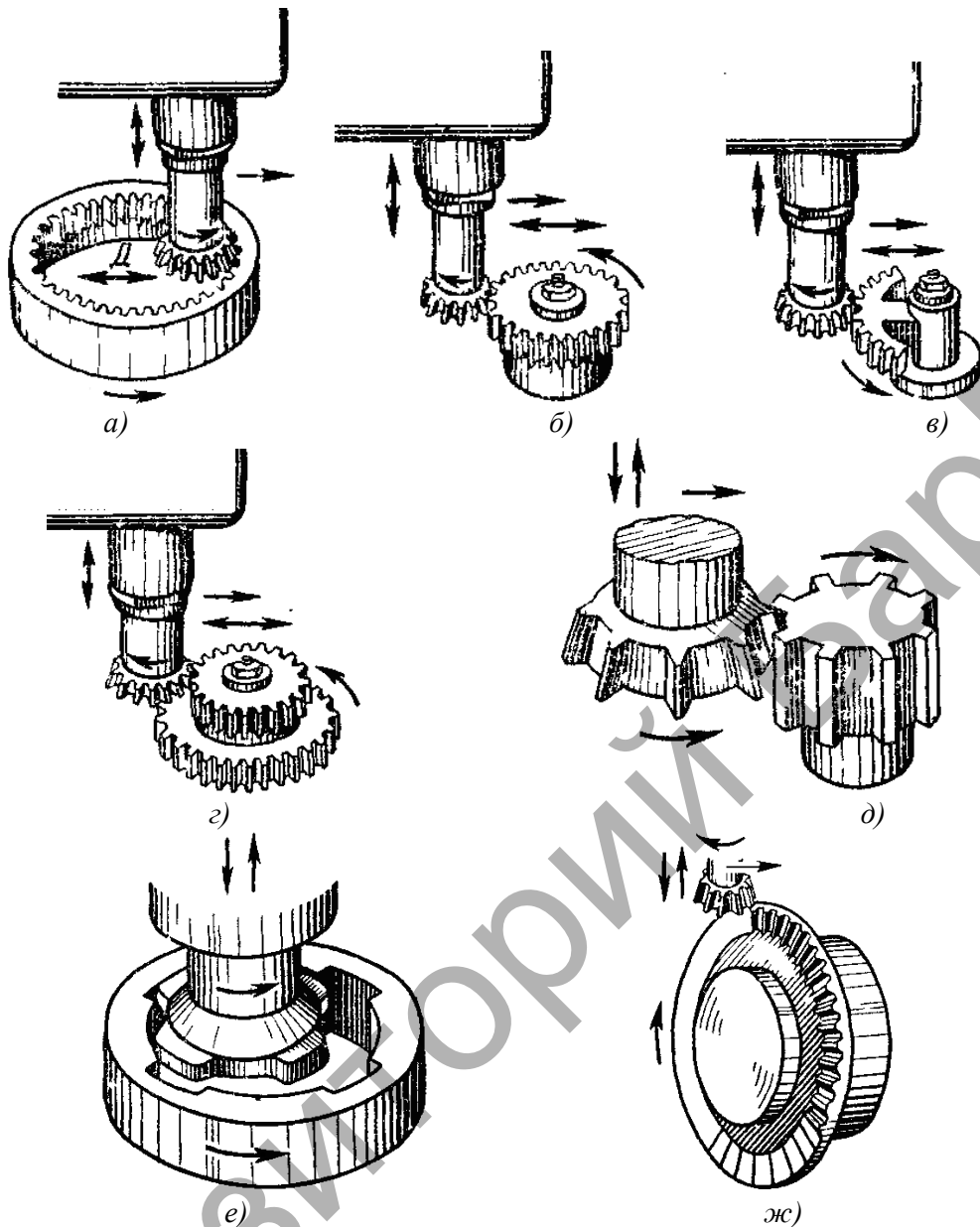


Рисунок 3.110 — Схемы зубонарезания колес методом огибания

и с буртиком (рис. 3.111, а, г, е, ж). На зубодолбежных станках для среднего машиностроения можно обрабатывать зубчатые колеса диаметром до 2280 мм, длиной зуба до 170 мм с модулем от 0,1 до 12 мм. Современные зубодолбежные станки имеют жесткую конструкцию, гидростатические подшипники и направляющие, работают с частотой до 2 500 ходов в минуту, удобны в работе и для автоматизации, электронное устройство позволяет точно останавливать станок в конце цикла и исключать уменьшение толщины последнего зуба.

Формообразование на зубодолбежном станке эвольвентного профиля зубьев обрабатываемых колес достигается методом обкатки двух цилиндрических колес. Профиль одного зубчатого колеса образуют кромки зубьев режущего инструмента — долбяка. Второе обрабатываемое колесо нарезается. Долбяк целесообразно считать ведущим колесом. Исходя из этого, его окружную скорость (круговую подачу) выбирают, руководствуясь только режимами резания. Вращение заготовки называется *делительным движением*. Для правильной обкатки колес скорость делительного движения заготовки должна строго совпадать с выбранной скоростью круговой подачи долбяка. Также, как сказано ранее, необходимо движение врезания долбяка на высоту зуба



a — зубчатое колесо внутреннего зацепления; *б* — зубчатое колесо;
в — зубчатый сектор; *г* — меньшее зубчатое колесо двойного блока;
д — шлицевой вал; *е* — шлицевая втулка; *ж* — торцовое зубчатое колесо

Рисунок 3.111 — Зубонарезание на зубодолбежном станке

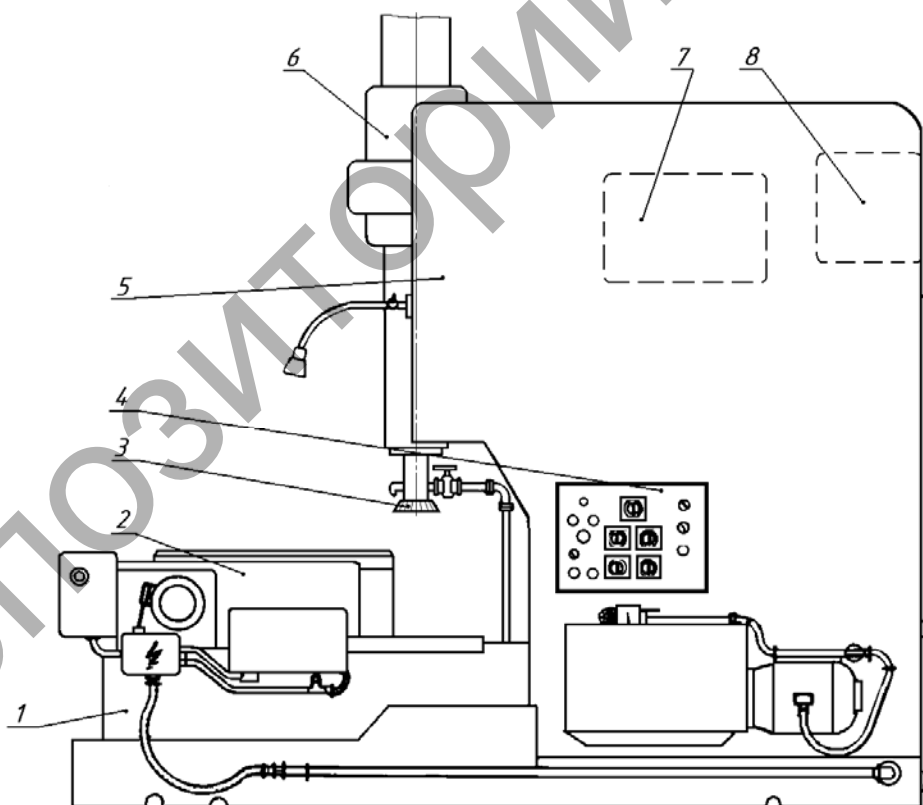
колеса, а при нарезании косозубых и шевронных колес — и поворот долбяка и заготовки на угол наклона зуба будущего зубчатого колеса.

Основные узлы зубодолбежных станков. Зубодолбежный полуавтомат модели 5В150 по своей компоновке является типовым представителем среди аналогичных станков. Предназначен он для нарезания долбяками цилиндрических зубчатых колес внешнего и внутреннего зацепления, а также валов-шестерен, зубчатых реек, зубчатых секторов и кулаков. Ось изделия и инструмента при обработке располагаются вертикально.

Движение обкатки обеспечивается жесткой кинематической связью между вращением инструмента и изделия. Главное движение — это возвратно-поступательные движения штосселя с долбяком. Установка межосевого расстояния, а также врезание на глубину зуба производятся перемещением стола с изделием с помощью передачи. Обеспечение зазора между долбяком и нарезаемым зубчатым колесом при холостом ходе долбяка осуществляется механизмом отводом долбяка в направлении общей оси долбяка и изделия. На станке возможна обработка зубчатых колес в один или два прохода при полуавтоматическом цикле работы. Изменение скорости резания и подачи при переходе от черновой обработки к чистовой осуществляется автоматически.

Полуавтомат модели 5В150 (рис. 3.112) состоит из станины 1, внутри которой находятся резервуары СОЖ и гидросистемы, а сверху установлена стойка 5. Стол 2 с червячной делительной передачей перемещается по направляющим станины с помощью гидроцилиндра по плоским направляющим.

В стойке 5 расположены основные механизмы станка: главный привод, коробка подач 7, кулисный механизм, связанный со штосселем суппорта 6, гитара подач. На боковой стенке стойки находится пульт управления 4, гитара подач.



1 — станина; 2 — стол; 3 — долбяк; 4 — пульт управления; 5 — стойка;
6 — суппорт; 7 — коробка подач; 8 — коробка скоростей

Рисунок 3.112 — Зубодолбежный полуавтомат модели 5В150

в ее верхней части укреплена коробка скоростей 8 суппорта, в котором расположены штоссель с червячной делительной передачей и пружина штосселя.

Кинематическая схема станка модели 5В150 (рис. 3.113). Станок предназначен для нарезания зубьев на цилиндрических зубчатых колесах внутреннего и наружного зацепления диаметром до 800 мм и модулем до 12 мм. Нарезаемое колесо крепится на горизонтальной планшайбе стола станка при помощи специального приспособления. Станок работает по замкнутому автоматическому циклу, причем после пуска станка начинается одновременное движение резания долбяка, обкат заготовки и инструмента и их радиальная подача. По достижении долбяком заданной глубины процесс врезания автоматически прекращается, после чего планшайба стола делает один полный оборот.

Станок может работать как по однопроходному, так и по двухпроходному циклу. При толковом уходе и регулировке станок обеспечивает нарезание зубчатых колес не ниже 7-й степени точности.

Механизмы полуавтомата осуществляют следующие формообразующие движения: 1) главное движение — возвратно-поступательное перемещение долбяка в вертикальной плоскости; 2) движение обката (делительное движение) — вращение долбяка и стола с заготовкой; 3) движение врезания радиальной подачи стола; вспомогательные движения — быстрое вращение заготовки, работа счетного механизма, управляющего автоматическим циклом обработки, механизм отвода долбяка при обратном ходе.

Главное движение осуществляется от трехскоростного электродвигателя 1 ($N=4,8; 5,7; 7,5$ кВт; $n = 710; 950; 1\ 430$ мин⁻¹) через клиноременную передачу 2-3, зубчатую пару 4-5, сменные колеса гитары скоростей $a-b$ и колеса 65-61. Колесо 61 является одновременно кривошипом, преобразующим вращательное движение в поступательное движение ползуна, на котором крепится долбяк. Для отвода долбяка при холостом ходе в нижней части суппорта есть устройство с эксцентриковым валом.

Уравнение кинематического баланса цепи главного движения:

$$n_{\text{дв. ход}} = 710 (950 \text{ или } 1\ 430) \cdot 125/265 \cdot 0,985 \cdot 30/45 \cdot a/b \cdot 19/75.$$

При этом число двойных ходов и средняя скорость резания связаны зависимостью

$$v_{\text{ср}} = 2ln_{\text{дв. ход}} / 1\ 000,$$

где l — длина хода долбяка.

Цепь обката связывает вращение заготовки и инструмента от стола 51 через червячную пару 49-50, гитары обката d_2-c_2, b_2-a_2 , коническую пару 44-52, конический реверсивный механизм 62-63-64 и червячную пару 58-59.

Уравнение кинематического баланса цепи обката следующее:

$$n_{\text{об}} = 1 / z_{\text{долб}} \cdot 90 / 1 \cdot 45 / 45 \cdot 25 / 25 \cdot a_1 / b_1 \cdot c_1 / d_1 \cdot 1 / 168 \cdot 1 / z_{\text{дет.}}$$

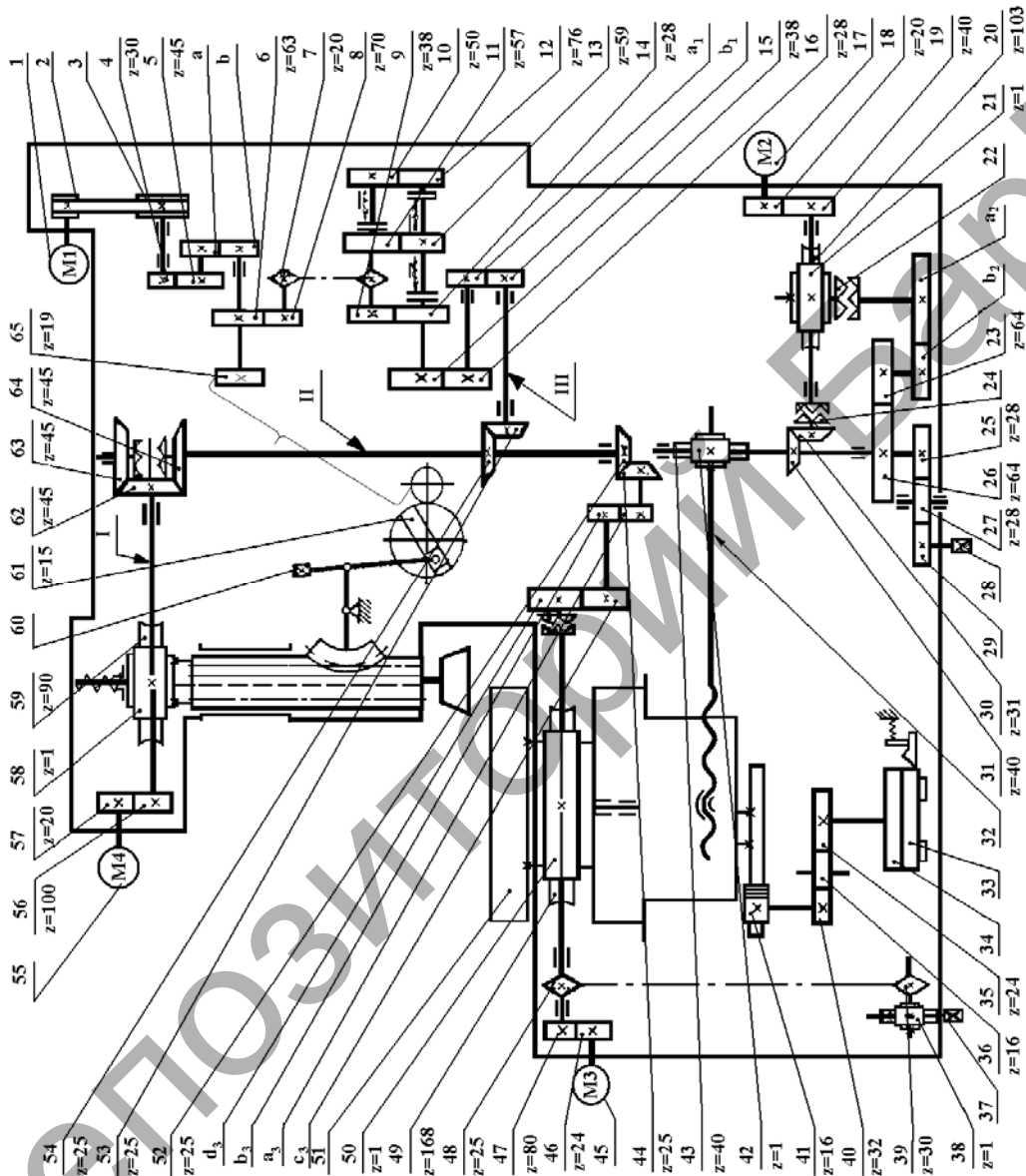


Рисунок 3.113 — Кинематическая схема станка модели 5B150

Цепь круговой подачи связывает возвратно-поступательное движение ползуна через кривошипный механизм 60, зубчатые колеса 61-65, 6-8, цепную передачу 7, колеса 9-14 или 11-13, или 10-12, 15-16, сменные колеса гитары круговых подач a_1 и b_1 , вал III, конические колеса 53-54, 62-63-64, вал I и червячную пару 58-59 с круговым движением ползуна.

Уравнение кинематического баланса цепи круговой подачи:

$$s = 1_{\text{дв. ход}} \cdot 75 / 19 \cdot 83 / 70 \cdot 20 / 32 \cdot 38 / 78 (57 / 59 \text{ или } 50 / 66) \times \\ \times 28 / 56 \cdot a / b_1 \cdot 25 / 25 \cdot 45 / 45 \cdot 1 / 90 \cdot \pi d_{\text{долб.}}$$

Движение радиальной подачи осуществляется от реверсивного электродвигателя 17 ($N = 22$ кВт; $n = 1\,430$ мин⁻¹) через зубчатую передачу 18-19, червячную пару 21-20, муфту 22, сменные колеса гитары a_2 - b_2 , колеса 23-26, червячную пару 42-43 и винт 32. При рабочей подаче муфта 24 выключена, а муфта 22 включена. Одновременно муфты 22 и 24 не включаются. При реверсе двигателя 17 для быстрого отвода стола движение передается через зубчатые колеса 18-19, муфту 24, конические колеса 30-31, червячную пару 42-43 и винт 32. Ручное перемещение стола выполняется поворотом валика 28 и колес 27 и 25. При этом муфты 22 и 24 должны быть выключены.

Уравнение кинематического баланса цепи радиальной подачи:

$$s_{\text{рад}} = 1\,430 \cdot 20 / 40 \cdot 1 / 103 \cdot a_2 / b_2 \cdot 64 / 64 \cdot 1 / 40 \cdot 10.$$

Реверсирование двигателя 17 и переключение муфт 22 и 24 осуществляется при помощи механизма врезания, диски которого 33-34 приводятся во вращение перемещением стола 51 от рейки через зубчатые колеса 41-40-36-35. Один диск служит для однопроходного цикла, другой — для двухпроходного. За 1 мм хода стола диски 33-34 поворачиваются на 10 мм по окружности наружного диаметра; на дисках нанесены деления, по которым устанавливают глубину врезания. Как только одна из фиксирующих собачек попадет во впадину на диске 33, рычаг воздействует на микропереключатели, которые выключают электродвигатель 17 радиальной подачи, и стол 51 останавливается.

Электродвигатель 45 ($N = 1,1$ кВт; $n = 930$ мин⁻¹) через зубчатые колеса 46-47 и червячную пару 50-49 при выключенной на этом же валу муфте приводит стол в быстрое вращение для точной установки заготовки. Стол можно вращать вручную надев рукоятку на валик 37 и задействовав червячную пару 38 и цепную передачу 39-48. Вращение шпинделю долбяка для проверки биения посадочной шейки сообщает электродвигатель 55 ($N = 0,8$ кВт; $n = 1\,370$ мин⁻¹). Ручное вращение стола осуществляется от рукоятки 37. Отсчет полного оборота стола с заготовкой производится счетчиком.

Методика кинематической настройки станка. В качестве исходных данных должны быть известны число зубьев нарезаемого колеса z , модуль m , число зубьев долбяка z_d , угол профиля α и материал нарезаемого колеса.

Исходя из этого, и учитывая длину хода долбяка и среднюю скорость резания, в первую очередь рассчитывают число двойных ходов долбяка, где движениями конечных звеньев будут вращение вала электродвигателя I и прямолинейное перемещение ползуна.

Во-вторых, производят настройку радиальной подачи, связывающей частоты вращения электродвигателя 17 и винта 32 стола 51 . Ускоренная подача имеет одну скорость, равную 142 мм / мин.

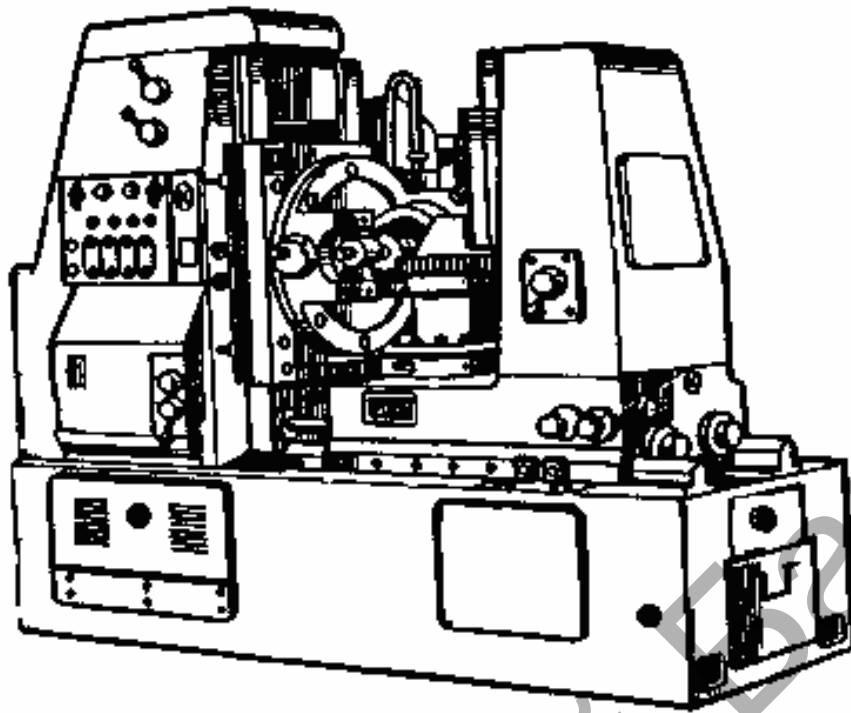
В-третьих, осуществляют настройку круговой подачи, исчисляемой в миллиметрах перемещения по диаметру начальной окружности долбяка за один двойной ход. Кинематическая цепь связывает вращение кривошипа с вращением долбяка.

В-четвертых, определяются сменные зубчатые колеса a_3 , b_3 , c_3 и d_3 гитары деления, связывающие вращение долбяка и заготовки. Для продления срока службы долбяка после $130...180$ мин работы производится реверсирование движения обката инструмента и заготовки, что позволяет включить в работу неизношенные режущие кромки инструмента — это пятая настраиваемая кинематическая цепь.

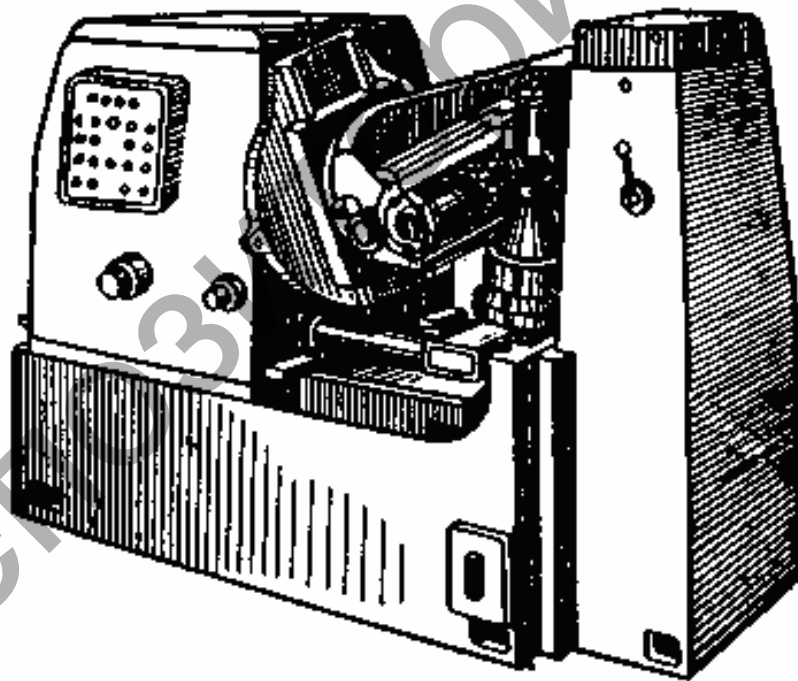
На зубодолбежном станке модели $5B150$ можно обрабатывать и косозубые колеса, для чего устанавливают копир с винтовой направляющей, угол наклона которой равен углу наклона зубчатого колеса. В этом случае и долбяк должен быть косозубым.

Силы при обработке деталей на зубодолбежном станке. Нагрузка на инструмент во время нарезания долбяком одной межзубной впадины зубчатого колеса меняется от максимальной в начале до минимальной в глубине впадины. Скорость возвратно-поступательного движения долбяка изменяется по синусоиде, вызывая вибрации оборудования, что, как и переменные силы при обработке деталей, не способствует повышению производительности и улучшению условий работы станка.

Зубофрезерные станки (рис. 3.114) наиболее распространены среди зубообрабатывающих станков, так как обладают широкой универсальностью при высокой точности обработки. Режущим инструментом являются дисковые модульные или червячные модульные фрезы, имеющие обычно форму архимедовых червяков. Придавая червячной фрезе соответствующий профиль, кроме зубьев цилиндрических и червячных колес, можно обрабатывать зубья звездочек цепных передач, храповые колеса, шлицевые валы и зубчатые рейки. Зубофрезерные станки *по положению оси* нарезаемого колеса делятся на вертикальные и горизонтальные, а *по методу обработки* — на работающие по схеме копирования и схеме обкатки. В условиях крупносерийного



a)



б)

a — модель 5К32; *б* — модель RA200

Рисунок 3.114 — Зубофрезерные станки

и массового производства метод копирования применяют для предварительной обработки зубьев, используя станки, работающие по полуавтоматическому циклу. Предварительную обработку впадины чаще всего производят дисковыми модульными фрезами. Зубофрезерные станки для указанных целей выпускают в двух исполнениях — для обработки цилиндрических и конических прямозубых колес, отличающихся только конструкцией зажимного приспособления. Данные станки, работающие по методу огибания, предназначены для обработки цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями и червячных колес. При наличии специального приспособления возможна нарезка колес внутреннего зацепления.

Структурная схема зубофрезерных станков (рис. 3.115) объединяет кинематические группы, выполняющие определенные движения и соединенные между собой разными способами: суммирующими механизмами, муфтами и т. п. Главной частью кинематической структуры является формообразующая. По этому признаку наш зубофрезерный станок относится к классу С25, т. е. имеет две формообразующие кинематические группы и пять простых вращательных и поступательных движений при сложной структуре.

Формообразование цилиндрических зубчатых и червячных колес. Формообразующие движения для нарезания колес на зубофрезерных станках зависят от применяемого метода. У станков, работающих по методу копирования,

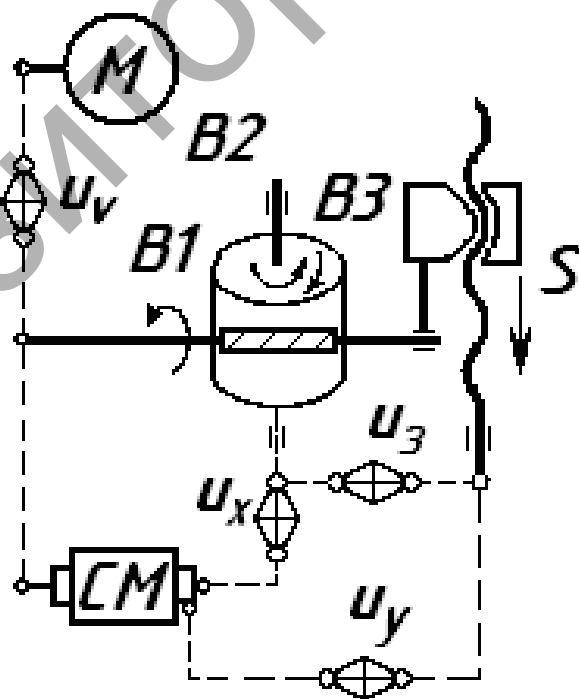


Рисунок 3.115 — Структурная кинематическая схема зубофрезерного станка

для получения зубьев на заготовке нужны три движения: 1) главное движение — вращение фрезы (V_1); 2) движение подачи — относительное перемещение инструмента вдоль зуба нарезаемого колеса (s); 3) движение деления — периодический поворот заготовки на один зуб после обработки очередной впадины.

При нарезании прямозубого цилиндрического колеса *по методу обката* надо согласовать следующие движения (см. рис. 3.115): 1) главное движение — вращение фрезы V_1 , регулируемое специальной передачей u_v ; 2) вращение заготовки V_2 или V_3 согласовано с вращением фрезы V_1 ; 3) перемещение суппорта с фрезой параллельно оси стола и заготовки s , настраивается органом u_3 . Суппорт может перемещаться вверх или вниз. При его перемещении вниз осуществляется встречное фрезерование; 4) для образования винтовой линии при нарезании косозубых колес к рассмотренным формообразующим движениям добавляется движение поворота заготовки на угол наклона зуба (дифференциальная цепь), когда вращательное движение фрезы и стола согласовываются двумя одновременно действующими и настраиваемыми цепями: основной и дополнительной.

Основные узлы зубофрезерных станков рассмотрим на примере зубофрезерного станка модели 5М324А (рис. 3.116), предназначенного для нарезания зубьев цилиндрических прямозубых и косозубых колес и червячных колес в условиях серийного и крупносерийного производств.

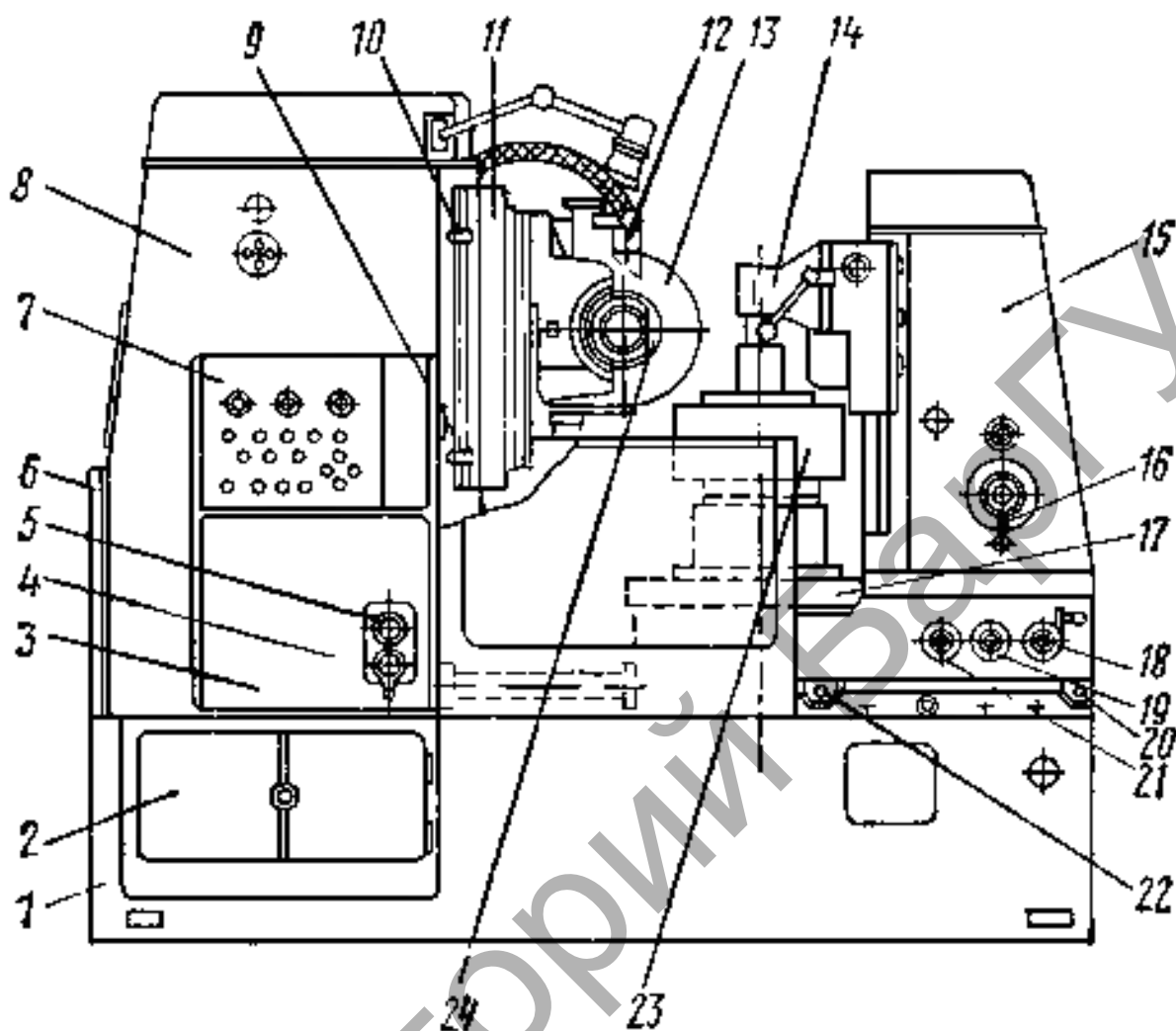
Станок состоит из станины 1, на которой жестко закреплена стойка 8 и перемещается стол 17, с контрподдержкой 15. По направляющим стойки в вертикальном направлении перемещается каретка 11 с суппортом 13, несущим инструмент.

В станине 1 размещены коробка 2 со сменными зубчатыми колесами гитары главного движения. Главный электродвигатель, приводящий во вращение стол с нарезаемым зубчатым колесом 23 и инструментальный шпиндель с червячной фрезой 24, находится с задней стороны станины. В станине размещен транспортер стружки, приводимый во вращение от отдельного электродвигателя, и резервуар для СОЖ, откуда жидкость насосом подается в зону обработки, а ее количество регулируется краном 12.

Стойка 8 служит для размещения коробки 3 с механизмами передвижения каретки 11, которую можно перемещать вручную за квадрат 5 или автоматически, поворачивая рукоятку 4 в положение включения автоматической подачи. Под крышкой 6 хранятся сменные зубчатые колеса гитары деления и сменные зубчатые колеса гитары дифференциала. На передней стенке стойки укреплен пульт управления 7.

Каретка 11 снабжена передвигаемыми упорами 9 и 10, которые регулируют величину хода каретки, воздействуют на расположенные в стойке конечные выключатели, отключающие электродвигатель вертикального перемещения каретки.

В корпусе стола 17 размещен шпиндель с устанавливаемым на нем нарезаемым зубчатым колесом 23. Сверху корпуса стола 17 жестко закреплена



1 — станина; 2 — коробка скоростей; 3 — распределительная коробка; 4 — валик ручного перемещения каретки; 5 — рукоятка автоматического перемещения каретки; 6 — коробка деления; 7 — пульт управления; 8 — стойка; 9, 10 — упоры регулирования хода каретки; 11 — каретка; 12 — кран охлаждения; 13 — суппорт; 14 — кронштейн; 15 — контрподдержка; 16 — кран перемещения кронштейна; 17 — стол; 18 — рукоятка установки упоров; 19 — винт перемещения стола; 20, 22 — упоры подвода стола; 21 — рукоятка смазки стола; 23 — заготовка; 24 — червячная фреза

Рисунок 3.116 — Зубофрезерный станок модели 5M324A

контрподдержка 15 с передвижным кронштейном 14, служащим для центрирования оправки с заготовкой. Кронштейн поднимается и опускается гидроцилиндром, управляемым вручную краном 16. Корпус стола 17 можно перемещать вручную, вращая винт с квадратом 19. Рукояткой 18 устанавливают в определенное положение упоры стола. Вращением вручную валика 21 осуществляют смазку механизмов, расположенных в столе. Упоры 20 и 22 дают команду на ускоренный подвод стола.

Станок обладает высокой степенью автоматизации.

Кинематическая схема станка модели 5М324А (рис. 3.117). *Цепь главного движения:* электродвигатель 1, зубчатые колеса 68-69-67, сменные колеса гитары скоростей $a-b$ (валы I, XXIV II), колеса 2-3, 42-43, вал XVI, колеса 48-49, 46-47.

Уравнение кинематического баланса данной цепи:

$$n_{\text{фр}} = 1460 \cdot 26 / 56 \cdot 56 / 69 \cdot a / b \cdot 29 / 29 \cdot 29 / 29 \cdot 29 / 29 \cdot 20 / 80.$$

Цепь вращения стола: электродвигатель 1, зубчатые колеса 68-69-67, сменные колеса гитары скоростей $a-b$, колеса 2-3, 70-71, 17-18-19, дифференциал, передачи 22-23, колеса $e-f$, сменные колеса гитары деления a_1-b_1 , c_1-d_1 , колеса 24-25, 62-63, червячная пара 57-56. Колесо 56 скреплено со столом.

Делительная цепь, связывающая вращательное движение фрезы и стола: это колеса 47-46, 49-48, 43-42, 70-71, 17-18-19, дифференциал, передачи 22-23, колеса $e-f$, сменные колеса гитары деления a_1-b_1 , c_1-d_1 , колеса 25-24, 62-63, червячная передача 57-56.

Уравнение кинематического баланса делительной цепи:

$$k / z = 1 \text{ об. фрезы} \cdot 80 / 20 \cdot 29 / 29 \cdot 29 / 29 \cdot 27 / 27 \cdot 27 / 27 \cdot 58 / 58 \times \\ \times f / e \cdot a_1 / b_1 \cdot c_1 / d_1 \cdot 33 / 33 \cdot 35 / 35 \cdot 1 / 96$$

где k — число заходов фрезы;

z — число зубьев нарезаемого колеса.

Цепь вертикальной подачи: червячная пара 56-57, колеса 63-62, 24-25, червячная передача 27-26, колеса 30-31, сменные колеса гитары подач a_3-b_3 , колеса 35-37, 8-6-5, червячная передача 73-72, винт вертикальной подачи с шагом $P_1 = 10$ мм.

Уравнение кинематического баланса цепи подачи каретки фрезерного суппорта

$$s = 1 \text{ об. дет} \cdot 96 / 1 \cdot 35 / 35 \cdot 33 / 33 \cdot 2 / 26 \cdot 48 / 48 \times \\ \times a_3 / b_3 \cdot 39 / 65 \cdot 50 / 45 \cdot 45 / 45 \cdot 1 / 27 \cdot 10.$$

Ускоренная вертикальная подача идет по цепи от электродвигателя 32, потом передача 33-34, колеса 35-37, 8-6-5, червячная передача 73-72, винт вертикальной подачи с шагом 10 мм.

Цепь радиальной подачи для нарезания червячных колес идет от стола через червячную пару 56-57, колеса 62-63, 24-25, червячную пару 26-27, 30-31, сменные колеса a_3-b_3 , колеса 35-37, 10-12, 9-11, червячную пару 14-13 на винт радиальной подачи XXIII с шагом $P_2 = 10$ мм.

В станке есть дополнительная цепь, связывающая вращение стола и вращение фрезы. Началом этой цепи является стол. Затем идут колеса 56-57,

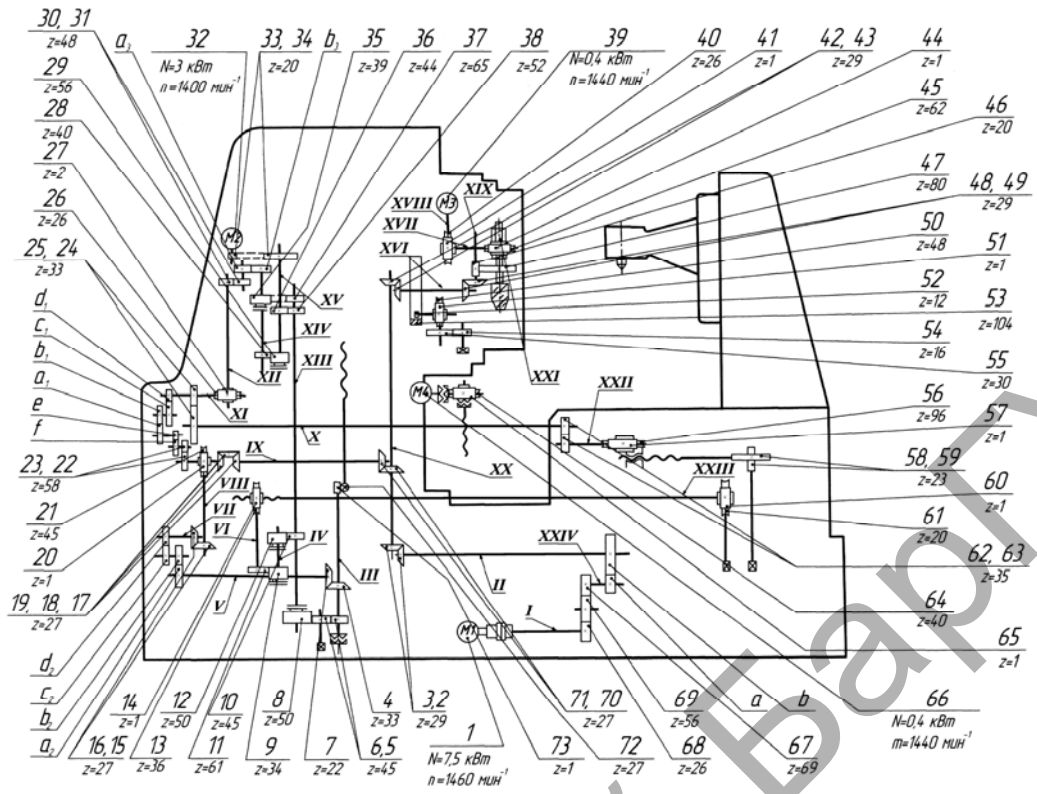


Рисунок 3.117 — Кинематическая схема станка модели 5M324A

62-63, 24-25, червячная пара 27-26, колеса 30-31, коробка подач со сменными шестернями a_3-b_3 , колеса 36-38, 8-6-5, коническая пара 4-7, гитара дифференциала a_2-b_2 , c_2-d_2 , колеса 15-16, червячная пара 20-21, дифференциальный механизм и далее через колеса 71-70, 42-43, 48-49, 46-47 на шпиндель.

При нарезании косозубых колес эта цепь сообщает заготовке дополнительное движение, которое в зависимости от направления наклона зуба может прибавляться к настроенному движению вращения заготовки или отниматься от него. Эта настройка может выполняться двумя методами: с помощью дифференциала или без него. Дифференциальная настройка с помощью дифференциального механизма суммирует основное и дополнительное вращения и передает их столу с заготовкой.

Уравнение кинематического баланса дополнительной цепи:

$$1 \cdot 96 / 1 \cdot 35 / 35 \cdot 33 / 33 \cdot 2 / 26 \cdot 48 / 48 \cdot a_3 / b_3 \cdot 44 / 52 \cdot 50 / 45 \times \\ \times 45 / 45 \cdot 33 / 22 \cdot a_2 / b_2 \cdot c_2 / d_2 \cdot 27 / 27 \cdot 1 / 45 \cdot u_{\text{диф}} \cdot 27 / 27 \times \\ \times 29 / 29 \cdot 29 / 29 \cdot 20 / 80 = \pm z / z' \cdot s_{\text{в}} / P,$$

где $u_{\text{диф}} = 2$ — передаточное отношение дифференциала;

z — число зубьев нарезаемого колеса;

z' — число заходов червячной фрезы;

$s_{\text{в}}$ — величина подачи фрезы на один оборот заготовки, мм;

P — шаг винтовой линии нарезаемого колеса, мм.

Методика кинематической настройки станка. Наладка зубофрезерного станка любого типа включает в себя ряд операций, которые рекомендуется выполнять в определенном порядке. Например, устанавливать суппорт на угол нужно сразу после установки фрезы, а фрезу следует ставить раньше заготовки.

На примере зубофрезерного станка модели 5М324А подробно рассмотрим, в каком порядке нужно настраивать станок на нарезание стального прямозубого колеса модулем 6 мм, с числом зубьев 30, червячной фрезой диаметром 125 мм методом попутного фрезерования в полуавтоматическом режиме работы станка. Необходимо получить зубчатое колесо 7-й степени точности по ГОСТ 1643-81.

Обычно при наладке зубофрезерного станка выдерживается следующая очередность выполнения работ:

- 1) проверка исправности станка и готовности его к работе;
- 2) настройка гитар главного движения, подач, деления и дифференциала;
- 3) установка инструмента;
- 4) установка угла наклона суппорта;

- 5) установка заготовки;
- 6) установка упоров глубины и длины фрезерования;
- 7) установка переключателей на панели управления.

Настройка кинематических цепей станка производится в следующем порядке:

1) установка скорости резания, которую выбирают, исходя из конкретных условий зубофрезерования, и указывают в технологической карте. По требуемой скорости резания наладчик подбирает сменные зубчатые колеса гитары главного движения, коробка которой на станке располагается с передней стороны станины. Сменные зубчатые колеса обеспечивают настройку девяти значений частоты вращения фрезы (50, 63, 80, 105, 125, 160, 200, 240, 315 мин⁻¹), что в зависимости от ее диаметра соответствует скоростям резания 16...190 м / мин.

Валы под сменные колеса гитары имеют постоянное межосевое расстояние, поэтому наладчик только устанавливает и закрепляет сменные колеса на валах, не заботясь о зазоре в зацеплении;

2) установка продольной подачи, величина которой определяется согласно требованиям, предъявляемым к шероховатости поверхности зубьев и точности нарезаемых колес. При черновом проходе величина подачи обычно назначается наибольшей величины, которая допускается на станке, и может достигать до 4...6 мм / об; при чистовом — выбирается в пределах 0,8...1,5 мм / об.

Коробка гитары подач расположена сзади станка. Сменные зубчатые колеса устанавливают на цилиндрические шейки валов с постоянным положением осей. Если зубчатое колесо нарезают правозаходной фрезой, то сменные колеса устанавливают на одни валы, а если левозаходной — то на другие валы.

3) настройкой гитары деления обеспечивается связь между фрезой и заготовкой. Гитара деления располагается с левой стороны суппортной стойки под крышкой 6 (см. рис. 3.116). Сменные зубчатые колеса подбирают по таблице, помещаемой в руководстве по эксплуатации станка.

Особый случай наладки представляет собой нарезание колес с простым числом зубьев свыше 100 (например, 101, 103, 107 и т. д.), когда приходится использовать гитару дифференциала и гитару подач;

4) установка инструмента. Одним из условий получения высокой точности при зубофрезеровании является точная установка фрезы, которую после установки на шпиндель, проверяют на радиальное биение по ее контрольным буртикам. Периодически также проверяют радиальное биение посадочной и торцевое биение опорной поверхностей оправки. Контроль производят индикатором часового типа, закрепляемым на корпусе суппорта.

Установленную на шпиндель фрезу необходимо так расположить относительно центра стола, чтобы по возможности лучше использовать ее

режущие кромки и обеспечить правильное профилирование нарезаемого зубчатого колеса. При настройке станка нужно стремиться более полно использовать всю возможную величину перемещения фрезы. Крайние положения каретки суппорта с фрезой определяют упоры. Установка на величину передвижки фрезы производится по реле времени, находящемся в электрошкафу;

5) установка угла наклона суппорта. Правильное взаимное расположение витков червячной фрезы и зубьев нарезаемого колеса оказывает влияние как на точность обработки, так и на сам процесс зубофрезерования. Если фреза по углу установлена неправильно, то на нарезаемом колесе получается ошибка профиля, изменяются углы резания, смещаются в разные стороны линии резания. Для нарезания зубчатых колес применяют червячные фрезы с правым и левым направлением витков (правозаходные и левозаходные). При установке суппорта учитывают тот угол подъема витков, который маркирован на корпусе фрезы;

6) установка упоров. При наладке зубофрезерного станка обычно устанавливают упоры глубины врезания и длины фрезерования;

7) установка переключателей на пульте управления станка завершает процесс наладки.

Станки для обработки конических зубчатых колес позволяют обрабатывать зубчатые колеса для передачи движения между пересекающимися и скрещивающимися осями. Форма зубьев конического колеса по длине может быть прямолинейной или криволинейной, наклоненной к образующей начального конуса под углом. Из криволинейных зубьев, которые бывают просто криволинейные, с нулевым наклоном и гипоидные, чаще всего применяют круговой, как более простой для обработки. Прямозубые конические колеса нарезают двумя методами: копированием и обкаткой. Метод копирования в основном применяют для черновой прорезки впадин между зубьями прямозубых колес на зубофрезерных станках, работающих специальными дисковыми фрезами. Обработка прямозубых конических колес по методу обкатки имеет несколько разновидностей, но все они основаны на обкатывании пары зубчатое колесо — шестерня. Для нарезания криволинейных зубьев применяют также несколько методов, основным из которых является метод нарезания круговых конических зубьев торцовой резцовой головкой.

Формообразование на станках для обработки конических зубчатых колес. Принцип зубонарезания на зубофрезерных полуавтоматах дисковыми фрезами (рис. 3.118) заключается в том, что во время прорезки впадины конического зубчатого колеса 1 оно находится в неподвижном состоянии, а фреза 2 совершает вращение вокруг своей оси со скоростью $v_{рез}$

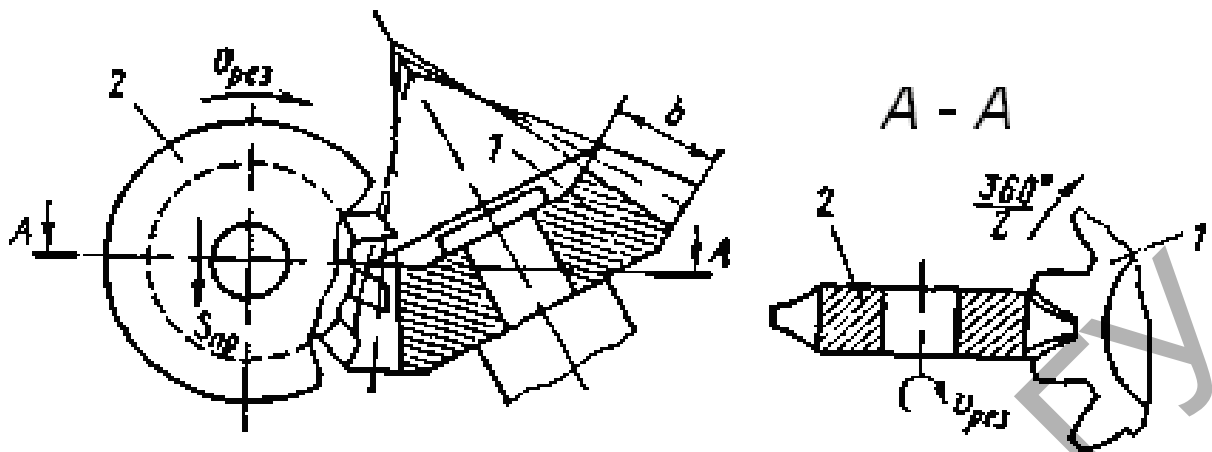


Рисунок 3.118 — Схема нарезания конических колес

резания и движение продольной подачи $s_{пр}$ вдоль линии дна впадины. После прорезки всей ширины b зубчатого венца фреза быстро возвращается в исходное положение. В то время, когда зубья фрезы полностью выйдут из зацепления с нарезаемым зубчатым колесом, заготовка 1 поворачивается на угол, равный $360^\circ / z$, т. е. на один зуб; цикл повторяется до тех пор, пока не будут прорезаны все впадины зубьев.

Нарезание зубьев на зубопротяжных станках (рис. 3.119) заключается в том, что во время прорезки впадины коническое зубчатое колесо находится в неподвижном состоянии, а протяжка, вращаясь вокруг своей оси равномерно со скоростью $v_{рез}$ резания, перемещается вдоль линии зуба на величину продольной подачи. Обработка впадины зуба и деление осуществляются за один оборот протяжки, причем деление происходит во время прохождения сектора без зубьев. Количество циклов равно количеству впадин.

Зубофрезерование конических зубчатых колес (рис. 3.120) с прямой, круговой и шевронной линией зуба *пальцевой модульной фрезой* заключается в том, что инструментальная бабка 5 во время нарезания впадины зуба обрабатываемого зубчатого колеса 1 движется со скоростью $v_{пр}$ продольной подачи в направлении, определяемом образующей конуса впадин (за счет вращения ходового винта 7 продольной подачи и поворота рычага 3), по взаимно перпендикулярным направляющим 4 и 6 , а пальцевая модульная фреза 9 , закрепленная в инструментальном шпинделе 8 , вращается со скоростью $v_{рез}$ резания.

Установка копирной линейки 2 , заставляющей рычаг 3 поворачиваться в процессе движения его и бабки 5 на угол ϵ , определяется углом конуса впадине δ . Деление, т. е. поворот обрабатываемого зубчатого колеса 1 на угол $360^\circ / z$, производится после выхода пальцевой фрезы за пределы колеса.

Нарезание конических зубчатых колес с прямыми и тангенциальными зубьями, производится на *зубострогальных станках*, работающих по методу обката.

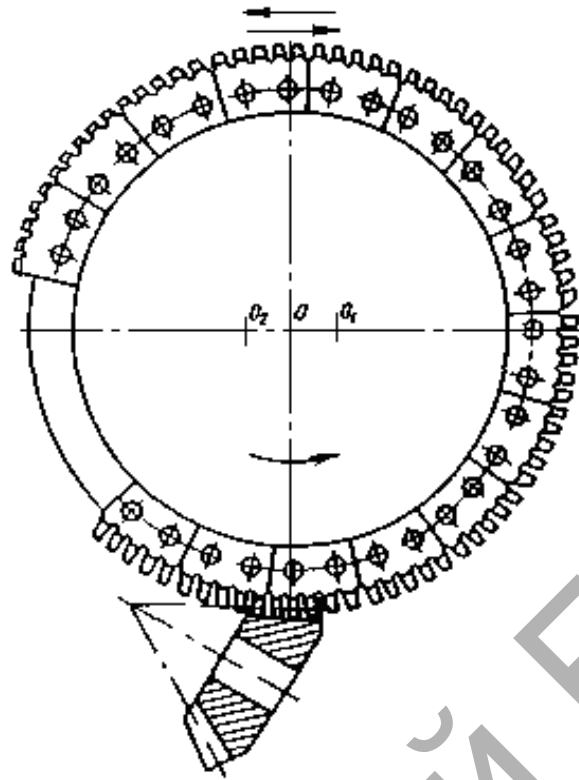


Рисунок 3.119 — Схема нарезания прямозубых конических колес круговой протяжкой (метод Ревесайкл)

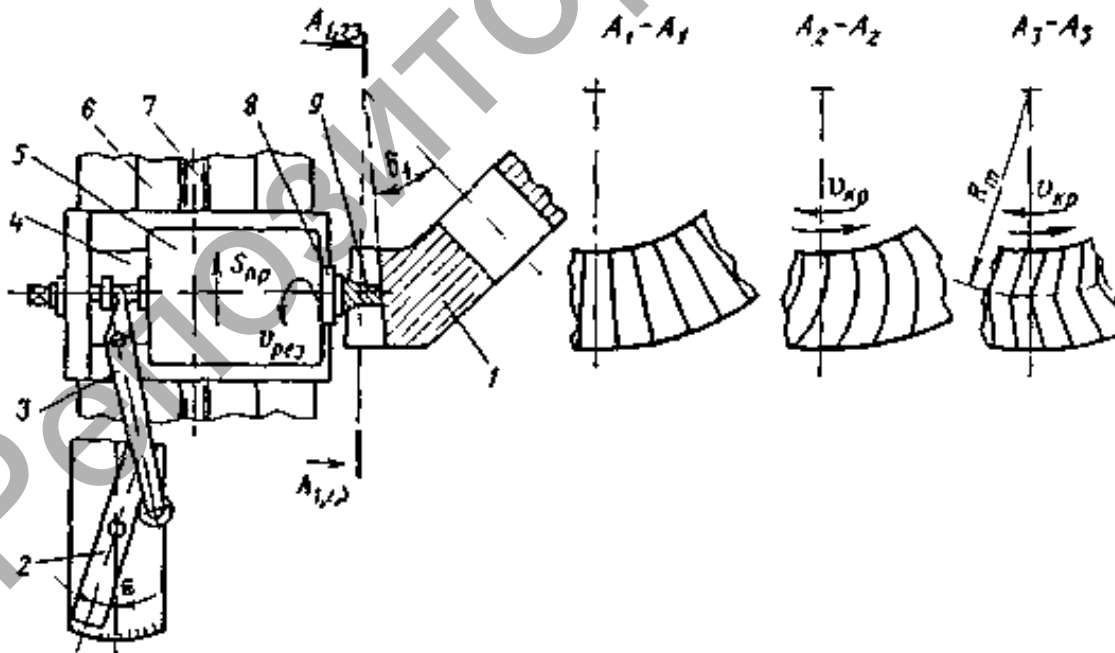


Рисунок 3.120 — Схема нарезания конических зубчатых колес пальцевой модульной фрезой

Работа только двумя строгальными резцами при их возвратно-поступательном движении из-за значительных инерционных сил и больших холостых ходов не позволяют иметь высокую производительность. Поэтому станки для обработки конических колес с прямыми и тангенциальными зубьями, имея хорошие технологические возможности и большую универсальность, применяются в мелкосерийном и серийном производствах. При установке специального устройства на торце люльки, на этом станке можно обрабатывать зубчатые колеса с круговой линией зубьев.

При нарезании дисковыми фрезами по методу обката конических зубчатых колес с прямыми зубьями получают колеса, которые правильно зацепляются и работают в паре с колесами, обработанными на зубострогальных станках, работающих по методу обката (рис. 3.121, а).

Широкое применение этих станков в промышленности обусловлено производительностью, превышающей производительность зубострогальных станков примерно в 3...5 раз, поэтому они предназначены для работы в условиях

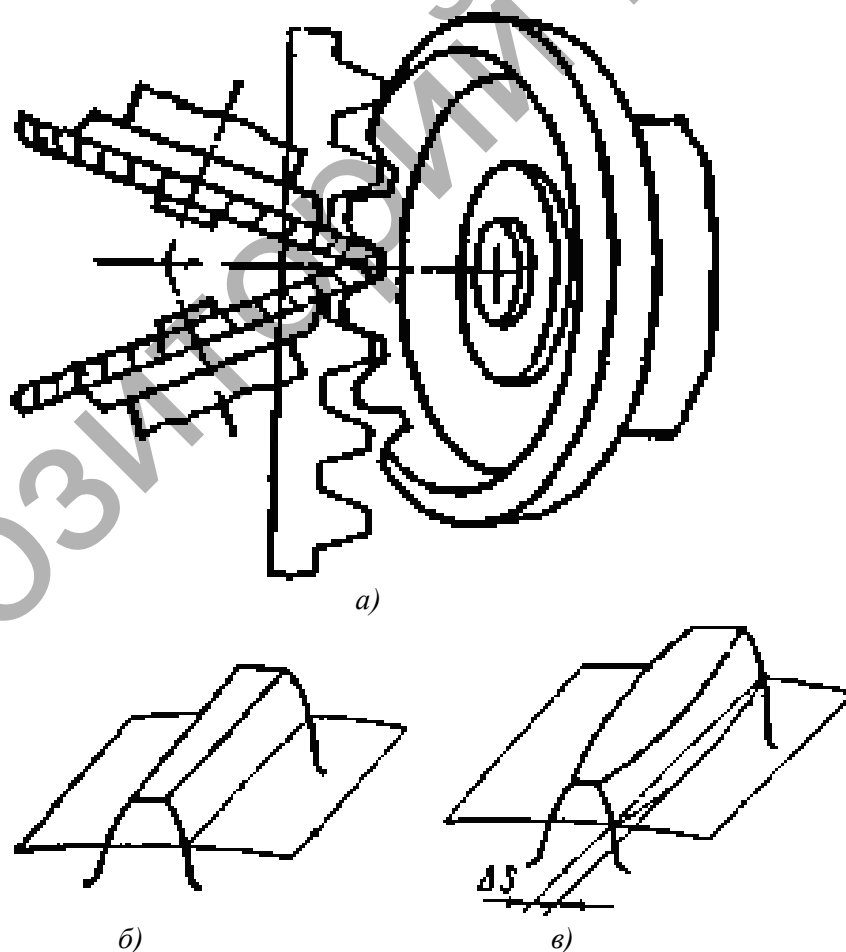


Рисунок 3.121 — Схема работы станка для нарезания конических зубчатых колес дисковыми фрезами по методу обката и виды получаемых зубьев

массового и крупносерийного производства. Повышение производительности на этих станках достигнуто применением многолезвийного инструмента и вращательного движения фрез вместо возвратно-поступательного, позволяющих работать с оптимальными скоростями резания и большими подачами. На них можно нарезать колеса с прямой линией зубьев (рис. 3.121, б) и с продольной бочкообразной модификацией (рис. 3.121, в).

Станки для нарезания конических зубчатых колес с круговой линией зубьев находят все большее применение в связи с тем, что у изготовленных с их помощью колес, по сравнению с прямозубыми, прочность зуба увеличена и они могут использоваться для работы в весьма тяжелых условиях. Круговая линия увеличивает коэффициент продольного перекрытия зуба, что повышает плавность работы передачи и быстроходность. Станки для нарезания конических зубчатых колес с круговой линией зубьев делятся на *работающие по методу*:

- врезания инструмента в заготовку (без обката);
- кругового протягивания (без обката — полуобкатных);
- обката.

Во всех указанных станках в качестве инструмента применяются вращающиеся резцовые головки.

Принцип *обработки зубьев врезанием инструмента в заготовку без обката* заключается в том, что вращающийся со скоростью $v_{рез}$ резания вокруг своей оси инструмент 1 (рис. 3.122), представляющий собой одностороннюю, двухстороннюю или трехстороннюю зуборезную резцовую головку (в зависимости от того чистовая или черновая обработка), подается на неподвижно стоящую заготовку 2 со скоростью $v_{вр}$ врезания до тех пор, пока не будет прорезана полная глубина впадины зуба. После этого инструмент 1 быстро отводится в исходное положение и производится деление на один зуб. Станки этого типа широко применяются в массовом и крупносерийном производствах, но могут применяться и в мелкосерийном. Конические полуобкатные передачи характеризуются тем, что обработка колеса производится без обкаточного движения зуборезными головками, от чего профиль зуба колеса получается не эвольвентным, а прямолинейным. Схема *обработки колес полуобкатных конических зубчатых передач* состоит в том, что инструмент 1 (рис. 3.123), представляющий собой круговую торцовую протяжку, вращается вокруг своей оси со скоростью $v_{рез}$ резания и его резцы снимают слой металла, оставленный после черновой обработки на боковых поверхностях зубьев нарезаемого колеса 2. Инструмент (протяжка) имеет промежуток между группой получистовых 3 и чистовых 4 резцов. Во время прохождения этого промежутка против нарезанной впадины обрабатываемое зубчатое колесо поворачивается на один зуб и цикл повторяется. После обработки всех зубьев заготовка 2 отводится от инструмента 1 в исходное положение и заменяется.

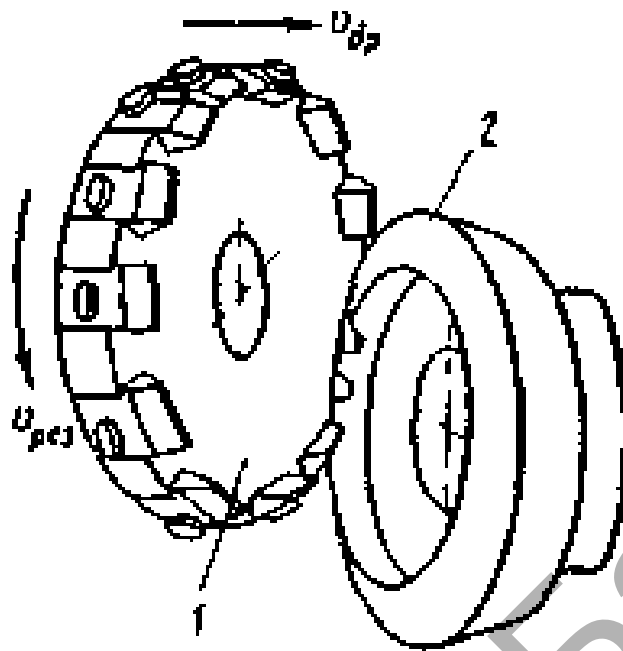


Рисунок 3.122 — Схема работы зуборезных станков по методу врезания инструмента в заготовку (без обката)

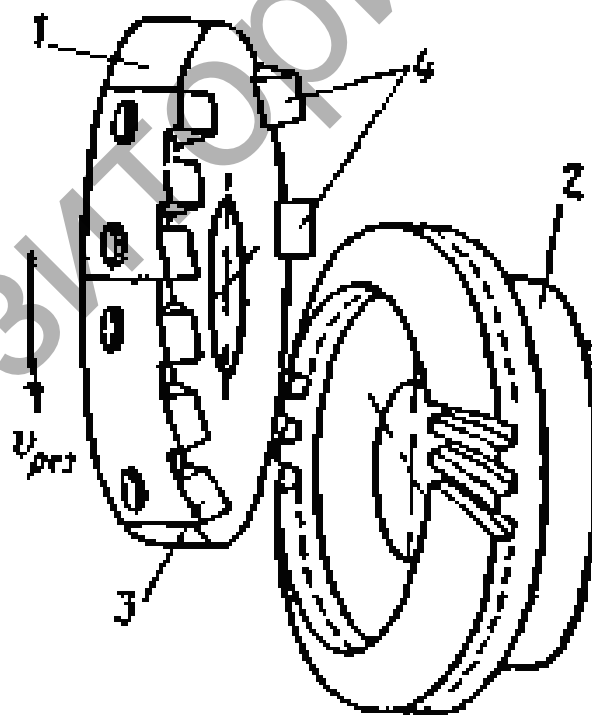
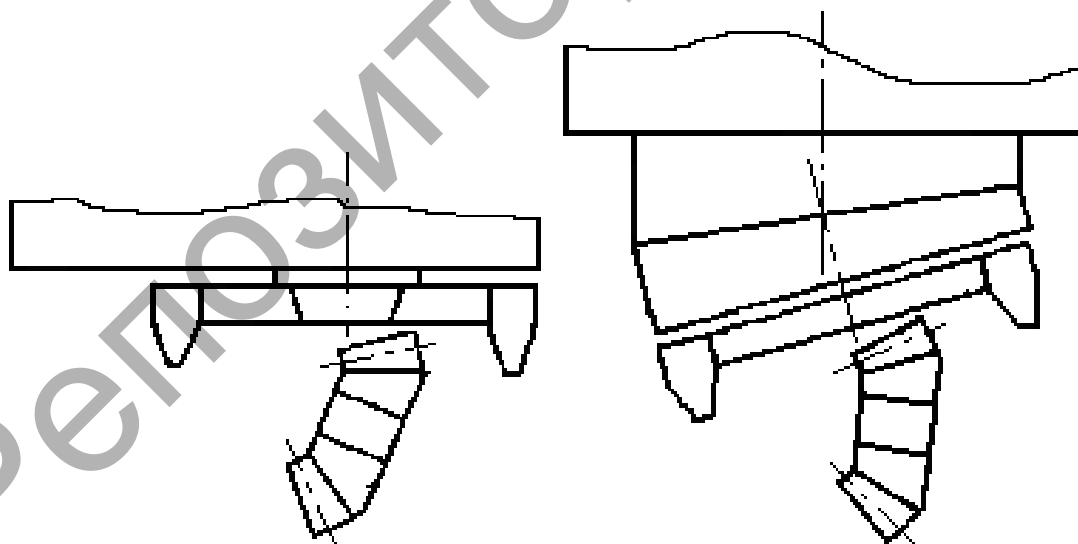


Рисунок 3.123 — Схема работы зуборезных станков по методу кругового протягивания (полуобкатных)

Конические колеса с круговой линией зуба по методу обката обрабатываются зуборезной головкой, резцы которой при своем вращении воспроизводят зуб плосковершинного или конусного производящего колеса.

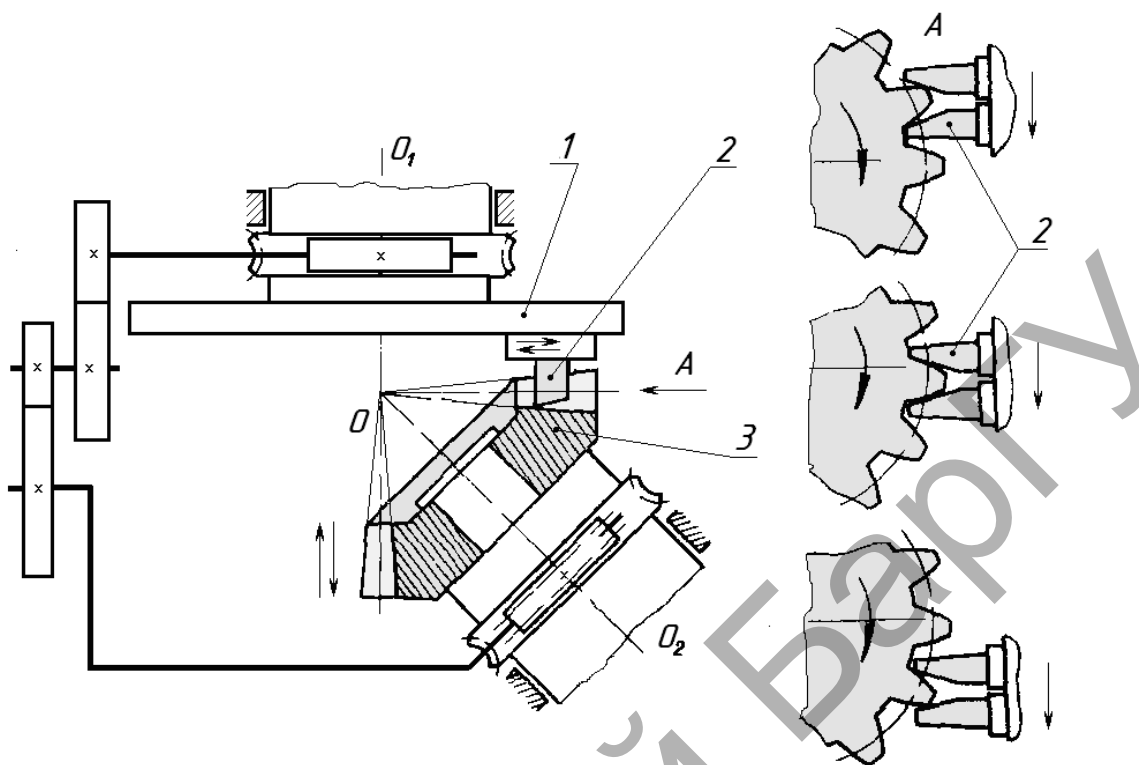
Зубья на обрабатываемом зубчатом колесе 1 (рис. 3.124) по схеме плосковершинного производящего колеса 2 с углом конуса вершины зубьев $\delta_a = 90^\circ$ (рис. 3.124, а) нарезают на станках, не имеющих наклона инструментального шпинделя 3. Зубья на обрабатываемом зубчатом колесе 1 (рис. 3.124, б) по схеме конусного производящего колеса 2 с углом конуса вершин зубьев $\delta_a < 90^\circ$ нарезают на станках, имеющих наклоняемый инструментальный шпиндель 3.

Принципиальная схема станка для нарезания конических колес с прямыми зубьями двумя зубострогальными резцами по методу обкатки представлена на рисунке 3.125. Роль условного плоского производящего колеса выполняет люлька 1 с двумя резцами 2, повторяющими одну впадину зубьев плоского производящего колеса. Нарезаемое колесо 3 устанавливается так, как должно было бы находиться в зацеплении с плоским производящим колесом. Люльке 1 и нарезаемому колесу сообщают такое согласованное вращение посредством кинематической цепи, которое обеспечивает вращение производящего колеса в зацеплении, т. е. с оборотами, обратно пропорциональными числу их зубьев. Для обеспечения процесса резания резцам сообщается возвратно-



а — схема плосковершинного производящего колеса;
б — схема конусного производящего колеса

Рисунок 3.124 — Обработка конических зубчатых колес с круговой линией зуба по схеме плосковершинного конусного производящего колеса



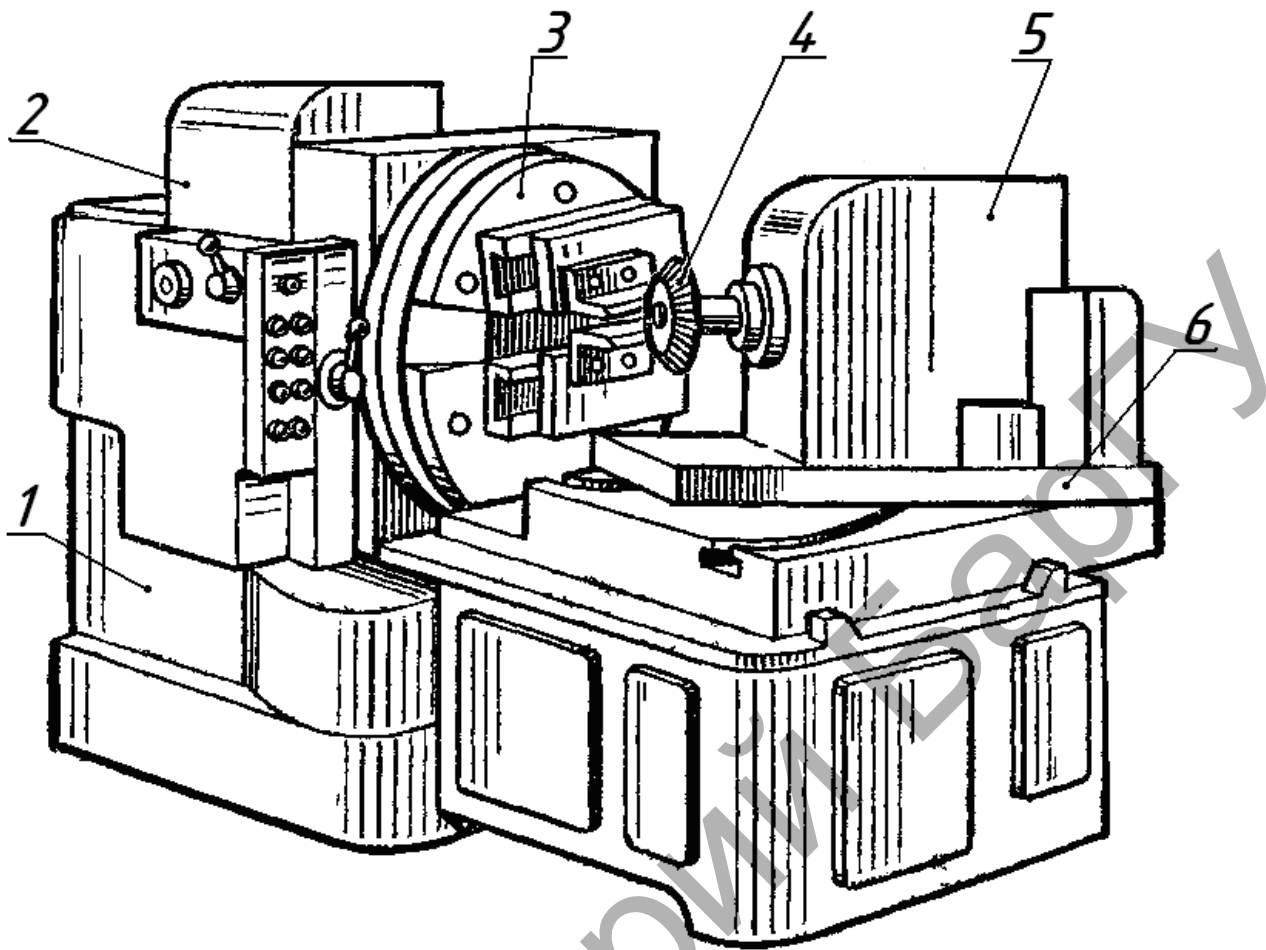
1 — люлька; 2 — каретки с резцами; 3 — заготовка

Рисунок 3.125 — Схема нарезания конических прямозубых колес по методу обкатки двумя зубострогальными резцами

поступательное движение вдоль торца люльки. Таким образом, при возвратно-поступательном движении резцов происходит нарезание зубьев конического колеса, а при одновременном вращении люльки с резцами выполняется обкатка зубьев, в результате чего резцами с прямолинейными профилями обрабатываются эвольвентные профили нарезаемых колес. Последовательное расположение резцов относительно зубьев нарезаемого колеса представлено на рисунке 3.125 вид А.

Работающий этим способом зубострогальный станок мод. 5А250 (рис. 3.126) предназначен как для чернового, так и чистового нарезания конических колес с прямыми зубьями модулем от 1,5 до 8 мм и диаметром до 500 мм. На данном станке, работающем двумя строгальными резцами, можно нарезать конические колеса бочкообразными зубьями. При черновом зубонарезании на станке мод. 5А250 можно работать по методу копирования, а при чистовом — по методу огибания.

Станок состоит из следующих основных узлов: станины 1, представляющей собой жесткую отливку коробчатой формы, внутри которой размещены механизмы и электрооборудование станка, передней бабки 2 и расположенной в ней люльки 3, на суппортах которой



1 — станина; 2 — передняя бабка; 3 — люлька; 4 — заготовка;
5 — делительная бабка; 6 — поворотная плита

Рисунок 3.126 — Зубострогальный станок модели 5A250

закрепляют и устанавливают резцы в определенном положении с помощью шкал и установочных приспособлений. Нарезаемое колесо 4 укрепляют на оправке, устанавливаемой в шпинделе делительной бабки 5 и зажимаемой посредством гидравлического зажима патрона. Делительная бабка смонтирована на поворотной плите 6.

Порядок работы при зубонарезании. При чистовом зубонарезании нажатием пусковой кнопки осуществляется быстрый подвод нарезаемого колеса, включается возвратно-поступательное движение суппорта с резцами, вращение нарезаемого колеса и люльки. По окончании обработки зуба нарезаемое колесо быстро отводится назад, люлька начинает вращаться в обратном направлении, а нарезаемое колесо продолжает вращаться в ту же сторону, что и при рабочем ходе. По окончании обратного хода люльки цикл повторяется.

При черновом зубонарезании работа происходит в основном так же, как при чистовом, но величина огибания уменьшается, а быстрый подвод стола

ползунов Π_1 и Π_2 резцы получают возвратно-поступательное движение. Расчетные перемещения резцов запишем следующим образом:

$$1\ 420\ \text{мин}^{-1} \rightarrow n_{\text{дв. ход / мин}}$$

Уравнение кинематического баланса запишем так:

$$n_{\text{дв.ход / мин}} = 1\ 420 \cdot 15 / 48 \cdot 34 / 34 \cdot A / B \cdot 30 / 72.$$

Из уравнения находим передаточное отношение сменных колес А и В для настройки гитары главного движения:

$$\begin{aligned} A / B &= n_{\text{дв. ход / мин}} / 185; \\ n_{\text{дв. ход / мин}} &= 1\ 000v / 2l, \end{aligned}$$

где v — скорость резания, выбираемая по нормативам, м / мин;

l — длина хода резцов, $l = b + (6 \dots 8)$ мм;

b — длина нарезаемого зуба, мм.

Станок снабжен набором сменных колес, дающих возможность установить девять различных чисел двойных ходов резцов в минуту в пределах от 73 до 470.

Цепь вращения барабана Б. Подачу станка определяют временем обработки одного зуба в секундах. От приводного электродвигателя М посредством колес $15 / 48$ движение передается на вал I, с которого сменными колесами $a / b \cdot c / d$ гитары подач движение через колеса $34 / 68$, фрикционную муфту, колеса $42 / 56$ передается на вал II, с которого зубчатыми колесами $44 / 96 \cdot 96 / 64$ через червячную передачу $2 / 66$ передается на барабан подач Б, снабженный двумя канавками для черновой и чистовой нарезки зубьев колеса. Барабан подачи совершает один оборот за время нарезания зуба, причем рабочему ходу соответствует поворот на 160° , или $\frac{2}{3}$ оборота, а холостому ходу 200° , или $\frac{1}{3}$ оборота.

Расчетными перемещениями в этом случае будут время t нарезания одного зуба в секундах и поворот барабана подач за это время на величину $\frac{2}{3}$ оборота. Уравнение кинематического баланса цепи подачи:

$$\begin{aligned} s \cdot 1420 / 60 \cdot 15 / 48 \cdot a / b \cdot c / d \cdot 34 / 68 \cdot 42 / 56 \cdot 44 / 96 \cdot 96 / 64 \times \\ \times 2 / 66 = \frac{2}{3} \end{aligned}$$

Отсюда находим передаточное отношение сменных колес гитары подач

$$a / b \cdot c / d = 7,69 / t.$$

Время нарезания одного зуба регулируется в пределах от 4 до 123 с / зуб.

Цепь ускоренных перемещений. От приводного электродвигателя М через колеса 15 / 48 и 34 / 34 движение к барабану подач может быть передано колесами 76 / 64 или 52 / 88 через фрикционную муфту, колеса 42 / 56 на вал II, откуда через колеса 44 / 96 · 96 / 64 на червячную передачу 2 / 66 барабана подач. Продолжительность ускоренного холостого хода люльки можно легко определить, зная, что барабан подач за это время должен повернуться на $\frac{1}{z}$ оборота.

Расчетные перемещения

$$\frac{1}{z} \text{с}^{-1} \rightarrow s_{xx} \text{ с / зуб.}$$

Если выбрана передача 76/64, то

$$s_{xx} = \frac{1}{z} \cdot 66/22 \cdot 64/96 \cdot 96/44 \cdot 56/42 \cdot 64/76 \cdot 48/15 \times \\ \times 60/1420 = 4 \text{ с / зуб,}$$

при передаче 52/88

$$s_{xx} = \frac{1}{z} \cdot 66/22 \cdot 64/96 \cdot 96/44 \cdot 56/42 \cdot 88/52 \cdot 48/15 \times \\ \times 60/1420 = 6 \text{ с / зуб.}$$

При нарезании колеса с числом зубьев $z \geq 17$ надо настраивать $s_{xx} = 4$ с / зуб, а при числе зубьев $z \leq 16$ $s_{xx} = 6$ с / зуб.

Цепь деления нарезаемого колеса связывает вращение распределительного барабана Б с вращением нарезаемого колеса. Движение от распределительного барабана Б через червячную передачу 66/2, зубчатые колеса 64/60 · 60/44 коническую передачу 2/23, вал III, зубчатые передачи 75/60 или 27/108, конические пары 26/26, 26 /26, 26/26 сменные колеса гитары деления $a_1/b_1 \cdot c_1/d_1$, конические колеса 30/30, 30/30, червячная передача 1/120 передается на шпиндель нарезаемого колеса.

Нарезаемое колесо непрерывно вращается в одном направлении. На станке деление происходит не последовательно зуб за зубом, а через несколько зубьев, но так, чтобы при каждом цикле заготовка поворачивалась на целое число зубьев z_1 , не имеющее общих множителей с числом зубьев нарезаемого колеса. Расчетные перемещения находят следующим образом: за время одного оборота распределительного барабана Б заготовка должна совершить z_1/z оборота, где z — число зубьев нарезаемого колеса. Уравнение делительной цепи при чистовом нарезании конического колеса по методу обкатки с участием пары колес 75/60 имеет вид:

$$1_{\text{об.расп.бараб}} \cdot 66/2 \cdot 64/60 \cdot 60/44 \cdot 23 /23 \cdot 75/60 \times \\ \times 26/26 \cdot 26/26 \cdot 26/26 \cdot a_1/b_1 \cdot c_1/d_1 \cdot 30/30 \cdot 30/30 \times 1/120 = z_1/z.$$

Откуда

$$a_1/b_1 \cdot c_1/d_1 = 2z_1/z.$$

При методе копирования при черновой обработке, когда в делительной цепи участвует пара колес 27/108, сменные колеса гитары деления подбирают по формуле

$$a_1/b_1 \cdot c_1/d_1 = 10z_1/z.$$

Цепь обкатки. Эта кинематическая цепь согласовывает вращение люльки с вращением нарезаемого колеса, при которых поворот люльки на $1/z_0$ должен соответствовать повороту нарезаемого колеса на $1/z$. Другими словами, когда производящее колесо z_0 повернется на один зуб, то и нарезаемое колесо также должно повернуться на один зуб. Уравнение цепи обкатки

$$1/z = 1/z_0 \cdot 135/2 \cdot 28/30 \cdot 1/102 \cdot 21/252 \cdot 224/14 \cdot 32/16 \times \\ \times 75/60 \cdot 26/26 \cdot 26/26 \cdot 26/26 \cdot u_{\text{дел}} \cdot 30/30 \cdot 30/30 \cdot 1/120,$$

откуда

$$z_0/z = 7u_{\text{дел}}/4u_{\text{ог}},$$

где $u_{\text{дел}}$ — передаточное отношение сменных колес гитары деления;
 $u_{\text{ог}}$ — передаточное отношение сменных колес гитары огибания,
равное $a_2/b_2 \cdot c_2/d_2$.

Подставляя в эту формулу вместо $u_{\text{дел}}$ отношения $2z_1/z$, получим формулу для подбора сменных колес гитары обкатки:

$$a_2/b_2 \cdot c_2/d_2 = 7z_1 \sin \delta / 2z,$$

где $z_0 = z/\sin \delta$ — половина угла при вершине начального конуса нарезаемого колеса.

Реверсивный механизм. Роль реверсивного механизма люльки выполняет составное зубчатое колесо (рис. 3.128, а), состоящее из нескольких частей: зубчатого сектора внутреннего зацепления ahq , имеющего 196 зубьев; зубчатого сектора наружного зацепления cde , имеющего 98 зубьев; полуокружностей abc и efq , имеющих по 28 зубьев. Замкнутый зубчатый контур $abcdefqha$ приводится во вращение зубчатым колесом, имеющим 14 зубьев. Благодаря такому устройству при вращении колеса с числом зубьев 14 в одну сторону замкнутый зубчатый контур $abcdefqha$ будет сообщать составному зубчатому колесу возвратное движение то в одну, то в другую сторону и тем самым реверсирование люльки, несущей режущий инструмент.

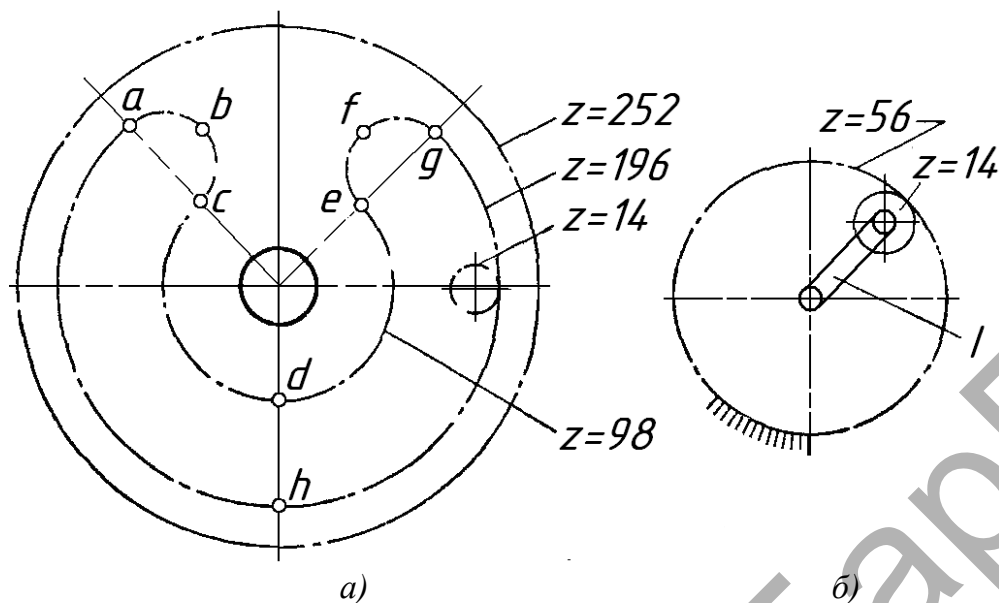


Рисунок 3.128 — Схема составного зубчатого колеса

Частота вращения колеса, имеющего 14 зубьев, за время цикла обработки одного зуба нарезаемого колеса может быть найдена из уравнения

$$n_{14} = z_s / 14 - 1,$$

где n_{14} — частота вращения колеса, имеющего 14 зубьев, за время одного качания составного зубчатого колеса;

z_s — число зубьев замкнутого контура, равное

$$z_s = 196 + 98 + 28 + 28 = 350.$$

Подставляя значение z_s в формулу, получим

$$n_{14} = 350 / 14 - 1 = 24 \text{ об / цикл.}$$

Это означает, что за 24 оборота колеса, имеющего 14 зубьев, происходит нарезание одного зуба на заготовке. За время одного качания составного колеса распределительный барабан Б совершит один оборот.

Найти необходимую частоту вращения колеса с числом зубьев, равным 14, за время цикла нарезания одного зуба можно следующим образом: при внутреннем зацеплении частота вращения ее равна $196 / 14 = 14$, при наружном зацеплении $98 / 14 = 7$. Когда происходит переход от внутреннего зацепления к наружному и наоборот, зубчатое колесо $z = 14$, контактируя с зубчатым колесом $z = 56$ (сложены две полушестерни), работает как планетарная передача, что схематично показано на рисунке 3.128, б, где I — ведущее звено (водило); колесо с числом зубьев 56 — неподвижное, а колесо с 14 зубьями — ведомое. Для нахождения передаточного отношения колеса с 14 зубьями составим таблицу 3.1.

Т а б л и ц а 3.1 — Определение передаточного отношения планетарной передачи

Движение	Звено системы		
	1	56	14
1-е частное	+1	+1	+1
2-е частное	0	-1	-56/14
Суммарное	1	0	-3

Следовательно, когда колесо с числом зубьев 14 полностью obeжит колесо с числом зубьев 56, оно совершит три оборота. При сложении знак минус не учитывают. Тогда частота вращения колеса с числом зубьев $z = 14$ составит $14 + 7 + 3 = 24$ об / цикл.

Гидропривод станка модели 5A250 предназначен для выполнения следующих работ: зажима нарезаемого колеса на оправке, переключения фрикционной муфты рабочего и холостого ходов, подвода и отвода стола и счета циклов для выключения станка после нарезания всех зубьев колеса.

Методика кинематической настройки станка 5A250. Наладка станка включает:

- 1) настройку кинематических цепей станка: деления, огибания, подач, скорости резания;
- 2) установку резцовых приспособлений и нарезаемого колеса;
- 3) установку требуемых положений узлов станка и величин их рабочих ходов.

Установка заготовки и делительной бабки. Заготовка нарезаемого колеса должна быть выполнена так, чтобы вершина делительного конуса нарезаемого колеса совпадала с вершиной делительного конуса производящего колеса, а образующая конуса впадин нарезаемого колеса была параллельна плоскости, в которой лежит линия движения резцов.

При установке заготовки (рис. 3.129, а) выдерживают *размерную цепь*

$$A_c = A_m + B,$$

где A_c — расстояние от торца шпинделя до центра станка, мм;

A_m — расстояние от вершины конуса до опорного торца, принимаемое по чертежу, мм;

B — толщина буртика, мм.

Установка поворотной плиты, несущей делительную бабку, определяется углом конуса впадин колеса.

Угловая установка суппортов. При нарезании конических колес суппорты с резцедержателями поворачивают на угол ω , который отсчитывают по шкале 1 (рис. 3.129, б), вместе с направляющей планкой 2. При чистовом зубонарезании этот угол определяют по формуле

$$\omega = 57,296(s_f/2 + h_f \operatorname{tg} \alpha) / R_e \cos \theta_f,$$

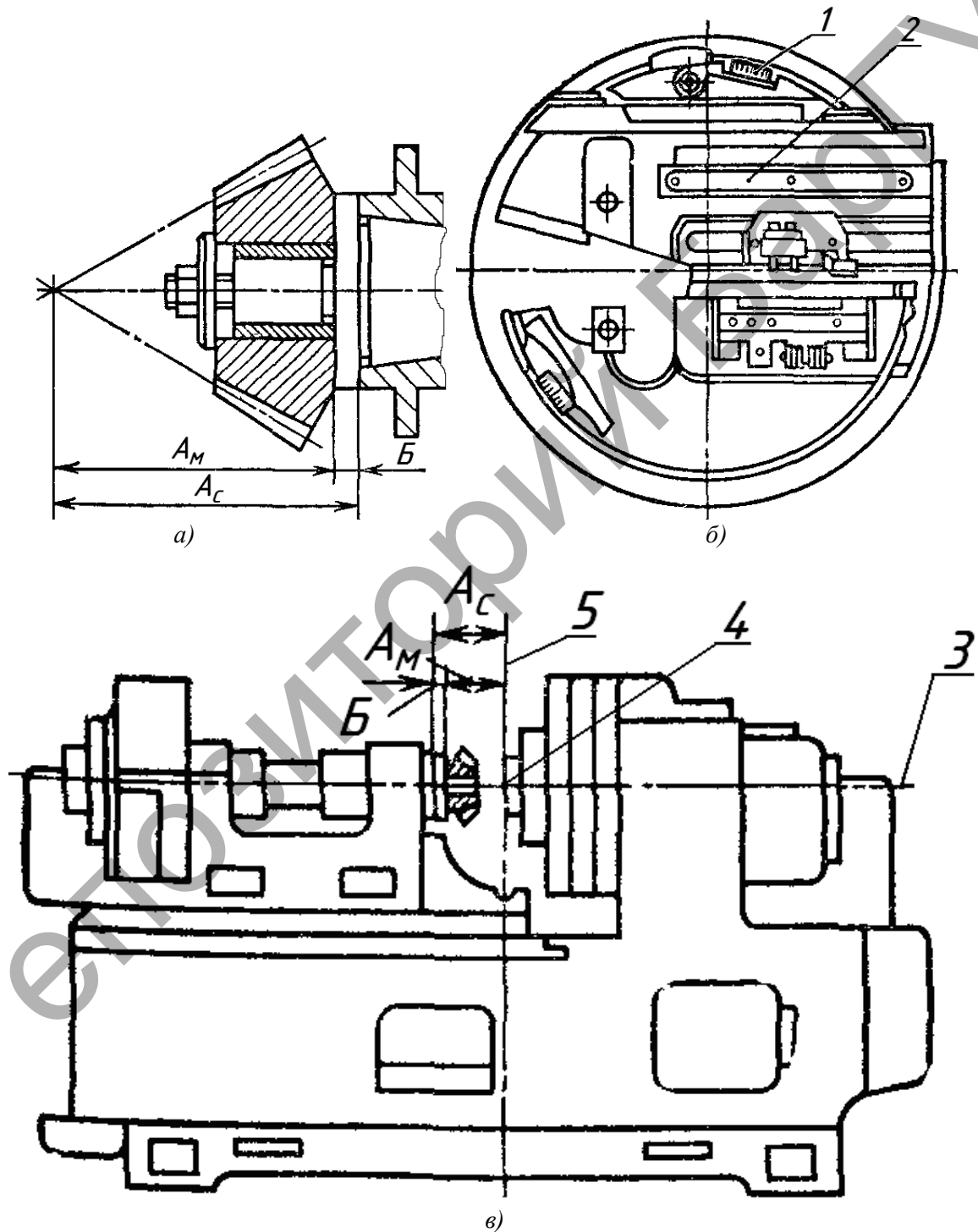


Рисунок 3.129 — Наладка зубострогальных станков

где s_f — толщина зуба по делительной окружности, мм;

h_f — высота ножки зуба, мм;

α — угол профиля резцов, град;

R_e — длина образующей делительного конуса колес, мм;

θ_f — угол ножки зуба колеса, мм.

Установка резцов. Геометрическим центром зубострогальных станков является точка 4 (рис. 3.129, в), в которой пересекаются оси вращения люльки 3 (см. рис. 3.126) и шпинделя делительной бабки 5, а также ось поворота плиты 6. Установку резцов производят с помощью установочных калибров. Чтобы получить правильную форму зуба, необходимо установить нарезаемое колесо так, чтобы вершина его делительного конуса совпала с центром станка, а линии движения верхних точек режущих кромок резцов проходили через центральную ось станка 5 (см. рис. 3.129, в).

Установка длины хода резцов. Длину хода резцов l берут больше длины зуба b на величину перебега резца:

$$l = b + (a + c),$$

где a — величина врезания, равная 2...5 мм;

c — величина перебега, равная 2...5 мм.

Длину хода резцов устанавливают с помощью кривошипного механизма.

Режимы резания при зубострогании. Стальные зубчатые колеса с модулем до 3 мм обычно нарезают за один рабочий проход, с модулем более 3 мм — за два рабочих прохода — черновой и чистовой. Скорость резания выбирают по нормативам.

Обкатывание, притирка, зубошевингование, зубошлифование. Современное машиностроение предъявляет все более высокие требования к зубчатым передачам по прочности, надежности и долговечности. Это приводит к необходимости применения к боковым поверхностям зубьев нарезанных зубчатых колес отделочных (финишных) технологических операций, устраняющих погрешности, которые возникают при зубонарезании и последующей термообработке. К *зубоотделочным операциям* относят обкатку, шевингование, притирку, зубохонингование и зубошлифование. Первые два технологические процесса применяют для незакаленных зубчатых колес, а последние два — для закаленных.

Обкатка — это уплотнение и упрочнение боковых поверхностей зубьев незакаленных колес путем пластической деформации поверхностных слоев зубьев. Для этого колесо обкатывается под нагрузкой с одним или несколькими закаленными эталонными колесами.

Зубошевингование применяют для улучшения качества обработанной поверхности нарезанных зубьев с помощью специального инструмента (шевера) путем снятия припуска толщиной 0,1...0,25 мм. Кроме того,

устраняются отклонения от точного профиля (полученного, например, зубофрезерованием), связанные с ограниченным числом огибающих резцов. При этом удается произвести определенную коррекцию профиля зуба колеса, а также снизить погрешность шага, волнистость поверхности зуба, уменьшить колебание межосевого расстояния, улучшить пятно контакта, снизить параметр шероховатости и шум при работе зубчатой передачи. Шевингованием можно достичь 6—7-й степеней точности (в отдельных случаях 5-й) и шероховатость поверхности $Ra = 0,16 \dots 0,32$ мкм.

Схемы обработки и движения при шевинговании зубьев зубчатых колес. Шевер при шевинговании как бы скоблит металл, снимая тончайшую стружку. При обработке прямозубых цилиндрических колес применяют косозубый шевер, устанавливаемый под углом к оси обрабатываемого колеса, равным углу наклона зуба шевера, а при шевинговании косозубых колес — прямозубые шеверы. На рисунке 3.130, а, показан косозубый шевер и форма его режущих канавок (рис. 3.130, б). Оси шевингуемого колеса и шевера устанавливаются под углом, равным сумме (при одинаковом направлении обеих винтовых линий) или разности углов наклона зубьев колеса и шевера.

Процесс работы шевинговального станка заключается в следующем (рис. 3.131).

Шевер 1 получает принудительное вращение от электродвигателя станка и приводит во вращение обрабатываемое колесо 2, свободно вращающееся с оправкой 3 в центрах двух бабок 4 и 8, закрепленных на столе 5, который шарнирно связан с нижним столом 6, получающим возвратно-поступательное движение по направляющим консоли 7. После каждого двойного хода стола вдоль зуба шевингуемого колеса консоль получает вертикальную подачу. В конце обработки выполняется выхаживание.

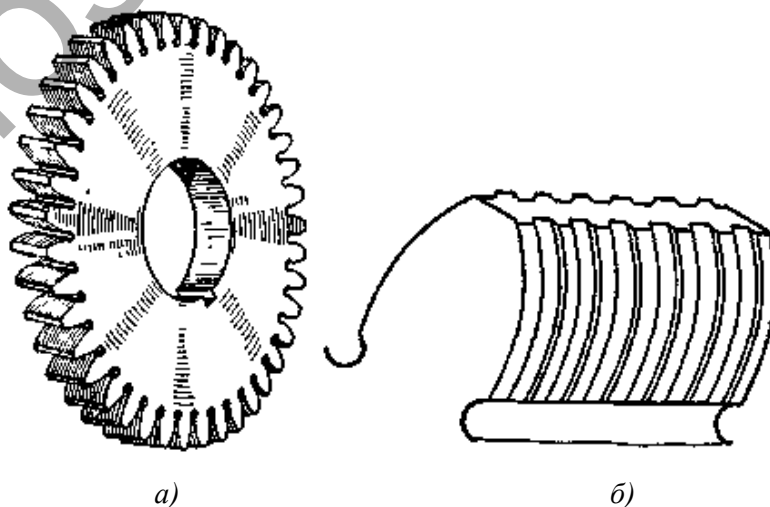


Рисунок 3.130 — Косозубый шевер и пазы на его зубе

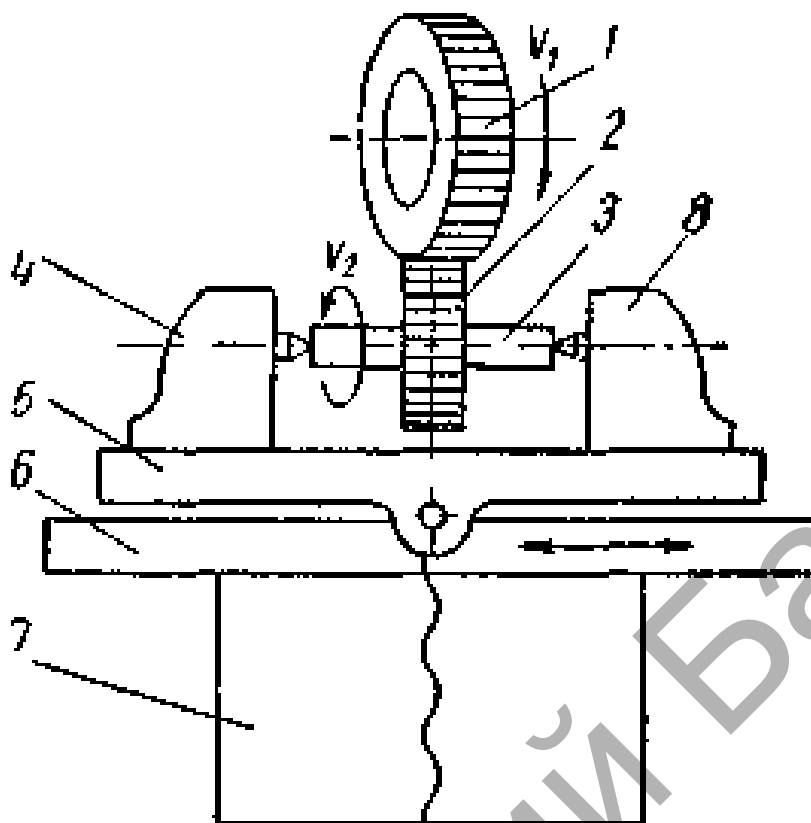


Рисунок 3.131 — Схема работы шевинговального станка

Продолжительность обработки одного зуба составляет 2...3 секунды. Метод относится к непрерывным способам финишной обработки резанием.

Наиболее часто применяют дисковый шевер 1 (рис. 3.132, а). Шевингование также возможно с помощью шеввер-рейки (рис. 3.132, б) и червячного шеввера.

Снятие стружки с боковой поверхности зубьев зубчатого колеса происходит следующим образом. Дисковый шеввер и заготовка 2 имеют различные углы наклона зубьев относительно оси $\beta_{ш}$ и $\beta_{и}$ (одно колесо прямозубое, а второе косозубое) образуют передачу со скрещивающимися осями (винтовую). Движение зацепления в направлении высоты зуба d (см. рис. 3.132, а) накладывается, вследствие пересечения осей, на движение скольжения c в осевом направлении, что приводит к результирующему движению e , принимаемому за скорость резания при шевинговании и обеспечивающему сьем стружки. Проскальзывание является результатом зацепления шеввера 1 и заготовки 2 как винтовой зубчатой передачи. При таком зацеплении оси заготовки и шеввера скрещиваются под углом φ (рис. 3.132, в), который влияет на скорость проскальзывания и составляет 10...15°. Результирующее движение

скольжения дает в итоге следы резания от каждой режущей кромки зуба шевера (глубина резания составляет 5...15 мкм).

Усилие прижима между боковыми поверхностями зубьев заготовки и шевера, необходимое для срезания стружки, создается или их радиальным сближением (шевингование «враспор»), или за счет крутящего тормозного момента, прикладываемого к шевру или заготовке. Кинематической связи между шевром и заготовкой нет и, при обработке небольших деталей, во вращение приводится шевр, а при обработке крупных — заготовка.

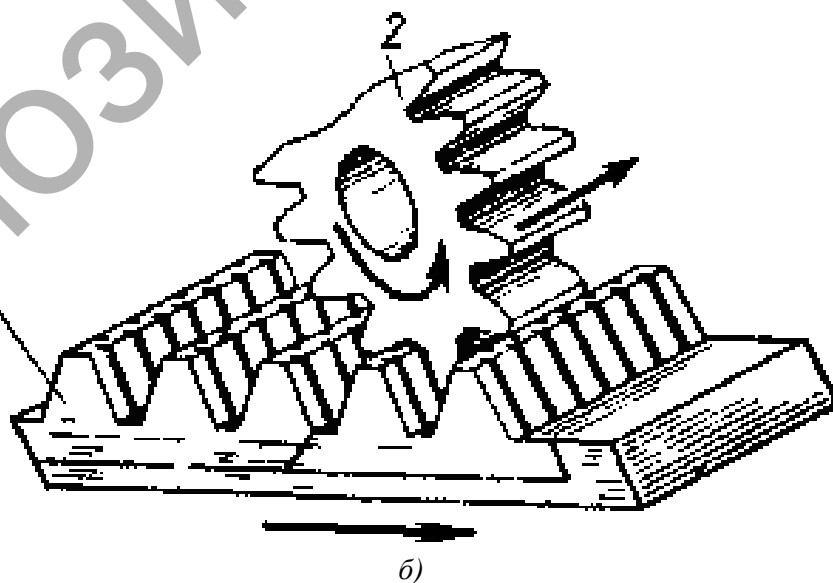
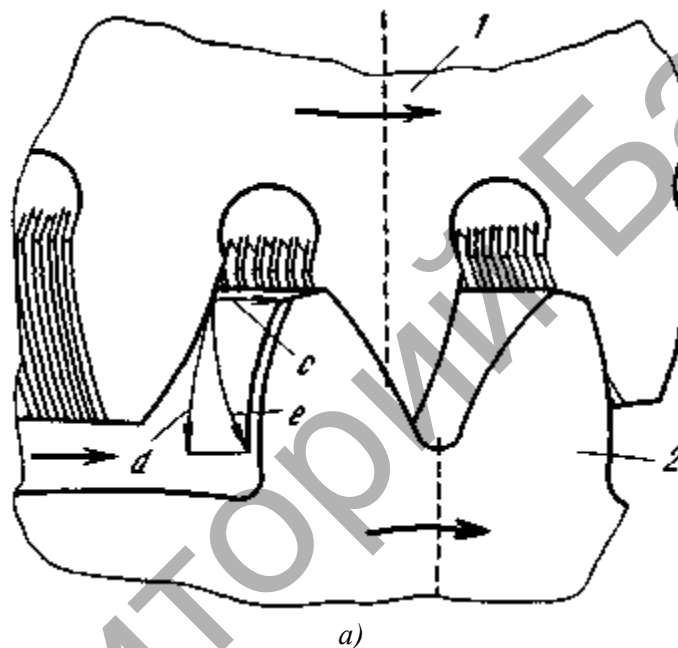


Рисунок 3.132 — Шевингование зубчатых колес

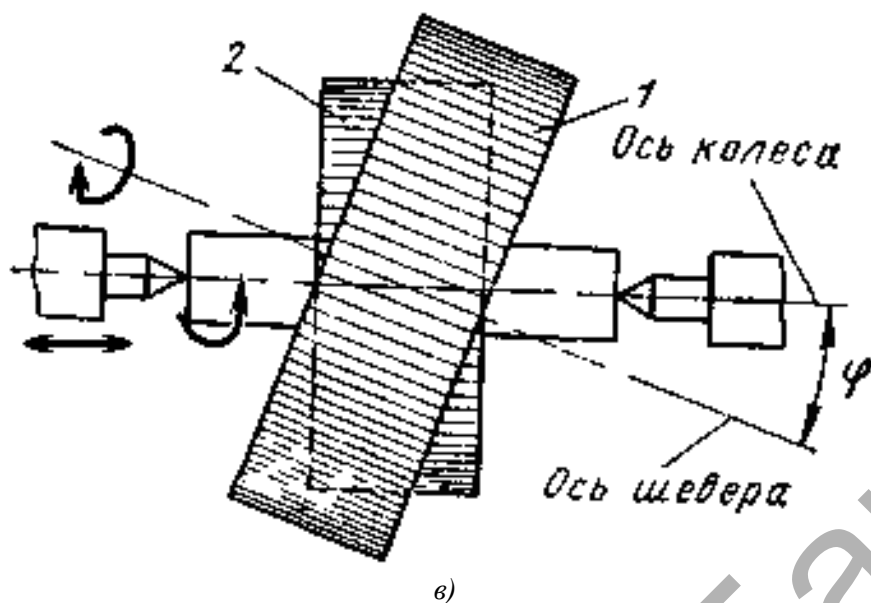


Рисунок 3.132 — Окончание

Поскольку в винтовых зубчатых передачах (какой является зацепление шевера с колесом) теоретически происходит точечный контакт, переходящий в действия усилия прижима в зону касания, для обработки заготовки по всей ширине зуба нужна подача. С помощью дискового шевера выполняют четыре основных метода шевингования: с продольной, диагональной, поперечной или тангенциальной подачей. В зависимости от схемы шевингования производится подача шевера (или заготовки) вдоль оси или под углом к оси заготовки, либо в плоскости, параллельной оси шевера, в направлении, перпендикулярном оси заготовки или шевера.

Притирка — это отделочная операция, при которой съем металла с обрабатываемой поверхности детали производится абразивными зёрнами, свободно распределёнными в пасте или суспензии. Паста или суспензия наносится на поверхность инструмента — притира. Выполняется эта операция при малых скоростях и переменном направлении рабочего движения притира. Это наиболее трудоёмкая отделочная операция позволяет получать поверхности с шероховатостью $Ra = 0,04 \dots 0,02$ мкм и $Rz = 0,1 \dots 0,025$ мкм с отклонениями от требуемой геометрической формы до $0,1 \dots 0,3$ мкм. Физико-механические свойства поверхностей после притирки всегда лучше, чем после тонкого шлифования.

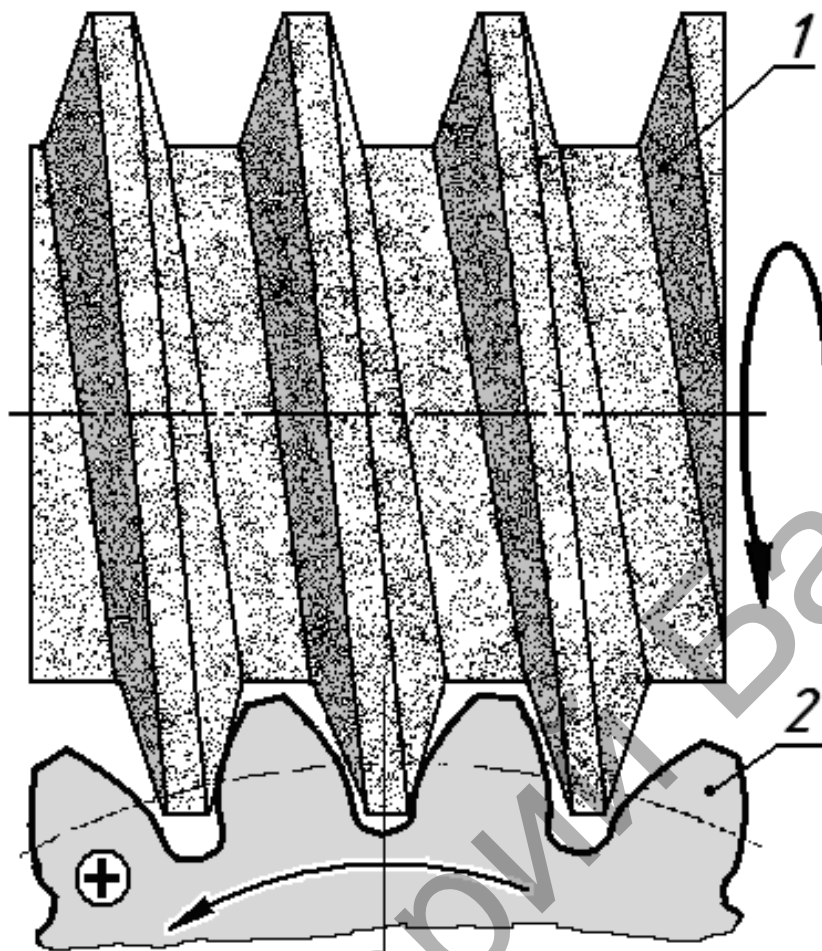
Зубохонингование — высокопроизводительный процесс для обработки зубчатых колес после зубошевингования и термообработки. При этом устраняют дефекты поверхности закаленных зубьев (съем припуска до 10 мкм). Обработку производят зубчатым хонем, представляющим собой зубчатое колесо из пластмассы с абразивной смесью. Относительные движения те же, что и при шевинговании, но окружные скорости в 2 раза выше.

Зубошлифование применяют для обработки высокоточных закаленных колес (эта операция сложная и дорогая). При термической обработке зубчатых колес профили их зубьев из-за возникших напряжений искажаются. Для устранения этого и других дефектов применяют шлифование, которое дает возможность получить зубчатые колеса 3—7-й степеней точности и нужную шероховатость. При шлифовании цилиндрических зубчатых колес рабочие поверхности зубьев получают шероховатость поверхности: для 4—5-й степеней точности $Ra = 0,2 \dots 0,6$ мкм; для 6—7-й степеней точности $Ra = 0,8 \dots 1,4$ мкм.

Зубошлифовальные станки используются для получения более правильной формы зуба и снижения шероховатости его поверхности у закаленных цилиндрических и конических колес. Зубошлифование производят копированием и обкаткой. Оно позволяет получить, в отличие от фрезерных станков, дающих максимум 6-ю степень точности колеса по ГОСТ 1643-81, 3-ю, а при благоприятных условиях и 2-ю степень точности. Различные требования, предъявляемые к зубчатым колесам, определили использование в качестве инструмента шлифовальных кругов разных форм (червячные, конические, профильные, тарельчатые, дисковые), что в свою очередь привело к конструктивному разнообразию зубошлифовальных станков, хотя, в целом, у них много общего с зубофрезерными.

Способы шлифования цилиндрических зубчатых колес заключается в следующем. Зубошлифовальные станки, работающие червячным шлифовальным кругом 1 (рис. 3.133), имеют самую высокую производительность среди зубошлифовальных станков благодаря непрерывности процесса обработки и большой площади соприкосновения режущей поверхности круга с зубьями шлифуемого колеса. При этом способе обработки заготовка совершает непрерывное вращательное движение обката и медленное движение продольной подачи, а шлифовальный круг — вращательное движение резания и периодическое движение радиальной подачи в направлении к заготовке.

Станки для шлифования зубчатых колес плоским кругом, которому придана форма зуба рейки (рис. 3.134), получили широкое распространение в единичном и мелкосерийном производствах благодаря большой их универсальности, способности обрабатывать зубчатые колеса больших диаметров (до 5 000 мм), а также простоте обслуживания. При этом способе используются как минимум две схемы шлифования, для которых общим является то, что шлифуемое зубчатое колесо 1 совершает вращательное движение обката и поступательное в одну и другую сторону, а также делительный поворот для обработки следующего зуба. Шлифовальный круг 2 совершает вращательное движение резания, быстрое возвратно-поступательное движение вдоль зуба по всей его длине и движение ввода и вывода из впадины зуба при совершении заготовкой делительного поворота. При работе по схеме *a* (рис. 3.134) шлифуется сразу одна сторона, а потом — вторая. По схеме *б* (см. рис. 3.134) обрабатываются сразу две стороны зуба.



1 — червячный шлифовальный круг; 2 — шлифуемое зубчатое колесо

Рисунок 3.133 — Схема шлифования зубчатых колес червячным шлифовальным кругом

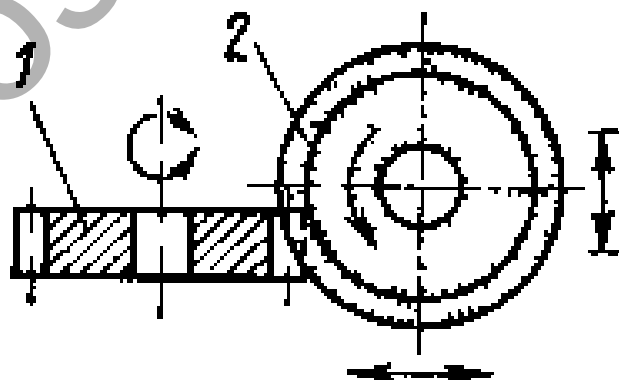


Рисунок 3.134 — Схемы шлифования зубчатых колес плоским кругом, которому придана форма зуба рейки

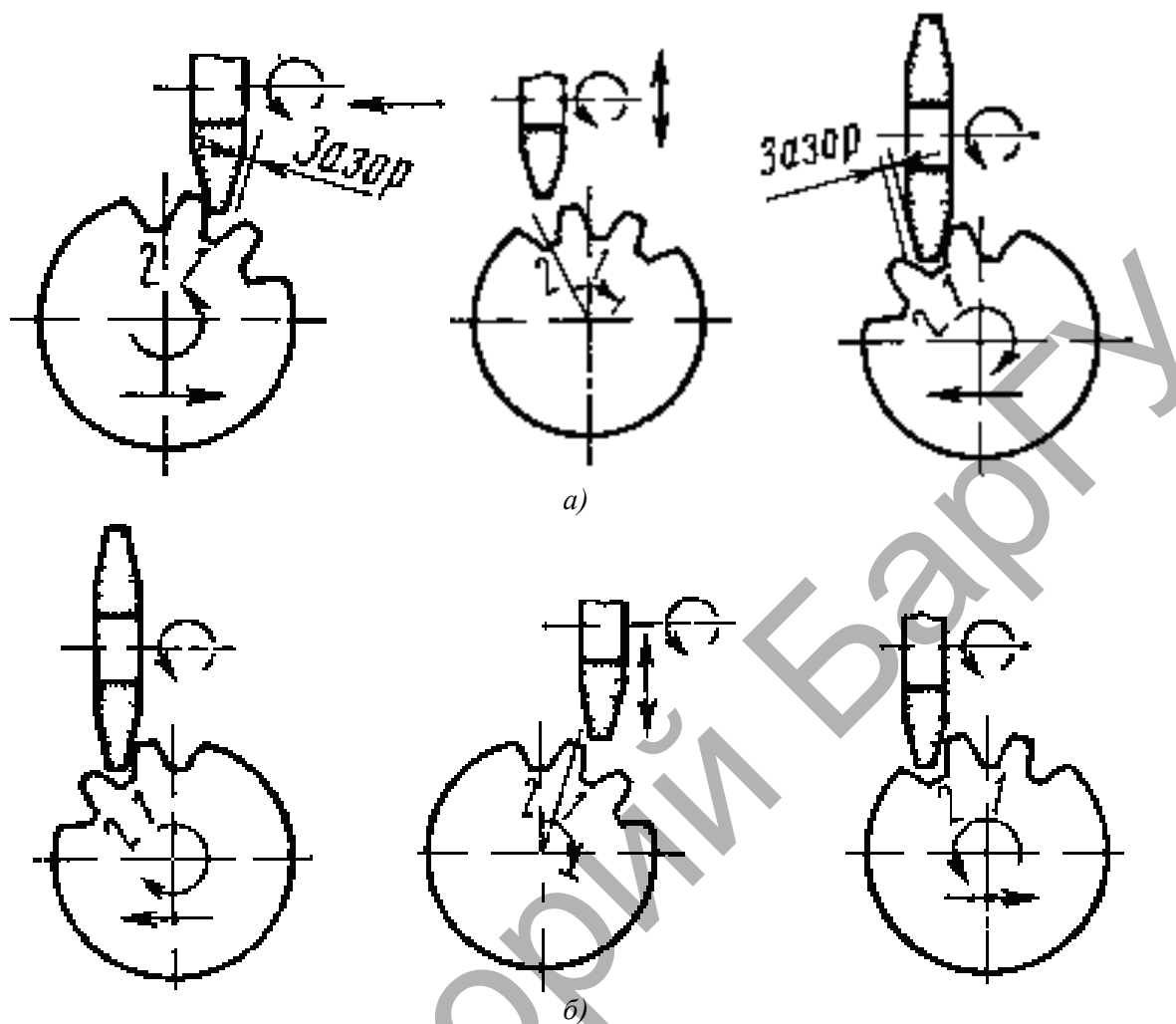


Рисунок 3.134 — Окончание

Станки для шлифования зубчатых колес кромками тарельчатых шлифовальных кругов обеспечивают высокую степень точности обработки по профилю зуба и его направлению, но малопроизводительны. Они могут иметь горизонтальную (рис. 3.135) и вертикальную компоновку. Эти станки работают по трем схемам (рис. 3.136).

У таких станков шлифовальные круги 9 и 10 (см. 3.135) совершают вращательное движение резания I. Каретка 7 вместе с зубчатым колесом 8 и барабаном 5 перемещается в поперечном направлении II, а так как барабан жестко соединен лентами 4 со стойкой 3, то, перемещаясь, он обкатывается по лентам, вращая шлифуемое зубчатое колесо 8. Совместное поступательное движение II и вращательное III здесь называется движением обката. Стол 2 совершает возвратно-поступательное перемещение IV по направляющим станины 1, которое является движением продольной подачи. Поворот шлифуемого зубчатого колеса 8 на следующий зуб осуществляется механизмом деления 6.

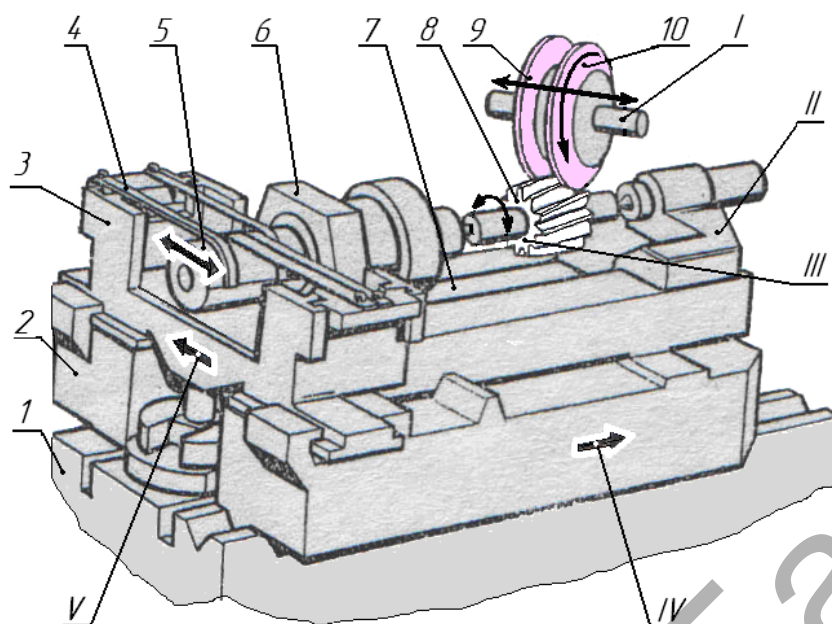


Рисунок 3.135 — Схема шлифования зубчатых колес тарельчатыми кругами и схемы их установки

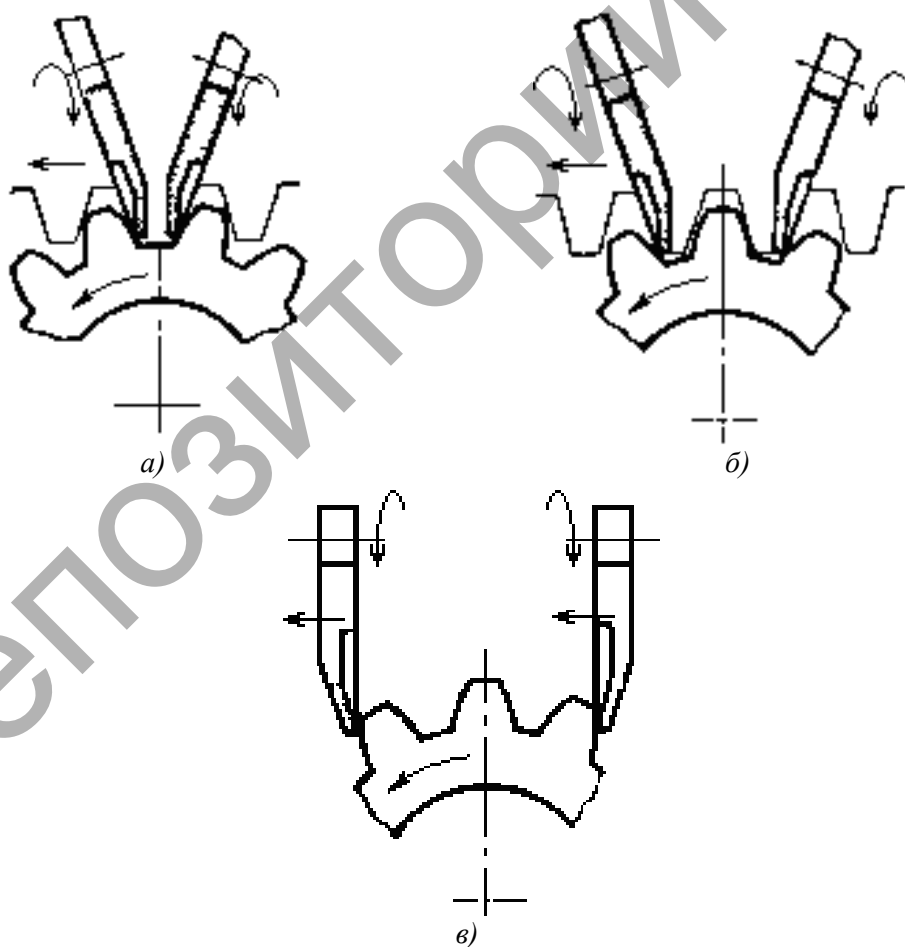


Рисунок 3.136 — Схема шлифования зубчатых колес тарельчатыми кругами и схемы их установки

Зубошлифовальные станки, работающие плоской стороной дискового шлифовального круга (рис. 3.137), отличаются короткой кинематической цепью и отсутствием перемещения инструмента вдоль зубьев обрабатываемого зубчатого колеса. Это позволяет шлифовать зубчатые колеса с высокой степенью точности, но ограниченной шириной венца, зависящей от диаметра шлифовального круга. На станках этого типа обрабатывают зубья долбяков, шеверов и эталонных измерительных колес с модулем до 16 мм с шириной венца до 55 мм.

Станки, работающие профильным шлифовальным кругом (рис. 3.138), чаще всего используются для шлифования зубьев колес внутреннего зацепления, а также крупногабаритных колес внешнего зацепления больших модулей. Эти станки работают по методу копирования, при котором профиль шлифовального круга является повторением профиля впадины зуба шлифуемого зубчатого колеса. Инструмент совершает вращательное движение резания и возвратно-поступательное движение подачи вдоль шлифуемого зуба. После обработки одного зуба производится поворот изделия для обработки следующего зуба, и так цикл повторяется, пока не будут прошлифованы все зубья.

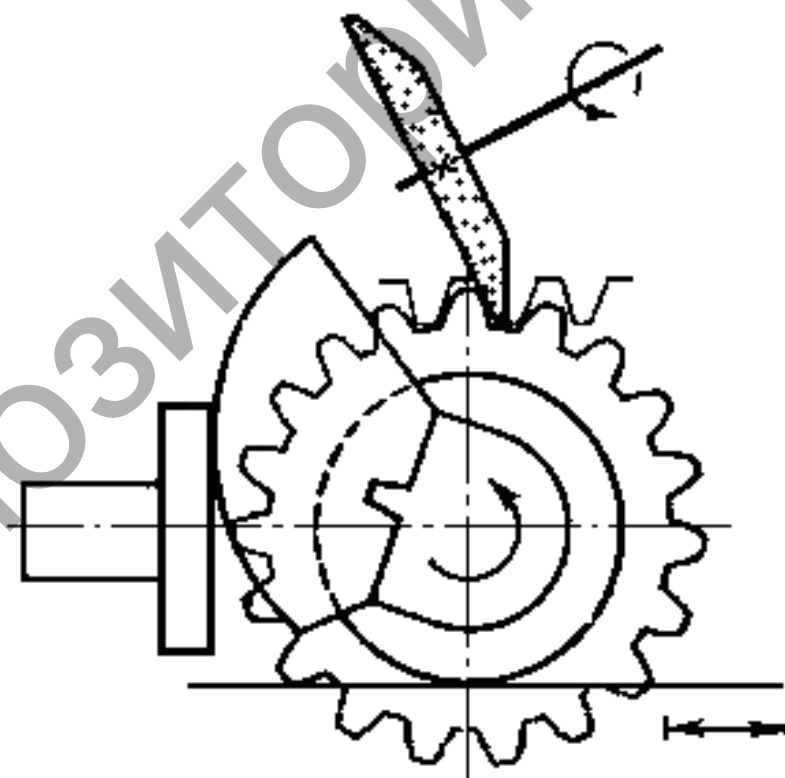


Рисунок 3.137 — Схема шлифования зубчатых колес плоским кругом

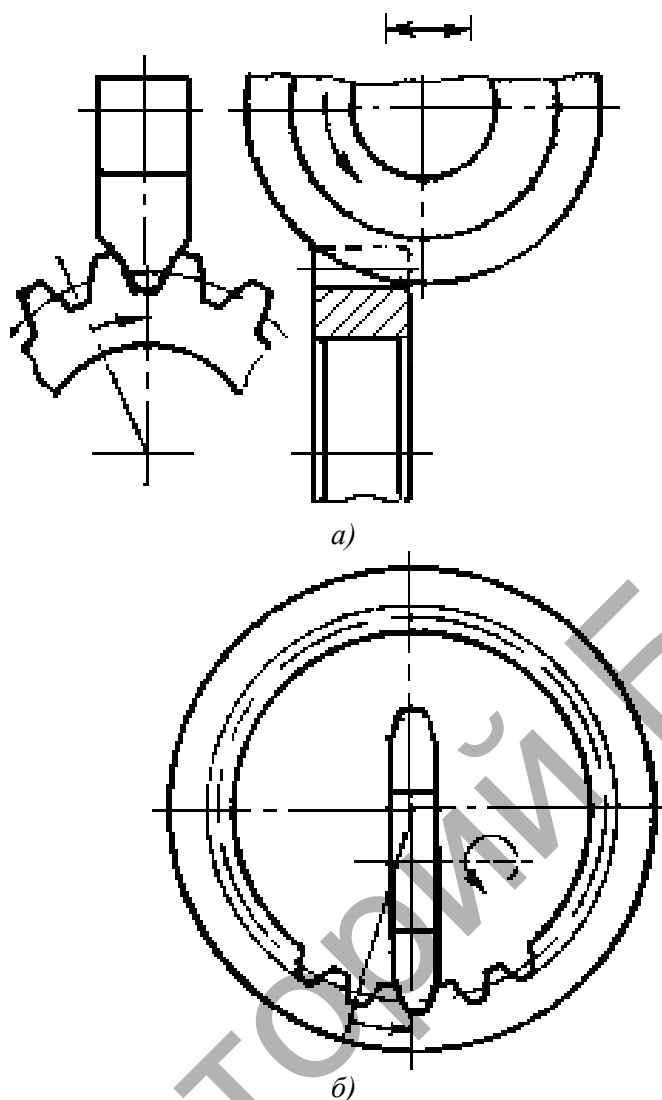


Рисунок 3.138 — Схема шлифования зубчатых колес профильным кругом (методом копирования)

Кинематическая схема зубошлифовального станка модели 5В832 представлена на рисунке 3.139. Этот станок предназначен для шлифования зубьев цилиндрических прямозубых и косозубых колес.

Шлифование производится абразивным червяком методом обката. Окончательное профилирование винтовой нитки на абразивном червяке выполняется на станке стальным многониточным накатником или алмазными резами. В станке есть следующие формообразующие кинематические цепи:

- вращения абразивного червяка (главного движения);
- вращения шлифуемого колеса;
- вертикального возвратно-поступательного движения суппорта изделия;
- и перемещения стойки при установке абразивного червяка и шлифуемого колеса на нужное расстояние между их осями и при радиальной подаче.

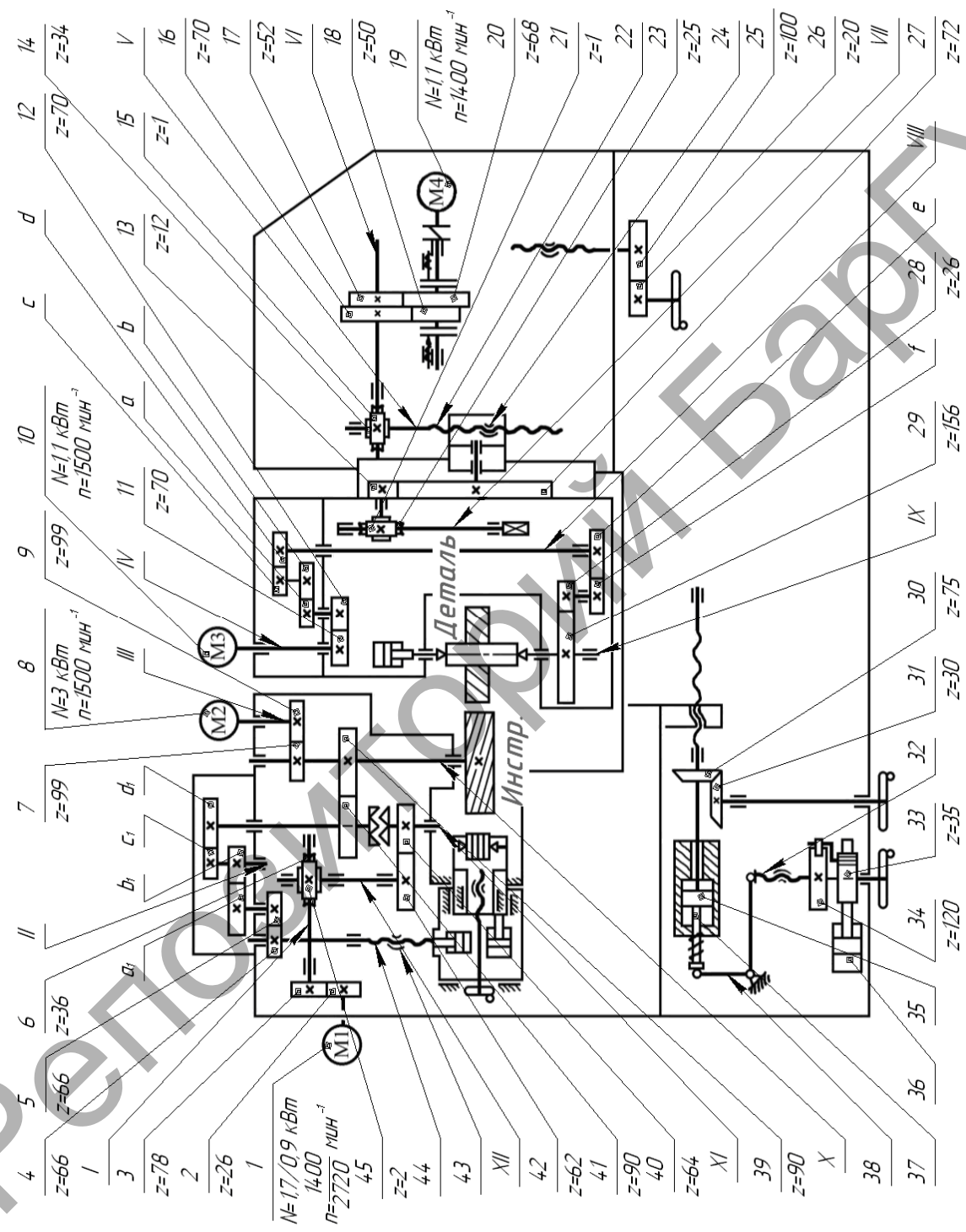


Рисунок 3.139 — Кинематическая схема зубошлифовального станка модели 5B832

При накатке витков абразивного червяка производится вращение последнего и поступательное перемещение суппорта накатки вдоль оси, согласованное с вращением червяка; за один оборот червяка накатник перемещается на один шаг.

Кинематическая цель главного движения включает синхронный электродвигатель М1, цилиндрическую передачу 9-7 и червячный круг. Таким образом, червячный шлифовальный круг вращается с такой же частотой, что и приводной электродвигатель. Скорость резания зависит от диаметра червячного круга и определяется по формуле

$$v = \pi D n / 1000 \cdot 60,$$

где D — диаметр червячного шлифовального круга, мм;
 n — частота его вращения, мин⁻¹.

На зубошлифовальных станках модели 5В832 и аналогичных ему моделях 5В830, 5В833 и 5В835 используют червячные шлифовальные круги диаметром от 330 до 400 мм, следовательно, скорость резания составляет от 25,9 до 31,4 м / с.

Цепь деления обеспечивает согласованное вращение абразивного червяка и шлифуемой заготовки. За один оборот червяка заготовка должна повернуться на один зуб. Характерной особенностью станка является наличие в цепи деления электрической синхронной связи, осуществляемой двумя синхронными двигателями 8 и 10. Один двигатель через колеса 9-7 приводит во вращение шпиндель абразивного червяка X, другой — через пару 11-12, гитару деления $a-b$, $c-d$, сменные колеса $e-f$ и делительную пару 28-29 вращает шпиндель изделия.

Уравнение кинематического баланса данной цепи

$$1_{\text{об круга}} \cdot 99 / 99 \cdot 70 / 70 \cdot a / b \cdot c / d \cdot e / f \cdot 26 / 156 = 1 / z$$

где a , b , c и d — числа зубьев сменных зубчатых колес;

z — число зубьев шлифуемого колеса;

f и e — число зубьев сменных зубчатых колес, находящихся на постоянных осях.

Цепь правки согласовывает вращение абразивного червяка с перемещением механизма правки от двухскоростного электродвигателя 1 через зубчатые колеса 2-3, червячную пару 45-6, колеса 42-40, получает вращение вал XI. От него через кулачковую муфту и зубчатые колеса 41-39 вращение передается шпинделю X абразивного червяка, а через сменные колеса d_1-c_1 , b_1-a_1 и колеса 5-4 на винтовую пару 43 ($P = 1$ мм), чем осуществляется перемещение механизма правки.

За один оборот шлифовального круга аппарат правки должен пройти путь, равный шагу заправляемого витка, т. е. πm мм. Схема цепи правки: инструмент, цилиндрическая передача 39-41, сменные зубчатые колеса d_1, c_1, b_1, a_1 гитары правки, цилиндрическая передача 5-4, ходовой винт $P = 1$ мм.

Уравнение кинематического баланса цепи

$$1_{\text{об круга}} \cdot 90 / 90 \cdot d_1 / c_1 \cdot b_1 / a_1 \cdot 66 / 66 \cdot 2\pi = \pi m_n,$$

где a_1, b, c_1, d_1 — числа зубьев сменных зубчатых колес;

m_n — нормальный модуль заправляемого червячного шлифовального круга.

Во время правки частота вращения червячного круга равна 25 об / мин.

Цепь вертикальной подачи сообщает возвратно-поступательное движение суппорту изделия через бесступенчатый привод с муфтой скольжения с регулированием через тахогенератор. Исполнительным звеном перемещения каретки с суппортом является пара винт-гайка 22-24. Для увеличения диапазона регулирования подачи между приводом 19 червячной передачи 15-14 и винтом и гайкой имеется двухступенчатый перебор 18-16, 17-20, переключаемый электромагнитными муфтами.

Цепь радиальной подачи осуществляет подачу бабки шлифовального круга на изделие за каждый ход последнего и отвод бабки после окончания шлифования. Она состоит из храпового механизма 34 и гидравлической следящей системы. Качательное движение собачке храпового механизма сообщается гидроцилиндром 36 через реечную передачу 33. Вращение храпового колеса преобразуется в поступательное движение винта 32, который нажимает на рычаг 35, перемещающий следящий золотник, от чего поршень 35 перемещает шлифовальную бабку на величину радиальной подачи. Установка величины радиальной подачи производится по специальному лимбу.

Станки для зубозакругления. В коробках передач различных машин широко применяют скользящие блоки колес, переключаемых для изменения частоты вращения выходящего из коробки вала или шпинделя. Кроме скользящих блоков, применяют также и зубчатые муфты. Блоки и муфты переключаются путем перемещения их вдоль оси от положения сцепления одной пары к положению сцепления другой. При таком переключении весьма важно попадание зубьев одного элемента во впадины другого. Однако при плоских торцах зубьев такое попадание весьма затруднительно, а иногда и вовсе невозможно.

Для ускорения процесса переключения закругляют торцы зубьев переключаемых колес. На рисунке 3.140 приведены некоторые формы закругленных торцовых поверхностей зубьев, получивших наибольшее применение: конусная (рис. 3.140, а) и заострения (рис. 3.140, б, в).

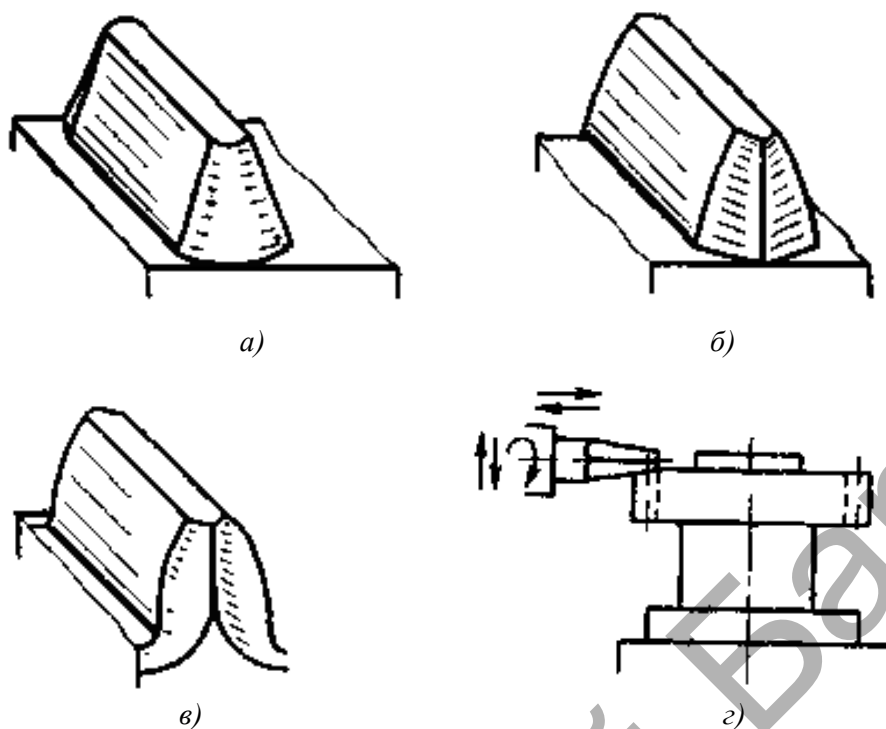


Рисунок 3.140 — Формы торцов зубьев переключаемых зубчатых колес



Рисунок 3.141 — Пальцевые фрезы для закругления торцов зубьев зубчатых колес

Закругление торцов зуба производят пальцевой (рис. 3.141), трубчатой, червячной, дисковой фасонной и другими фрезами.

В процессе работы пальцевой фрезы ее ось расположена перпендикулярно оси колеса. Обрабатываемое зубчатое колесо вращается с постоянной скоростью, а фреза, вращаясь вокруг своей оси, одновременно движется по дуге в плоскости, перпендикулярной оси колеса, и возвратно-поступательно вдоль своей оси за время поворота колеса на один зуб. Возвратно-поступательное движение на каждый зуб обрабатываемого колеса шпиндель с фрезой получают от профильного копира.

На рисунке 3.142 показан общий вид зубозакругляющего станка модели 5Н582. Он предназначен для снятия фасок и закругления торцов цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями как наружного, так и внутреннего зацепления. Закругление зубьев колеса производят за несколько проходов в зависимости от модуля обрабатываемого колеса, материала и заданной шероховатости поверхности закругления.

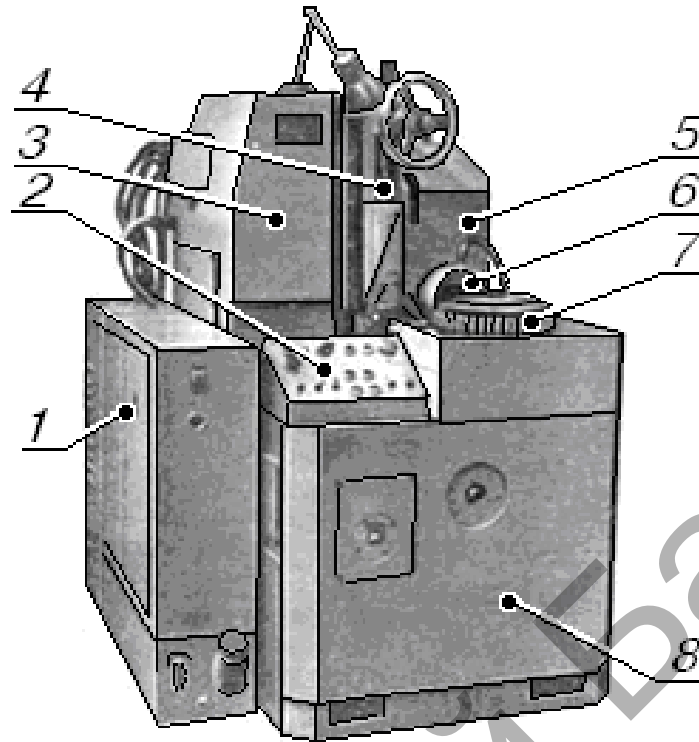


Рисунок 3.142 — зубозакругляющий станок модели 5H580

Станок имеет вертикальную компоновку, при которой ось шпинделя изделия расположена вертикально, а ось фрезерного шпинделя — горизонтально.

На станине станка 8 установлена стойка 3, на вертикальной ее плоскости установлена инструментальная бабка 5, которая состоит из салазок 4, поворотной плиты и головки 6. Стойку можно перемещать по поперечным направляющим станка. Станина станка имеет горизонтальные направляющие, на которых установлена шпиндельная бабка обрабатываемой детали. В шпиндель бабки устанавливают оправку для закрепления на ней обрабатываемого зубчатого колеса 7.

Изменение частоты вращения фрезы осуществляется при помощи сменных шкивов, устанавливаемых на вал электродвигателя и шпиндель фрезы. Настройка полуавтомата на число обрабатываемых зубьев производится гитарой деления. Время цикла устанавливается при помощи сменных шестерен гитары цикла. Станок гидрофицирован и работает по автоматическому циклу: быстрый подвод режущего инструмента в заготовке, рабочая подача и возврат инструмента в исходное положение. Подвод и отвод инструментальной бабки и зажим обрабатываемого колеса осуществляется гидравлически.

Специальный счетчик количества обрабатываемых деталей позволяет устанавливать время смены инструмента.

Особенности конструкций зубообрабатывающих станков с ЧПУ. Числовое программное управление зубообрабатывающими станками стало развиваться позже, чем другими станками. Это обусловлено сложностью согласования движений механизмов станка при электронных связях между ними, необходимостью управления пятью и более координатами. Только создание микропроцессорных систем ЧПУ позволило снять ограничение по числу управляемых координат, повысить точность станков. В них, как правило, предусматривается осевая передвижение фрезы, установка с пульта управления или от управляющей программы длины перемещения фрезерных салазок, межосевого расстояния между фрезой и заготовкой, угла наклона суппорта, числа нарезаемых зубьев и режимов резания. Предусматривается также возможность обработки зубьев с различной модификацией (например, бочкообразной, конусообразной и т. п.), а на некоторых станках автоматическая смена заготовки и инструмента.

Упрощенная структурная схема зубофрезерного станка с ЧПУ без механических связей между координатами приведена на рисунке 3.143. Согласование вращений фрезы и стола обеспечивается системой ЧПУ.

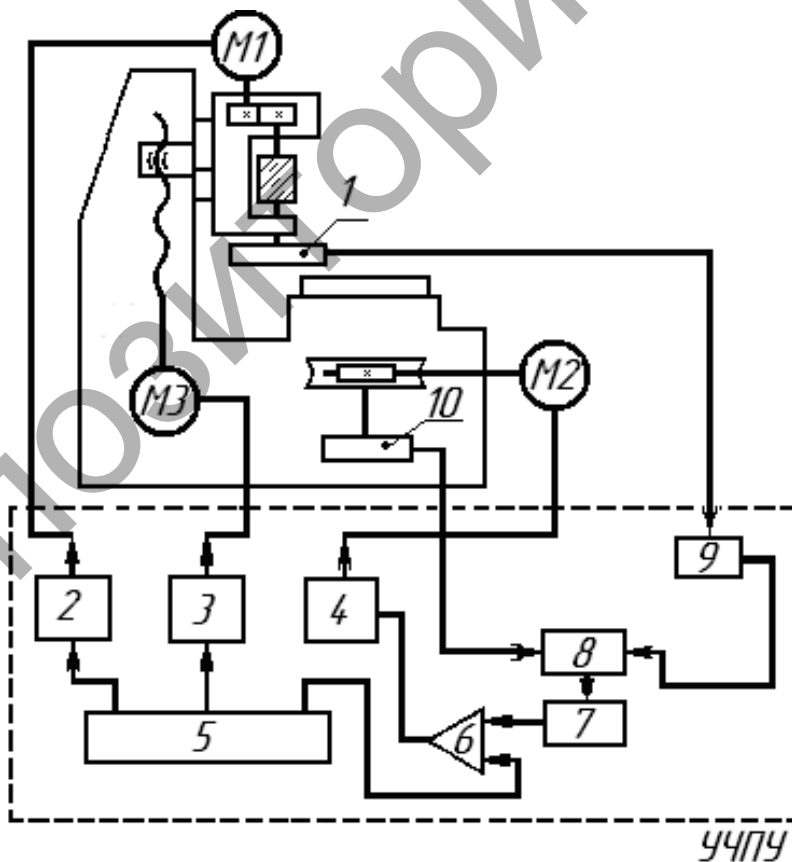


Рисунок 3.143 — Структурная схема зубофрезерного станка с ЧПУ

Применяют *два вида структур управления* зубообрабатывающими станками с ЧПУ: управление с ведущей координатой (вращение фрезы) или без нее. В первом случае датчик *1* фрезы является задающим, а скорости всех остальных координат устанавливаются с учетом сигнала датчика фрезы. Такая схема облегчает задачу обеспечения точности слежения, так как скорость фрезы может изменяться. Во второй структуре связанные координаты одинаково управляются от устройства ЧПУ по заданной программе и нужно обеспечить высокую стабильность частот их вращения. Для согласования вращения фрезы и стола во втором случае информация об их фактическом положении, получаемая от датчиков *1* и *10*, должна постоянно сравниваться.

Конструктивные особенности механической части зубообрабатывающих станков с ЧПУ можно свести к следующим:

- более широкое применение компоновки с подвижной стойкой, обеспечивающей лучшие условия для автоматизации загрузки заготовки;
- короткие кинематические цепи с автономным приводом по каждой из координат и с небольшим количеством передач, благодаря чему их точность сохраняется длительное время и обеспечивается высокая жесткость;
- применение в конструкции безззорных элементов: привода фрезы, продольной, радиальной и тангенциальной подач фрезы, что повышает динамическую жесткость;
- автоматизация настройки, а часто также установки, закрепления инструмента и заготовки.

Зубофрезерный полуавтомат модели 53А50КФ4 с системой ЧПУ, выпускаемый на базе полуавтомата модели 53А50, предназначен для нарезания цилиндрических и червячных колес, а также зубчатых колес с бочкообразным и конусным зубом в условиях единичного и мелкосерийного производства, но при управлении не вручную, а от устройства ЧПУ. Фрезерование зуба на этом станке может производиться методом обката и методом копирования. Класс точности станка — П.

Система координат. Для обработки всей номенклатуры заготовок зубофрезерный станок (рис. 3.144) должен иметь следующие движения, управляемые от УЧПУ: 1) главное движение — вращение инструмента 5 (координата *B*); 2) подачи: радиальную стола 4 (координата *X*), тангенциальную суппорта 2 (координата *Y*), вертикальную каретки 1 (координата *Z*); 3) вращение стола 3 с заготовкой (координата *C*).

При работе станка в режиме обката оси *B*, *Y* и *Z* являются задающими, а ось *C* — следящей. Импульсы датчика оси *B* поступают в импульсный умножитель, где умножаются на число заходов фрезы. Импульсы датчиков осей *Z* и *Y* проходят через электронные дифференциалы, в которых формируется определенное число импульсов на единицу перемещения суппорта и фрезы в соответствии с углом наклона зубьев, модулем и углом подъема винтовой линии фрезы.

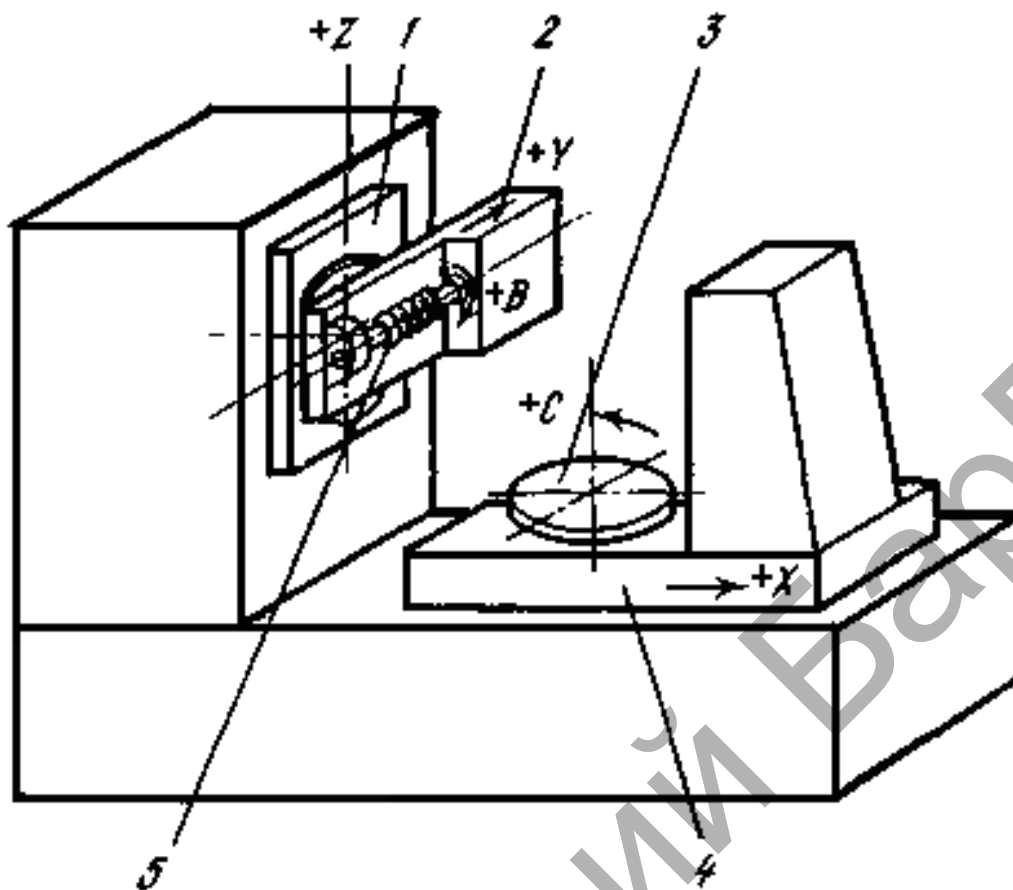


Рисунок 3.144 — Компонетка станка модели 53A50KF4

Умноженные и сформированные импульсы проходят через сумматор, где происходит их алгебраическое суммирование, и поступают в делитель частоты, играющий роль электронной гитары деления.

Выход электронной гитары соединен с вычитающим входом реверсивного счетчика, суммирующий вход которого подключен к датчику обратной связи по положению оси C . Разность чисел импульсов на суммирующем и вычитающем входах формирует выходной код реверсивного счетчика, который подается в цифро-аналоговый преобразователь, где преобразуется в напряжение, пропорциональное углу рассогласования следящей системы. Это напряжение является задающим для привода оси C . Для повышения точности слежения в схему включены преобразователь «частота-напряжение» и корректор рассогласования, представляющий собой фазовый детектор, в котором сравниваются фазы импульсов электронной гитары и датчика обратной связи оси C . При этом на выходе формируется напряжение, величина и полярность которого соответствуют величине и направлению сдвига фаз.

Включение одного или другого электронного дифференциала или их совместное включение определяются видом обрабатываемого колеса, его

конфигурацией и методом обработки. При обработке копированием и единичном делении датчик оси B блокируется, а в сумматор подается серия импульсов от отдельного генератора.

Принцип нарезания зубчатых колес с бочкообразной и конусной формой зуба заключается во взаимосвязанном перемещении инструмента по оси Z и заготовки по оси X , причем привод оси Z является ведущим, а привод оси X — следящим.

В процессе обработки колес с конусным зубом одновременно с перемещением каретки по координате Z с подачей s_n стол станка перемещается по координате X с подачей $s_p(s_n)$.

Устройство и кинематическая схема станка модели 53A50КФ4 (рис. 3.145). Кинематика выполнена с разомкнутой связью в цепи деления и безгитарной наладкой связей вращения заготовки и инструмента, перемещений инструмента и заготовки. Фрезерование зуба, выполняемое методом обката, производится с помощью электронной «гитары деления», а нарезание косозубых и червячных колес — с помощью электронных дифференциалов.

Привод вращения фрезы, приводы подач по осям X , Y , Z осуществляются от электродвигателей постоянного тока с беступенчатым регулированием частоты вращения, позволяющих обеспечить широкий диапазон скоростей и подач, а также автоматическое управление на первом и втором проходах. Привод вращения стола также осуществляется от электродвигателя постоянного тока с высокой точностью отсчета углового поворота.

Главное движение — вращение шпинделя — производится электродвигателем M_b через клиноременную передачу $\emptyset 148 / \emptyset 202$, две конические $29/29$ и цилиндрическую $20/80$ передачи. Для поворота шпинделя на один оборот, нужно определенное число импульсов управления, передаваемых на электродвигатель M_b . Для придания валу соответствующей частоты вращения в минуту нужно и соответствующее число импульсов в минуту. Их количество определяется по уравнению, связывающему частоты вращения двигателя M_b и фрезы.

Цепь радиальной подачи стола (координата X) связывает электродвигатель M_x с ходовым винтом радиальной подачи с шагом $P = 10$ мм через червячную передачу $3/30$. Из уравнения этой цепи находят величину радиальной подачи.

Цепь тангенциальной подачи суппорта (координата Y) связывает электродвигатель M_y с ходовым винтом тангенциальной подачи с шагом $P = 10$ мм через цилиндрическую $45/24$, червячную $4/36$, цилиндрическую $81/27$ и червячную $4/25$ передачи.

Цепь вертикальной подачи каретки (координата Z) связывает электродвигатель M_z с ходовым винтом вертикальной подачи с шагом $P = 10$ мм через червячную передачу $3/30$.

Цепь деления связывает электродвигатель M_c с заготовкой через цилиндрические $30/40$, $35/35$ и червячную $1/96$ передачи.

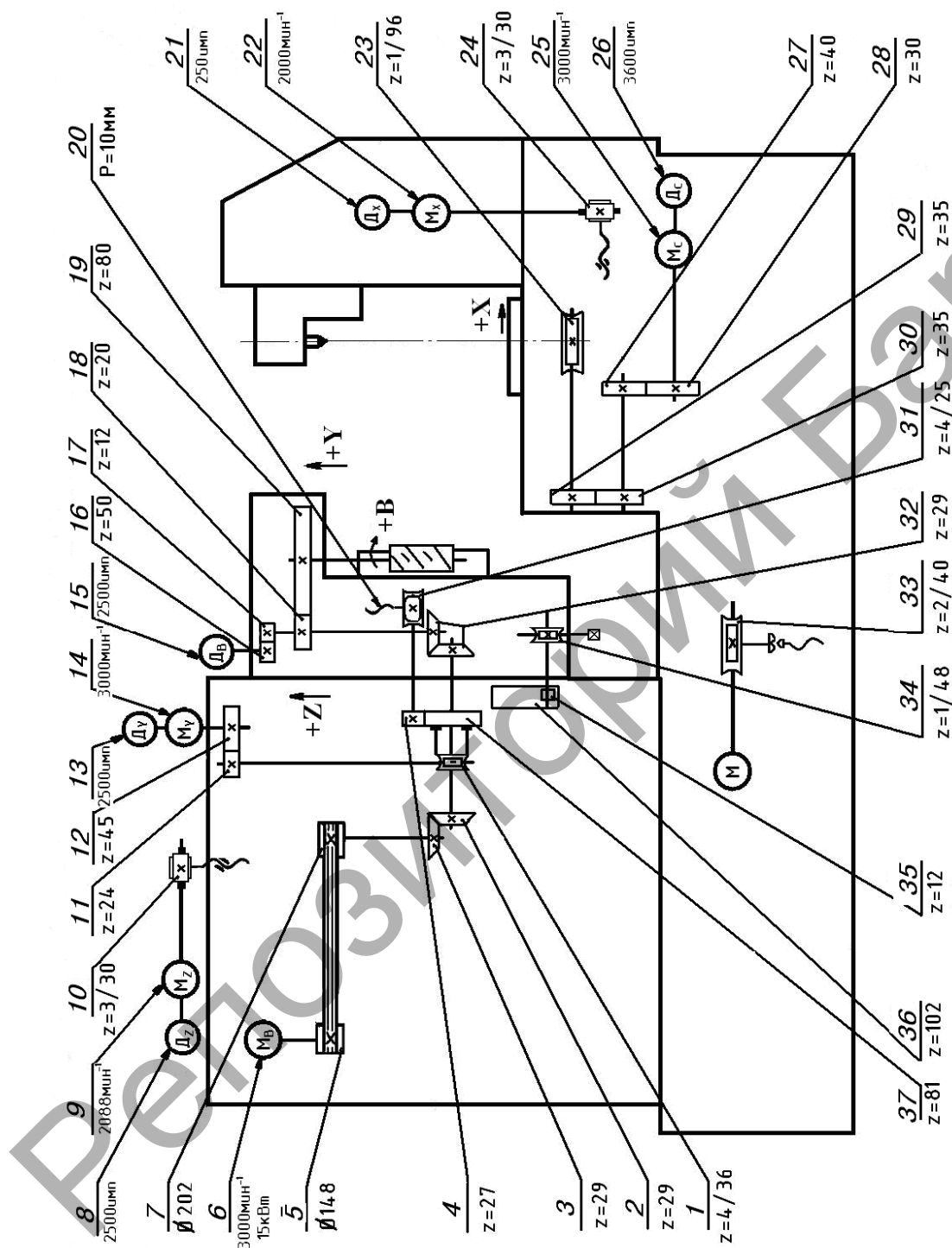


Рисунок 3.145 — Кинематическая схема станка модели 53A50KF4

При нарезании косозубых колес частота управления приводом стола складывается из *двух частот*:

- а) частоты, обеспечивающей поворот стола для осуществления деления;
- б) частоты, обеспечивающей доворот стола с учетом наклона зуба колеса.

3.9 Станки фрезерной группы

Фрезерные станки появились не позднее 1818 года в мастерской Эли Уитни (1765—1825), когда они уже использовались на английских оружейных заводах. В том же году Томас Бланшар (1788—1864) изобрел свой станок для изготовления ружейных лож — первый станок, позволявший делать по копиру изделия неправильной формы. В 1829 году английский изобретатель и промышленник Джеймс Несмит (1808—1890) улучшил конструкцию фрезерного станка, ставшим на то время одним из главных. К середине XIX века было создано большое количество металлообрабатывающего оборудования: токарных, токарно-винторезных, строгальных и зуборезных станков.

На фрезерных станках можно обрабатывать наружные и внутренние поверхности различной конфигурации, плоские и фасонные поверхности, в особенности на рычагах, планках, корпусных и других деталях, не являющихся телами вращения, делать местные вырезы и срезы, прорезать прямые и винтовые канавки, нарезать наружные и внутренние резьбы и зубья колес.

На фрезерных станках обрабатывают с помощью фрез, вращение которых является главным движением, относительное перемещение фрезы и заготовки (обычно прямолинейное) — движением подачи. Заготовку устанавливают на стол, почти всегда прямоугольный, в некоторых случаях круглый.

Фрезерные станки классифицируют по назначению, по компоновке (количество и расположение шпинделей, распределение движений).

По назначению фрезерные станки делятся на:

1) станки общего назначения, к которым относятся консольно-фрезерные и бесконсольнофрезерные, продольно-фрезерные и карусельно-фрезерные. Консольно-фрезерные станки в свою очередь подразделяются на горизонтально-фрезерные (простые), горизонтально-фрезерные универсальные, вертикально-фрезерные, широкоуниверсальные фрезерные;

2) специализированные фрезерные станки применяются при обработке однотипных деталей с переналадкой на рациональную обработку с одного типоразмера детали на другой. Они подразделяются на копировально-фрезерные, шпоночно-фрезерные, фрезерно-отрезные, барабанно-фрезерные, фрезерно-обточные, резьбофрезерные, зубофрезерные, фрезерные станки с

программным управлением. В большинстве случаев сюда, а не к станкам общего назначения, относят карусельно-фрезерные станки;

3) специальные фрезерные станки (часто отсутствуют в классификации) предназначены для выполнения определенных операций по обработке деталей в условиях крупносерийного и массового производств.

По компоновке различают следующие типы и модификации:

1) горизонтально-фрезерные консольные (с горизонтальным шпинделем и консолью), в том числе простые (рис. 3.146, а), универсальные — с поворотным вокруг вертикальной оси столом (рис. 3.146, б), широкоуниверсальные — с дополнительными фрезерными головками (рис. 3.146, в); 2) вертикально-фрезерные (с вертикальным шпинделем), в том числе консольные (рис. 3.146, г) и бесконсольные, называемые также «с крестовым столом» (рис. 3.146, д); 3) продольно-фрезерные, в том числе одностоечные (рис. 3.146, е), двухстоечные (рис. 3.146, ж), с передвижным порталом (рис. 3.146, и); 4) широкоуниверсальные инструментальные — с вертикальной рабочей плоскостью основного стола и поперечным движением шпиндельных узлов (рис. 3.146, к); 5) копировально-фрезерные (рис. 3.146, л); 6) фрезерные непрерывного действия, в том числе карусельно-фрезерные (рис. 3.146, м), барабанно-фрезерные (рис. 3.146, н).

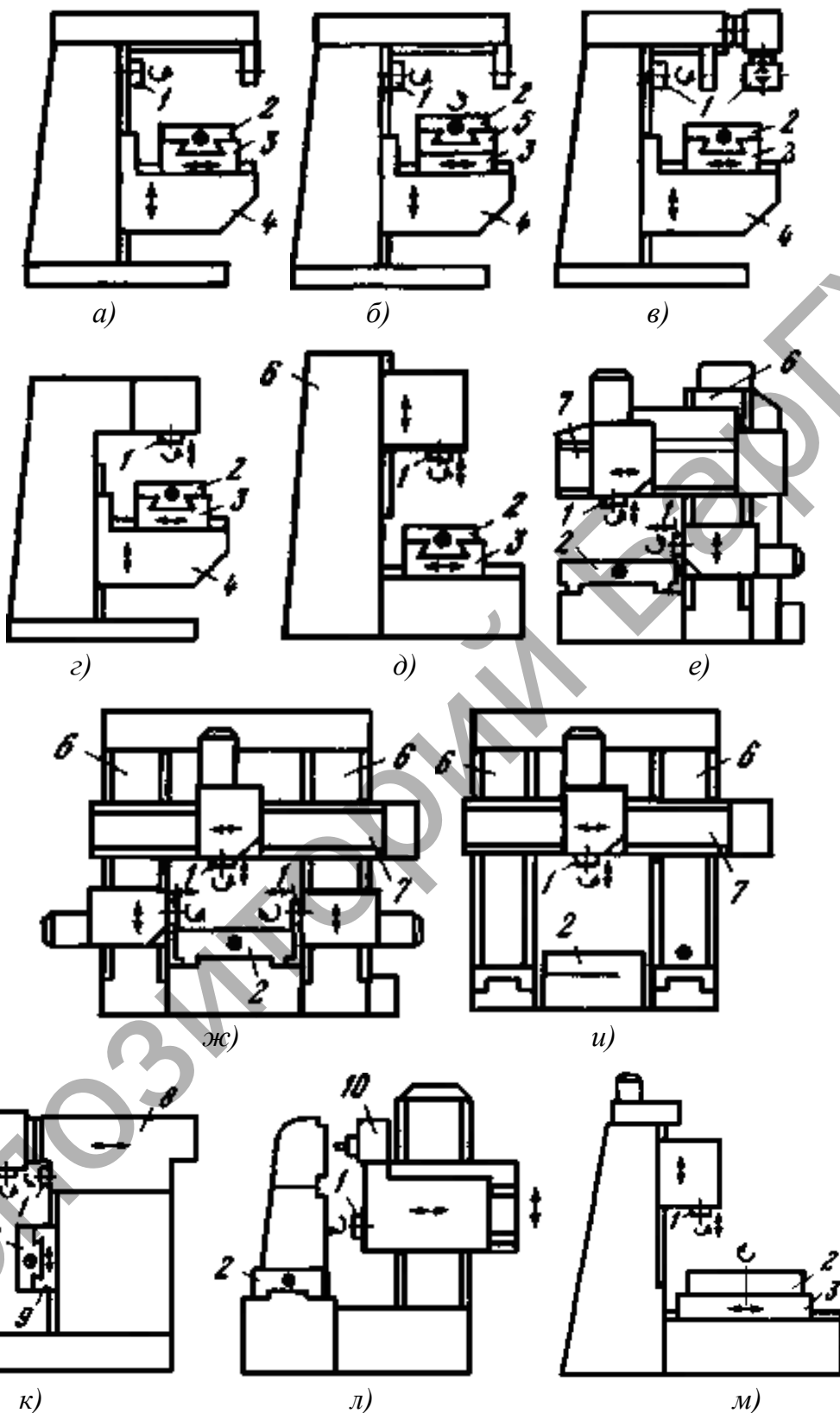
Основные размерные характеристики фрезерных станков — это размер рабочей поверхности стола, лежащий в пределах: ширина 100—5 000 мм, длина 400—16 000 мм и более.

Широкоуниверсальные горизонтальные консольно-фрезерные станки. Наибольшими возможностями в группе фрезерных станков обладают широкоуниверсальные станки, являющиеся наиболее сложными по сравнению с простыми и универсальными горизонтально-фрезерными. Эту модификацию фрезерных станков еще называют инструментальными. Они предназначены для работы в условиях единичного производства. Помимо расположенных под любым углом плоскостей, пазов, винтовых канавок и т. п., на станках можно обрабатывать объемные фасонные поверхности, например, штампы. Возможна также обработка поверхностей, выходящих за габариты стола.

Широкоуниверсальные консольно-фрезерные станки, в отличие от универсальных, имеют второй шпиндель, поворачивающийся вокруг горизонтальной и вертикальной осей. Второй шпиндель может устанавливаться под любым углом, а стол может поворачиваться (наклоняться) вокруг своей продольной горизонтальной оси. Кроме того, широкоуниверсальные фрезерные станки могут комплектоваться дополнительными приспособлениями: поворотными и угловыми столами, подрезными, долбежными, спирально-фрезерными головками.

Техническая характеристика станка:

- размеры поверхности стола (длина × ширина) — 1 250 × 320 мм;



1 — шпиндель; 2 — стол; 3 — салазки; 4 — консоль; 5 — поворотная плита;
 6 — стойка (стойки и связывающую их балку называют порталом); 7 — поперечина (траверса); 8 — ползун; 9 — каретка; 10 — копировальное устройство; 11 — барабан

Рисунок 3.146 — Основные виды фрезерных станков и характерные их части

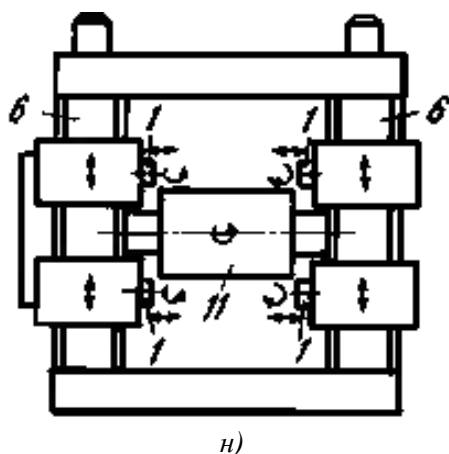


Рисунок 3.146 — Окончание

- частота вращения:

горизонтального шпинделя —

31,5...1 600 мин⁻¹

шпинделя поворотной головки —

50...1 600 мин⁻¹

подача:

продольная и поперечная —

25...1 250 мм/мин

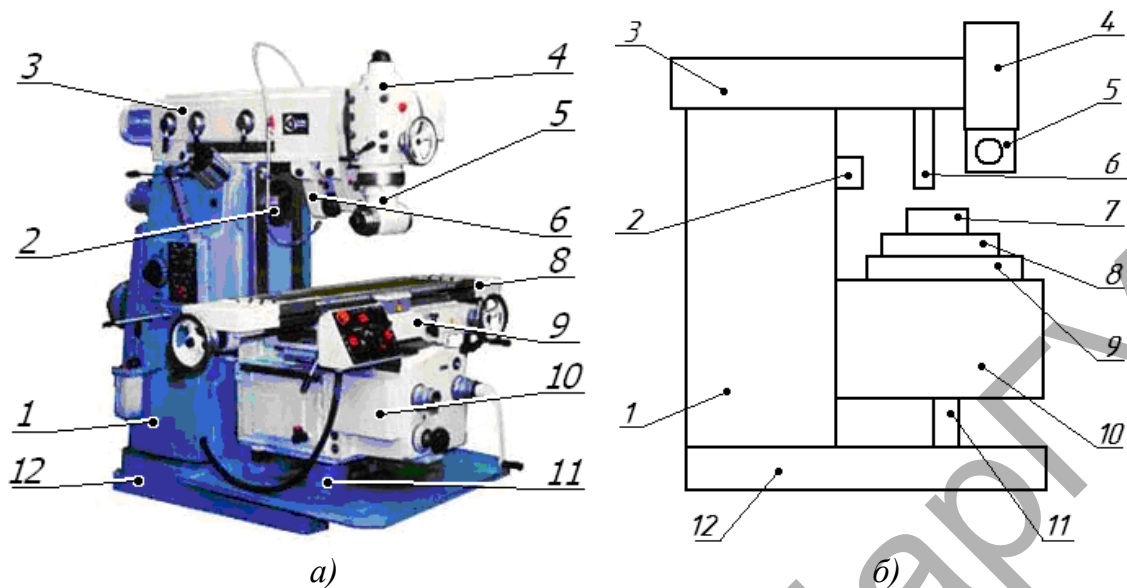
вертикальная —

8,3...416,6 мм/мин

Основные узлы станка (рис. 3.147). Станина *1* является главным несущим узлом, смонтированным на основании *12*, по вертикальным направляющим которого перемещается консоль *10*, представляющая собой отливку коробчатой формы. Для перемещения консоли по вертикальным направляющим служит винт *11*. Сверху на консоли расположены направляющие для поперечного движения салазок *9*. По направляющим на верхней стороне салазок продольно движется стол *8* с заготовкой *7*. Прямолинейные движения заготовки в трех направлениях служат для подачи, углубления или первоначальной установки. В консоль встроена коробка подач. Привод главного движения с коробкой скоростей смонтирован в станине и заканчивается горизонтальным шпинделем *2*, конец которого выступает над столом.

Наверху станины расположен выдвижной хобот *3*, в который встроены привод шпинделя поворотной головки *4*, в том числе дополнительная коробка скоростей. Со шпинделем поворотной головки может быть состыкована накладная головка *5* со шпинделем. Первая из головок имеет две оси поворота: горизонтальную (ось хобота) и перпендикулярную к ней. Накладная головка может поворачиваться вокруг третьей оси, перпендикулярно к первым двум.

Фрезы закрепляют непосредственно в шпинделях или на оправках. Для поддержки оправки, вставленной в горизонтальный шпиндель, служат серги *6*.



a — общий вид станка; *б* — схема расположения узлов станка

Рисунок 3.147 — Широкоуниверсальный фрезерный станок модели 6Т82Ш и его схема

Кинематическая схема широкоуниверсального консольно-фрезерного станка модели 6P82Ш (рис. 3.148). В станке два привода главного движения. Более мощный горизонтальный шпиндель V получает движение от асинхронного электродвигателя M1 через зубчатые колеса 27/53, две группы передач с тройными передвжными блоками колес 19-22-16 и 37-46-26, группу передач с двухвенцовым блоком 82-19. Колесо 38 на валу III принадлежит двум группам передач (связанное колесо). Уравнение кинематического баланса при наименьшей частоте вращения:

$$n_{\min} = 1460 \cdot 27 / 53 \cdot 16 / 38 \cdot 17 / 46 \cdot 19 / 69 \approx 31,5 \text{ мин}^{-1}.$$

Чтобы ускорить остановку привода при выключении двигателя, используют электромагнитный тормоз, связывающий первый вал и ротор двигателя с корпусом.

Асинхронный двигатель M2 передает движение шпинделю поворотной головки XIV через группы передач с двойным блоком 28-52 и тройным блоком 58-66-49. За ними расположен перебор с валом IX. При переключении колеса 33 вправо оно сцепляется с внутренним зубчатым венцом муфты M₁, тогда валы VIII и X соединяются напрямую. Кинематическая цепь завершается двумя кулачковыми муфтами M₂, M₃ и тремя коническими зубчатыми передачами. На схеме не показана накладная головка, которая содержит еще одну коническую передачу.

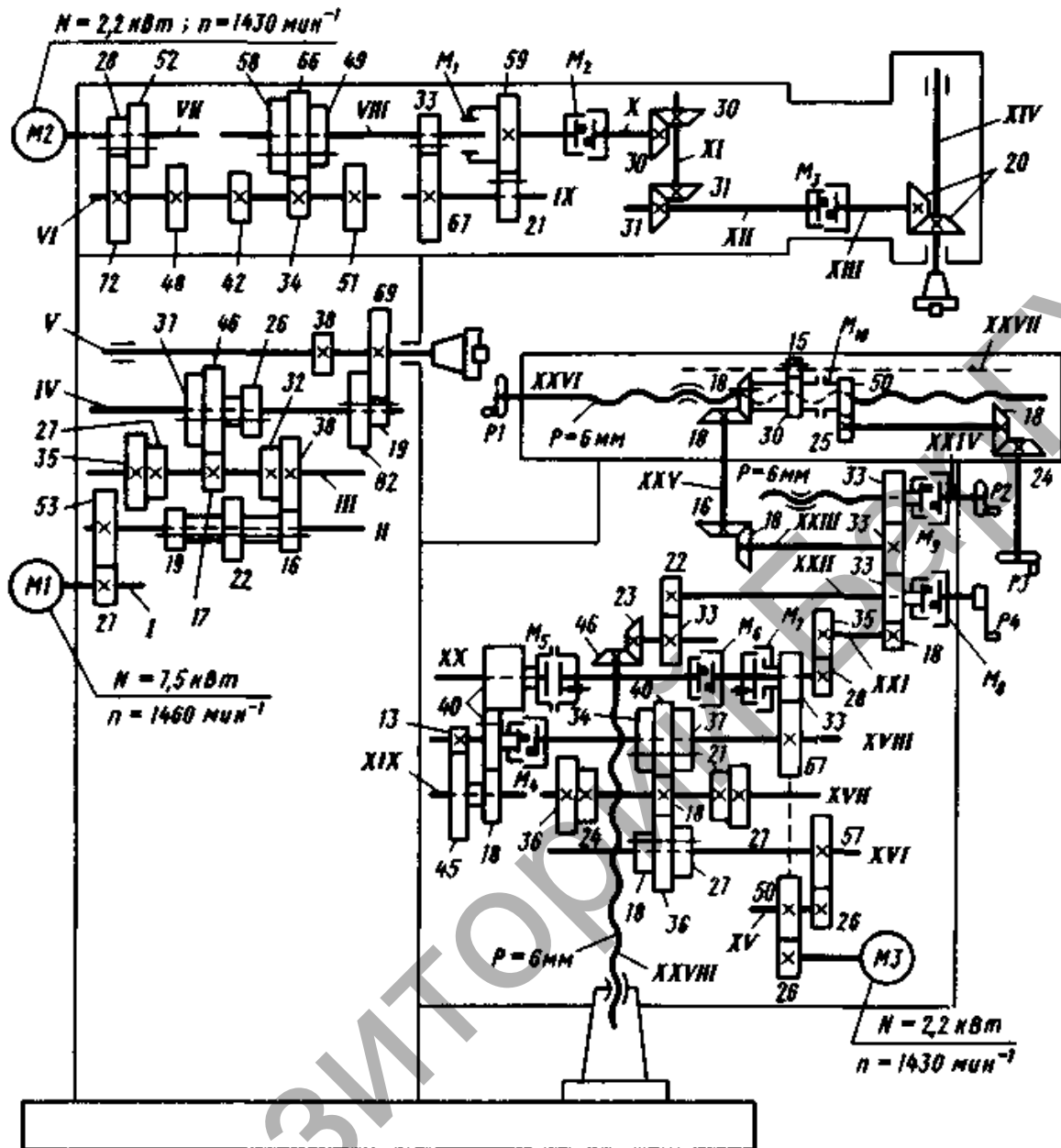


Рисунок 3.148 — Кинематическая схема станка модели 6P82Ш

Привод подач содержит коробку подач (электродвигатель М3 и валы XV...XX с колесами и муфтами на них), механизмы для распределения движения между столом, салазками и консолью, три передачи винт-гайка для перемещения каждого из этих узлов. В коробке подач две постоянные передачи 26/50, 26/57, два тройных блока 18-36-27 и 34-40-37 с сопряженными колесами (колесо 18 на валу XVII связанное) и перебор с валом XIX. Колесо 40 с зубчатой полумуфтой на валу XVIII в левом положении вращается относительно вала, получая движение через передачи 13/45, 18/40. В правом положении колесо 40 через муфту М4 непосредственно соединено со своим валом.

Муфта M_5 — предохранительная на случай перегрузки. Управление муфтами M_6 (кулачковая) и M_7 (фрикционная дисковая) заблокировано для предотвращения их одновременного включения. При включении муфты M_6 вал XX получает вращение от колеса 40 (рабочая подача); через муфту M_7 тот же вал получает вращение от колеса 33, связанного с колесом 50 вала XV через паразитное колесо 67 (ускоренное перемещение).

Муфта M_8 может соединить вал XXII с колесом 33 на нем; тогда движение будет передано на ходовой винт XXVIII перемещения консоли (гайка неподвижна). При включении муфты M_9 ходовой винт XXIV перемещает салазки (винт вращается, гайка перемещается). Для перемещения стола включают муфту M_{10} , и движение передается на ходовой винт XXVI (гайка неподвижна). При включении муфты M_{10} колесо 50 выходит из зацепления с колесом 25, что исключает вращение маховика P3 при работе от двигателя. Не показанные на схеме кулачковые муфты выключают с той же целью маховики P1, P2 и рукоятку P4. Передача 30/15 на вал XX VII относится к приводу дополнительного круглого стола, который можно установить на станок.

Уравнение для цепи максимальной продольной подачи:

$$s_{\text{прод max}} = 1\,430 \times 26 / 50 \cdot 26 / 57 \cdot 36 / 18 \cdot 24 / 34 \cdot 40 / 40 \times \\ \times 28 / 35 \cdot 18 / 33 \cdot 33 / 33 \cdot 18 / 16 \cdot 18 / 18 \approx 1\,250 \text{ мин}^{-1}.$$

Движения в станке. Главных вращательных движений инструмента в станке два — по количеству шпинделей (горизонтальный от двигателя M1, а поворотной головки — от M2). Движения прямолинейных подач сообщаются заготовке, установленной на столе станка: продольная подача осуществляется перемещением стола, поперечная — перемещением поперечных салазок, вертикальная — перемещением консоли. Подачи по всем трем координатам могут осуществляться:

- а) в наладочном режиме вручную с помощью маховиков (горизонтальные) или рукоятки (вертикальная);
- б) ускоренно от двигателя M3;
- в) по этим же направлениям при обработке деталь перемещается механизировано с рабочей подачей от двигателя M3 коробки подач.

Конструкция шпиндельного узла. Все шпиндели станка имеют однотипные опоры. В конструкции горизонтального шпинделя (рис. 3.149) в передней опоре находится двухрядный подшипник с цилиндрическими роликами, который обеспечивает точность узла и воспринимает большие радиальные нагрузки. Вдоль оси шпиндель удерживается на месте опорой из двух радиально-упорных шарикоподшипников 4. Предварительный натяг в задней опоре создается благодаря разности длин распорных колец, а в передней опоре — благодаря посадке внутреннего кольца на конус. Подшипник 6 поддерживает хвостовик шпинделя.

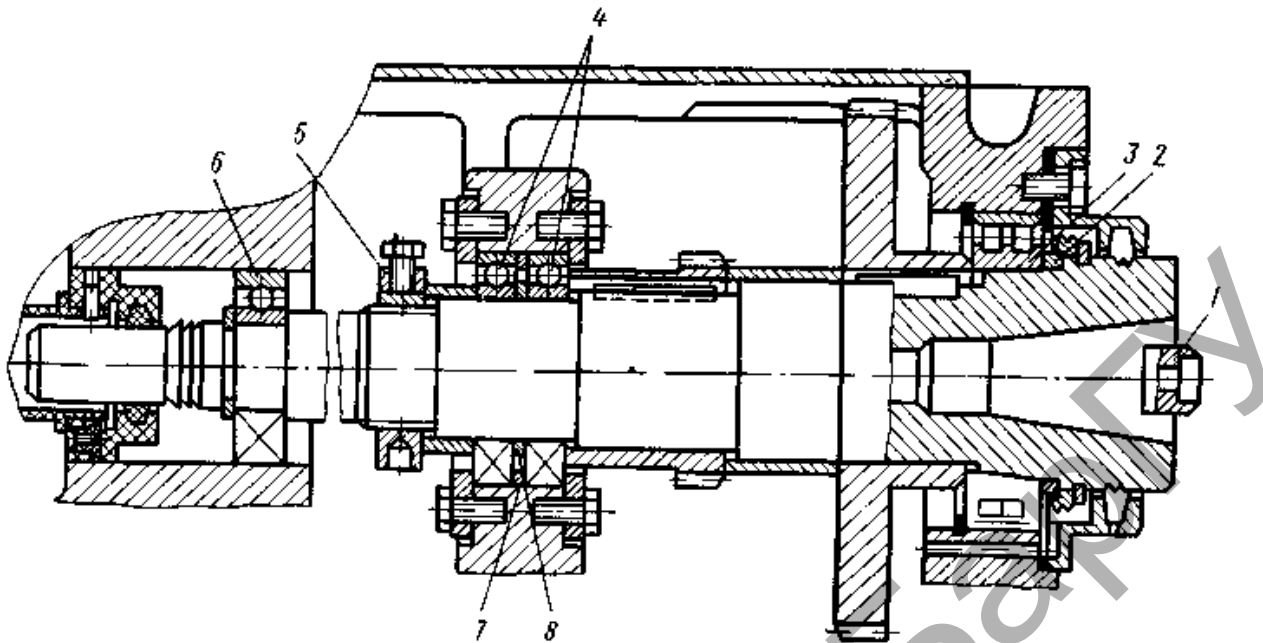


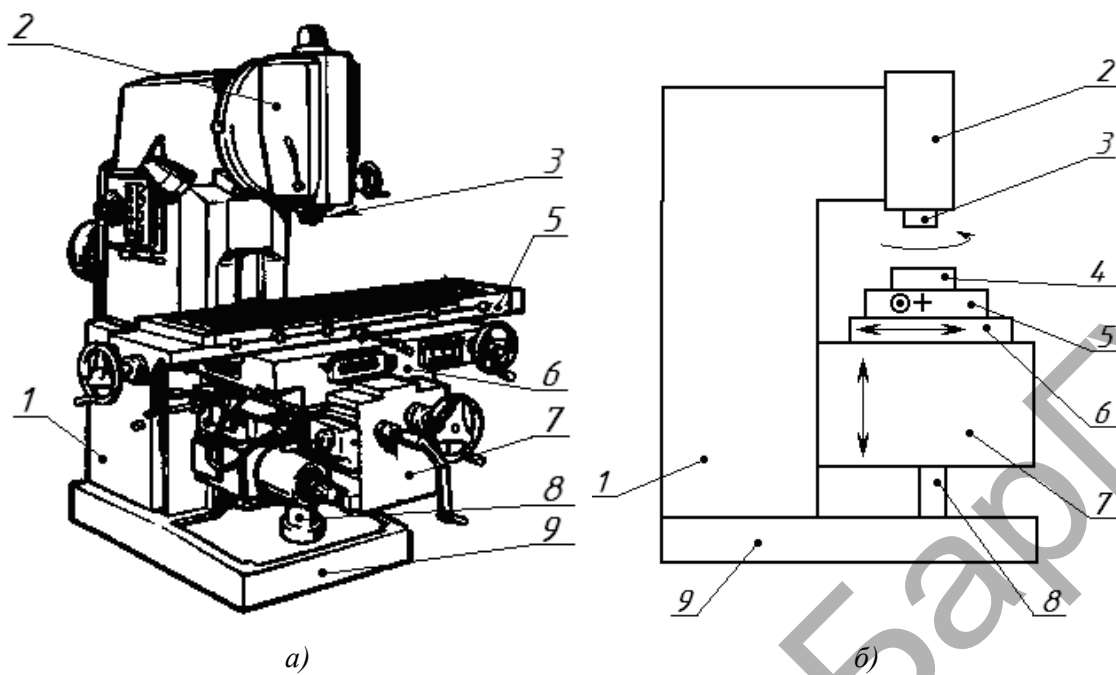
Рисунок 3.149 — Шпиндель горизонтально-фрезерного станка

Характерной особенностью шпиндельного узла данного станка, как и любого другого фрезерного станка, является устройство для крепления в шпинделе хвостовика фрезы или оправки и торцовая шпонка *1* для передачи крутящего момента со шпинделя на фрезу. Хвостовик инструмента (оправка) втягивается в шпиндель резьбовым шомполом или тягой с отдельным приводом до контакта с центрирующим несамотормозящим (7:24) конусом шпинделя. Удельные давления в конусе определяют жесткость соединения.

Вертикально-фрезерные станки работают преимущественно торцовыми и концевыми фрезами, обрабатывая плоскости, пазы, контуры плоских деталей. В зависимости от расположения узлов станка (компоновки) различают консольные (рис. 3.150) и бесконсольные (рис. 3.151) вертикально-фрезерные станки.

Вертикально-фрезерные станки отличаются от горизонтально-фрезерных только вертикальным расположением оси шпинделя и поэтому строятся обычно на одной базе с ними, имея много унифицированных деталей и узлов. Вертикально-фрезерный станок имеет свою конструкцию станины и шпиндельного узла, а в кинематической схеме привода главного движения — дополнительные пары конических зубчатых колес, передающих вращение на шпиндель. Устройство консольного стола этого станка такое же, как у горизонтально-фрезерного.

Основное технологическое назначение бесконсольных фрезерных станков — это обработка за счет более жесткой конструкции на повышенных режимах резания средних и крупных деталей.



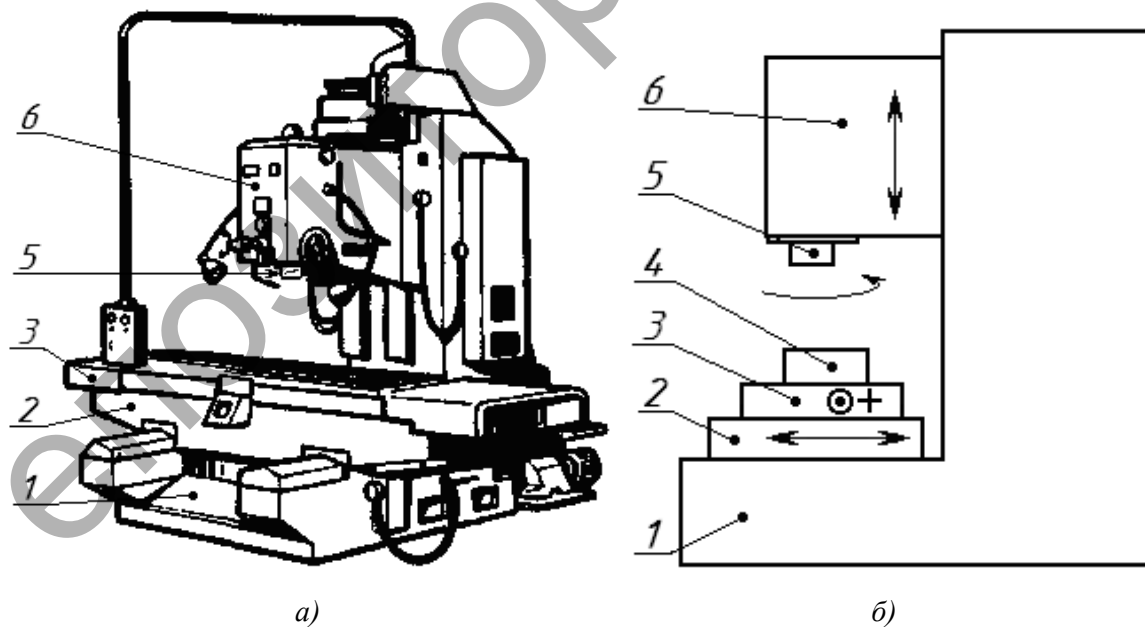
а)

б)

а — общий вид; б — схема станка

1 — стойка; 2 — фрезерная головка; 3 — шпиндель; 4 — деталь; 5 — стол; 6 — поперечные салазки; 7 — консоль; 8 — винт вертикального перемещения консоли; 9 — основание

Рисунок 3.150 — Консольный вертикально-фрезерный станок



а)

б)

а — общий вид; б — схема;

1 — основание; 2 — поперечные салазки; 3 — стол; 4 — деталь; 5 — шпиндель; 6 — шпиндельная бабка

Рисунок 3.151 — Бесконсольный вертикально-фрезерный станок

Компоновочная схема вертикального консольного и бесконсольного фрезерных станков. Основным конструктивным отличием консольно-фрезерных станков (см. рис. 3.150) является наличие консоли 7, перемещающейся в вертикальном направлении по направляющим станины. На консоли выполнены горизонтальные направляющие, по которым движутся салазки 6, несущие стол 5, с закрепленной на нем заготовкой 4. Наличие консоли ухудшает технические параметры станка: снижается жесткость, невозможна обработка тяжелых заготовок, усложняется механизм привода подач.

В современных фрезерных станках заложен ряд прогрессивных конструктивных решений: отдельные приводы главного движения и движения подач, наличие механизма ускоренных перемещений стола во всех направлениях, однорукоятное изменение скоростей, широкая унификация узлов.

Бесконсольные вертикально-фрезерные станки или вертикально-фрезерные с крестовым столом применяют для фрезерования крупных деталей с большими сечениями среза, они имеют большую мощность, высокие частоты вращения шпинделя и величины подач стола. Шпиндельная бабка 6 (см. рис. 3.151) с расположенной в ней коробкой скоростей перемещается в вертикальном направлении по направляющим станины 1. У некоторых станков ось шпинделя можно установить под углом. Стол 3 движется в горизонтальной плоскости по двум осям. Станок обычно управляется с подвесного пульта. Кроме фрезерных работ на этих станках можно выполнять расточные и сверлильные операции при вертикальной подаче фрезерной бабки. Бесконсольные вертикально-фрезерные станки выпускают следующих модификаций: с круглым столом карусельно-фрезерные (рис. 3.160) и копировальные.

Особенности конструкции. Нижняя часть консольных станков (см. рис. 3.146, а — з) унифицирована, вертикальное перемещение совершает заготовка. Компоновка с консолью 1 (рис. 3.150, а) удобна тем, что при изменении высоты заготовки уровень зоны обработки не меняется, но жесткость несущей системы снижена, особенно при удалении стола от стойки, когда увеличен вылет центра тяжести консольной части. Фрезерная головка 2 может быть повернута в вертикальной плоскости.

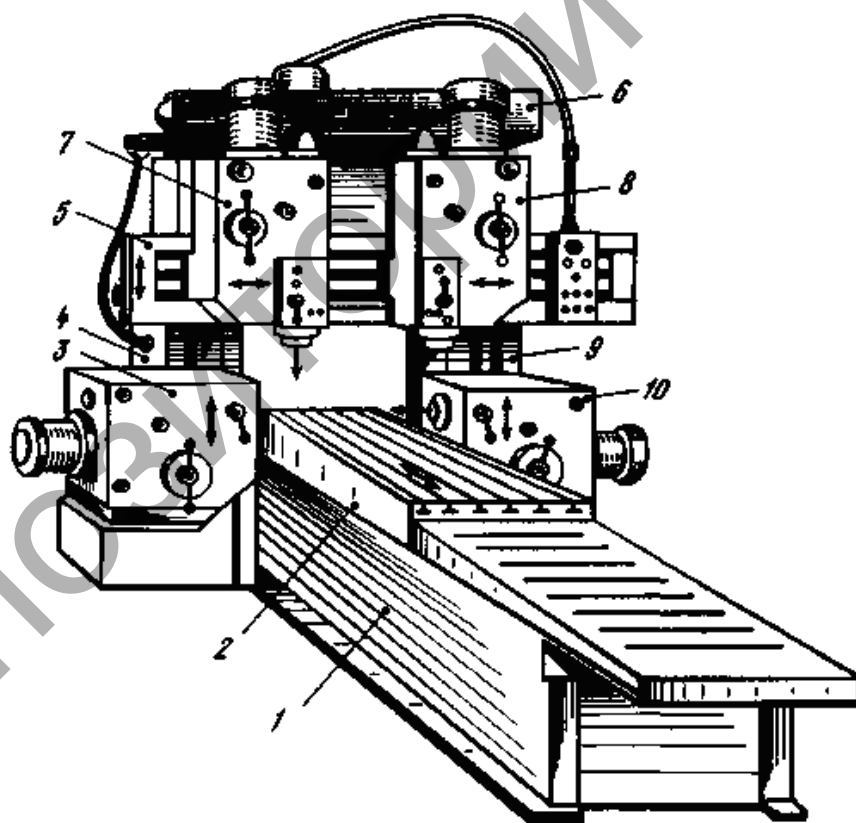
В бесконсольном станке крестовый стол (стол 3 с салазками 2) опирается на станину 1 (см. рис. 3.151), что обеспечивает высокую жесткость, позволяет повысить точность и обрабатывать более крупные заготовки. Стандартные нормы точности предусматривают выпуск бесконсольных вертикально-фрезерных станков классов точности Н, П, В. В частности, по классам Н и П соответствующие допуски на отклонение от прямолинейности обработанной поверхности при длине 250...400 мм равны 16 и 10 мкм, при длине 630...1 000 мм — 25 и 16 мкм, причем допуски на соответствующие показатели по

классу Н равны допускам для консольных станков по классу П. Вертикальное перемещение фрезерной бабки *б* по стойке *1* используют обычно при наладке в зависимости от высоты заготовки и вылета фрезы.

В вертикальных (консольных и бесконсольных) и некоторых других фрезерных станках шпиндель может выдвигаться из фрезерной головки для точной установки фрезы относительно заготовки и периодического углубления.

Горизонтальные и вертикальные консольные и бесконсольные станки относятся к наиболее распространенным фрезерным станкам. Однако даже на бесконсольных станках невозможно изготовить крупногабаритные детали. Эта задача решается с помощью продольно-фрезерных станков.

Продольно-фрезерные станки (см. рис. 3.146, *е, ж, и*) бывают одностоечными и двухстоечными. Портал может быть неподвижным, а при обработке особо тяжелых деталей — передвижным. Продольно-фрезерные станки (рис. 3.152) являются, в основном, тяжелыми станками, поэтому их стол *2* имеет лишь одну степень свободы — перемещается прямолинейно по станине (основанию) *1*.



a)

a — общий вид станка; *б* — схема станка;

1 — станина; *2* — стол;

3, 7, 8—10 — фрезерные бабки; *4, 9* — стойки; *5* — поперечина; *б* — бабка

Рисунок 3.152 — Продольно-фрезерный станок

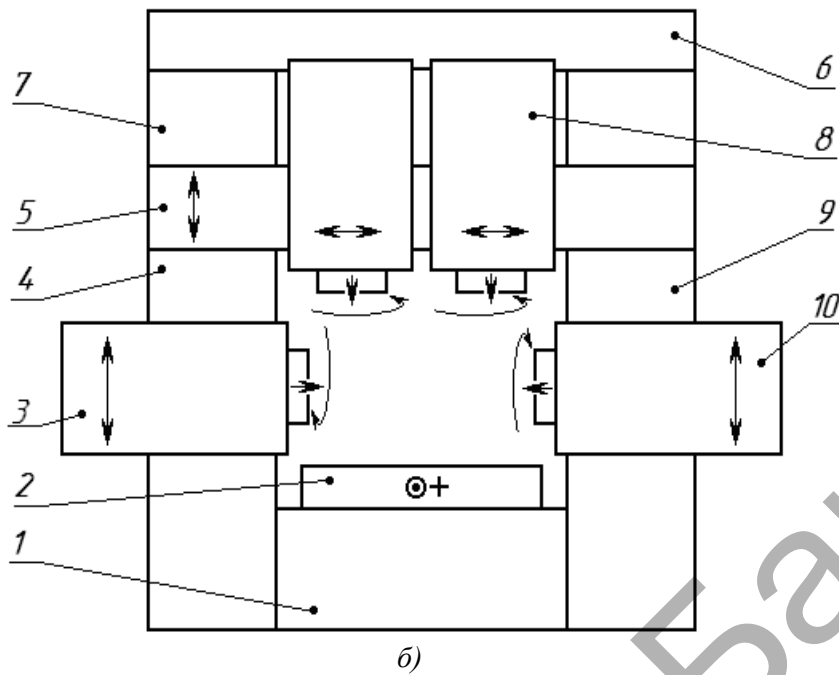


Рисунок 3.152 — Окончание

Назначение. Продольно-фрезерные станки предназначены для обработки горизонтальных, вертикальных, наклонных и фасонных линейчатых поверхностей разнообразных, в основном, крупногабаритных деталей массой до десятков тонн цилиндрическими, торцевыми и фасонными фрезами, когда один из размеров детали существенно превышает два других. Выпускают продольно-фрезерные станки для деталей с размерами до $5 \times 6 \times 30$ м. Основными характеристиками станка являются размеры стола: ширина от 320 до 5 000 мм, а длина от 1000 до 16 000 мм, расстояние между стойками от 2 до 7,5 м и проход под поперечной 0,8...7,5 м. Обрабатываемая деталь устанавливается на столе 2.

Наибольшее распространение получили продольные фрезерно-расточные станки, оснащаемые несколькими фрезерными бабками, позволяющими проводить обработку деталей с пяти сторон без переустановки.

Компоновочная схема двухстоечного продольно-фрезерного станка. На станине 1 станка смонтированы две вертикальные стойки 4 и 9, скрепленные поперечной балкой. На вертикальных направляющих стоек расположены фрезерные головки 3 и 10 с горизонтальной осью шпинделя и траверса (поперечина) 5. На направляющих траверсы установлены две фрезерные головки 7 и 8 с вертикальной осью шпинделя.

Продольно-фрезерные станки по компоновке отличаются прежде всего числом стоек и фрезерных головок. Большинство станков — с поперечиной на двух стойках, но головок может быть и три (по одной на стойках и поперечине) и даже одна (на поперечине).

Различают станки с неподвижным порталом и перемещающимся столом 2 (см. рис. 3.146, ж и рис. 3.152) и станки с перемещающимся порталом и неподвижной плитой 2, на которой закрепляется обрабатываемая заготовка (см. рис. 3.146, и). Станки с подвижным порталом имеют меньшую (примерно на 30%) длину и требуют точной (в пределах 15...20 мкм) синхронизации перемещения стоек портала. Такая компоновка выгодна при больших габаритах деталей, которые в процессе обработки остаются неподвижными. В станках с неподвижным порталом точность перемещения обеспечивается проще — за счет хорошего базирования стола, который может быть одинарным или двойным. В последнем случае на одном столе производится обработка детали, а на другом, находящемся вне рабочей зоны станка, — смена заготовки.

Обычно фрезерные бабки выполняются ползунковыми, на которые устанавливаются дополнительные приспособления. Ход ползуна достигает 1 500 мм, а его сечение может превышать 500 × 500 мм. Мощность приводов главного движения фрезерных бабок доходит до 40...200 кВт. Несмотря на большие размеры обрабатываемых деталей, станки обеспечивают высокую точность. На прецизионных станках допуск плоскостности в 10 мкм достигается на площади 3 × 4 м; допуск параллельности двух поверхностей лежит в пределах 10 мкм на 1 м длины и 30 мкм на 10 м.

Движения в станке. Главным движением в станке является вращение шпинделей. Каждая фрезерная головка имеет собственный привод: электродвигатель и коробку скоростей. Шпиндели допускают смещение их вдоль оси и могут быть установлены под углом. Продольную подачу имеет стол 2, поперечную — головки 7 и 8, а вертикальную — головки 3 и 10. Приводы движения подач для всех головок индивидуальны, но одинаковы по конструкции. Траверсу 5 устанавливают на требуемой высоте, зажимают и во время работы она неподвижна.

Остальные движения сообщают фрезе. Шпиндель фрезы совершает вращательное главное движение и вместе с гильзой может выдвигаться из корпуса. Все головки могут перемещаться вертикально: головки 3 и 10 — непосредственно по стойкам, головки 7 и 8 — вместе с поперечиной. Головки 7 и 8 можно двигать горизонтально по поперечине. Возможна установка головок под углом к вертикали. Движения головок используют для подачи, углубления или для первоначальной установки при наладке. Движение подачи сообщают либо столу, либо головкам. Поперечину перемещают только при наладке, после чего ее фиксируют.

Копировальные системы с жесткой связью для фрезерных станков. Изготовление деталей со сложными контурами, состоящими из дуг окружностей и отрезков прямых линий можно выполнить на вертикально-фрезерных станках с ЧПУ. Однако для некоторых криволинейных профилей в программе требуется задать слишком много точек, чтобы обеспечить достаточную точность. В этом случае легче и дешевле изготовить копир

(образцовую деталь), а затем многократно воспроизводить (копировать) его форму на заготовках, используя специализированные копировально-фрезерные станки. Эти станки предназначены для изготовления кулачков, шаблонов, штампов, пресс-форм и других деталей, имеющих фасонную форму в плоскости или в пространстве.

В копировально-фрезерных станках используют системы управления прямого действия (для менее ответственных работ) и следящие (широко распространены).

Копировальная система прямого действия (рис. 3.153, а) характеризуется жесткой связью, отсутствием усилительных устройств между щупом (копировальным пальцем) 1 и фрезерной головкой 2.

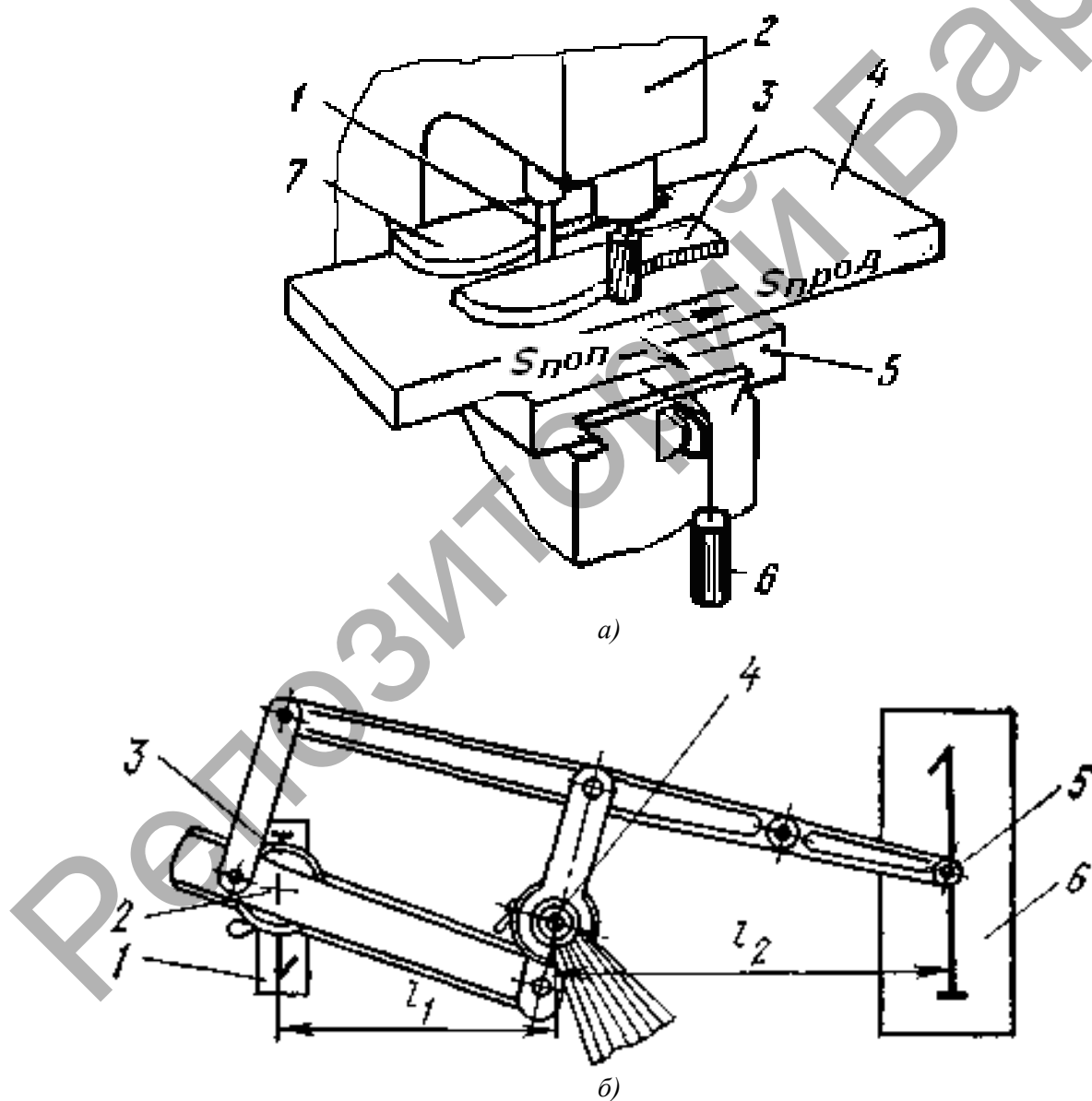


Рисунок 3.153 — Схемы копировальных систем прямого действия с пантографом

При продольном движении с подачей $s_{\text{прод}}$ стола 4 профиль копира 7 действует как кулачок и на участках подъема кривой отжимается от шупа в поперечном направлении (подача $s_{\text{поп}}$) вместе со столом и салазками 5; при этом преодолевается сила прижима, создаваемая грузом 6. На нисходящих участках кривой копир подтягивается грузом. Заготовка 3 перемещается относительно фрезы точно так же, как и копир относительно шупа. Эта система наиболее проста, но требует износостойких, дорогостоящих копиров. Погрешности копира без уменьшения сказываются на точности изготовления детали.

Копировальная система с пантографом (рис. 3.153, б), являющаяся разновидностью систем управления прямого действия, подобна известным чертежным устройствам, но отличается тем, что можно изменять масштаб копирования путем настройки соотношения плеч в звеньях параллелограмма. Главный недостаток этих систем — недостаточная жесткость шарнирной системы. Станки с пантографом приспособлены для гравировальных работ.

Принципиальная схема копировальной системы станка со следящим приводом. С помощью шупа и датчика получают слабые сигналы, управляющие мощным силовым приводом станка. Усилие поджима шупа к копиру не связано с силой резания; оно незначительно, поэтому копир можно изготавливать из легкообрабатываемого материала, например, из органического стекла. В зависимости от типов датчика и привода подач различают электрические, гидравлические, электрогидравлические, пневмоэлектрические и другие следящие системы. На рисунке 3.154, а показана схема гидравлического следящего привода.

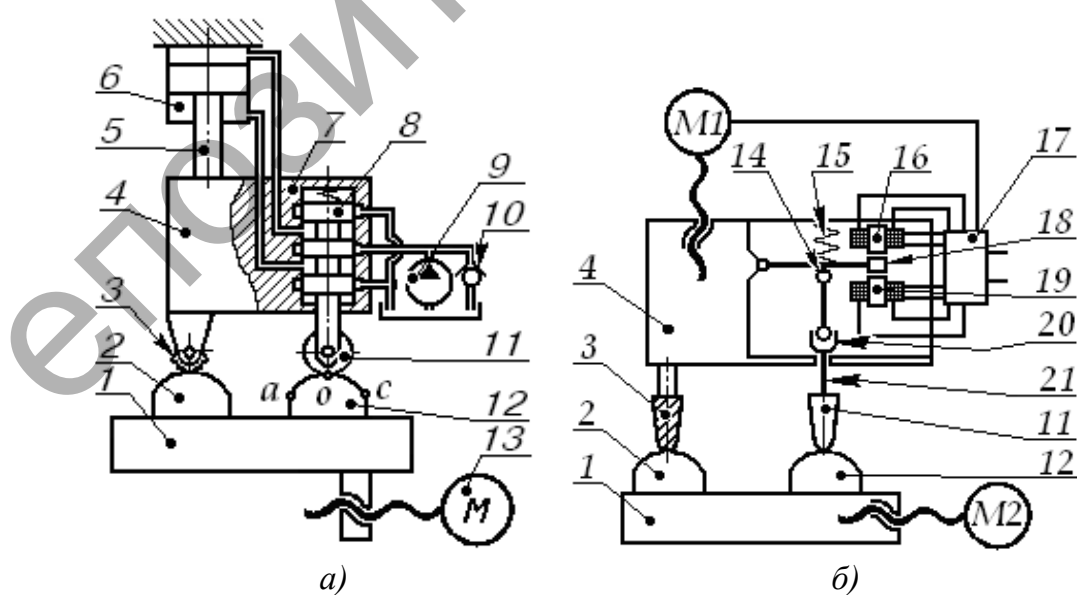
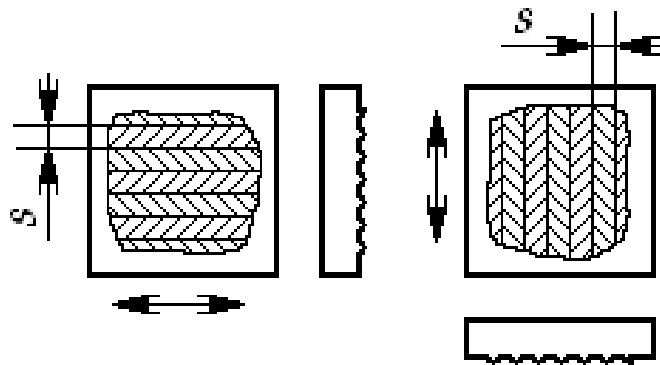


Рисунок 3.154 — Гидравлическая (а) и электрическая (б) схемы следящего привода. Виды проходов (строк) при фрезеровании (в)



б)

Рисунок 3.154 — Окончание

Заготовку 2 и копир 12 закрепляют на столе 1. Корпус следящего золотника 7, шток поршня 5 гидроцилиндра 6 и шпindelная бабка 4 жестко соединены между собой. В позиции, когда выточки в корпусе золотника перекрыты поясками золотника 8, масло от насоса 9 не поступает в гидроцилиндр, и он остается неподвижным. При сообщении столу равномерного движения от привода подачи 13 ролик 11 на участке $a-o$ копира смещает золотник 8 вверх, масло поступает в нижнюю полость гидроцилиндра и перемещает поршень 5 и шпindelную бабку вместе с фрезой 3 за золотником. При дальнейшем движении стола ролик попадает на участок $o-c$ копира, золотник опускается, масло теперь направляется в верхнюю полость цилиндра и перемещает поршень и шпindelную бабку с фрезой вниз.

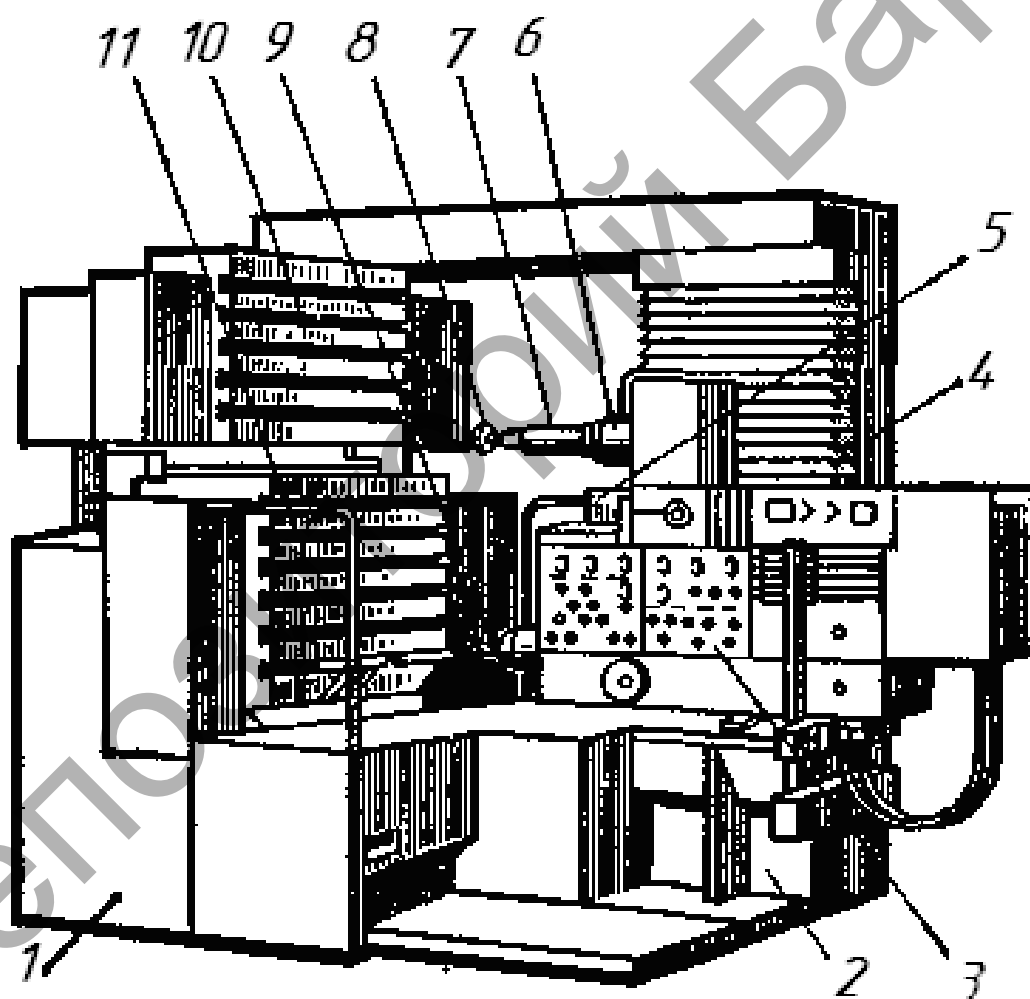
В рассмотренной схеме стол получает равномерную продольную подачу, а подача слежения в вертикальном направлении зависит от профиля копира. Поэтому результирующая подача инструмента относительно заготовки не будет постоянной, что является недостатком данной схемы копирования.

Этот недостаток устраняет *электрическая следящая система* (рис. 3.154, б), в котором в качестве чувствительного элемента применена индуктивная копировальная головка. При перемещении стола 1 с заготовкой 2 в продольном направлении копир 12 воздействует на щуп 11 и через него на якорь 18, поджатый пружиной 15. В результате изменяется зазор между якорем и сердечником 19, а значит и сила тока во вторичных обмотках трансформатора 16. Эти сигналы в усилителе 17 выпрямляются, усиливаются и идут на управление электродвигателем М1. При перемещении щупа вверх передается соответствующий сигнал двигателю М1, который перемещает шпindelную бабку 4 вместе с фрезой тоже вверх, устраняя возникшее рассогласование в положении щупа и фрезы 3. При действии на щуп радиальной силы, которая возникает при набегании щупа на подъем профиля копира, стержень 21 совершает поворот

относительно шаровой опоры 20, поэтому шарик 14 вытесняется из конического гнезда и отклоняет якорь вверх, что снова приводит к изменению силы тока. Сигнал об этом поступает в электродвигатель М1, который смещает фрезу вверх, устраняя рассогласование между положением шупа и фрезы.

При фрезеровании ощупывание копира производят способом горизонтальных или вертикальных строк (рис. 3.154, в).

Копировально-фрезерные станки бывают одношпиндельными и многшпиндельными, с вертикальными и горизонтальными шпинделями. Деталь, получаемая копированием на таком станке (рис. 3.155), может иметь размеры более чем 3×4 м.



1 — станина; 2 — основание станины; 3 — шпиндельная бабка;
4 — стойка; 5 — траверса; 6 — электрокопировальное устройство;
7 — палец; 8 — шуп; 9 — шпиндель; 10 — стол копира; 11 — рабочий стол

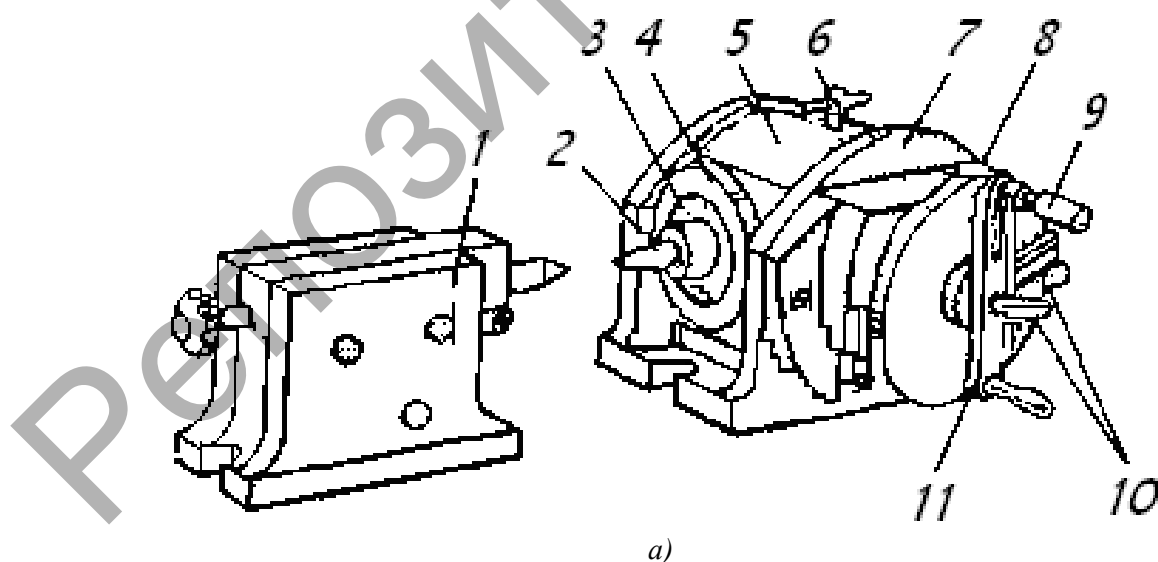
Рисунок 3.155 — Копировально-фрезерный станок модели 6Б443Р

Делительные приспособления, используемые на фрезерных станках, в основном представлены делительными головками, которые применяют, как правило, на консольно-фрезерных станках для установки заготовки и периодического или непрерывного поворота ее на заданные углы. Периодический поворот необходим, например, для прорезания впадин у зубчатых венцов; непрерывный поворот, согласованный с движением вдоль оси, осуществляют для получения винтовых канавок на сверлах и других инструментах.

Существуют лимбовые, безлимбовые и оптические делительные головки.

Лимбовая универсальная делительная головка (рис. 3.156, а) представляет собой основание 7, несущее в цапфах корпус 5 со шпинделем 3, который вращают рукояткой 11 через зубчатые передачи, предварительно выдернув фиксатор 9 из отверстия лимба (делительного диска) 8. Раздвижной сектор 10 удобен при многократном отсчете поворота рукоятки. Лимбы — сменные, на каждом с обеих сторон имеется несколько концентричных рядов отверстий. Фиксатор можно передвинуть по радиальному пазу рукоятки и установить напротив одного из рядов отверстий. Для базирования заготовки-вала в шпиндель устанавливают центр 2 и используют заднюю бабку 1. Шпиндель передает вращение заготовке через поводок или кулачковый патрон.

Для отсчета угла поворота шпинделя можно пользоваться диском 4 с делениями через 1° . В этом случае шпиндель фиксируют стопором 6. Такой способ деления называют *непосредственным*.



а — общий вид; б — кинематическая схема простого деления;
в — кинематическая схема дифференциального деления

Рисунок 3.156 — Лимбовая делительная головка

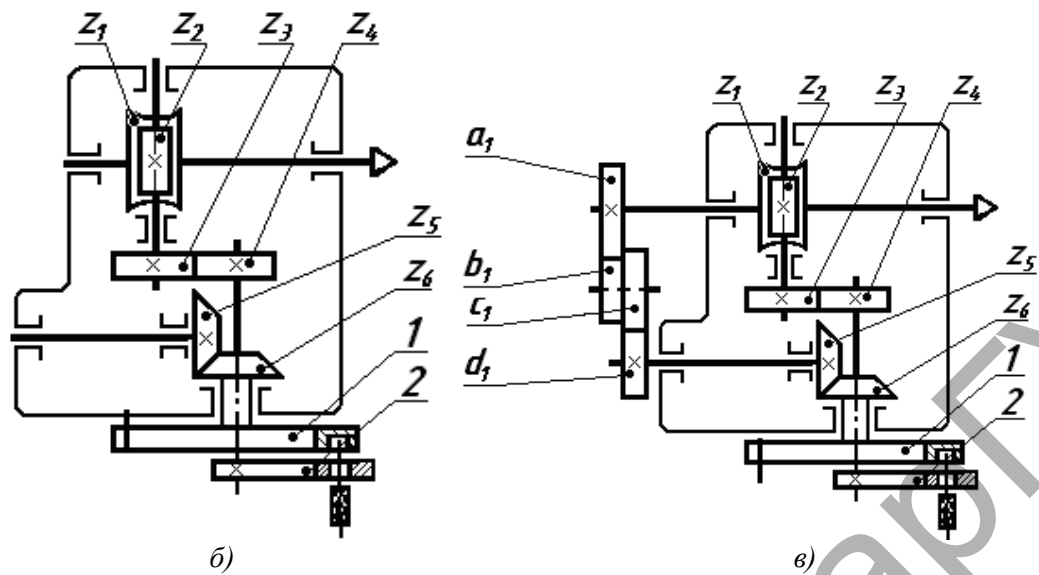


Рисунок 3.156 — Окончание

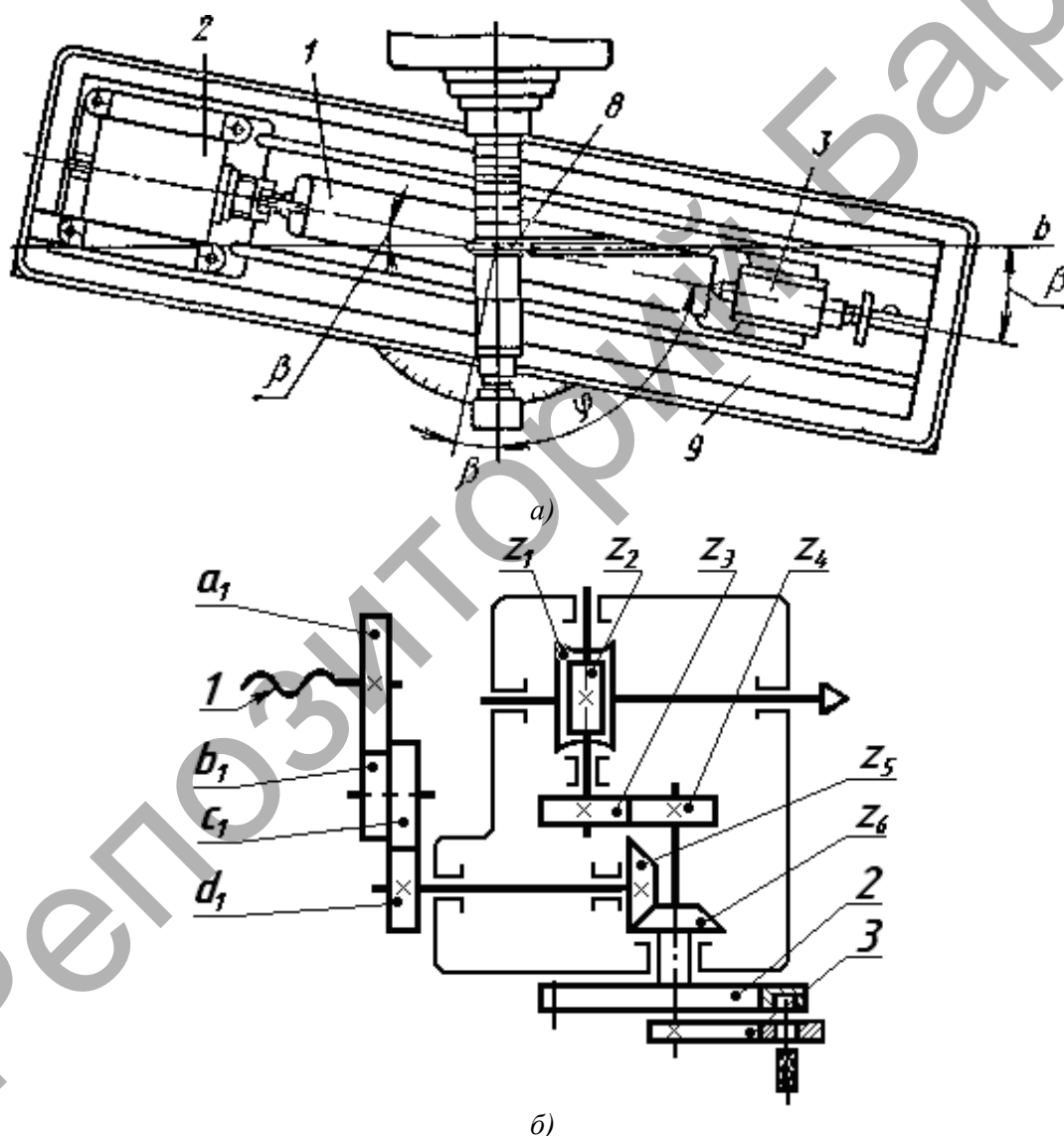
Кроме этого возможен вариант использования установленного на шпинделе делительной головки диска, имеющего определенное число пазов на равных расстояниях друг от друга. Диск поворачивают рукояткой 9. При 12 пазах диска шпиндель головки можно повернуть на $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{6}$ и $\frac{1}{12}$ оборота, т. е. делить окружность на 2, 3, 4, 6 и 12 частей. Таким образом, область использования непосредственного деления весьма ограничена.

Простое деление (рис. 3.156, б) применяют в тех случаях, когда передаточное отношение кинематической цепи между валом с рукояткой и шпинделем головки может быть выражено в виде простой дроби, что возможно не всегда, и количество оборотов ручки определяют из отношения характеристики делительной головки N , равной ее передаточному отношению (обычно она равна 40, но может быть равна 60, 80 или 120) и количества делений z , на которое надо разделить деталь. Знаменателем полученной дроби будет число отверстий, на которое надо повернуть рукоятку с фиксатором, а числителем — число отверстий в диске. В соответствии с полученной простой дробью из имеющегося с головкой набора дисков с рядами отверстий выбирается нужный.

Дифференциальное деление (рис. 3.156, в) применяют в тех случаях, когда подобрать диск с необходимым количеством отверстий для способа простого деления не удастся. При этом, как и при простом делении, определяют отношение характеристики делительной головки к числу делений x , которое в данном случае не равно заданному, а только близко к нему. Если это число x меньше заданного z , то диску нужно будет сообщить с помощью сменных колес a_1 , b_1 , c_1 и d_1 вращение в сторону,

противоположную вращению рукоятки, и наоборот. Передаточное отношение набора сменных зубчатых колес равно $N(x - z) / x$.

Фрезерование винтовых канавок, расположенных равномерно по окружности, осуществляется следующим образом (см. рис. 3.157, а). Заготовку 1, установленную в центрах делительной головки 2 и задней бабки 3, вместе со столом 9 поворачивают на угол β , равный углу наклона винтовой линии канавки. В результате этого средняя плоскость дисковой фрезы 8 совпадает с направлением канавки. Заготовке сообщают непрерывное вращение, а столу — продольную подачу вдоль линии ab . Делается это следующим образом.



а — общий вид наладки; б — кинематическая схема настройки

Рисунок 3.157 — Схема фрезерования спиральных канавок

Шпиндель делительной головки получает вращение от ходового винта I продольной подачи стола с помощью специально установленных зубчатых колес a_1b_1 , c_1d_1 , далее пара зубчатых колес z_4z_5 , потом диск 2 с рукояткой 3 , и еще две передачи z_4z_3 и z_2z_1 . За один оборот шпинделя стол должен переместиться на величину шага винтовой линии канавки, что обеспечивается подбором сменных зубчатых колес a_1 , b_1 , c_1 и d_1 .

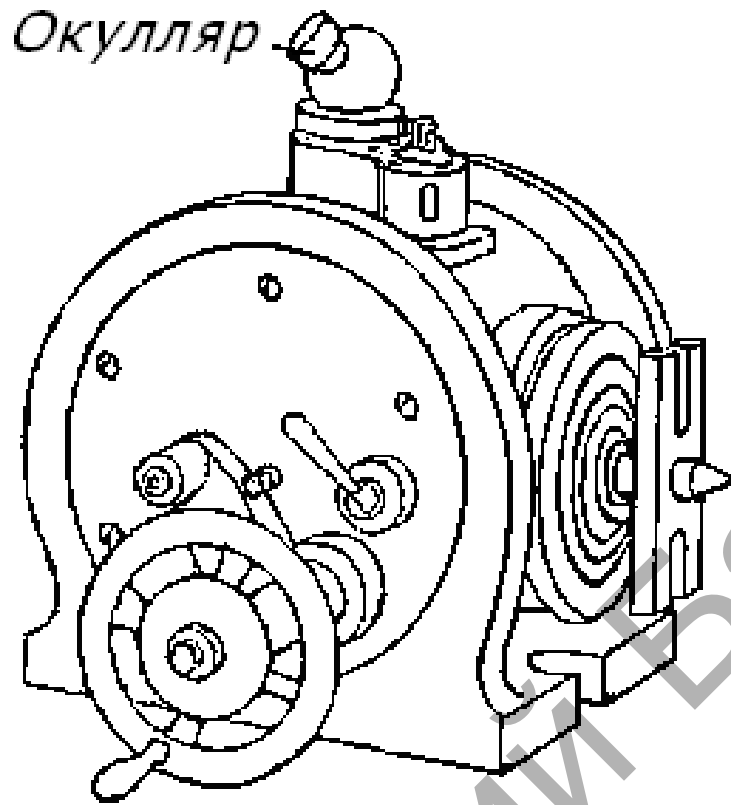
Безлимбовые делительные головки отличаются от лимбовых тем, что они не имеют делительных дисков. Рукоятка у них поворачивается на один полный оборот и фиксируется в постоянном положении на неподвижном диске. Величину поворота шпинделя устанавливают сменными колесами. Такая головка удобна в серийном производстве.

Для деления на равные и неравные части с повышенной точностью (до $0,25'$) применяют *оптические делительные головки* (рис. 3.158, *а*). В корпусе 1 (рис. 3.158, *б*) смонтирована поворотная часть 2 , несущая шпиндель 3 головки. На шпинделе жестко закреплен стеклянный диск 4 , на котором нанесены 360 точных градусных делений, наблюдаемых и микроскоп 5 . В его оптической системе имеется шкала с 60 делениями, позволяющая отсчитывать угловые минуты. Деталь, которую необходимо точно разделить, закрепляют в шпинделе головки. Деление заключается в простом поворачивании шпинделя на заранее вычисленные углы, отсчитываемые через окуляр микроскопа 5 по шкале диска 4 (рис. 3.158, *в*). Применяется главным образом для точных отсчетов углов при изготовлении приспособлений, измерительных инструментов, шкал, а также для контроля точных деталей.

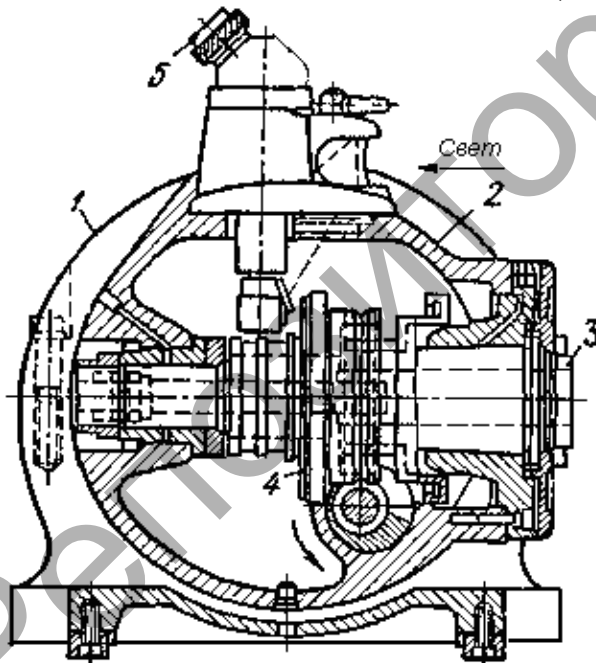
Часто для деления применяют *круглые поворотные столы* (рис. 3.159), удобные при обработке фасонных поверхностей. Непрерывный или периодический поворот заготовки возможен вручную или от электро- (гидро-, пневмо-) привода. Можно сообщить движение поворотному столу также от привода основного стола станка, а именно от правого конца продольного ходового винта через зубчатые колеса и карданный вал. Поворотные столы бывают универсальные, кантуемые и простые, с цифровой индикацией или управлением от УЧПУ. Диаметр планшайбы составляет до 800 мм.

Поворотный стол состоит из основания, закрепляемого на столе станка, верхней поворотной части с привинченным к нему снизу червячным колесом. Верхняя поворотная часть стола приводится во вращение вручную рукояткой. Величина поворота отсчитывается по шкалам.

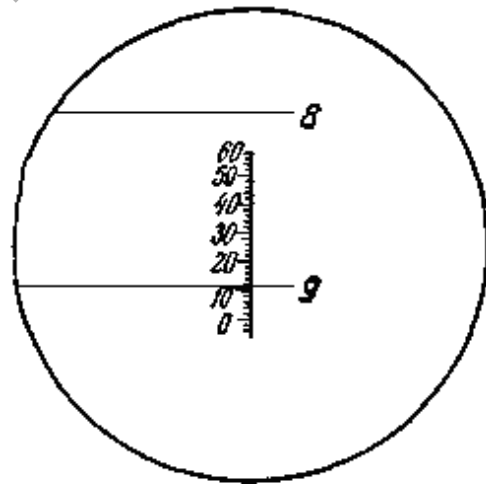
Фрезерные станки непрерывного действия используются в массовом и крупносерийном производствах для сокращения вспомогательного готовых времени. На них установку и закрепление заготовок, а также съем деталей производят на ходу не останавливая станка. При этом используют быстрозажимные и во многих случаях автоматически работающие приспособления. Станки работают торцовыми фрезами, отличаются большой производительностью. Различают *карусельные* и *барабанные* станки.



а)



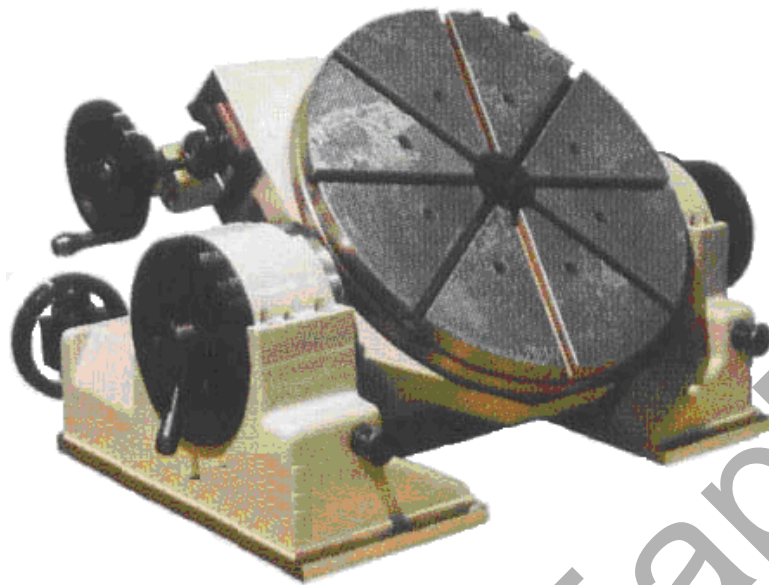
б)



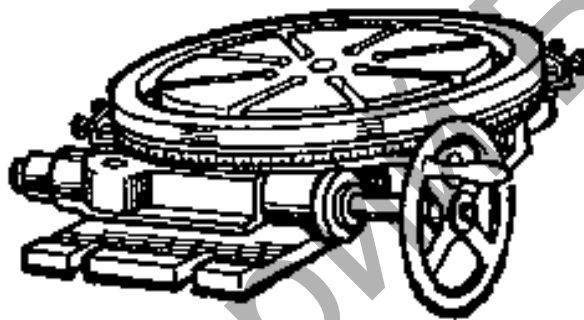
Отсчет $9^{\circ}13,8'$

в)

Рисунок 3.158 — Оптическая делительная головка



а)



б)

а — кантуемый; б — делительный

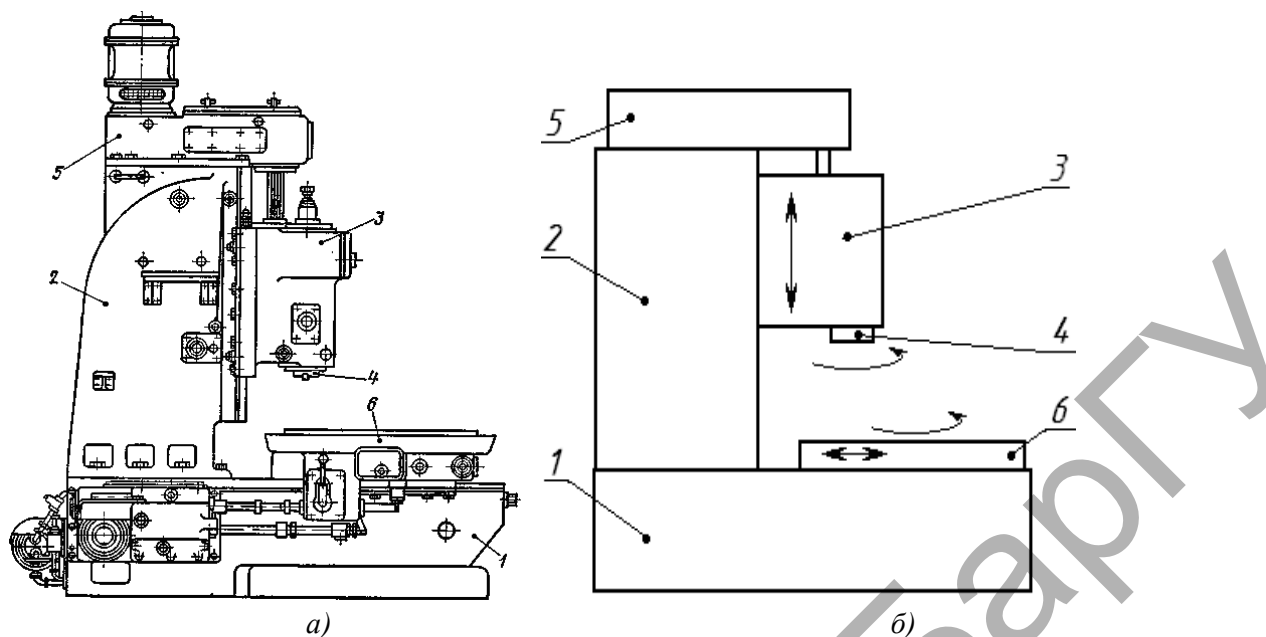
Рисунок 3.159 — Поворотные столы

Назначение станков. Карусельно-фрезерные станки предназначены для обработки плоскостей литых, кованных и штампованных деталей по методу непрерывного торцового фрезерования.

Поскольку фрезерование, установка и закрепление заготовок на столе производятся без его остановки, вспомогательное время совмещено с машинным. Это позволяет увеличить производительность станков.

Барбанно-фрезерные станки применяются для обработки параллельных плоскостей различных деталей одновременно с двух сторон.

Компоновочная схема карусельно-фрезерного станка. На рисунке 3.160 показан карусельно-фрезерный двухшпиндельный станок. На станине 1 установлена стойка 2, в вертикальных направляющих которой смонтирована шпиндельная бабка 3, имеющая два шпинделя 4 с приводом вращения от коробки скоростей 5, помещенной в верхней части стойки. На горизонтальных направляющих станины смонтирован стол 6,



a — общий вид станка; *б* — схема станка

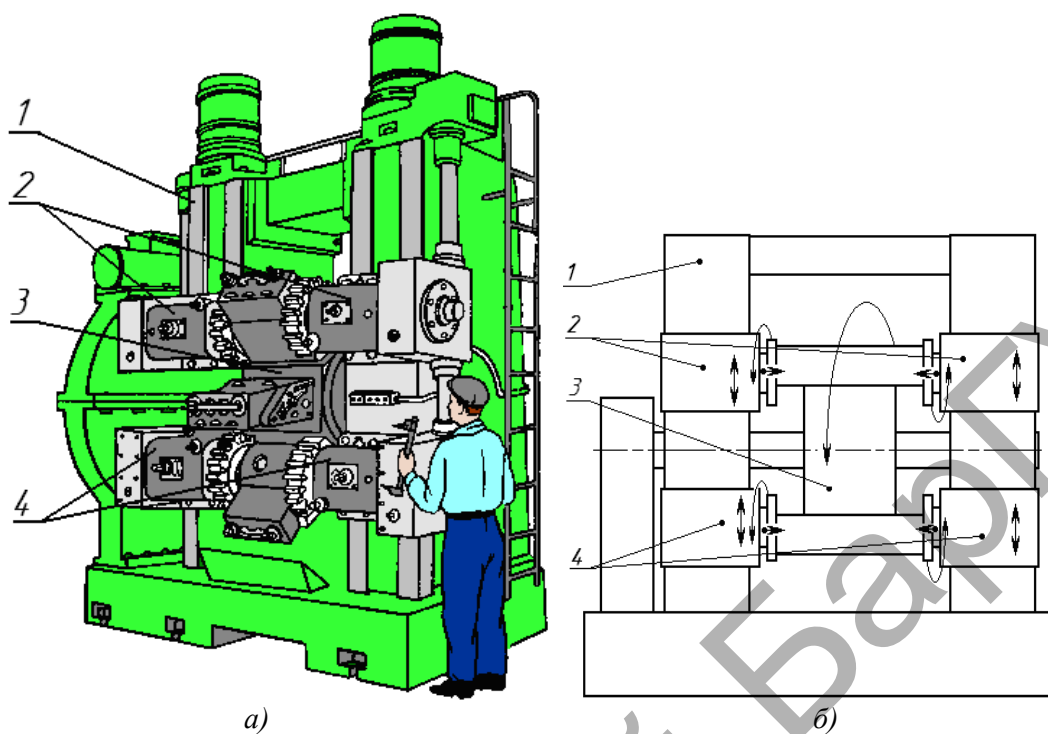
Рисунок 3.160 — Карусельно-фрезерный станок

получающий во время работы медленное вращение в виде круговой подачи. Наличие двух шпинделей дает возможность совместить в одной операции черновое и чистовое фрезерование. Частота вращения чистового шпинделя примерно в 1,8 раза больше, чем чернового.

Привод главного движения осуществляется от электродвигателя, расположенного в верхней части стойки. Шпиндели смонтированы в гильзах, которые с помощью реечных передач могут устанавливаться на необходимую высоту. Вращением рукоятки шпиндельную бабку вручную в наладочном режиме перемещают вертикально.

Привод круговой подачи стола состоит из отдельного электродвигателя и цепи зубчатых передач со сменными зубчатыми колесами для настройки. Ручной поворот стола при настройке станка производится вращением червяка вручную при выключенной подаче.

Компоновочная схема барабанно-фрезерного станка (рис. 3.161). Обрабатываемые заготовки крепят в приспособлениях, которые устанавливают на периферии медленно вращающегося массивного барабана 3 с плоскими гранями (обычно 4, 5 или 6 граней) таким образом, чтобы детали несколько выступали за торцевую поверхность барабана (это условие не обязательно). Обработка ведется торцовыми фрезами шпиндельных бабок 2 и 4, которые установлены на вертикальных направляющих рамы 1 и могут при переналадке перемещаться, получая движение от электродвигателей. Смена заготовок производится в процессе работы с противоположной по отношению к фрезам стороны станка.



a — общий вид; *б* — схема

Рисунок 3.161 — Барабанно-фрезерный станок непрерывного действия и его схема

В барабанно-фрезерном станке работают две пары фрез на каждой из двух стоек. Верхняя головка 2 ведет черновую обработку, нижняя 4 — чистовую. Фактически барабанно-фрезерный станок объединяет два карусельно-фрезерных станка. Распространена и конструкция с двумя фрезерными бабками.

Вращение барабана, происходящее непрерывно, — это движение подачи, главное движение — вращение фрез, которые сведены до нужного размера детали. Вращение каждого шпинделя осуществляется от индивидуального электродвигателя, изменение скоростей — сменными колесами. Шпиндели смонтированы в пинолях, выдвигением которых производится точная установка фрез на размер.

Так, барабанно-фрезерный двухшпиндельный станок ДФ-131 (Дмитровский завод фрезерных станков) предназначен для фрезерования торцовых поверхностей деталей типа валов длиной до 200 мм, а также плоскостей на мелких деталях других типов. Обработка заготовок на станке осуществляется торцовыми фрезами, которые устанавливаются в две одношпиндельные бабки, расположенные с двух сторон транспортного барабана диаметром 800 мм.

Специальный барабанно-фрезерный четырехшпиндельный станок ГФ-1090 (Горьковский завод фрезерных станков) предназначен для

непрерывного фрезерования торцовых плоскостей деталей типа валиков, связей, щек вилок карданных валов и мелких корпусных деталей. На станке применяются по согласованию с заказчиком двухшпиндельные бабки для обработки чугуна ($n_{\text{шп}} = 63 \dots 200 \text{ мин}^{-1}$), стали ($n_{\text{шп}} = 125 \dots 630 \text{ мин}^{-1}$) и цветных металлов ($n_{\text{шп}} = 600 \dots 1600 \text{ мин}^{-1}$). Расстояние между шпинделями у разных станков этого типа колеблется от менее чем 200 мм до 3600 мм.

3.10 Фрезерные станки с ЧПУ

Назначение. Фрезерные станки с ЧПУ предназначены для обработки плоских и пространственных деталей сложной формы из черных и цветных металлов. На них возможно выполнение операций объемного и контурного фрезерования и фрезерования с достаточной точностью разновысоких плоскостей.

Фрезерные станки с ЧПУ эффективнее традиционных с ручным управлением ввиду повышенной производительности (более чем в 3 раза) и возможности обработки без специальной дорогостоящей оснастки (шаблонов, фасонных фрез и т. п.). Фрезерные станки оснащают прямоугольными, контурными и универсальными УЧПУ. *Прямоугольные УЧПУ* применяют для обработки уступов, пазов и других плоскостей на разных уровнях. *Контурное управление* используют для обработки внутренних или наружных поверхностей сложной конфигурации, например дисковых кулачков. Важной характеристикой является число управляемых координат (от 2—5, но чаще 3), в том числе одновременно управляемых (обычно 2—3). Помимо прямолинейных перемещений может программироваться поворот головки с заготовкой или наклон оси фрезерного шпинделя. Дискретность задания перемещения по осям координат 0,025...0,01 мм, но обычно 0,01 мм. Программу вводят с перфоленки или через пульт (оперативная система).

Виды станков. Наиболее распространены вертикальные компоновки фрезерных станков с ЧПУ, а среди них вертикальные с крестовым столом, широкоуниверсальные и продольно-фрезерные с подвижной (а иногда неподвижной) поперечиной. Системами ЧПУ оснащают и горизонтально-фрезерные станки. Некоторые фрезерные станки с ЧПУ оснащаются револьверными головками. На базе фрезерных станков выпускаются фрезерно-сверлильно-расточные станки, оснащенные магазинами инструментов. Размеры столов фрезерных станков с ЧПУ варьируются от 250 × 800 мм до 2500 × 5000 мм.

Конструкции фрезерных станков с ЧПУ аналогичны конструкциям традиционных фрезерных станков, но отличаются от последних тем, что

все движения формообразования в станках с ЧПУ автоматизированы и выполняются по управляющей программе. Кроме того, как и у всех станков с ЧПУ установлены отдельные приводы на механизмах перемещения по каждому направлению.

Технологические возможности фрезерных станков с ЧПУ. Все фрезерные станки предназначены для обработки деталей из стали, чугуна, легированных сплавов, цветных металлов и пластмасс: фрезерования деталей штампов, пресс-форм, кулачков, крышек, корпусных деталей, планок, клиньев и других деталей, со сложной геометрической формой в условиях мелкосерийного и серийного производства. Возможна эксплуатация станка в индивидуальном производстве при обработке сложных деталей. Обработка сложных поверхностей производится при сочетании движения по двум или трем координатам как одновременно, так и последовательно. В револьверной головке один шпиндель может быть усилен и предназначен для фрезерных работ с большой нагрузкой, что увеличивает технологические возможности станка и повышает эффективность его эксплуатации.

Фрезерные станки с ЧПУ делят на две группы: *однооперационные* и *многооперационные*. Многооперационные фрезерные станки с ЧПУ в свою очередь делятся на выполняющие только фрезерные операции, или фрезерные операции в сочетании со сверлильными и расточными, для чего на станке устанавливается или револьверная головка с 5—6 инструментами, или магазин инструментов.

Во многих случаях на таких станках выполняют сверление, зенкерование, растачивание, нарезание внутренних резьб. В качестве режущего инструмента применяют торцовые, угловые, концевые, сферические, дисковые, фасонные фрезы, расточные резцы, осевой инструмент.

Обработка на этих станках обеспечивает выдерживание допуска параллельности на длине 300 мм в пределах 0,04...0,05 мм, а допуска плоскостности на длине 300 мм — 0,04 мм.

На фрезерных станках с ЧПУ могут применяться разные виды адаптивного управления, обеспечивающие оптимальное значение одного или нескольких параметров (составляющая силы резания; температура инструмента или детали; шероховатость обработанной поверхности; оптимальные режимы резания; оптимальный уровень шумов, вибраций и др.).

Важной особенностью автоматизации процесса обработки на металлорежущих станках с помощью устройств программного управления является сохранение станками широкой универсальности. Класс точности станков с ЧПУ нормальный, повышенный и высокий (Н, П и В).

Консольный вертикально-фрезерный станок модели 6Р13Ф3-37. Он предназначен для обработки концевыми и радиусными фрезами деталей сложной конфигурации (штампы, копиры, кулачки). Обработка

пространственно-сложных фасонных поверхностей достигается сочетанием движения стола станка с обрабатываемой заготовкой в горизонтальной плоскости (рис. 3.162) по двум координатам (X — в продольном, Y — в поперечном направлениях) и вертикального перемещения шпиндельной головки с режущими инструментами (Z). Он снабжен серийно выпускаемым устройством ЧПУ. В станке применена шаговая разомкнутая система числового программного управления с вводом информации с бумажной 5-дорожечной ленты шириной 17,4 мм.

Продольное перемещение стол получает от редуктора с шаговым электродвигателем, установленным на правом торце салазок и от передачи винт-гайка. Возможны движения по оси X в пределах ± 500 мм. Поперечное перемещение салазок со столом (по оси Y в пределах ± 200 мм) осуществляется от аналогичного привода, установленного в консоли. Вертикальное перемещение консоли — от гидродвигателя, установленного на правой стенке консоли через пару конических зубчатых колес и винтовую пару. Когда ползун находится в крайнем верхнем положении, возможно движение по оси, равное плюс 150 мм. Режущий инструмент в шпинделе крепится механизмом зажима инструмента, смонтированным в верхней части ползуна.

Структурная схема станка. Как и все станки с ЧПУ, станок 6Р13Ф3-37 имеет отдельные приводы с укороченными кинематическими цепями для

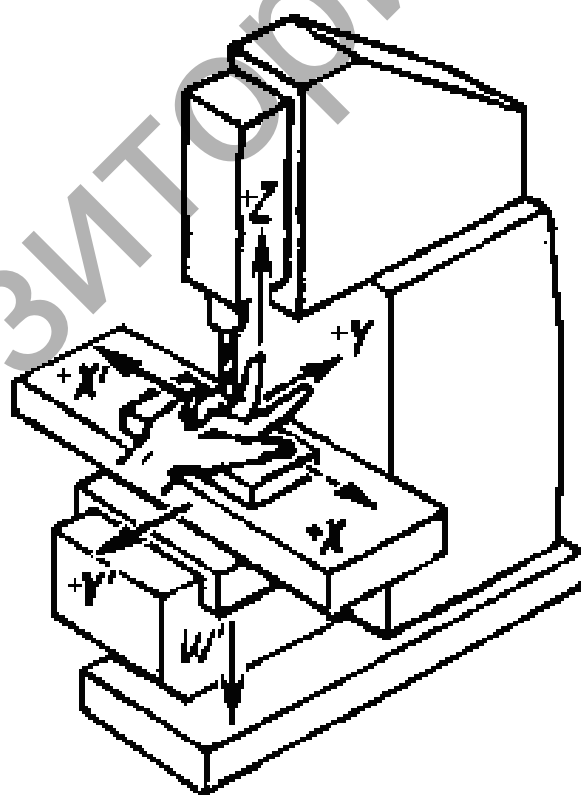


Рисунок 3.162 — Обозначение координат для фрезерных станков с ЧПУ

перемещения стола по всем координатам и для перемещения ползуна шпинделя. Привод главного движения остался от базовой модели.

Компоновочная схема станка модели 6P13Ф3-37, являющегося консольным одноинструментным. Фрезерные станки в основном оснащаются прямоугольными (система Ф2) и контурными УЧПУ (системы Ф3 и Ф4). При контурном управлении, которым оснащен данный станок, траектория перемещения стола может быть очень сложной и зависит от профиля обрабатываемого изделия. Число управляемых координат три. При контурном управлении движение формообразования производится не менее чем по двум координатным осям одновременно, что обеспечивает получение кривых профилей на деталях. Вся информация для управления задается на перфоленте. Система координат станка в соответствии с рекомендациями ИСО является прямоугольной декартовой, т. е. за положительное направление осей принято перемещение, при котором деталь и инструмент удаляются друг от друга. Стол станка имеет рабочее перемещение в горизонтальной плоскости (по координатам X и Y) и (вместе с консолью) установочное перемещение в вертикальном направлении (по координате Z); рабочее перемещение по координате Z имеет ползун со шпинделем.

На станине 8 станка (рис. 3.163), являющейся базой, монтируются его узлы и механизмы. Спереди станина имеет вертикальные направляющие, закрытые кожухом 9, по которым перемещается консоль 1. На горизонтальных направляющих, расположенных на верхней поверхности консоли, смонтированы салазки 2, по продольным направляющим которых передвигается стол 3. По вертикальным направляющим фрезерной бабки 6, закрепленной на привалочной плоскости станины перемещается ползун 7 со шпинделем 5. В соответствии с требованиями техники безопасности ползун имеет защитный щиток 4. Сзади станка расположен шкаф 10 с электрооборудованием и УЧПУ.

Движения в станке. Конструкция приводов подачи. Кинематическая схема станка модели 6P13Ф3-37 показана на рисунке 3.164. Коробка скоростей обеспечивает частоту вращения шпинделя от 40 до 2 000 мин⁻¹ (число ступеней 18).

Вращение шпинделю от асинхронного электродвигателя 1 передается по следующей кинематической цепи: вал I — зубчатые колеса 49-2 — вал II — блок зубчатых колес 47-50-48 — зубчатые колеса 10-5-6 — вал III — зубчатые колеса 6-5-4 — блок зубчатых колес 8-7-9 — вал IV — блок зубчатых колес 13-11 — зубчатые колеса 20-12 — вал V — конические зубчатые колеса 24-21 — вал VI — зубчатые колеса 19-22 — вал VII — зубчатые колеса 22-23 — вал VIII (шпиндель станка).

Привод вертикального перемещения ползуна фрезерной бабки по оси Z: высокомоментный электродвигатель 15 — зубчатые колеса 17-18 — ходовой винт — гайка ходового винта, закрепленная неподвижно в

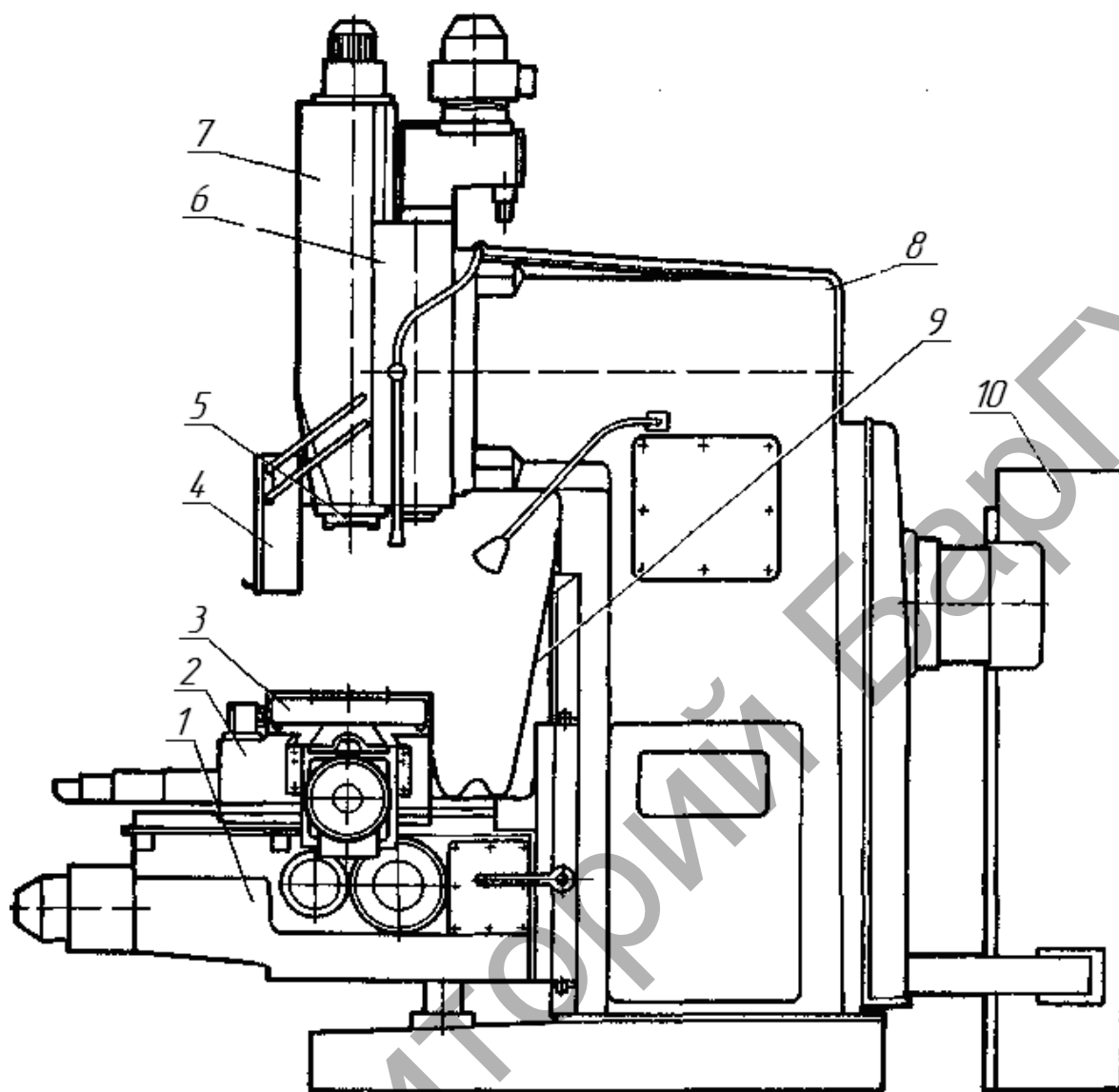


Рисунок 3.163 — Станок модели 6P13Φ3-37

корпусе фрезерной бабки. Датчик *1Д* обратной связи вертикального перемещения приводится во вращение зубчатыми колесами *16-14*. Служит для контроля действительного положения фрезерной бабки.

Привод продольной подачи стола по оси X: высокомоментный электродвигатель *30* — зубчатые колеса *29-27* — ходовой винт *26* — гайка *25*, жестко закрепленная в столе. Датчик *32* обратной связи для контроля продольного перемещения стола приводится во вращение зубчатыми колесами *28-31*.

Привод поперечной подачи (ось Y): высокомоментный электродвигатель *34* — зубчатые колеса *44-45-46* — ходовой винт *33* — гайка *36*, жестко закрепленная на салазках. Датчик *41* обратной связи приводится во вращение зубчатыми колесами *43-42*.

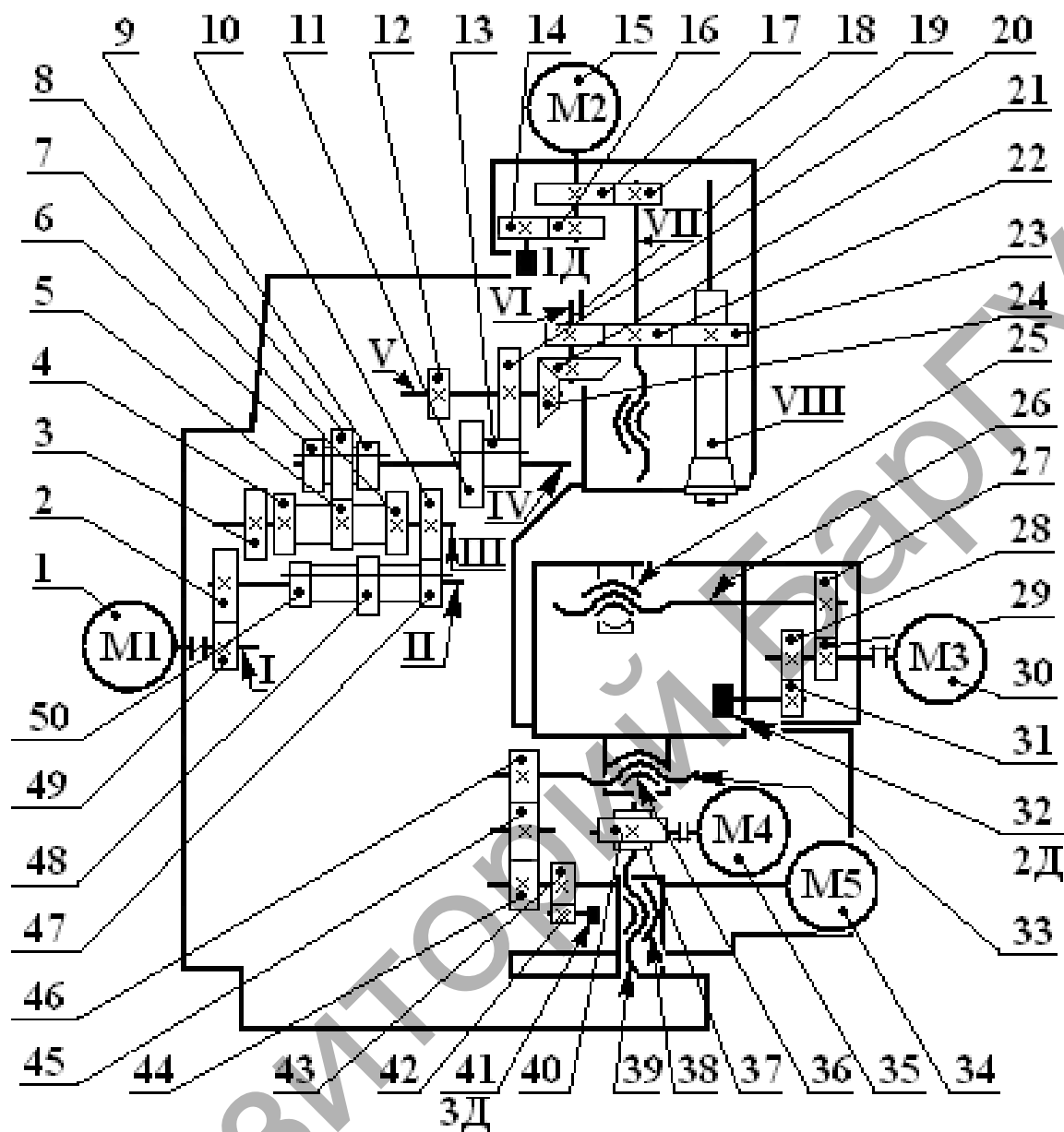


Рисунок 3.164 — Кинематическая схема станка модели 6P13Ф3-37

Привод вертикального (установочного) перемещения консоли — асинхронный электродвигатель 35 — червячная передача 40-37 — винт 39 — гайка 38, жестко связанная с основанием.

Установка и крепление инструмента. На рисунке 3.165 показано электромеханическое устройство зажима инструмента в шпинделе станка. Аналогичные устройства, механизующие закрепление инструмента, сейчас устанавливаются на всех фрезерных станках. Привод головки 1 осуществляется от асинхронного электродвигателя 17 мощностью 0,18 кВт.

При включении электродвигателя 17 рычаги 6 и 7 под действием центробежной силы поворачиваются вокруг осей и заплечиками перемещают

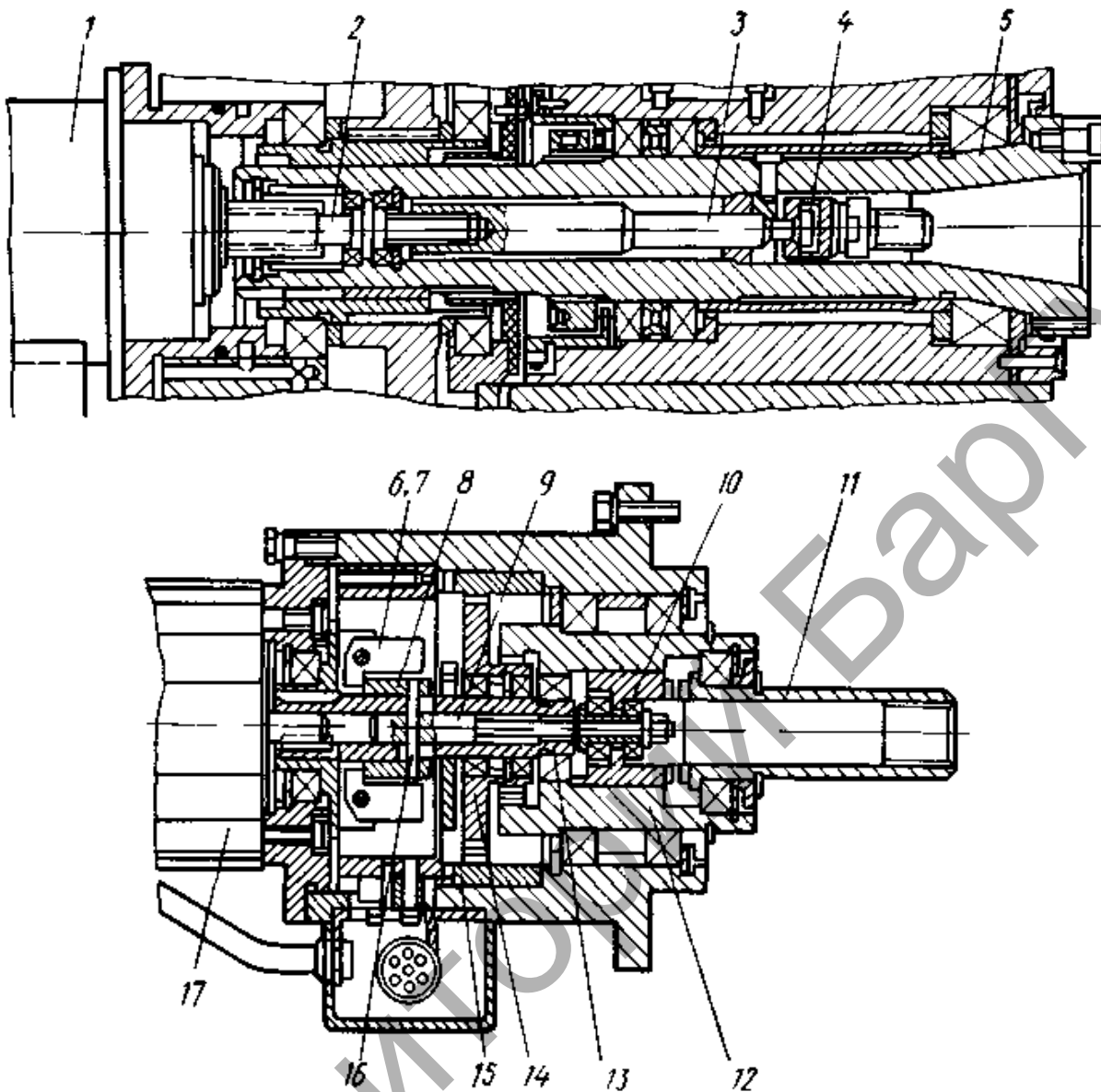


Рисунок 3.165 — Устройство электромеханического зажима инструмента станка модели 6Р13Ф3-37

штуку 8 в осевом направлении; последняя через штифт 16 перемещает шток 9 и полумуфту 10, смонтированную в подшипниках на конце штока.

Вращение от электродвигателя через эксцентриковый вал 13, планетарный механизм, состоящий из зубчатых колес 14-15, и шлицевое соединение зубчатого колеса 12 передается на полумуфту 10, которая кулачками, введенными в зацепление, вращает посредством шлицевой втулки 11 вал 2 исполнительного механизма.

Зажим и освобождение инструмента происходят при перемещении шомпола 3, расположенного внутри шпинделя 5 станка. Возвратно-поступательное перемещение шомпола 3 осуществляется через резьбовое

соединение его с валиком 2, получающим вращательное движение от головки 1. На конце шомпола 3 имеется Т-образная головка, которая входит в Т-образный паз захвата 4, ввернутого в оправку с фрезой. Хвостовик инструмента втягивается в коническое отверстие шпинделя и фиксируется силами зажима.

3.11 Станки для электрофизических и электрохимических методов обработки

Сущность и схемы методов обработки (электроэрозионной, электрохимической, плазменно-механической, ультразвуковой, лучевой, плазменной). К методам электрофизической и электрохимической обработки (ЭФиЭХ) относят разные по схемному и аппаратному оформлению и назначению методы обработки, основанные на использовании электрической энергии или специфических физических явлений, создаваемых этой энергией, для удаления материала и (или) формоизменения обрабатываемой заготовки.

Методы электрофизической и электрохимической обработки можно сгруппировать по характеру основных реализуемых электрофизических или электрохимических явлений с учетом некоторых принципиальных особенностей, отличающих их от традиционных технологических методов обработки материалов, использующих преимущественно механическое (силовое) воздействие на обрабатываемые материалы. Главные особенности электрофизической и электрохимической обработки заключаются в следующем:

- обработка любых материалов независимо от их механических свойств (твердости, вязкости, хрупкости и др.) осуществляется без приложения значительных механических усилий. Во многих случаях обработка проводится без механического контакта обрабатывающего инструмента с поверхностью заготовки;

- полностью отсутствует нужда в применении обрабатывающих инструментов, более твердых и прочных, чем обрабатываемый материал. Исключена необходимость передачи значительных механических усилий через систему СПИД, что позволяет упростить кинематику и уменьшить массу оборудования, так как достаточно обеспечить требуемую жесткость и точность узлов станка. Во многих случаях обрабатывающий инструмент вообще отсутствует, и его функции выполняет соответствующим образом сформированный поток электронов, ионов, фотонов и т. д.;

- с помощью данных видов обработки можно выполнить множество технологических операций, не выполнимых методами обработки резанием или давлением, что позволяет конструктору на качественно новой основе решать задачи создания новых конструкций машин,

механизмов, приборов; повышать надежность и технические параметры выпускаемой продукции;

- при электрофизической и электрохимической обработке во многих случаях сокращаются расход дорогих инструментальных и абразивных материалов и потери обрабатываемого материала;

- удельная производительность и скорость электрофизической и электрохимической обработки обычно не зависят от твердости и хрупкости обрабатываемых материалов. Трудоемкость и длительность обработки твердых и хрупких материалов меньше, чем при обработке резанием;

- данные методы обработки можно частично или полностью механизировать и автоматизировать с использованием более простых и современных средств, чем при обработке резанием. При этом значительно облегчается переход на многостаночное обслуживание и программное управление операциями;

- обработка характеризуется широким диапазоном технологических возможностей, охватывает практически все операции, встречающиеся в металлообработке, машиностроении и смежных областях, и обеспечивает в оптимальных режимах достижение требуемых показателей точности, качества поверхности, эксплуатационных характеристик, повышения стойкости инструмента и т. д.;

- операции обработки проводят, как правило, без приложения оператором значительных физических усилий, он не испытывает повышенных нагрузок или утомляющих воздействий; квалификация оператора, обслуживающего механизированное и автоматизированное оборудование, может быть относительно невысокой при довольно высокой квалификации наладчика и программиста;

- использование отдельных методов электрофизической и электрохимической обработки в сочетании с многими операциями механической или технохимической обработки позволяет значительно интенсифицировать последние без существенного усложнения технологии и оборудования;

- с помощью ЭФ и ЭХ методов обработки значительно облегчается возможность проведения местной обработки деталей и изделий с большими габаритными размерами без применения специальных крупных станков или громоздкой оснастки.

Наряду с большим комплексом положительных технических, технологических и экономических показателей каждому методу электрофизической и электрохимической обработки присущи и недостатки или ограничения, которые надо учитывать при выборе метода, но число общих для всех методов *недостатков* невелико. Основные из них следующие:

- повышенная энергоемкость по сравнению с обработкой резанием деталей простых форм из обычных конструкционных материалов при тех же производительности и качестве поверхности;

- необходимость применения специального оборудования для выполнения отдельных операций;

- отставание массового выпуска дешевого универсального оборудования местного производства от совершенствования технологии ряда методов электрофизической и электрохимической обработки;

- необходимость сбора и утилизации отходов, накапливающихся на крупных участках электрофизической и электрохимической обработки.

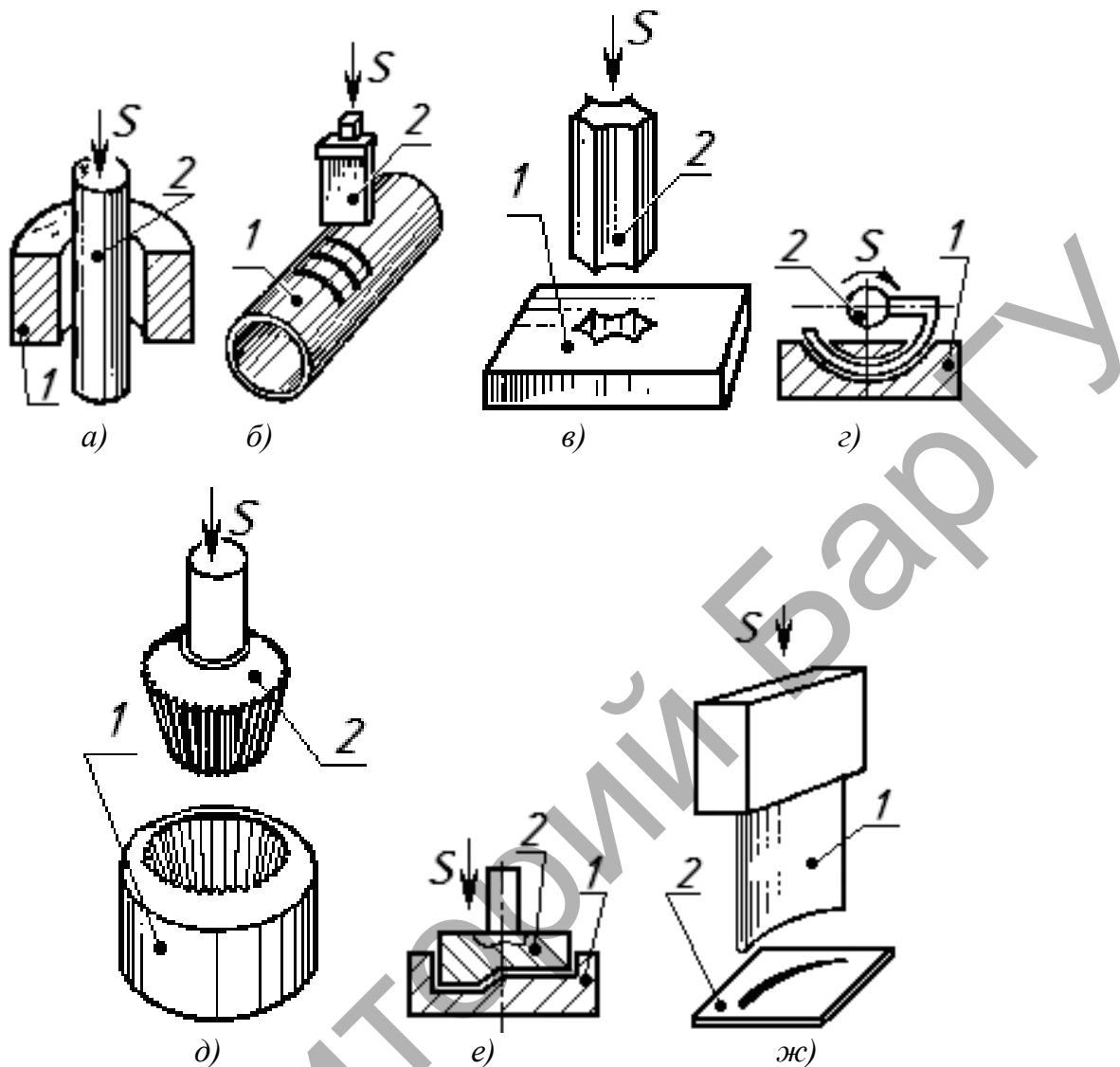
Из всех методов электрофизической и электрохимической обработки собственно электрохимическими являются два: отделка поверхностей и размерная обработка. Физические свойства электрической энергии используются значительно шире. Во-первых, обработка, основанная на использовании теплового действия электрического тока (как-то электроэрозионная, плазменная, светолучевая, электронно-лучевая). Во-вторых, обработка, основанная на использовании механического действия тока или электромагнитного поля (ультразвуковая, электрогидравлическая, магнитно-импульсная). В-третьих, обработка, основанная на использовании разных воздействий одновременно (электроэрозионная, электрохимическая, ультразвуковая, плазменная, магнитная, электролитический нагрев).

Под общим названием *электроэрозионная обработка* объединена группа методов, характеризующаяся тем, что изменение формы, размеров, качества поверхности заготовки происходит под действием электрических разрядов в результате электрической эрозии-разрушения поверхности электродов при прохождении между ними электрических разрядов (рис. 3.166). В процессах электроэрозионной обработки материал заготовки в зоне обработки плавится или испаряется и удаляется в жидком или парообразном состоянии. Удаление обычно носит взрывной (импульсный) характер, протекая в короткий отрезок времени ($10^{-5} \dots 10^{-7}$ с) на небольшом участке поверхности, в месте локализации канала разряда.

Электроэрозионная обработка бывает контактной (металл — металл) и бесконтактной (металл — плазма — металл). *Контактный* метод делится на контактный замыкания и контактный размыкания, а *бесконтактный* — на газоразрядный (электроискровая обработка, электроимпульсная обработка и в разрядах прочих видов: дуговая, тлеющая) и плазменный.

Электрохимическая обработка имеет две разновидности: отделочная и размерная.

Отделочная обработка включает: 1) электрохимическое (анодное) травление, представляющее собой анодное растворение поверхности металла, происходящее без улучшения, а иногда и с ухудшение микрогеометрии поверхности, и используемое для удаления поверхностных загрязнений, ржавчины, заусенцев, скругления кромок;



a—в — прошивка отверстий с прямолинейными осями; *г* — пошивка отверстий с криволинейной осью; *д, е* — объемное формообразование полостей; *ж* — формообразование наружных поверхностей

1 — заготовка; *2* — электрод-инструмент; *с* — направление подачи

Рисунок 3.166 — Схемы электроэрозионного формообразования

2) электрохимическую (анодную) зачистку, проводимую, как и травление, но с более интенсивными режимами для удаления грубых поверхностных загрязнений, съема большой шероховатости; 3) электрохимическое (анодное) шлифование, несколько улучшающее микрогеометрию поверхности и позволяющее получать показатели шероховатости, как и при механическом шлифовании $Ra = 0,32 \dots 2,5$ мкм. Электрохимическое (анодное) комбинированное шлифование-полирование позволяет снизить шероховатость

до $Ra = 0,04$ мкм. Электрохимическое (анодное) глянцеование и полирование дают повышенный блеск (в первом случае) без существенного изменения микрогеометрии или (во втором случае) дают стабильно низкую шероховатость $Ra = 0,04$ мкм и высокий зеркальный блеск.

Электрохимическая *размерная* обработка представляет наиболее применяемую разновидность электрохимической обработки, заключающейся в изменении формы, размеров и шероховатости поверхность заготовки вследствие растворения ее материала в электролите под действием электрического тока. Скорость съема металла при обработке небольших площадей до 100 см^2 составляет $1 \text{ мм} / \text{мин}$ (при увеличении площади скорость может снизиться в 50 раз), шероховатость поверхности $Ra = 2,5 \dots 0,32$ мкм. Заготовке придают нужную форму и размеры с помощью неподвижного или перемещающегося электрода-инструмента, воспроизведя кинематику аналогичных механических операций (точения, шлифования и т. д.) без непосредственного контакта инструмента с заготовкой.

Основным видом *плазменно-механической обработки* (ПМО) является резание, в котором совмещается плазменный нагрев поверхности заготовки с механическим срезанием нагретого слоя. Плазменно-механическая обработка — эффективный метод для трудно обрабатываемых металлов. При нагреве определенной части срезаемого слоя снижаются усилия резания и подачи. Режимы резания при токарной обработке могут составить: подача — $2,5 \text{ мм} / \text{об}$, скорость $20 \dots 25 \text{ м} / \text{мин}$, глубина резания — $20 \dots 25 \text{ мм}$.

В комплект оборудования для ПМО (рис. 3.167) входят: установка ПМО и токарный станок модели 1682А с высотой центров 1640 мм и расстоянием между ними 14000 мм . Установка включает в себя: 1) источник питания АПР-401; 2) плазмотрон ПВР-1; 3) манипулятор плазмотрона; 4) токосъемник со щеточным устройством; 5) вводной шкаф; 6) специальные центр и кулачок; 7) устройство для связи вентиляционной системы с суппортом станка; 8) модернизированную заднюю бабку; 9) резец-вкладыш; 10) спецодежду. Процесс обработки заключается в том, что плазма, возникающая между электродом плазмотрона и деталью, разогревая металл заготовки, снижает силы резания. Резец оснащается специальным резцовым вкладышем из сплава Т5К10 или ВК8 размером $40 \times 64 \times 80 \text{ мм}$ со специальными отверстиями для подвода охлаждающей воды.

Еще один вид электрофизической и электрохимической обработки — *плазменная*, в которой для технологических целей используют определенным образом сформированную струю ионизированного газа (плазмы), нагревающую обрабатываемый материал до десятков тысяч градусов Кельвина. По характеру действия *плазмотроны* делят на два основных типа — *без переноса дуги* и *с переносом* (рис. 3.168).

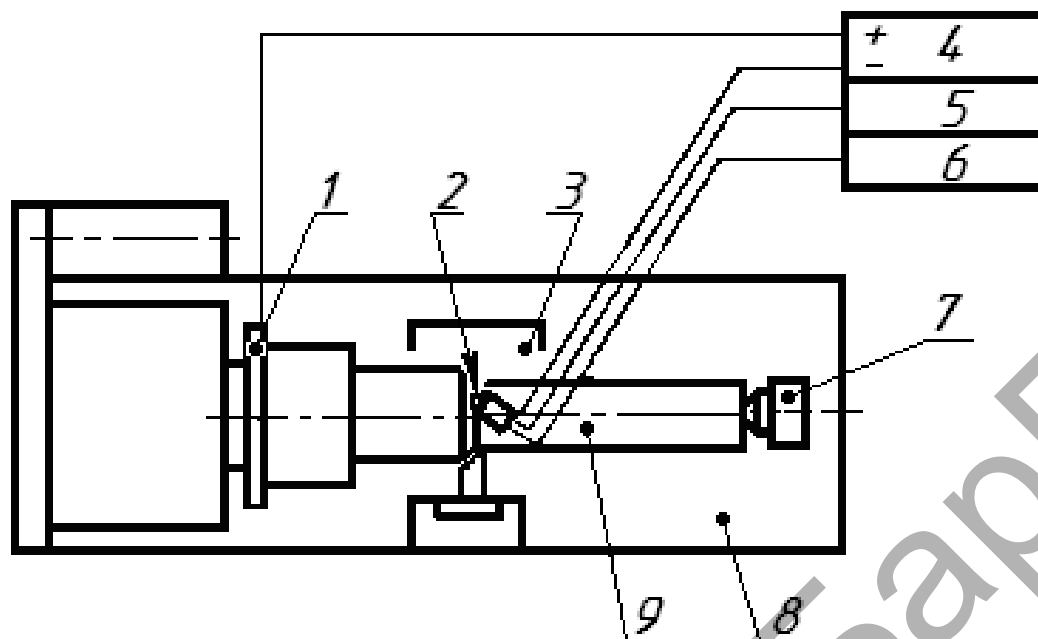
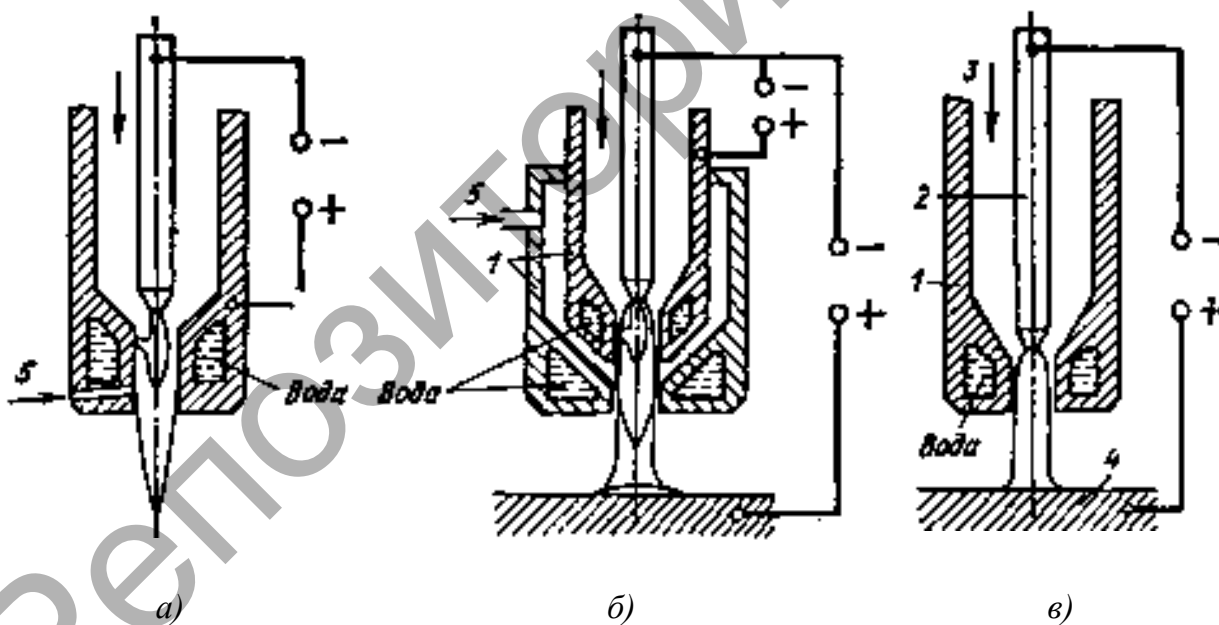


Рисунок 3.167— Схема установки для плазменно-механической обработки



а — с дугой прямого действия (с переносом дуги);
 б — с дугой косвенного действия (без переноса); в — комбинированного типа

1 — сопло; 2 — вольфрамовый электрод; 3 — ввод плазмообразующего газа;
 4 — изделие; 5 — канал для подачи присадочного порошка

Рисунок 3.168 — Схемы плазмотронов

В плазмотроне первого типа электрическая дуга горит между электродом из тугоплавкого материала (вольфрам, графит) и охлаждаемым водой соплом или каналом, а газ, проходящий через дугу, ионизируется и выходит из сопла в форме струи (факела) плазмы. В плазмотроне второго типа дуга горит между электродом и обрабатываемым изделием, и струя плазмы совмещается со столбом электрической дуги. В зависимости от назначения и условий работы в качестве рабочих газов используются аргон, гелий, азот, их смеси и воздух. С помощью плазмы производят резку металлов, напыление покрытий и восстановление изношенных деталей, сварку.

На рисунке 3.169 показана установка плазменной резки. Горелка 4 закреплена на траверсе 3, по которой может перемещаться поперек уложенной на столе 1 заготовки. Траверса вместе с горелкой перемещается вдоль листа заготовки 2. Таким образом, обработка выполняется под управлением ЧПУ по двум координатам. Во многих случаях стол установки не связан с ней механически и может быть при необходимости заменен.

Станки для плазменной резки могут комплектоваться как плазменными, так и кислородными горелками, а также сверлильным центром. Они выполняют раскрой и обработку в автоматическом режиме с помощью ЧПУ.

Кислородная резка применяется для резки черных металлов (как правило, для больших толщин листа, достигающих 300 мм), а также позволяет производить операции снятия фасок за счет использования специальной горелки.

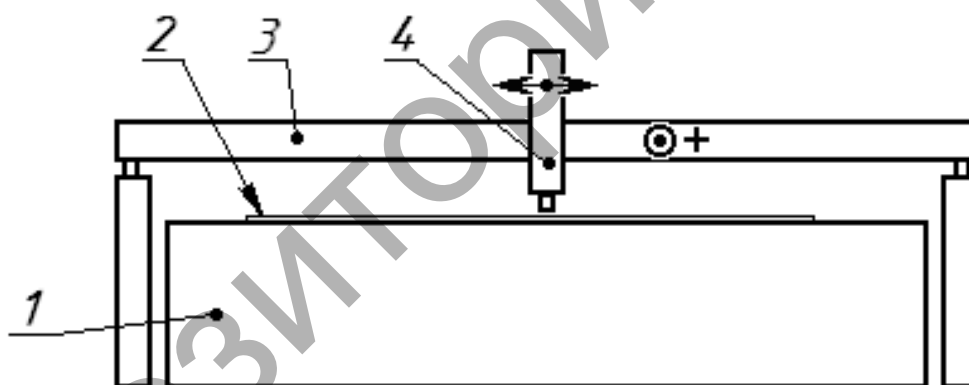
Плазменная горелка производит раскрой листов из черных и легированных сталей, алюминия и его сплавов, меди и других сплавов. Толщина резки плазменной горелкой зависит от типа плазменного источника и может достигать 50 мм. Качество и скорость плазменной резки значительно превосходит резку кислородной горелкой. Установки плазменной резки могут быть как с неизменяемым углом наклона самой горелки, так и с возможностью автоматизированного изменения угла наклона.

Повышенная точность, дополнительная обработка уже выполненных вырезов и отверстий, а также новые сквозные и глухие отверстия могут быть выполнены сверлильной головкой с помощью сверла, метчика или фрезы.

Ультразвуковой обработкой принято называть большую группу технологических процессов, разных по назначению и осуществляемых различными способами, но обязательно в присутствии механических упругих колебаний с частотой ультразвука, которые могут использоваться или для непосредственной передачи в зону обработки необходимого количества энергии (при размерной ультразвуковой обработке твердых материалов), или как средство интенсификации процессов, протекающих самостоятельно (интенсификация электрохимических процессов осаждения металлов).



а)



б)

а — общий вид установки; б — схема установки

1 — рабочий стол; 2 — деталь; 3 — траверса;
4 — плазменная горелка

Рисунок 3.169 — Установка плазменной резки листового материала

Пластичные материалы (свинец и др.) ультразвуковым методом практически не обрабатываются.

Существует две разновидности ультразвуковой обработки: *свободно направленным абразивом* и *абразивом, зерна которого получают энергию*

от специального инструмента. В первом случае обработка детали производится в потоке абразивной суспензии (вода с карбидом бора), в которой возбуждаются ультразвуковые колебания. Этот метод используется обычно при декоративном шлифовании и снятии заусенцев.

Более перспективной является *размерная ультразвуковая обработка*. Движения абразивным зернам 3 (рис. 3.170) сообщаются торцом инструмента 2, который через концентратор жестко связан с преобразователем (вибратором). Сердечник преобразователя изготовлен из пакета пластин, материал которых обладает способностью изменять свои размеры при изменении магнитного поля (магнитострикционный эффект). Этим свойством обладают железо, кобальт, никель и их сплавы. На катушки преобразователя подаются от генератора колебания ультразвуковой частоты, которые преобразуются в механические колебания той же частоты.

Большое количество (от 30 до 100 тыс. на 1 см^2) одновременно ударяющихся об обрабатываемую поверхность зерен 3 (см. рис. 3.170) и высокая частота ударов (16...30 кГц) при небольшой амплитуде колебаний инструмента (0,02...0,06 мм) обеспечивают значительную скорость удаления материала 1 из зоны обработки. Производительность метода составляет до $3 \text{ 000 мм}^3 / \text{мин}$. Например, в стекле квадратное отверстие 6×6 мм, глубиной 6 мм может быть сделано менее чем за 1 мин. Колебательная система прикреплена к шпинделю, который перемещается по направляющим станины и прижимает инструмент с силой $P_{ст} = 2...300 \text{ Н}$ к обрабатываемой заготовке 1. В качестве материала инструмента применяются углеродистые стали

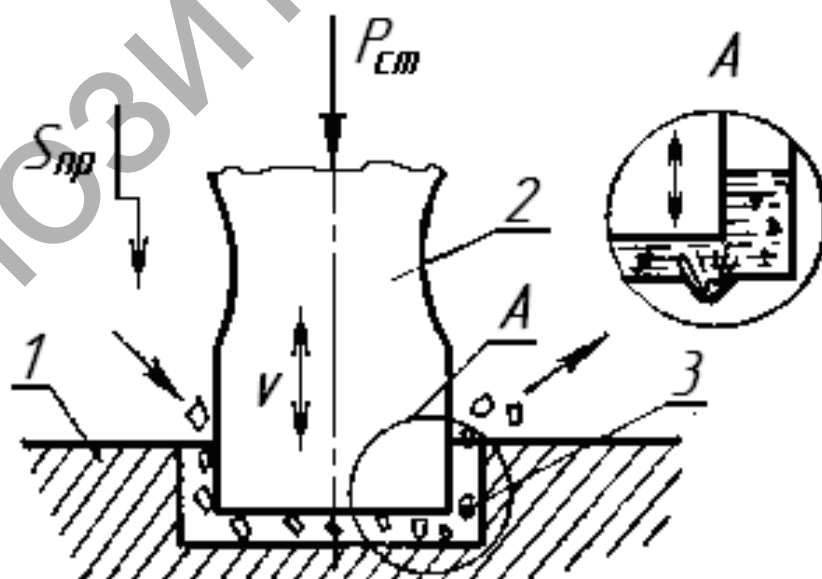
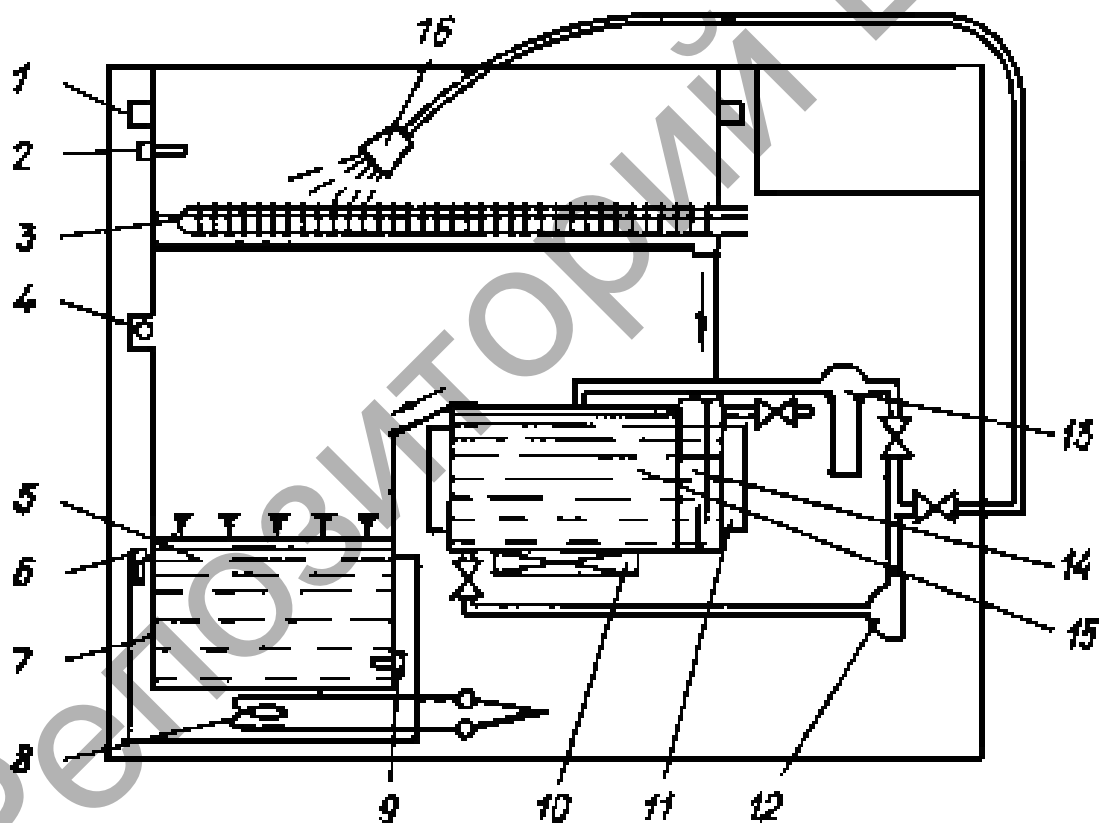


Рисунок 3.170 — Принципиальная схема ультразвуковой обработки

20, 45, 40X, У8А, У10А, 65Г и др. В зону обработки насосом подается через сопло абразивная суспензия.

С применением ультразвука выполняют мойку (рис. 3.171), обезжиривание, травление, очистку абразивных инструментов, гальваническое нанесение металлопокрытий, растворение, сушку, пеногашение, кристаллизацию из раствора, экстрагирование, фильтрование, очистку фильтров, пропитку волокнистых материалов жидкостью, пропитку пористых твердых тел, предотвращение образования накипи, ускорение схватывания бетона и строительных растворов, приготовление литейно-формовочных смесей.

Сущность ультразвуковой мойки и очистки заключается в том, что под действием ультразвуковых колебаний достаточной интенсивности, вводимых в моющую жидкость, возникают физические явления, способствующие отрыву загрязняющих частиц от поверхности и их уносу моющей жидкостью. При обезжиривании, процесс тот же что и при ультразвуковой



- 1 — водяная рубашка; 2,6 — датчики контроля температуры; 3 — теплообменник;
 4 — датчик концентрации смеси растворителей; 5 — секция с кипящим растворителем;
 7 — водяная тепловая рубашка; 8 — электронагреватель; 9 — датчик контроля загрязнения
 растворителя; 10 — пьезокерамические излучатели; 11 — водоохлаждаемая рубашка;
 12 — насос; 13 — фильтр; 14 — водоотделитель; 15 — ультразвуковая секция;
 16 — разбрызгиватель

Рисунок 3.171 — Схема ультразвуковой установки УЗФ-3 для очистки

мойке, но вместо водных растворов используются органические растворители. Травление выполняют в кислотах.

В процессах гальванического нанесения покрытий, сушки, пеногашения и других благоприятное влияние ультразвука заключается в снижении сцепляемости частиц, уменьшению расстояния между ними и усилению взаимодействия.

Светолучевая обработка (лазерная) основана на использовании тепла, генерируемого специально сформированным световым лучом, который не расширяется в пространстве, и может переносить высококонцентрированную энергию и увеличивать ее плотность в месте фокусировки. При взаимодействии с веществом такой луч практически мгновенно расплавляет и испаряет материал в точке фокусировки луча. На рисунке 3.172 показана лазерная установка, предназначенная для раскроя листового материала. Обработка выполняется с помощью лазера 4, который может перемещаться по траверсе 3 по одной координате, а вместе с траверсой — по второй. Заготовка укладывается на стол 1.

Основное назначение станков с лазерными установками — обработка микроотверстий и узких щелей в разных, в том числе и сверхтвердых (алмаз, рубин), материалах. Некоторые станки оснащаются системами ЧПУ, позволяющими вести обработку по программе.

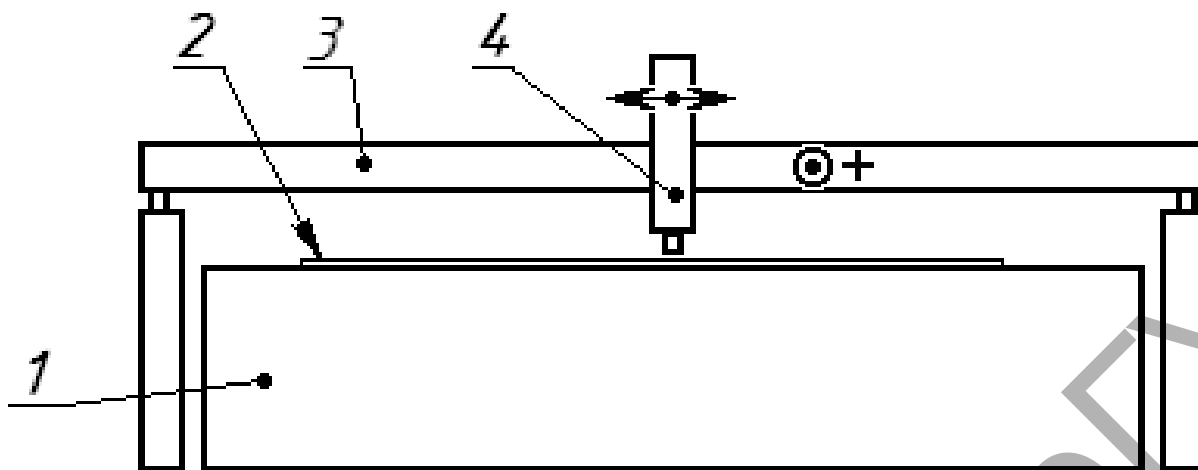


a)

a — общий вид; б — схема

1 — стол; 2 — обрабатываемая деталь; 3 — траверса; 4 — лазер

Рисунок 3.172 — Установка лазерной резки с CO₂-лазером мощностью 1 кВт



б)

Рисунок 3.172 — Окончание

Технологические возможности лазерной обработки постоянно расширяются по мере совершенствования как самих лазеров, так и конструкций машин, обеспечивающих относительное перемещение луча и обрабатываемой заготовки. В машиностроении применяются следующие *виды обработки лазером*: резание листового материала по сложному контуру, прошивание отверстий, сварка, разметка, маркировка, поверхностная термообработка (закалка, отпуск) и др.

Опыт использования лазеров показывает, что с их помощью наиболее часто обрабатывают тонколистовые трудно обрабатываемые сплавы железа, титана, никеля, керамику, а также пластмассу, дерево, ткани, различные композиционные соединения. При этом можно получать узкие разрезы с минимальной зоной термического влияния. При лазерной резке отсутствует механическое воздействие на обрабатываемый материал и возникают минимальные деформации, что позволяет осуществлять обработку с высокой точностью, в том числе нежестких заготовок (рис. 3.173).

Получение готовых деталей с помощью лазерной резки осуществляется на лазерных технологических комплексах, позволяющих в зависимости от назначения и состава входящих в него устройств обрабатывать изделия сложной плоской и объемной формы. В общем случае *комплекс для лазерной резки* состоит из следующих частей: 1) излучатель; 2) координатное устройство (приводы относительных перемещений обрабатываемой заготовки и луча); 3) система формирования и транспортировки излучения и газа — автоматизированная система управления комплексом и технологическим процессом.

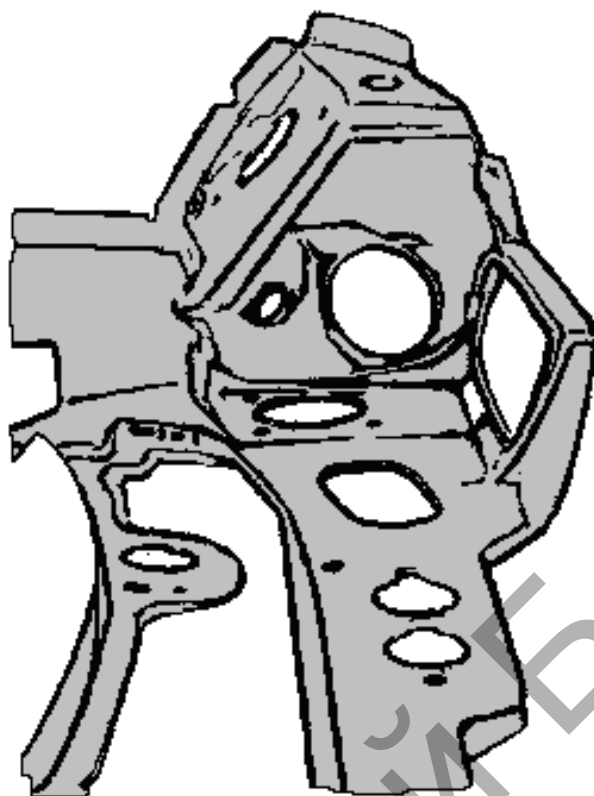


Рисунок 3.173 — Глубокотянутая деталь, отверстия в которой вырезаны лазером

На таких станках возможно получение винтовых и эвольвентных поверхностей, различных внутренних фасонных отверстий и полостей с прямым, обратным или переменным конусом. Перспективны также схема огибания (обкатки) обрабатываемой поверхности фасонным электродом и обработка вращающимся электродом, выполненным в виде тела вращения.

Лазерный станок модели 4P222Ф2 (рис. 3.174) оснащен системой ЧПУ для размерной обработки металлов и различных заготовок из труднообрабатываемых материалов — алмазных волок, инструмента из эльбора, керамики и др.

В станке использован твердотельный оптический квантовый генератор (лазер) большой импульсной мощности. Фокусирование излучения на деталь позволяет достигать плотности мощности $1,07 \dots 1,08 \text{ МВт/м}^2$, при которой происходит испарение практически любых материалов.

Электрофизические и электрохимические методы обработки занимают одно из первых мест среди технологических процессов, обеспечивающих научно-технический прогресс.

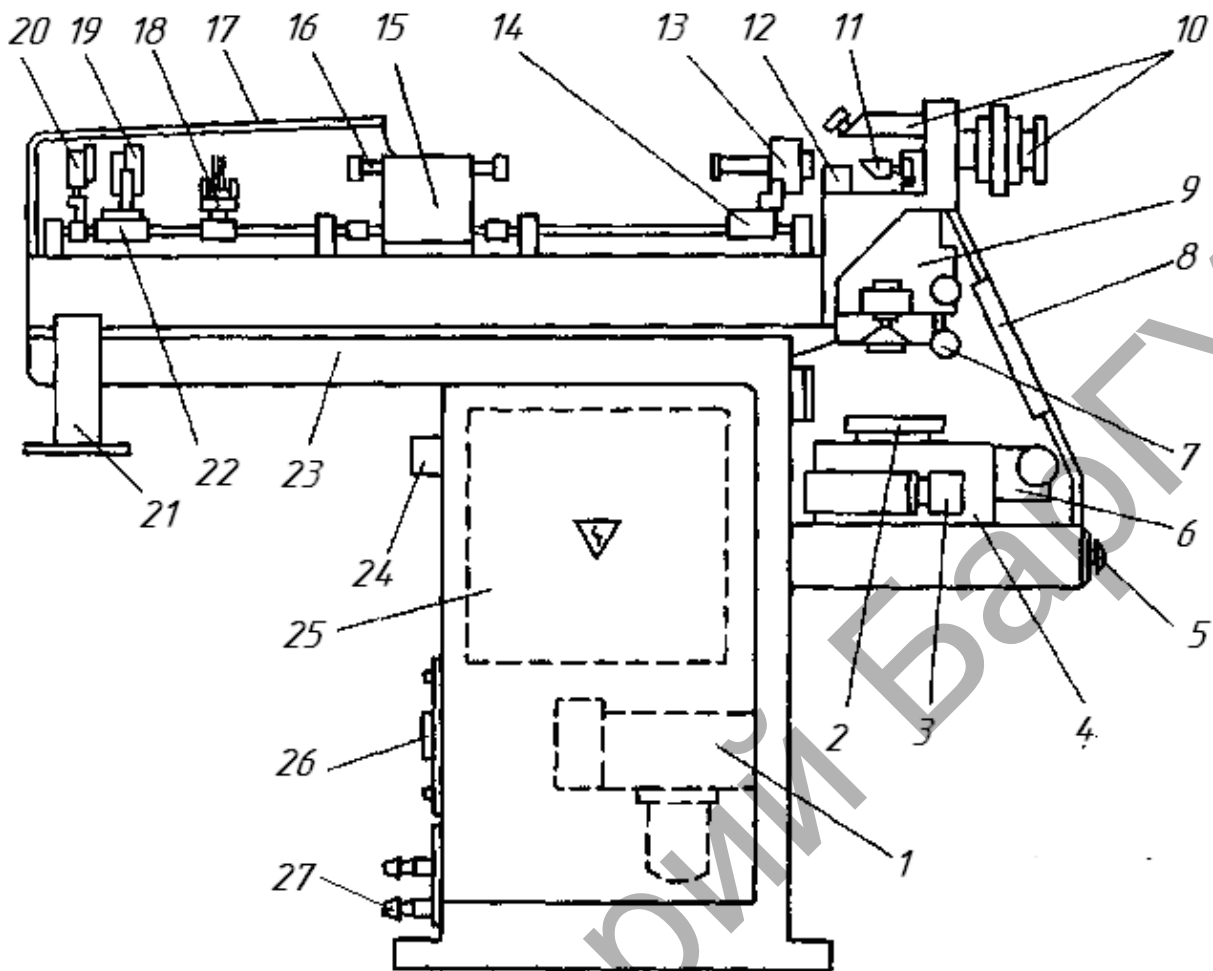
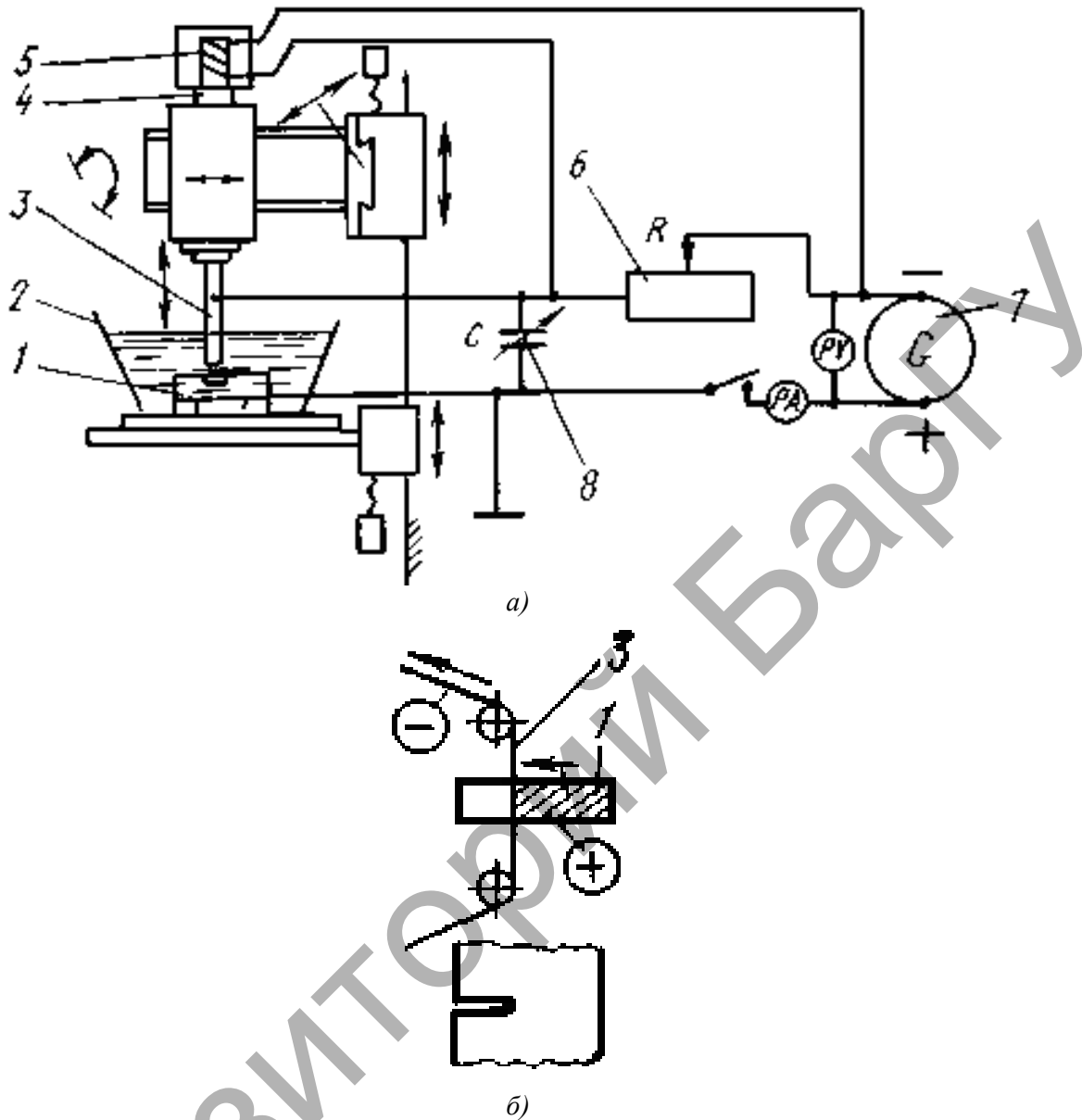


Рисунок 3.174 — Общий вид станка модели 4P222Ф2

Станки и установки для осуществления электрофизической и электрохимической обработки. Электроискровой метод обработки (рис. 3.175) был открыт в 1943 году советскими учеными Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко. Его применяют при изготовлении отверстий малого диаметра, узких щелей, цельных прецизионных медных сеток электровакуумных приборов. Производительность станков сравнительно невелика ($20 \dots 30 \text{ мм}^3/\text{мин}$). На машиностроительных заводах электроискровым методом удаляют обломки металлорежущего инструмента из отверстий, где они обломались и застряли.

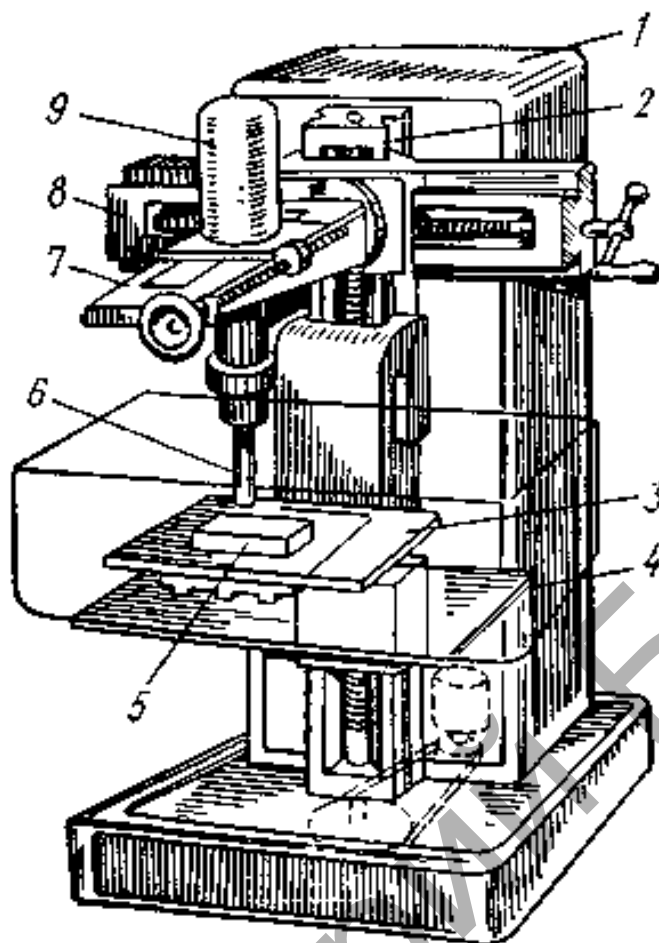
Универсальные электроискровые станки обычно имеют вертикальную компоновку (рис. 3.176). Автоматический регулятор подачи 9 сообщает вертикальное перемещение электроду-инструменту 6. Ванну 4 с деталью 5 можно перемещать в вертикальном направлении с помощью электродвигателя. Суппорт 8 при обработке наклонных отверстий поворачивается вокруг горизонтальной оси.



a — с профилированным инструментом; *б* — с непрофилированным инструментом-электродом (проволокой)

Рисунок 3.175 — Принципиальная схема станка для электроискровой обработки

Данный метод обработки может быть использован при изготовлении отверстий с параметром шероховатости $Ra = 0,20 \dots 0,025$ мкм и точностью $\pm 0,002$ мм, поверхностей и углублений небольшой площади, при заточке, доводке, поверхностном упрочнении деталей. Так, прецизионные медные сетки изготавливаются профилированным инструментом за 90 с при следующих параметрах сетки: диаметр — $4,0^{+0,005}$ мм, толщина — 0,2 мм, шаг перемычек — $(0,250 \pm 0,005)$ мм, ширина перемычек — $(0,30 \pm 0,002)$ мм, количество отверстий — 200.



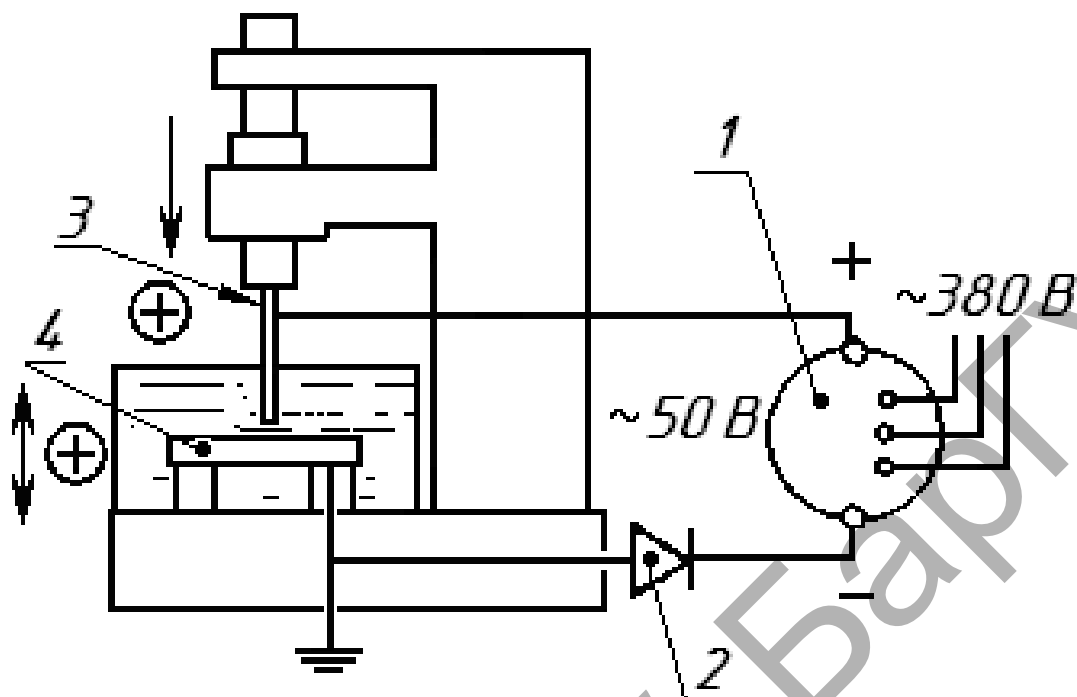
1 — корпус; 2 — станина; 3 — рабочий стол;
 4 — ванна для рабочей жидкости; 5 — деталь; 6 — электрод-инструмент;
 7 — поперечный суппорт; 8 — продольный суппорт;
 9 — автоматический регулятор подачи

Рисунок 3.176 — Универсальный электроискровой станок

Станки для *электроимпульсной* (импульсно-дуговой) *обработки* (рис. 3.177) имеют гораздо большую производительность (до $8\,000\text{ мм}^3/\text{мин}$) и используются для обработки штампов, пресс-форм, разнообразных фасонных отверстий, волочильных калибрующих глазков (фильер), перекрещивающихся и зигзагообразных пазов элементов, замедляющих систем электронных приборов и др. Этот метод в СССР разработан в 1951 году.

Благодаря меньшей температуре дугового разряда ($4\,000\text{...}5\,000\text{ }^\circ\text{C}$) и использованию инструментов из углеродистого графита (с температурой плавления $3\,700\text{ }^\circ\text{C}$), удалось уменьшить износ инструмента до 1%, а расход энергии — в 2 раза.

На заводах электронной, радиоэлектронной и вычислительной техники этот способ широко используется для точного изготовления как относительно больших деталей, например пружин длиной до 300 мм и медных гребенок длиной до 45 мм, так и миниатюрных и сверхминиатюрных

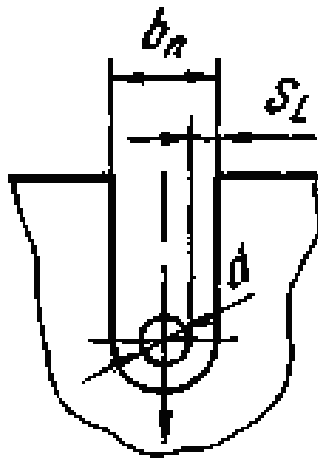


1 — понижающий трансформатор; 2 — выпрямитель;
3 — электрод-инструмент; 4 — деталь

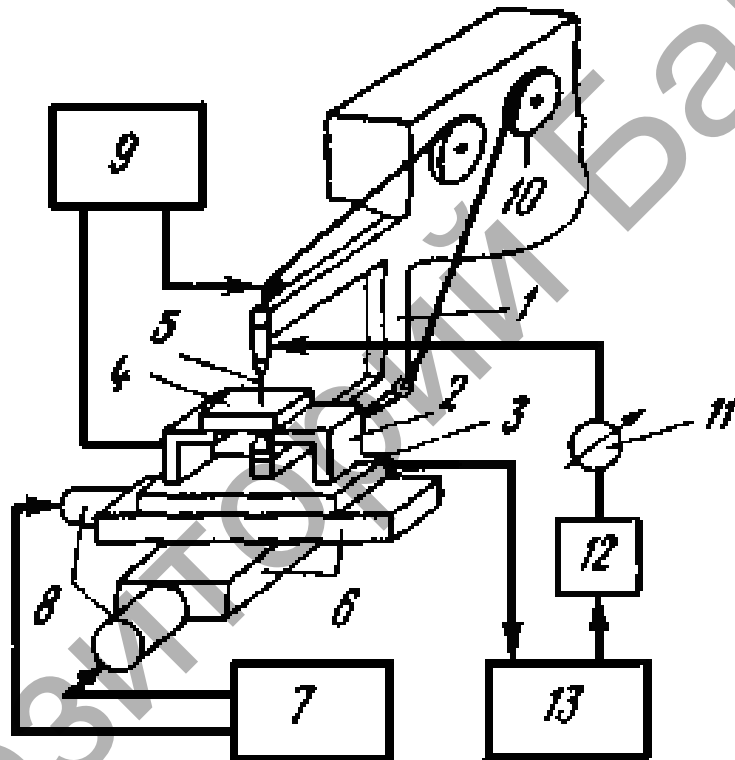
Рисунок 3.177 — Принципиальная схема станка для электроимпульсной обработки

деталей с очень высокими требованиями по точности ($0,5...2$ мкм) и шероховатости ($Ra = 0,1...0,025$ мкм, $Rz = 0,1...0,05$ мкм) обработанной поверхности. Например, в элементах замедляющих систем электронных приборов прорезают перекрещивающиеся или зигзагообразные пазы, наибольшая и наименьшая ширина которых равна соответственно $100...65$ и $30...7$ мкм. При обработке больших заготовок обычно используют медную проволоку диаметром $50...100$ мкм, а для изготовления прецизионных деталей — вольфрамовую диаметром менее 6 мкм.

Вырезные станки (рис. 3.178) широко применяются для обработки деталей в машиностроении, так как отвечают высоким требованиям по точности и степени автоматизации. На вырезных станках изготавливают детали вырубных штампов, копиры, шаблоны, фасонные резцы, лекала и другую инструментальную оснастку. В зависимости от числа одновременно обрабатываемых заготовок выпускаются одно- и многопозиционные электроэрозионные вырезные станки. Производительность современных вырезных станков достигает 300 мм в минуту, шероховатость поверхности $Ra = 0,1...0,4$ мкм, точность обработки контура и точность формы до $3...5$ мкм. Вместе с тем, размеры заготовок, обработанных на



a)



б)

a — прорезка щели; *б* — структурная схема вырезного станка

- 1 — рабочая скоба; 2 — рабочий стол; 3 — ванна с рабочей жидкостью;
 4 — заготовка; 5 — проволочный электрод-инструмент; 6 — координатный стол;
 7 — система управления подачами; 8 — двигатели подач по координатам *X* и *Y*;
 9 — генератор импульсов технологического тока; 10 — блок перемотки и натяжения
 проволочного электрода-инструмента; 11 — регулирующее устройство подачи
 рабочей жидкости; 12 — насос; 13 — бак для рабочей жидкости

Рисунок 3.178 — Принципиальная схема вырезания проволочным электродом-инструментом

вырезных станках, зависят от точности и качества проволочного электрода-инструмента. Эти станки оснащаются системами ЧПУ, позволяющими легко обрабатывать сложные профили.

Специализированный электроэрозионный вырезной станок с ЧПУ модели ЛФ96Ф3 предназначен для комплексной контурной обработки закаленных стальных деталей технологической оснастки (матрицы, съемники, выталкиватели вырубных штампов). На станке могут обрабатываться детали со сложным контуром с прямолинейными вертикальными и наклонными образующими из любых токопроводящих материалов (фасонные резцы, шаблоны и др.).

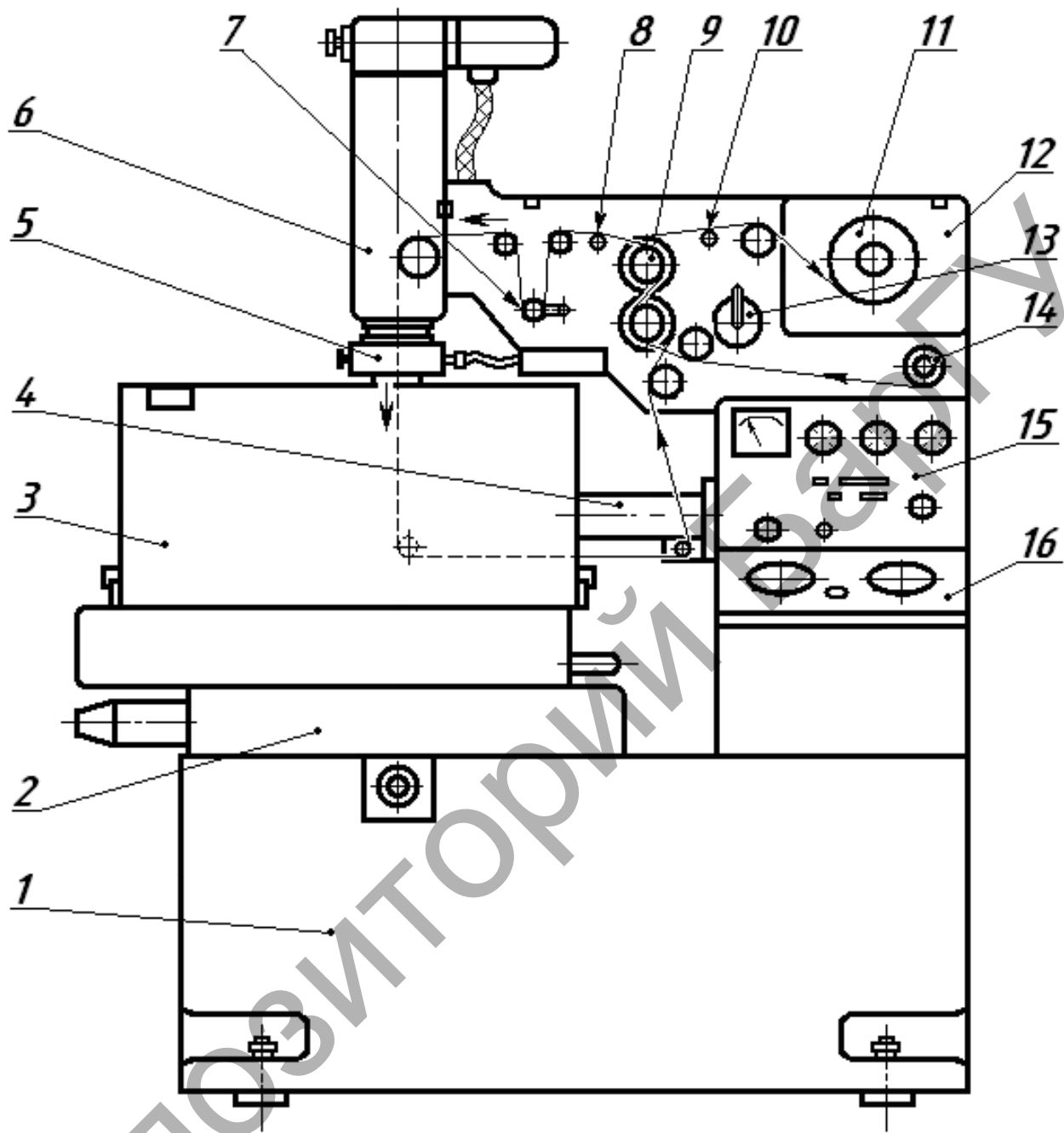
Обработка на станке выполняется электродом-проволокой. В качестве рабочей жидкости используется вода, которая под давлением прокачивается через зону обработки. Импульсный технологический ток вырабатывается специальным генератором модели ГКИ-300-200А.

Станок оснащен устройством числового программного управления 2М43-55-04, обеспечивающим автоматическую обработку контура по программе по двум координатам одновременно (X и Y).

Узлы станка размещаются на литой чугунной станине 1 (рис. 3.179). В левой части станины устанавливается координатный стол 2. На столе станка крепится ванна 3, предотвращающая разбрызгивание рабочей жидкости, подаваемой под давлением в зону обработки. На правом краю станины закреплена Г-образная траверса 12, на которой монтируются узлы проволочного тракта и головка 6 с гильзой, совершающей вертикальное перемещение вместе с механизмом наклона проволоки. К узлам проволочного тракта относятся: катушка подающая 14, механизм отвода роликов 13, редуктор 9, механизм натяжения проволоки 7, датчики обрыва проволоки 8 и 10, катушка приемная 11. На тумбе траверсы закрепляется кронштейн 4, несущий нижние направляющие, а также расположен пульт управления станком 15 и блок управления расходом жидкости, проходящей через верхнее и нижнее сопла 16. Рядом со станком располагаются: агрегат насосный, генератор импульсов, система ЧПУ и шкаф электроуправления.

На станке можно обрабатывать заготовки с размерами до $440 \times 410 \times 150$ мм. В качестве электрода-инструмента используется проволока из латуни, молибдена или вольфрама диаметром от 0,06 мм до 0,3 мм. В соответствии с программой, которая считывается с бумажной восьмидорожечной ленты, автоматически осуществляются движения по оси X и Y на величины до 250 мм с расчетной точностью перемещения 1 мкм. Общая точность позиционирования лежит в пределах 0,02 мм. По оси Z у станка имеется только наладочное перемещение на 150 мм.

Рабочие подачи могут выполняться со скоростью от 0,01 до 30 мм / мин. Весьма высока точность обработки. Так для стального образца с размерами



- 1 — станина; 2 — стол; 3 — ванна; 4 — кронштейн; 5 — механизм наклона проволоки;
 6 — головка; 7 — механизм натяжения проволоки; 8 — левый датчик обрыва проволоки;
 9 — редуктор; 10 — правый датчик обрыва проволоки; 11 — катушка приемная;
 12 — траверса; 13 — механизм отвода роликов; 14 — катушка подающая; 15 — пульт
 управления; 16 — блок регулирования прокатки

Рисунок 3.179 — Специализированный электроэрозионный вырезной станок с ЧПУ модели ЛФ96Ф3

175 × 175 × 10 мм отклонение от параллельности обработанных поверхностей составляет не более 25 мкм, а отклонение от перпендикулярности обработанных поверхностей — не более 30 мкм. Отклонение от круглости при обработке цилиндрического отверстия Ø 20 мм не превышает 12 мкм, а конического — 30 мкм. Шероховатость обработанной на чистовых режимах поверхности стальной детали $Ra = 0,8$ мкм. Станок может работать со съемом металла до 60 мм²/мин.

Станок хорошо приспособлен к условиям производства и оборудован средствами: автоматического контроля состояния инструмента, автоматического регулирования скорости подачи, автоматического поиска центра отверстия, автоматической выборки люфтов в редукторах механизмов координатных перемещений (по координатам X и Y); имеет адаптивное регулирование режима обработки и «0» станка.

Установленный срок службы станка при двухсменной работе до первого капитального ремонта $T_{1к.р} = 13$ лет, а до первого среднего ремонта $T_{ср.р} = 7$ лет при коэффициенте технического использования 0,85.

Принцип действия станка модели ЛФ96Ф3, как и других электроэрозионных вырезных станков, основан на направленном разрушении металла заготовки под действием импульсного электрического разряда, создаваемого между электродом-инструментом и электродом-заготовкой. При этом обрабатываются любые токопроводящие материалы. Съем металла производится в среде рабочей жидкости, подаваемой под давлением в зону обработки.

В качестве рабочей жидкости используется дисцилированная вода либо вода с антикоррозионными присадками. Электродом-инструментом является проволока, постоянно во время работы перематываемая с подающей катушки на приемную и проходящая через устройства, обеспечивающие заданную величину и постоянство усилия ее натяжения, точность положения и осуществляющие контроль ее целостности. Перематка проволоки уменьшает влияние ее износа в процессе обработки на точность получения требуемого профиля и предохраняет ее от обрыва.

Обрабатываемая деталь, закрепляемая на располагаемых вне рабочей зоны стола специальных подставках, перемещается вместе со столом станка в горизонтальной плоскости по осям "X" и "Y" от устройства ЧПУ модели 2М43-55-04. При изготовлении деталей с наклонной образующей используется механизм наклона проволоки. Угол наклона в процессе обхода контура дается неизменным.

Кинематическая схема станка модели ЛФ96Ф3, дополненная схематическим изображением проволочного тракта, а также рядом функциональных органов, показана на рисунке 3.180. Кинематическая схема *обеспечивает:*

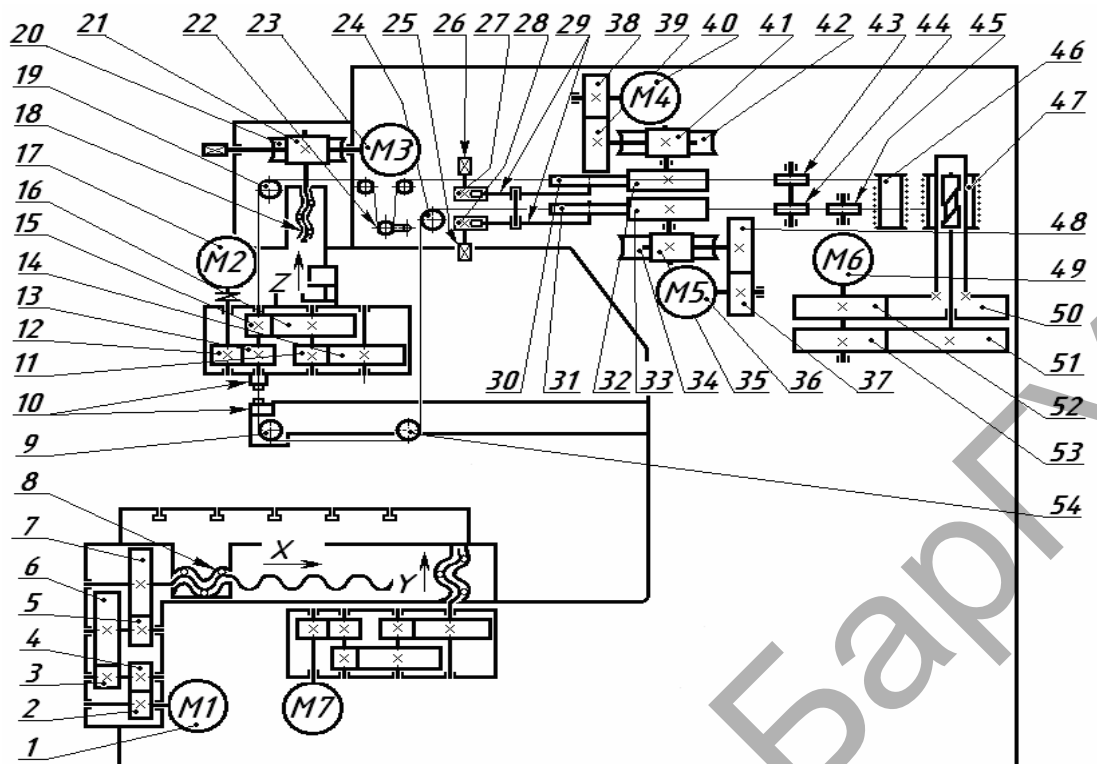


Рисунок 3.180 — Кинематическая схема вырезного электроэрозионного станка модели ЛФ96Ф3

- перемещение стола станка в продольном (по оси X) и поперечном (по оси Y) направлениях;
- перемещение механизма наклона проволоки по вертикали (по оси Z);
- управление положением верхней направляющей проволоки при обработке деталей с наклонной обрабатываемой;
- перемотку проволоки и раскладку ее на приемной катушке;
- регулируемое перемещение механизма наклона проволоки (± 3 мм по осям, параллельным X и Y).

Технические параметры элементов кинематической схемы приведены в таблице 3.2.

Проволочный тракт станка работает следующим образом. Проволока поступает с подающей катушки 46 через путь внутренней ролик 43 на подающий ролик 32 редуктора, где поджимается к нему внутренним подающим роликом 30 механизма отвода роликов с заранее выбранным (регулируемым) усилием. Поджим ролика 30 производится поворотом коромысла 29 вокруг оси с помощью кулачка 27, связанного с рукояткой 26. Далее с ролика 30 проволока через механизм натяжения, механизм контроля за обрывом проволоки (на рисунке не показан), верхний путь ролик 19 подается в направляющие 10 механизма наклона проволоки кронштейна, проходит через путь ролик 9 и 54 кронштейна и наружный путь ролик 24 в зазор между наружным поджимным роликом 31 и тянущим роликом 33 редуктора. Поджим ролика 31 к ролику 33 осуществляется поворотом нижнего коромысла

Т а б л и ц а 3.2 — Технические параметры элементов кинематической схемы

Номер позиции на схеме	Число зубьев или заходов	Номер позиции на схеме	Число зубьев или заходов	Номер позиции на схеме	Число зубьев или заходов	Номер позиции на схеме	Число зубьев или заходов
2	$z = 18$	11	$z = 25$	20	$z = 50$	41	$k = 1$
3	$z = 18$	12	$z = 18$	21	$k = 1$	42	$z = 90$
4	$z = 36$	13	$z = 36$	34	$z = 90$	48	$z = 50$
5	$z = 24$	14	$z = 75$	35	$k = 1$	50	$z = 150$
6	$z = 60$	15	$z = 20$	37	$z = 25$	51	$z = 301$
7	$z = 75$	16	$z = 50$	38	$z = 25$	52	$z = 150$
8	$k = 1, t = 5$	18	$k = 1, t = 5$	39	$z = 50$	53	$z = 300$

29 кулачка 28, связанным с рукояткой 25. Усилие поджима роликов 31 и 33 выбирается примерно таким же, как роликов 30 и 32. Затем проволока через второй датчик обрыва (на рисунке не показан) поступает на укладочный ролик 45 и на приемную катушку 47. Усилие натяжения проволоки определяется массой подвешенного груза 22 механизма натяжения проволоки. Сменные грузы применяются в зависимости от диаметра проволоки.

Частота вращения двигателей 36 и 40 регулируется при помощи тиристорных приводов. Частота вращения двигателя 49 устанавливается в зависимости от диаметра применяемой проволоки.

При пуске станка одновременно вступает в работу два двигателя: 36 и 49. Двигатель 36 тянет проволоку на участке от роликов 30 и 32 до роликов 31 и 33, поднимая при этом груз 22 и связанный с ним флажок, управляющий работой фотодиодов. Двигатель 49 обеспечивает намотку изношенной проволоки на приемную катушку, не допуская образования петли на участке между роликами 31, 33 и приемной катушкой 47. При подъеме груза связанный с ним флажок открывает путь лучу света от первого излучателя к первому светоприемнику. В этот момент подключается к работе двигатель 40 (подающий). Частота вращения несколько ниже, чем двигателя 36. При этом скорость подъема груза 22 (и флажка) резко замедляется. Груз выходит на рабочий участок. Скорость вращения двигателя 40 увеличивается и должна быть равной частоте вращения двигателя 36. Если частота вращения двигателя 40 оказывается меньше, то груз продолжает подниматься, пропускает луч света на второй светодиод, подающий команду на увеличение частоты вращения двигателя 40. Затем груз (и флажок) возвращается вниз на рабочий участок. В дальнейшем флажок продолжает управлять увеличением и уменьшением частоты вращения двигателя 40.

При отключении механизма перемотки груз опускается в нижнее (исходное) положение.

Для перемещения стола и салазок по обеим координатам служат одинаковые приводы с шаговыми электродвигателями типа ШД5-Д1М, управляемые импульсами постоянного тока, поступающими из устройства ЧПУ. При наладке возможно перемещение стола и салазок специальным ключом за квадратный хвостовик ходового винта 8.

Перемещение стола по оси X осуществляется от шагового двигателя 1 с помощью зубчатых колес 2-4, 3-6, 5-7 на однозаходную шариковую червячную пару 8 с шагом 5 мм. За один оборот шагового двигателя стол перемещается на

$$l_{\text{об.дв}} = 18/36 \cdot 18/60 \cdot 24/75 \cdot 5 \text{ мм} = 0,24 \text{ мм}$$

Один оборот шагового двигателя производится за 240 импульсов (цена импульса устройства ЧПУ — $1,5^\circ$). Дискретность перемещения по осям X и Y составляет 1 мкм.

Вертикальное перемещение узла верхних направляющих от приводного двигателя 23 по цепи червяк 21 червячное колесо 20

$$l_{\text{об. дв.}} = 1/50 \cdot 5 \text{ мм} = 0,1 \text{ мм}$$

где 5 мм — шаг ходового винта вертикального перемещения головки.

Линейные электроэрозионные проволочно-вырезные станки фирмы “Sodick”. Важнейшая задача привода электроэрозионного станка — поддержание оптимальной величины межэлектродного зазора. Любое отклонение величины зазора от оптимальной ведет к изменению характеристик искровых разрядов и падению как скорости, так и качества съема. Применяемые обычные шариковинтовые приводы (ШВП) станков с ЧПУ имеют большое количество промежуточных звеньев. Чаще всего перемещения рабочего органа осуществляется от двигателя постоянного тока через ременную или зубчатую передачу на ходовой винт. Но даже в лучших ШВП зазор как минимум 4 мкм.

Последним техническим решением, позволившим существенно повысить технические параметры электроэрозионных станков, стал линейный привод перемещения рабочих органов японской фирмы “Sodick”.

Движение в линейном приводе возникает за счет взаимодействия магнитных полей постоянных магнитов и электромагнитных катушек. Прямое бесконтактное преобразование энергии осуществляется непосредственно в линейное движение.

Двигатель состоит всего из двух элементов (рис. 3.181): электромагнитного статора и плоского ротора, между которыми лишь

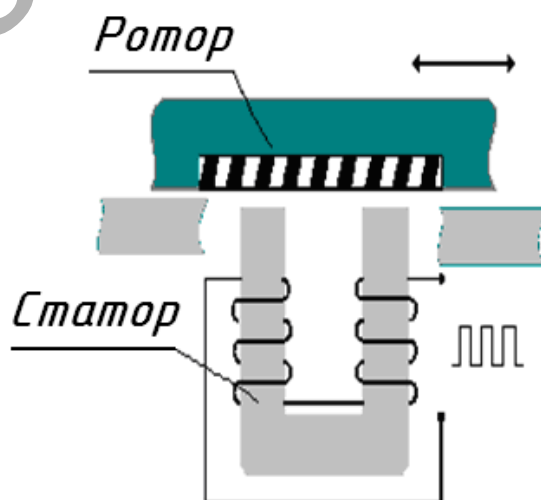


Рисунок 3.181 — Схема линейного двигателя

воздушный зазор. Взаимодействие магнитных полей создает тягу, которая заставляет подвижную часть двигаться относительно неподвижной. Третий обязательный элемент — оптическая или другая измерительная линейка, без нее система управления станка не может определить текущие координаты. Статор, и ротор выполнены в виде плоских блоков.

Линейные двигатели по данным фирмы “Sodick” демонстрируют весьма хорошие *технические характеристики*:

- ход подач от 100 до 2 220 мм;
- максимальная скорость перемещения до 180 м / мин;
- ускорениями до 20G;
- точность исполнения заданных перемещений 0,1 мкм;
- обеспечивается практически мгновенная остановка;
- мгновенный реверс;
- моментальная реакция привода на команды системы ЧПУ и т. д.

Электрискоровые проволочно-вырезные станки фирмы “Sodick” способны корректировать зазор между проволокой и заготовкой до 500 раз в секунду с дискретностью подач 0,1 мкм.

Стол у данных станков с помощью опорной плиты закреплен на станине. Осевые подачи осуществляются за счет перемещений колонны (ось Y) и узла оси X (головы), что повышает жесткость станка.

Опоры стола сделаны из специальной керамики “FineXCera” с коэффициентом теплового расширения $4,7 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}$, что вдвое меньше, чем у гранита и в 4—5 раз меньше, чем у нержавеющей стали. Как результат: зависимость от колебаний температуры слабая, что способствует повышению точности обработки. Керамика “FineXCera” — хороший изолятор с удельным сопротивлением 10^{14} Ом / см, что обеспечивает минимизацию потерь изоляционных свойств в ходе эксплуатации — практически нет утечки токов.

Механический стопорный тормоз срабатывает при аварийном выключении электропитания или прекращении подачи сжатого воздуха и останавливает привод в том положении, в котором произошел сбой.

Основные конструктивные решения, улучшающие технические показатели электроискровых станков “Sodick”, приведены на рисунке 3.182.

Система «thinking circuit» (думающая схема) отслеживает толщину вырезаемой детали и контролирует давление прокачки диэлектрика в зоне обработки с помощью двух насосов, рассчитывая оптимальную программу обработки от грубого резания до финиширования, исключает обрывы проволоки на деталях со «ступеньками», гарантирует параллельность в 1...2 мкм на финишных проходах.

Механизм автоматической заправки проволоки (АВТ) с трубкой между верхней и нижней направляющими заправляет проволоку всего за 9 с.

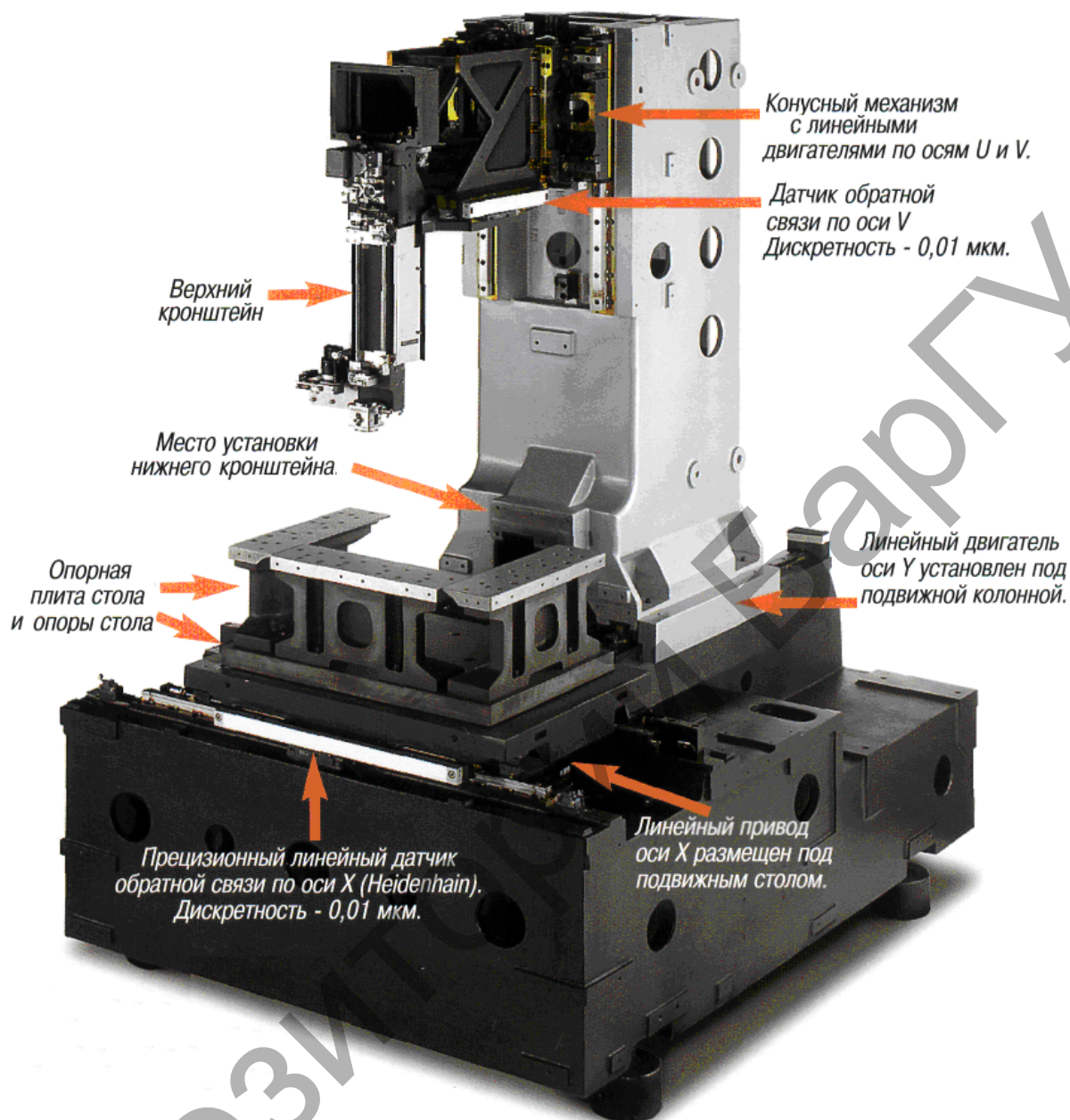


Рисунок 3.182 — Основные узлы проволочно-вырезного станка фирмы “Sodick”

Станки оснащены системой натяжения проволоки. На них могут устанавливаться катушки с проволокой до 10 кг и даже до 50 кг.

Станок с системой «Target Flex» может производить конусное резание под углом до 45° при толщине заготовки до 50 мм (рис. 3.183).

Отклонение формы отверстий от круглости при обработке высоколегированных сталей толщиной 40 мм укладывается в 0,82 мкм на диаметр. Высока точность углового управления (рис. 3.184): угол *A* образцовой детали обработан практически без скругления, угол *B* выполнен с округлением $R = 0,010$ мм, *C* — с округлением $R = 0,030$ мм.

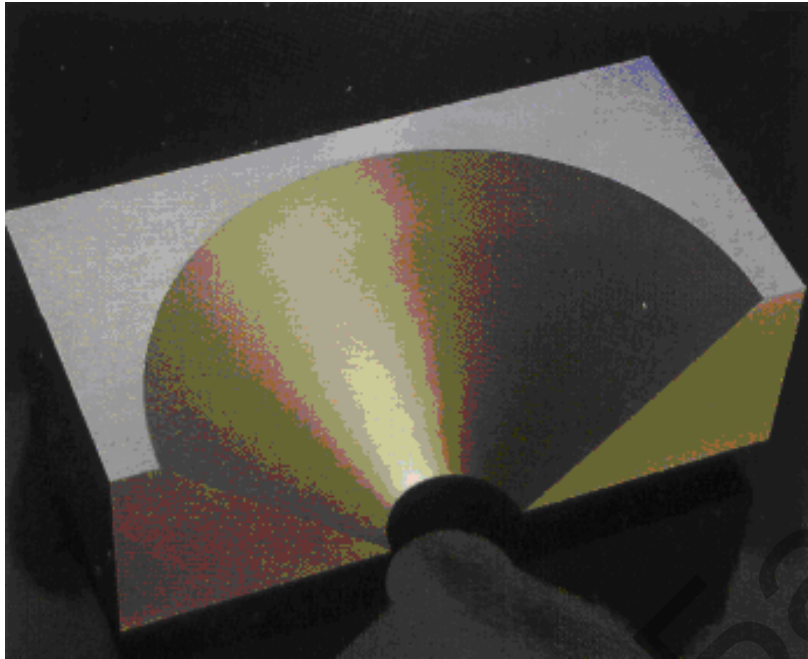


Рисунок 3.183 — Пример обработки на проволочно-вырезном станке фирмы “Sodick” конического отверстия с углом 90° (материал SKD-11 аналог стали X12M; толщина 50 мм; проволока $\varnothing 0,2$ мм)



Рисунок 3.184 — Пример обработки углов на проволочно-вырезном станке фирмы “Sodick” (материал SKD-11 — аналог стали X12M; толщина 20 мм; проволока $\varnothing 0,20$ мм)

В линейных станках “Sodick” есть стандартные программы настройки, считающие характеристики постоянных магнитов и электромагнитов. Если по какой-либо причине произойдет изменение характеристик магнитов привода, есть возможность ввести коррекцию.

Линейные электроискровые станки моделей AQ327L, AQ537L могут оснащаться индексными столами оси W для углового позиционирования деталей синхронно с подачами по линейным осям. Дискретность позиционирования — 20".

Уровень воды в ванне устанавливается автоматически.

Система ЧПУ серии “LQ” со встроенной 3D CAD/CAM программой. В ЧПУ загружена обновляемая база знаний с данными оптимальных режимов резания для любых требуемых условий: диаметра проволоки-электрода, материала заготовки и толщины.

Линейные станки фирмы “Sodick” подключаются к цеховой или заводской компьютерной сети. Когда станок подключен к сети, можно видеть на экране отдаленного компьютера, что вырезается на станке, сколько осталось до конца обработки, просмотреть историю обработок за последние несколько дней. Станок может сам сообщать о своей работе, отсылая сообщения по SMS.

Некоторые *технические характеристики электроискровых станков* фирмы “Sodick”:

- масса заготовки составляет до 3 000 кг;
- осевые перемещения X, Y, Z : 220...750 × 150...500 × 120...500 мм;
- управление работай до восьми осей — это четыре плюс одна ось станка ($X, Y, U, V + Z$) и три оси детали;
- максимальная скорость резания достигает 360 мм²/мин;
- наилучшая шероховатость поверхности $Ra = 0,04$ мкм;
- резание производится в масле или в воде;
- работа с латунной прецизионной полированной проволокой-электродом фирмы KHS (Япония) толщиной 0,2; 0,25; 0,3 мм; модификация для работы с проволокой Ø 0,1 мм;
- встраиваемый измельчитель отработанной проволоки (L-cut chopper);
- система бесперебойного питания на 10 мин;
- автоматический огнетушитель.

При копировально-прошивочных работах изменение формы и размеров заготовки происходит за счет электрической эрозии в результате отображения в заготовке формы фасонного электрода. Точки поверхности заготовки задаются в координатах XYZ , а обработка ведется, как правило, вдоль оси Z . Копировально-прошивочные станки с ЧПУ имеют несколько видоизмененную схему формообразования: управление осуществляется обычно по всем трем координатам.

Копировально-прошивочные станки выпускаются станкостроительной промышленностью разных типов для электрохимической обработки деталей пневмо- и гидроаппаратуры, ковочных штампов и пресс-форм, прошивания цилиндрических и фасонных отверстий, а также глубоких отверстий в турбинных лопатках и др.

На рисунке 3.185 представлена схема процесса двустороннего электрохимического размерного формообразования пера турбинных и компрессорных лопаток 3 с двумя движущимися профилированными катодами — электродами (инструментами) 4. Для получения необходимых гидродинамических условий, защиты направляющих и неподвижных частей станка и устранения разбрызгивания электролита (раствора) инструмент и заготовка размещены в герметической камере (контейнере) 1 с крышкой 2. Анодное растворение детали происходит более интенсивно на близлежащих к катоду участках, что и предопределяет получение заданной формы.

Ультразвуковые станки, в отличие от электроэрозионных, используются обрабатываемых только токопроводящие материалы, могут быть

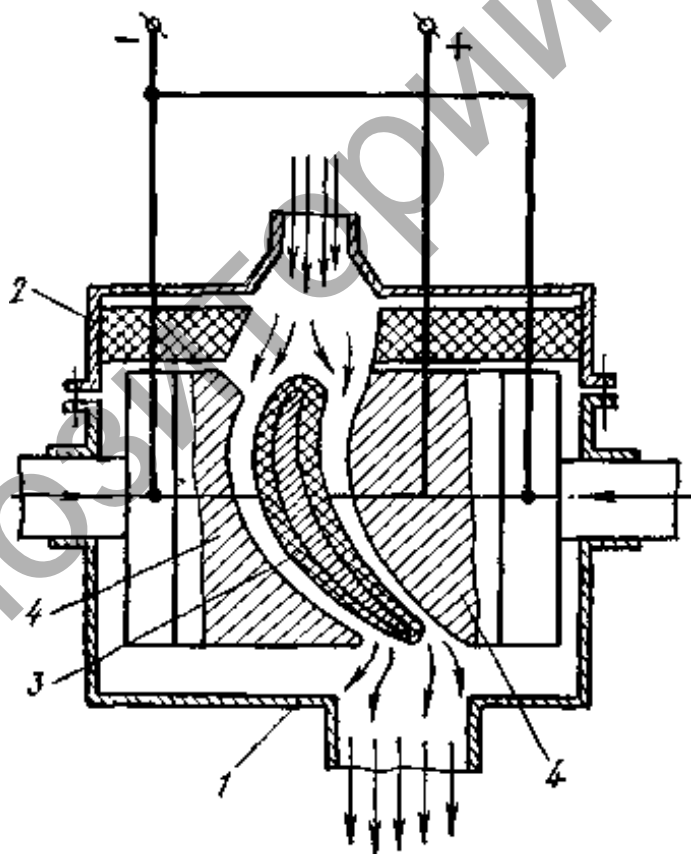


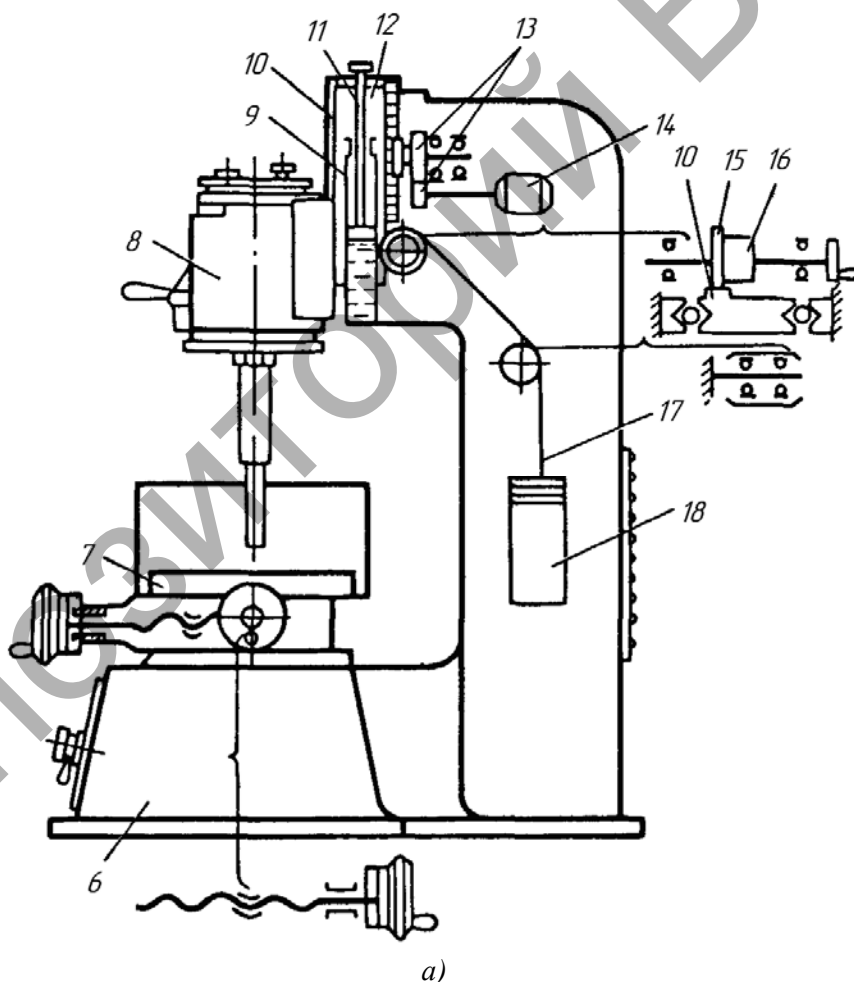
Рисунок 3.185 — Схема двустороннего размерного электрохимического формообразования пера турбинных лопаток на станке модели ЭХО-1

для обработки не проводящих ток хрупких и твердых материалов (кварц, стекло, алмазы, кремний, фарфор, рубин, спеченные твердые сплавы и др.). Настольный универсальный прошивочный ультразвуковой станок модели 4770 (рис. 3.186, а) предназначен для обработки заготовок из твердых и хрупких материалов стекла, полупроводниковых материалов, технических камней, керамики, твердых сплавов.

Основные *технические характеристики* станка:

- диаметр обрабатываемого отверстия (сплошным инструментом) $D = 0,5 \dots 10$ мм;
- максимальная глубина обработки $(2 \dots 5) D$;
- рабочая частота $f = 18 \dots 19$ кГц;
- мощность генератора 0,25 кВт.

На станке можно обрабатывать круглые и фасонные отверстия и полости, гравировать, разрезать и вырезать заготовки.



а) — кинематическая схема станка;
б) — схема головки вибратора (преобразователя)

Рисунок 3.186 — Настольный универсальный прошивочный ультразвуковой станок модели 4770

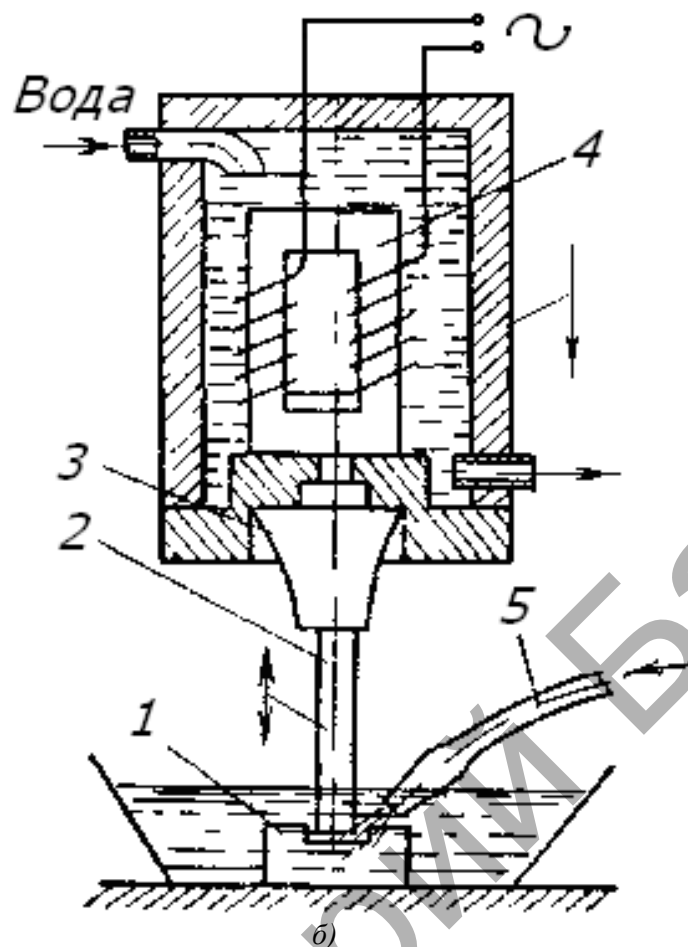


Рисунок 3.186 — Окончание

Координатный стол 7 перемещается в горизонтальной плоскости в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Ходовые винты снабжены лимбами с ценой деления 0,02 мм. Ползуну 10 вручную сообщается перемещение по шариковым направляющим станины 6 через реечную передачу 15 или от электродвигателя 14 через редуктор. Электродвигатель работает на заторможенном режиме, развивая крутящий момент в соответствии с силой подачи инструмента. Ползун вместе с головкой 8 уравновешен грузом 18 через ленту 17, намотанную на барабан 16 валика ручной подачи. Плавность хода ползуна обеспечивается демпферным гидравлическим устройством 9 с поршнем 11. В головке 8 применен никелевый магнитострикционный вибратор.

Основным узлом станка является акустическая головка 3, сообщающая главное движение при ультразвуковой обработке (рис. 3.186, б) — продольные колебания инструмента 2 с ультразвуковой частотой. Могут иметь место следующие движения подачи: продольные, поперечные или круговые. Область применения размерной ультразвуковой обработки —

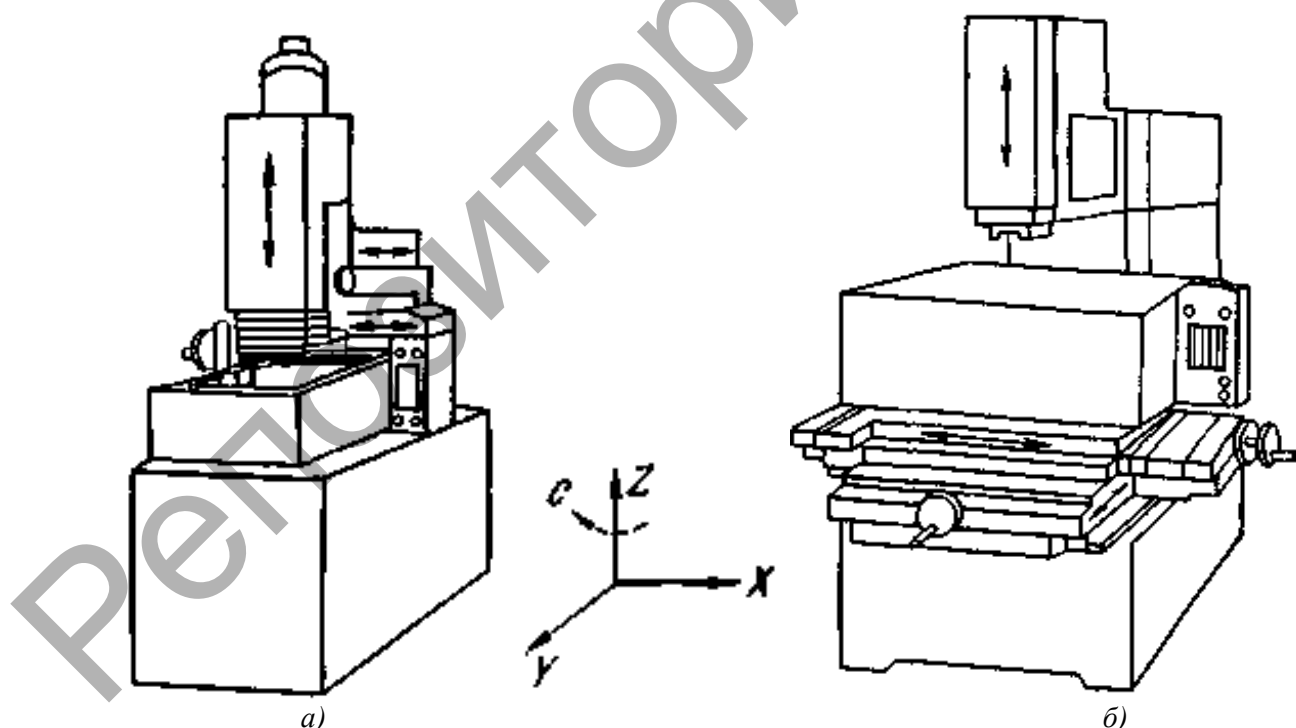
изготовление твердосплавных матриц сложной формы, обработка фильер из технических алмазов, изготовление деталей сложной конфигурации из стекла, кварца, фарфора, феррита и др.

Ультразвуковая обработка обеспечивает получение размеров с точностью по 7...9 квалитетам, шероховатости обработанных поверхностей с $Ra = 0,80 \dots 0,20$ мкм, скорости обработки стекла и кварца 2...15 мм / мин, закаленной стали (при твердости HRC_3 46,5...56) 0,05...0,1 мм / мин и твердых сплавов 0,3...0,5 мм / мин.

Особенности конструкций ЭФ и ЭХ станков с ЧПУ и их технологические возможности. Электроэрозионные вырезные станки могут оснащаться различными системами управления: аналоговыми (электро-контактной или фотокопировальной) или устройствами ЧПУ.

Особенности конструкции станков (рис. 3.187) определяют их технологические преимущества:

- не требуется фасонный инструмент;
- нет необходимости делать поправки на износ электрода, который может составлять только 0,2%, возможно получение мелких деталей сложной формы, в том числе деталей с эквидистантным профилем (например матриц и пуансонов) с использованием одной программы ЧПУ;



a — с неподвижным столом и подъемной ванной; *б* — с координатным столом и накладной ванной

Рисунок 3.187 — Компоновки универсальных копировально-прошивочных станков

- возможность автоматизации, использование в качестве рабочей жидкости воды;

- эффективная обработка опытных образцов деталей и профильных калибров).

Автоматизированная система управления в зависимости от вида станка служит для контроля и управления параметрами лазера, для передачи команд на исполнительные механизмы системы формирования и транспортировки излучения и газа, для управления относительным движением обрабатываемой заготовки и резака.

В крупногабаритных станках используется также электрогидравлический привод подачи, имеющий большой момент и высокую приемистость.

3.12 Строгальные и протяжные станки

Поперечно-строгальные и продольно-строгальные, долбежные, горизонтально-протяжные и вертикально-протяжные станки относят к седьмой группе по классификации ЭНИМС. Эти станки имеют прямолинейное движение резания независимо от того, работают ли они резцами (строгальные и долбежные станки) или протяжками и прошивками (протяжные станки).

Станки этой группы служат для обработки разнообразных поверхностей, описанных прямой, перемещающейся по направляющей линии. Относительное перемещение заготовки и инструмента по направляющей линии обеспечивается движением подачи, а по образующей — движением резания. Движение резания долбежных станков всегда вертикальное, поперечно-строгальных шепингах и продольно-строгальных — всегда горизонтальное, а протяжных — вертикальное или горизонтальное. На продольно-строгальных станках главное движение получает стол с заготовкой, а на шепингах и долбежных — ползун или долбяк (штосель) с резцом.

В строгальных и долбежных станках движение подачи имеет заготовка или резец. В протяжных станках движение подачи заложено в конструкции протяжки, в которой каждый последующий режущий зуб выше предыдущих.

Поперечно-строгальные и долбежные станки применяют для обработки небольших по размерам заготовок. Продольно-строгальные станки позволяют обрабатывать станины станков, корпусные детали и т. п. Протяжные станки используют для обработки внутренних и наружных поверхностей различного профиля.

Прототип современного строгального станка был создан в Англии в период с 1814 по 1840 годы. По историческим сведениям, первый строгальный станок в 1817 году сделал Р. Робертс, а в 1836 изобретатель парового молота Дж. Несмит сделал поперечно-строгальный станок.

Область применения и технологические возможности поперечно-строгальных и продольно-строгальных станков. Строгальные и долбежные станки применяют для обработки резцами линейчатых, обычно плоских поверхностей: направляющих, пазов как горизонтальных, так и вертикальных, зубьев зубчатых колес в единичном и массовом производстве. Станки строгальной группы включают продольно-строгальные, (первый и второй типы по классификации ЭНИМС), поперечно-строгальные (третий тип) и долбежные (четвертый тип).

По сравнению с фрезерными, станки строгальной группы имеют следующие *достоинства*:

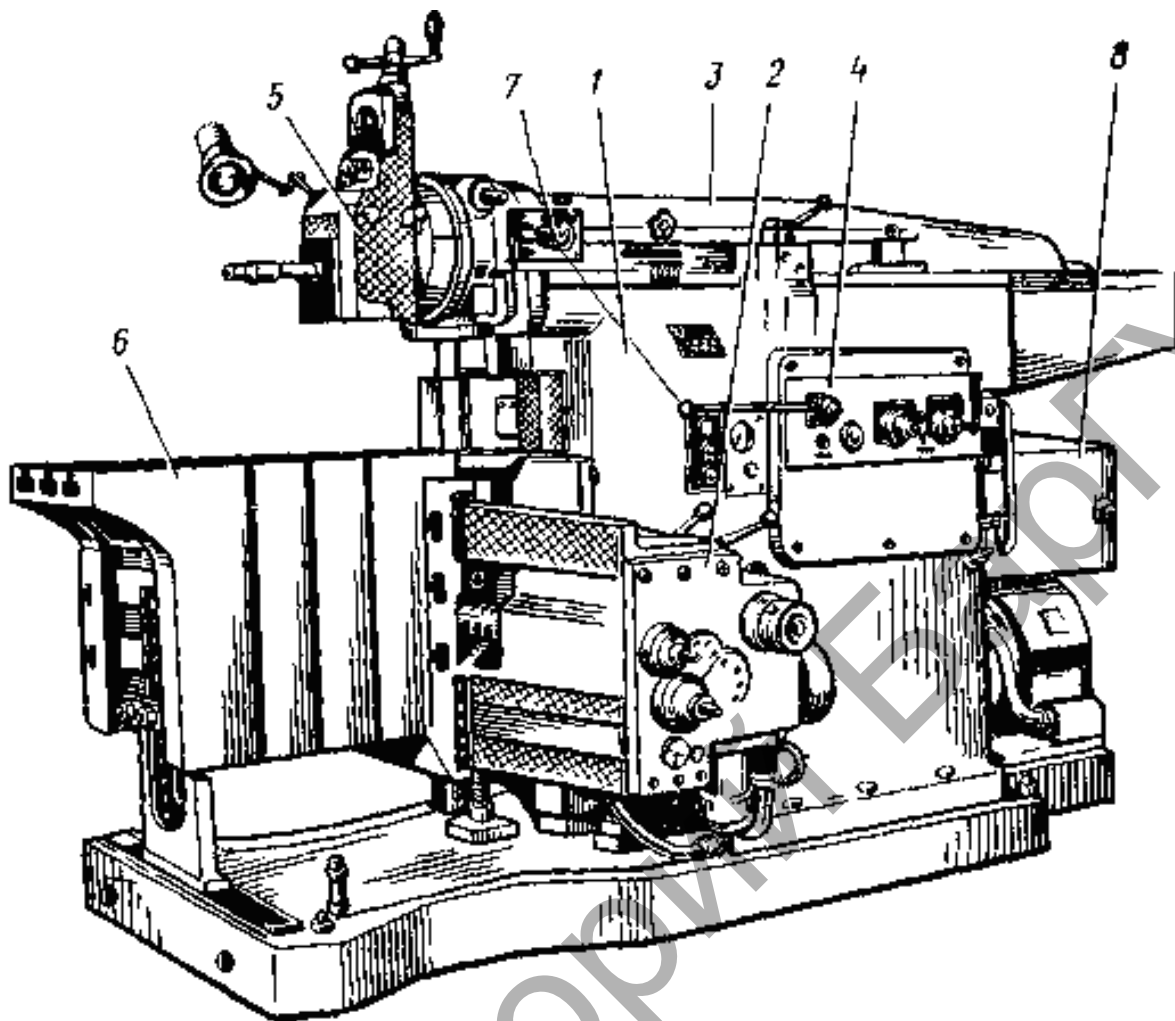
- простота и дешевизна применяемого инструмента;
- производительность при обработке узких и длинных поверхностей;
- точность обработки при чистовой строгании;
- возможность обработки сложных профилей, требующих при фрезеровании дорогих в изготовлении и заточке наборов фрез.

Среди *недостатков* строгания называют потери времени на холостой ход и ограниченность скорости резания из-за больших инерционных сил. Строгание и долбление применяют в единичном и массовом производствах.

Поперечно-строгальные станки применяют при обработке плоских и фасонных поверхностей заготовок относительно небольших габаритов, закрепленных на консольном столе, а резец крепят в резцедержателе ползуна. Эти станки всех размеров делают с механическим приводом главного движения от кулисы, а станки сходом ползуна больше 700 мм — еще и с гидравлическим. Поперечно-строгальные станки с механическим приводом более просты по конструкции и надежны в разнообразных условиях работы. Они имеют автоматические подачи стола — прерывистое прямолинейное перемещение по направляющим поперечины в поперечном направлении и поперечины со столом в вертикальном направлении, а главное движение — это возвратно-поступательное движение ползуна с резцом. Возможны и вертикальные прямолинейные прерывистые перемещения суппорта с резцом.

Основные узлы поперечно-строгального станка модели 7М36 изображены по рисунку 3.188.

Ползуну с резцом сообщается прямолинейное возвратно-поступательное главное движение длиной 150...1 000 мм, причем при ходе ползуна вперед (рабочий ход) происходит снятие стружки с обрабатываемой детали со скоростью резания от 3 до 48 м / мин, а при ходе назад (холостой ход) снятие стружки не производится.



1 — станина; 2 — коробка подач; 3 — ползун с цилиндром; 4 — гидрпанель;
 5 — суппорт; 6 — стол; 7 — механизм подачи суппорта;
 8 — коробка с электрооборудованием

Рисунок 3.188 — Поперечно-строгальный станок модели 7М36

Во избежание повреждения обработанной поверхности и режущей кромки резца при обратном ходе последний вместе с откидной доской, установленной на суппорте и удерживающей резец, несколько приподнимается. После двойного хода детали от гидроцилиндра через шток с рейкой, поворачивающей зубчатое колесо, связанное с храповым механизмом, зубчатыми передачами и винтовой парой, столу сообщается поперечная подача от 0,2 до 5 мм. Она может быть как горизонтальной, так и вертикальной.

Вспомогательные движения — это быстрые установочные перемещения стола и суппорта (а также поворот суппорта). Установочное перемещение стола в горизонтальном и вертикальном направлениях сообщается от отдельного электродвигателя, но стол может перемещаться и вручную.

Способы крепления инструмента и заготовки. Обрабатываемая деталь закрепляется на верхней плите или на боковой поверхности корпуса стола.

Закрепление производится обычным для единичного типа производства способом: с помощью прихватов, тисков и других универсальных зажимных приспособлений. Для строгания наклонных плоскостей обрабатываемая деталь может быть поворотом корпуса и верхней плиты стола в двух взаимно перпендикулярных направлениях установлена так, чтобы обрабатываемая плоскость точно заняла горизонтальное положение, но такое устройство есть не у всех станков. Возможны варианты, когда наклонные плоскости обрабатывают, повернув на нужный угол суппорт с резцом, а подача, в таком случае, ручная. Резец закрепляется в суппорте с помощью болта.

Продольно-строгальные станки. Эти станки предназначены для обработки плоских поверхностей больших корпусных деталей (направляющих станков, столов, стоек и т. п.), которые либо невозможно, либо неудобно обрабатывать на фрезерных станках (например, направляющие «ласточкин хвост» и др.), горизонтальных, вертикальных и наклонных плоскостей, а также поверхностей небольшой ширины у крупных деталей большой длины. На станке могут одновременно обрабатываться детали средних размеров, устанавливаемые рядами на столе.

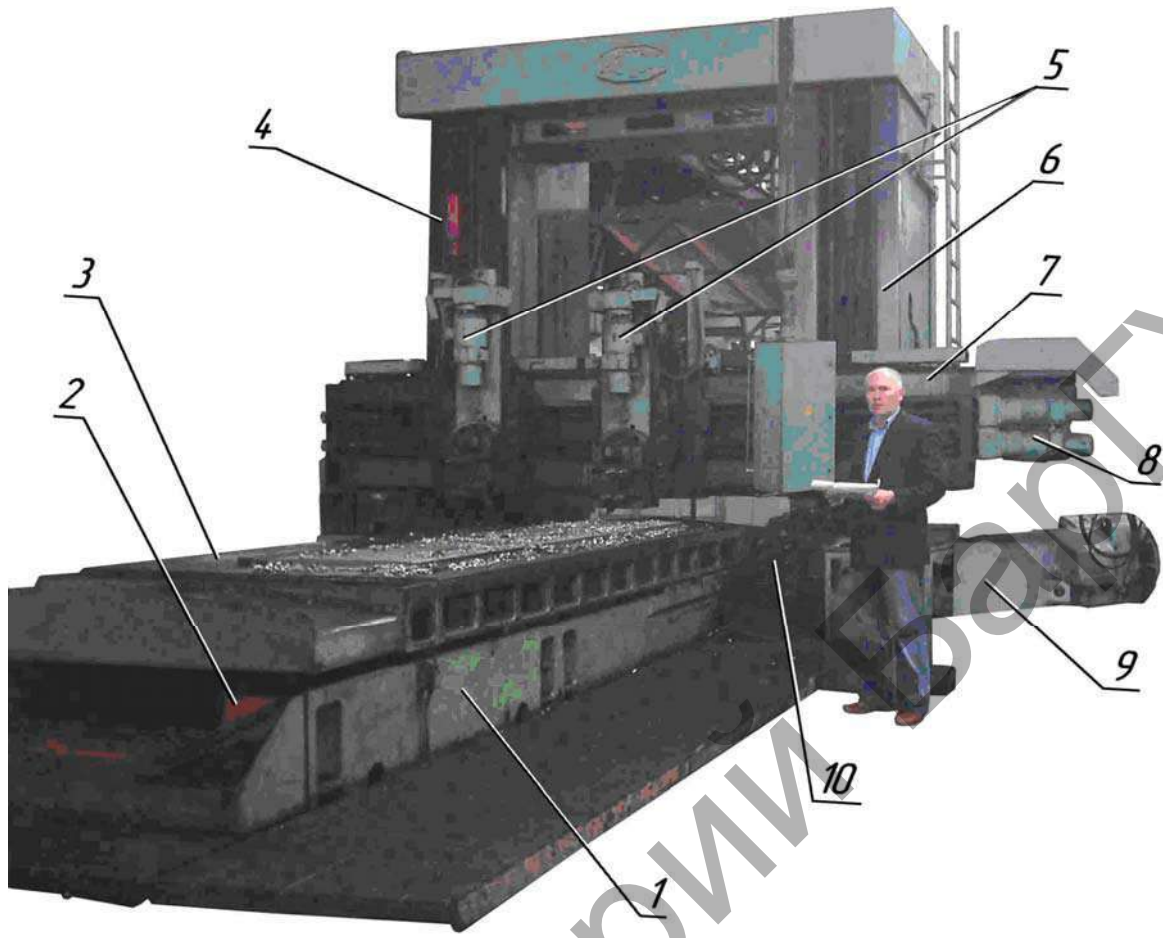
Возможно одновременное строгание различных деталей резцами с разных суппортов.

Продольно-строгальные станки делят на одностоечные (с консольной поперечиной) и двухстоечные. На *одностоечных* станках можно обрабатывать заготовки, у которых есть выступающие с одной стороны элементы, не требующие обработки. *Двухстоечные* станки отличаются высокой жесткостью и применяются для обработки более крупных деталей, чем одностоечные. Для строгания крупногабаритных деталей делают станки с неподвижным столом и движущимся порталом с инструментом.

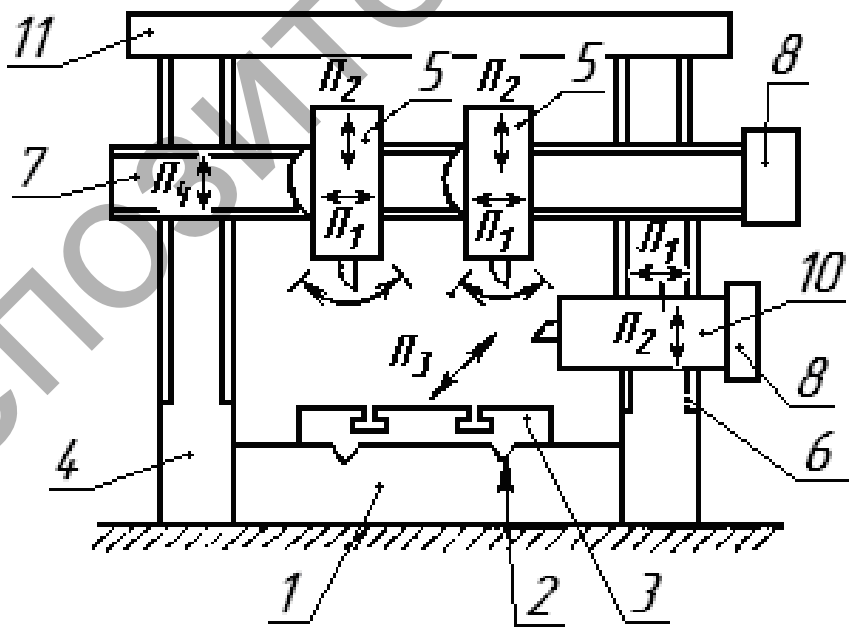
Основными *техническими параметрами* этих станков являются ход стола, наибольшая ширина строгания и высота подъема траверсы с инструментом (это соответственно $16\ 000 \times 6\ 000 \times 7\ 500$ мм). Масса заготовок доходит до 200 т. На траверсе устанавливают дополнительно фрезерные, расточные и шлифовальные головки, расширяющие возможности станка.

Станки применяют в единичном и мелкосерийном производствах.

Основные узлы и движения. Основными узлами продольно-строгального станка являются (на примере двухстоечного продольно-строгального станка модели 7212, рис. 3.189, а) станина 1, на которой с обеих сторон закреплены две вертикальные стойки 4 и 6, соединенные сверху порталом 11 и образующие замкнутую жесткую рамную систему. Стол 3 приводом 9 перемещается по направляющим 2 станины. На верхней плоскости стол имеет Т-образные пазы для закрепления детали. На вертикальных направляющих правой стойки 6 помещен боковой суппорт 10. На направляющих стоек 4 и 6 закрепляется траверса 7, которая несет два других суппорта 5.



а)



б)

а — компоновка; б — движения

Рисунок 3.189 — Продольно-строгальный станок модели 7212

Столу с заготовками сообщается возвратно-поступательное главное движение со скоростью резания $v_p(P_3)$ (рис. 3.189, б) по направляющим станины — рабочий ход со снятием стружки и быстрый обратный холостой ход с автоматическим отводом резца от обработанной поверхности. Перед началом каждого рабочего хода совершаются поперечные подачи суппортов с резцами $s(P_1)$. Главное возвратно-поступательное движение стола — от электродвигателя постоянного тока. Стружка снимается неподвижным резцом только при рабочем ходе стола (наезд детали на резец). Поддачи — прерывистое перемещение суппортов в любом из четырех направлений (вправо, влево, вверх, вниз) от отдельных двигателей с помощью однотипных, но отдельных на каждом суппорте, механизмов подач. Подача резца происходит каждый раз во время реверсирования стола с обратного хода на рабочий, т. е. перед началом рабочего хода стола. Автоматический цикл станка такой: медленное врезание инструмента с заготовку, разгон стола до скорости резания — рабочий ход — уменьшение скорости стола перед выходом резца, быстрый возврат стола, поперечное перемещение суппорта с резцами по траверсе — подача и повторение цикла обработки.

Вспомогательные движения. Вертикальные суппорты 5 — поворотные, позволяющие обрабатывать поверхности под углом $\pm 60^\circ$. Суппорты могут поворачиваться относительно своего основного положения с помощью рукоятки. Траверса при переналадке может перемещаться по направляющим вверх и вниз (вспомогательное движение P_4). Коробки подач 8 обеспечивают перемещения P_1 и P_2 суппортов: движение подачи и вспомогательные (установочные) быстрые перемещения. Кроме названных к вспомогательным движениям у продольно-строгального станка относятся: перемещение суппортов вручную, зажим траверсы, подъем резцовых головок от детали при обратном ходе стола во избежание затирания резца задней поверхностью по детали. Вертикальные суппорты перемещаются по направляющим поперечины, а боковой суппорт — по вертикальным направляющим стоек.

Способы крепления инструмента и заготовки. Предназначенная для обработки заготовка или ряд одновременно обрабатываемых заготовок закрепляют на столе станка. Исходя из условий производства и размеров обрабатываемых деталей, для их закрепления используются прихваты, планки, болты, сухари. Одиночные резцы или комплекты одновременно работающих резцов устанавливаются на верхних и боковых суппортах с помощью болтов и регулируются на заданный сьем металла.

Горизонтально- и вертикально-протяжные станки. Протягивание является одним из наиболее производительных методов лезвийной обработки, успешно конкурирующим с такими методами, как фрезерование, долбление, строгание, зенкерование, развертывание, точение и растачивание.

Отличительными особенностями процесса протягивания является обработка многолезвийным режущим инструментом, совмещение черного и чистового резания, отсутствие подачи как отдельного движения механизмов станка (подача заложена в конструкцию протяжки в виде подачи на зуб). *Преимущество протягивания* перед другими способами механической обработки заключается в том, что оно обеспечивает высокую точность и качество обрабатываемой поверхности, а также высокую производительность. Протяжные станки требуют небольшой производственной площади, просты по конструкции и в обслуживании, легко поддаются автоматизации и встройке в автоматические линии. Основным недостатком протягивания является высокая стоимость и сложность изготовления инструмента — протяжек, обладающих к тому же небольшой стойкостью. Наибольшее распространение протяжные станки получили в автотракторном, сельскохозяйственном, транспортном, энергетическом и подъемно-транспортном машиностроении с крупносерийным и массовым типом производства. Протягивание применяют от мелкосерийного до массового производств. Рентабельно протягивание при обработке от 200 круглых или 50 фасонных отверстий в год при максимальной производительности в несколько тысяч деталей в смену

По назначению протяжные станки делят на станки для внутреннего и наружного протягивания, *по направлению и виду главного движения* — на горизонтальные, вертикальные, с круговым движением протяжки или заготовки, непрерывные с конвейерным движением заготовки или протяжки, *по степени универсальности* — общего назначения и специальные, *по числу рабочих позиций и инструментов* — на однопозиционные, двухпозиционные и многопозиционные, с одной, двумя или несколькими каретками.

Протяжные станки предназначены для обработки внутренних и наружных поверхностей самой разнообразной формы (рис. 3.190). Наибольшее распространение получили горизонтально-протяжные станки для внутреннего протягивания, вертикально-протяжные для наружного и внутреннего протягивания и горизонтально-протяжные для непрерывного протягивания.

Основные параметры наиболее распространенных протяжных станков имеют следующие диапазоны:

- тяговое усилие 10...2 000 кН;
 - длина рабочего хода 630...6 000 мм;
 - наибольшая длина инструмента 400...11 000 мм;
 - скорость резания 1...50 м / мин и более;
 - производительность 50...400 шт / ч на станках возвратно-поступательного действия и до 3 000 шт / ч на станках непрерывного действия.
- Станки снабжены гидравлическим приводом, однако в станках непрерывного действия применяют электромеханический привод.

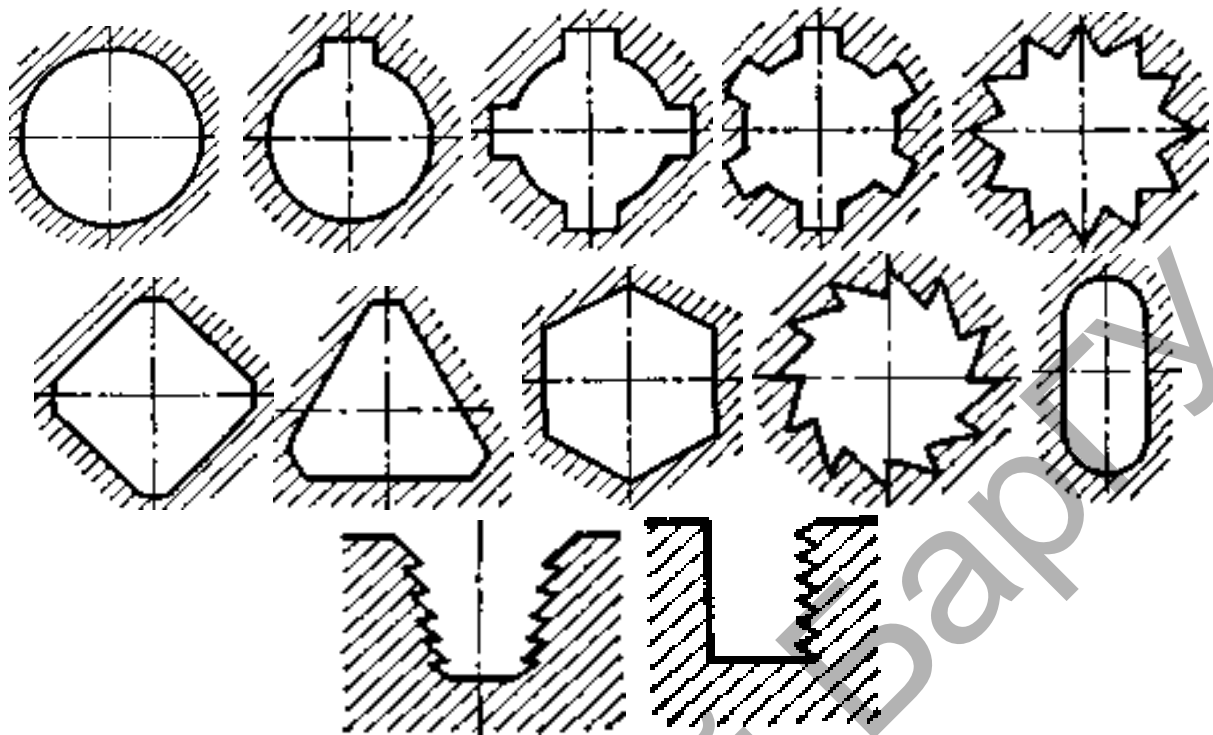


Рисунок 3.190 — Примеры протягиваемых профилей на станках для внутреннего протягивания

Разработка и производство протяжных станков развивается по двум основным направлениям: создание универсальных станков с широкими технологическими возможностями для мелкосерийного и индивидуального производств; создание специальных станков, автоматов и полуавтоматов с механизированными и автоматическими наладками для крупносерийного производства. Большинство протяжных станков имеют нормальную точность, что позволяет получать отверстия и размеры протянутых поверхностей по 7—9-му качеству.

Принцип работы горизонтально-протяжных станков состоит в том, что инструмент (протяжка) тонкой частью вставляют в предварительно обработанное отверстие заготовки и закрепляют замком головной части штока. Обрабатываемую заготовку упирают в приспособление или патрон, установленный на передней стенке станины. Полный цикл работы предусматривает быстрый подвод протяжки к рабочему патрону и захват ее, замедленный ход, рабочий ход с большой скоростью (которая обеспечивает полное использование мощности привода), замедленный рабочий ход (для получения требуемой шероховатости при работе калибрующих зубьев протяжки), раскрытие вспомогательного патрона и вывод протяжки из детали, остановку для выгрузки детали (она удерживалась только силами резания), обратный ход рабочих салазок, захват протяжки вспомогательным патроном в

начале обратного хода, замедление скорости в конце обратного хода и раскрытие рабочего патрона, отвод протяжки вспомогательными салазками в исходное положение, останов. При оснащении станка автоматической системой загрузки и выгрузки он может работать в автоматическом режиме.

Основные узлы и движения. Горизонтальные протяжные станки для внутреннего протягивания выпускаются с наибольшей тяговой силой до 225...980 кН при наибольшем ходе каретки 1...2 м. Станок модели 7Б55 (рис. 3.191) предназначен для протягивания сквозных отверстий. Номинальная тяговая сила 100 кН; наименьшая и наибольшая скорости рабочего хода 1,5...11,5 м / мин, обратного хода 20...25 м / мин, подвода и отвода протяжки 15 м/мин; мощность электродвигателя поршневого насоса 17 кВт.

В полый основной части сварной станины 2 коробчатой формы, к которой присоединена приставная станина 4, смонтированы агрегаты гидравлического привода 3, являющегося главным узлом для этого вида станков. Слева расположен силовой цилиндр 1. Шток поршня цилиндра связан с рабочими салазками, которые, перемещаясь в направляющих вдоль оси станка, служат ему дополнительной опорой. На конце штока насажена втулка с одним из наиболее ответственных узлов горизонтально-протяжного станка — патроном для закрепления левого конца протяжки 7; правый конец ее зажат во вспомогательном патроне 8. Приспособление для установки детали 6 и сама деталь упираются в переднюю стенку 5 станины.

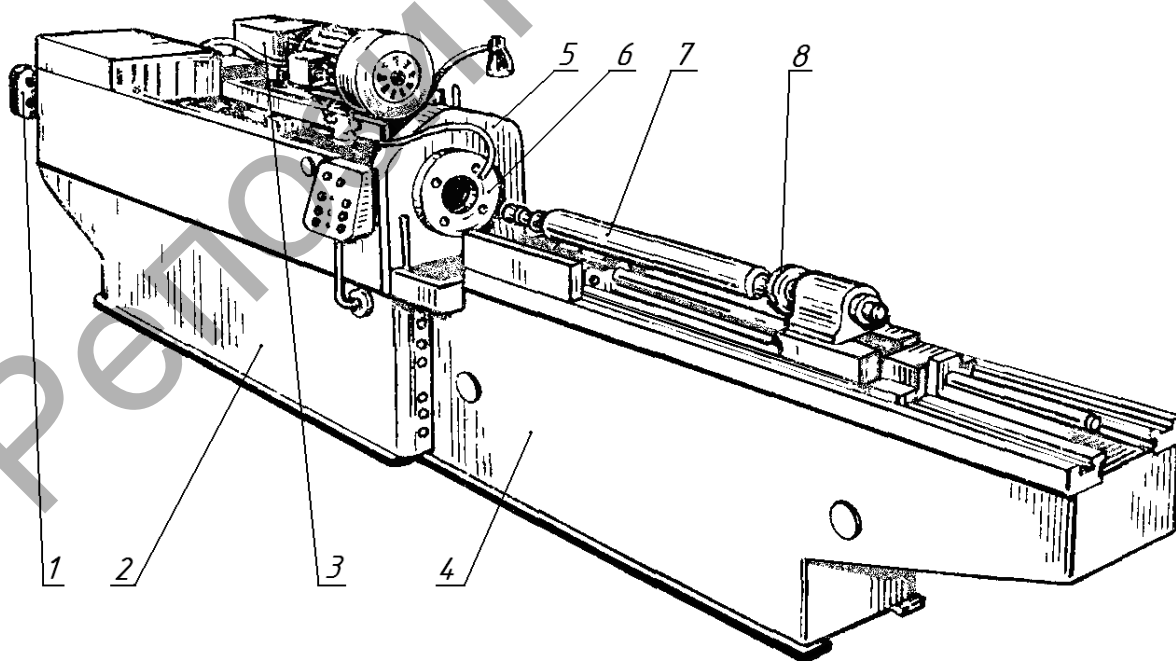


Рисунок 3.191 — Горизонтальный протяжный станок модели 7Б57

Правая приставная часть станины служит для монтажа узлов автоматического подвода и отвода протяжки. Необходимые движения осуществляются вспомогательным силовым цилиндром, смонтированным в этой части станка.

Станки этой группы комплектуются рабочими патронами для протяжек с круглыми хвостовиками и рабочим патроном для протяжек с плоскими хвостовиками.

Горизонтально протяжные станки для внутреннего протягивания в своем большинстве являются универсальными, они пригодны как для мелкосерийного, так и для среднесерийного производства, их конструкция приспособлена для быстрой переналадки на изготовление новых деталей. Станки этого типа с помощью несложных приспособлений можно использовать для наружного протягивания.

Способы крепления инструмента и заготовки. Одна из схем протягивания показана на рисунке 3.192. Хвостовик протяжки 5 пропускают через отверстие обрабатываемой детали 7 и втулку 8 приспособления 6, установленного в опорной плите 9. Левый конец протяжки закрепляют в автоматическом патроне, состоящем из корпуса 4, специальной втулки 10 с внутренним диаметром, соответствующим протяжке, и двух сухарей 3. В показанном положении пружина 2, распирая муфту 1, связанную со штоком силового цилиндра, и корпус 4, сдвигает сухари 3, вследствие чего последние захватывают хвостовик протяжки. Когда протяжка перемещается влево, происходит обработка отверстия. Во время холостого обратного хода протяжка возвращается в исходное положение. Корпус патрона 4, подойдя к приспособлению 6, упирается в него и останавливается. Шток поршня и муфта 1, продолжая движение и сжимая пружину 2, сдвигают втулку 10 вправо, сухари 3 попадают в выточку *a*, и движение прекращается. Теперь хвостовик протяжки можно свободно вытащить из отверстия втулки 10, вставить в следующую деталь и, установив снова в патрон, начинать обработку.

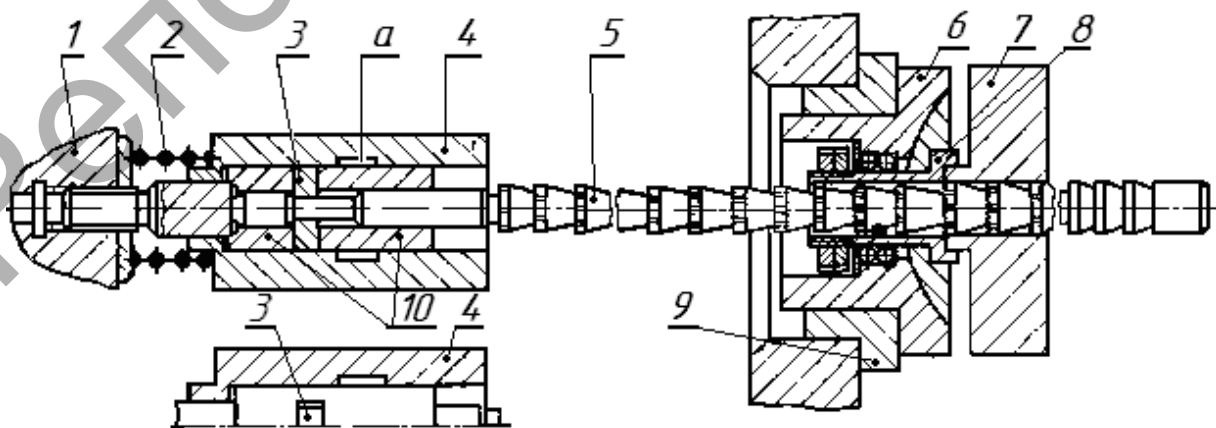


Рисунок 3.192 — Схема крепления инструмента и детали на протяжной операции

Горизонтальные протяжные станки для внутреннего протягивания очень легко поддаются автоматизации. Конструкции загрузочных приспособлений для них дешевы в производстве и надежно обеспечивают автоматическую работу станка в течение длительного времени. Использование протяжных станков в крупносерийном и массовом производствах без автоматических приспособлений резко снижает их экономическую эффективность.

Основные узлы и движения вертикально-протяжного станка. Конструкция такого станка для внутреннего протягивания аналогична конструкции горизонтально-протяжного, но занимаемая им площадь цеха существенно меньше. Вертикально-протяжные станки для внутреннего протягивания выпускаются с наибольшей тяговой силой 25...785 кН при наибольшем ходе каретки 0,8...1,25 м, мощностью 7...75 кВт.

Вертикально-протяжные станки для внутреннего протягивания применяются, как правило, в серийном производстве. Они имеют ряд преимуществ по сравнению с горизонтально-протяжными станками:

- нет провисания и искривления оси протяжки;
- на базе вертикального исполнения проще модернизировать станок для одновременной работы двумя и более протяжками, что резко повышает производительность;
- производственная площадь для вертикально-протяжного станка почти в два раза меньше, чем для горизонтально-протяжного.

На рисунке 3.193 показан протяжной вертикальный станок для наружного протягивания. На основании 1 установлена тумба 2, на которой смонтирован отводной стол 3. Протяжки при помощи инструментальных плит закрепляют на каретке 5, перемещающейся в вертикальных направляющих станины 6. При ходе протяжки вниз осуществляется рабочий ход, при ходе вверх — холостой ход. Станина — сварная, коробчатой формы, с внутренними ребрами жесткости. Каретка 5 представляет собой чугунную отливку с направляющими в форме ласточкина хвоста. Сзади станины располагается гидропривод станка 7. Система охлаждения 4.

При наружном протягивании у станка нет замка для захвата цилиндрической протяжки, а вместо него сделана каретка, на которой устанавливаются плоские протяжки. И при протягивании вместо протяжки от гидроцилиндра приводится в движение каретка. Деталь устанавливается на отводной стол, который перед обработкой подводится в рабочую зону обработки после чего начинается движение каретки с протяжкой. Стол в рабочую зону подводится кривошипно-шатунным механизмом, остановка которого в мертвой точке обеспечивает надежную фиксацию стола. После окончания протягивания стол отводится от каретки, которая возвращается в исходное верхнее

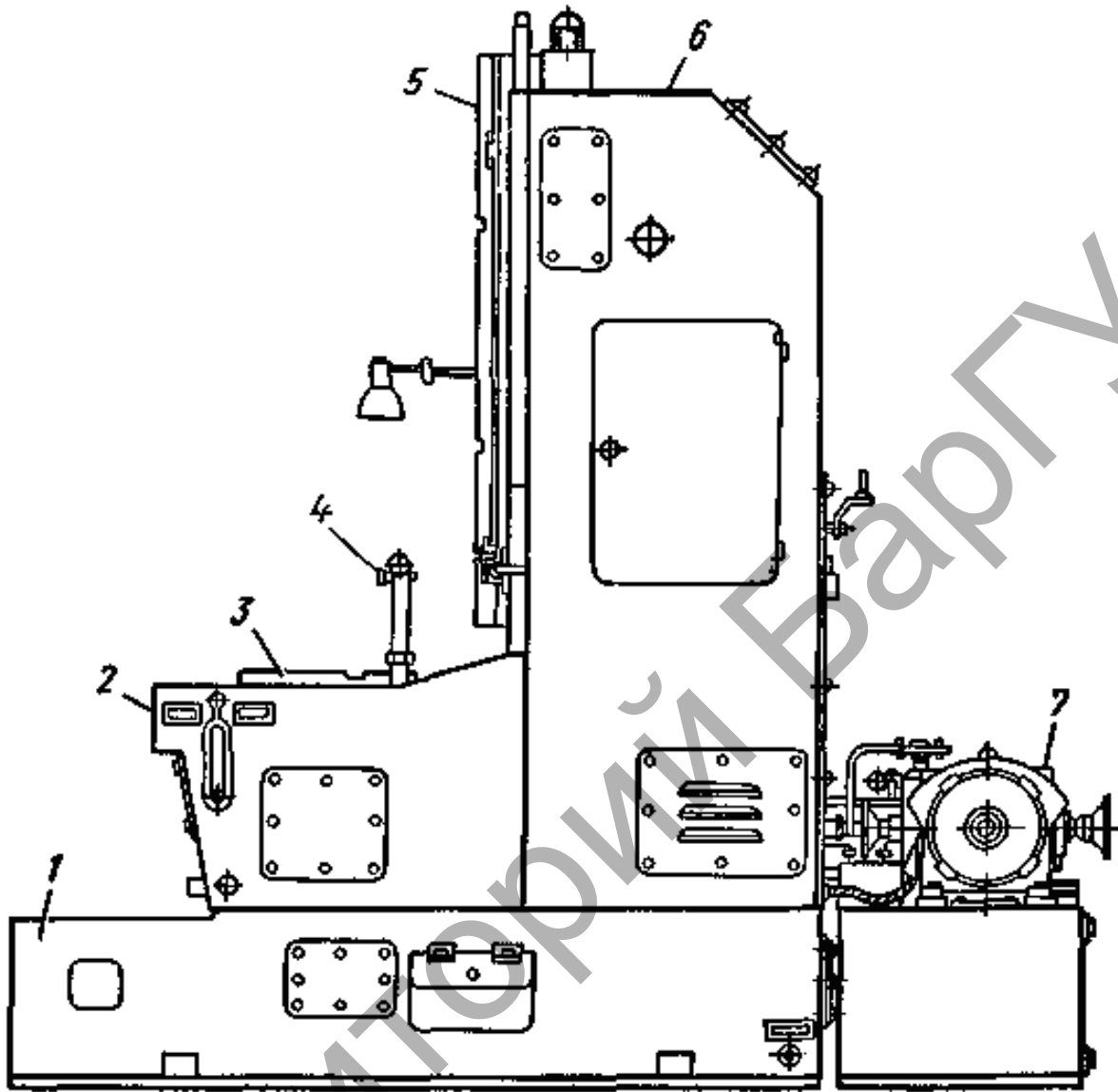


Рисунок 3.193 — Вертикальный протяжной станок

положение, деталь извлекается из зажимного приспособления и заменяется заготовкой. Главное движение — это перемещение сверху вниз каретки с закрепленным на ней инструментом.

Вертикально-протяжные станки общего назначения для наружного протягивания применяются, как правило, в крупносерийном и массовом производствах. Компоновки этих станков аналогичны компоновкам вертикально-протяжных станков для внутреннего протягивания, а конструкции состоят из узлов, большинство из которых унифицировано с узлами вертикальных внутрипротяжных станков.

Аналогично устроен и *сдвоенный вертикально-протяжной станок*. Просто он имеет два стола и две каретки. Работа кареток согласована: если

одна каретка совершает рабочий ход, то другая — холостой ход. Рабочие каретки и столы приводятся в движение при помощи гидропривода. На станках этого типа используют столы отводные, опрокидывающиеся, поворотные. Наибольшее распространение в настоящее время имеют отводные столы, что связано с рядом их *достоинств*:

- простота конструкции;
- удобство размещения установочно-зажимных приспособлений;
- возможность повышения производительности при установке нескольких приспособлений для одновременной обработки нескольких заготовок;
- удобна для автоматизации загрузки-выгрузки деталей.

Конструкции отводных столов имеют и *недостатки*:

- большое количество стыков, снижающее жесткость системы;
- нежесткая конструкция стола.

Выпускаются протяжные станки для наружного протягивания с наибольшей тяговой силой 25...390 кН при наибольшем ходе каретки 0,8...1,25 м и мощностью 7...40 кВт. На рисунке 3.194 представлены некоторые детали, обработанные наружным протягиванием. Жирными линиями показаны протягиваемые поверхности.

Способы крепления инструмента и заготовки зависят от обрабатываемой поверхности. При обработке внутренних поверхностей крепление инструмента и заготовки на вертикальном протяжном станке аналогично креплению на горизонтальном и осуществляется за счет сил резания, но с соответствующими поправками. Для наружного протягивания эти схемы несколько отличаются. Во-первых, деталь нельзя как раньше удерживать в приспособлении силами резания. Для закрепления детали проектируется специальное зажимное приспособление. Во-вторых, деталь из него должна выступать консольно. Протяжка или группа протяжек закрепляются болтами на каретке. Взаимное положение заготовки и инструмента настраивается перемещением стола.

Кроме циклически работающих протяжных станков для обработки сквозных наружных поверхностей в массовом и крупносерийном производствах все большее применение получают *непрерывно-протяжные станки*, у которых перемещается не инструмент, а заготовки, непрерывно устанавливаемые на цепной конвейер и проходящие под протяжкой (рис. 3.195).

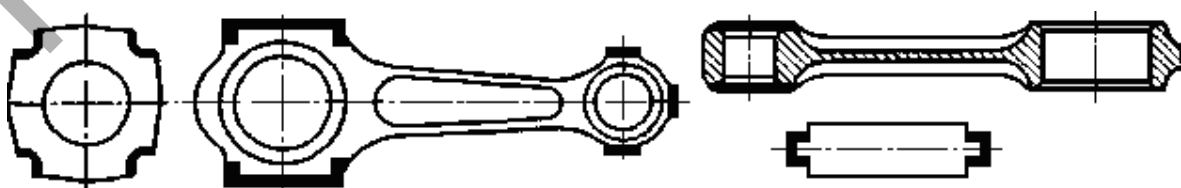


Рисунок 3.194 — Детали, обработанные наружным протягиванием

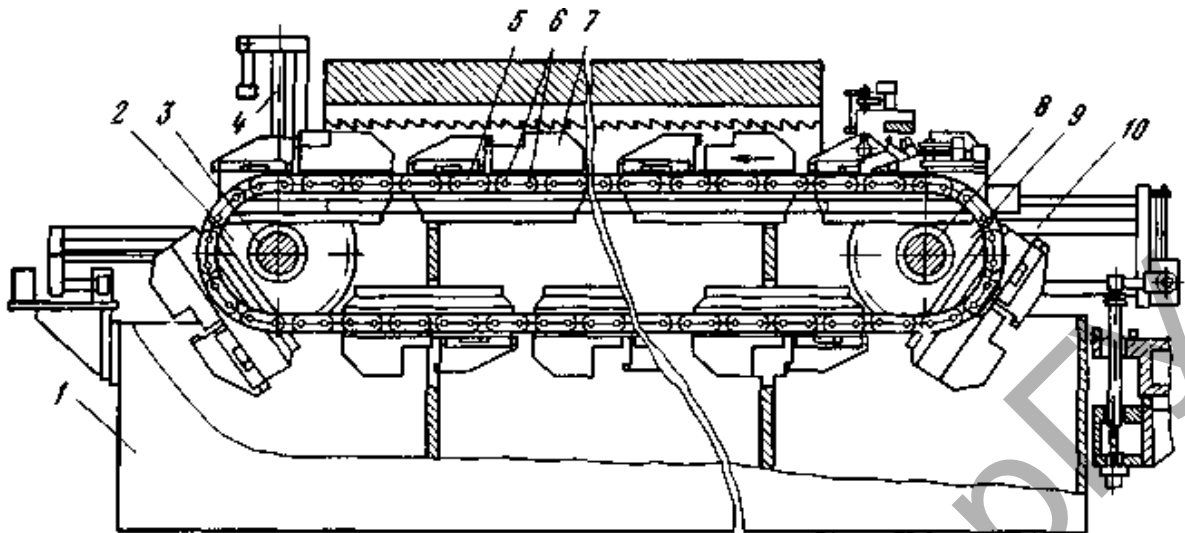


Рисунок 3.195 — Схема непрерывного протягивания

Конструкция состоит из станины 1, ведущего 3 и ведомого 8 валов, звездочек 2 и 9, тяговой цепи 5, зажимных приспособлений 7, смонтированных на пальцах 6 тяговой цепи. Соосно с ведомым валом расположен манипулятор для загрузки 10, а соосно с ведущим валом — манипулятор для выгрузки 4. Компонировочное исполнение этих станков может быть вертикальным, горизонтальным и наклонным.

Непрерывно-протяжные станки можно разделить на две группы: с непрерывным перемещением изделий и непрерывным перемещением инструмента. Каждая из указанных групп делится на две подгруппы: станки с прямолинейным движением в зоне резания и ротационные станки.

Ротационные протяжные станки просты по конструкции, но непригодны для обработки прямолинейных поверхностей и пазов, кроме того, у этих станков достаточно сложные конструкции протяжек. Протяжка, используемая на таком станке, имеет форму диска (как дисковая пила, но с отсутствующими в одном секторе зубьями). Обычно на таких протяжных станках нарезают зубья конических зубчатых колес (см. рис. 3.119).

Производительность непрерывно-протяжных станков обычно в 4—5 раз выше, чем обычных протяжных станков возвратно-поступательного действия. Наибольшее распространение получили станки с непрерывным прямолинейным перемещением заготовок.

МНОГООПЕРАЦИОННЫЕ СТАНКИ

Назначение многооперационных станков. После широкого распространения станков с ЧПУ для выполнения отдельных операций стало ясно, что нужны станки для комплексной обработки деталей. Однооперационные станки, автоматизируя одну операцию, не решали до конца поставленную перед ними задачу существенного снижения затрат на производство, так как незавершенное производство, оставшиеся большие складские и транспортные расходы вкупе с дальнейшей обработкой на неавтоматизированных станках съедали полученную на станках с ЧПУ экономию.

Тогда, наряду со станками для отдельных операций, появились их модификации многооперационные станки с ЧПУ, способные выполнять разную работу: фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, нарезание резьбы. На многоцелевом станке, называемом еще «обрабатывающий центр», имеются развитая система ЧПУ, автоматический инструментальный магазин, вмещающий до 200 и более инструментов и во многих случаях загрузочное устройство, что позволяет автоматизировать весь цикл обработки: формообразование, изменение режимов резания, смену режущих инструментов, повороты и смену обрабатываемых деталей, выполнение вспомогательных команд.

По назначению многооперационные станки делятся на две группы: для обработки корпусных и плоских деталей и для обработки деталей типа тел вращения. Для обработки деталей с разных сторон станки снабжают прецизионными поворотными столами, индексирующимися через угол 90° или способными поворачиваться на разные углы, заданные программным управлением. Для совмещения времени установки новых заготовок с основным временем работы станки оснащают дополнительными устройствами, в результате чего время смены заготовок снижается до нескольких секунд. Одной из особенностей этих станков является тенденция к максимальному выполнению обработки одним инструментом и полной обработки сложных деталей по программе с минимальным числом перестановок детали, а иногда и с одной установки. При этом имеется вынужденная тенденция выполнять на одном станке как черновые, так и чистовые операции (переходы), обеспечивая в конструкции станка минимальный износ деталей и длительное сохранение точности.

Станки оборудуют позиционными или контурными системами программного управления всеми перемещениями узлов станка, сменой инструментов и заготовок, поворотами стола с обрабатываемой деталью, автоматическим изменением частоты вращения шпинделя и скоростью подачи.

Производительность многооперационных станков с ЧПУ в 2 раза выше, чем у однооперационных станков с ЧПУ, и в 3—8 раз выше, чем у универсальных станков. Это достигается за счет сокращения вспомогательного времени и увеличения доли машинного времени до 60...75% в общей длительности цикла обработки, что примерно в 2 раза больше, чем на универсальных станках. К снижению вспомогательного времени приводит повышение уровня автоматизации и скоростей холостых ходов до 100 м/мин и более, наладка инструментов вне станка, исключение контрольных операций и т. д.

Перечисленные качества многоцелевых станков обуславливают снижение затрат на производство. Относительная легкость переналадки этих станков позволяет автоматизировать не только крупносерийное и массовое, но и мелкосерийное производства, а в массовом и крупносерийном при условии почти сплошной автоматизации появляется возможность быстрого перехода на выпуск измененной или новой продукции, которую (эту возможность) ждали уже долгие годы. Таким образом, решаются две сложнейшие экономические задачи: **резко повышается производительность труда в мелкосерийном и серийном производствах** за счет их автоматизации и **становится гибким массовое производство**, совершенствование продукции в котором специальные станки тормозили своей невозможностью переналадки на другую технологическую операцию. Сферой применения многоцелевых станков стала обработка корпусных деталей, которые составляют примерно половину всей номенклатуры, а в последнее время — тел вращения.

Основным направлением развития многооперационных станков является обеспечение полной обработки сложных корпусных деталей. Многоцелевые станки, производящие последовательную обработку одним инструментом, недостаточно производительны. В связи с этим разрабатываются конструкции быстропереналаживаемых станков с автоматической сменой многошпиндельных головок. Они эффективны в мелкосерийном и серийном производствах при изготовлении корпусных деталей. Небольшие многошпиндельные головки с 6—8 инструментами устанавливаются в обычном магазине.

Классификация многоцелевых станков может подчиняться нескольким критериям:

а) *по плоскости расположения шпинделя:*

- 1) с вертикальным расположением шпинделя, что позволяет обрабатывать заготовку с одной стороны (крышки, плиты). Наиболее распространены для этого случая три варианта базовых станков:

- бесконсольные вертикально-фрезерные или одностоечные координатно-расточные;
 - консольные вертикально-фрезерные;
 - продольно-фрезерные или двухстоечные координатно-расточные;
- 2) с горизонтальным расположением шпинделя, имеющие обычно поворотный стол и позволяющие обработать заготовку минимум с четырех сторон. Наиболее распространены для этого случая два варианта базовых компоновок:
- горизонтально-расточной станок;
 - консольный горизонтально-фрезерный станок;
- б) *по виду стола* (с поворотным, крестовым, прямоугольным);
- в) *по виду обрабатываемых деталей* (корпусные или тела вращения);
- г) *по конструкции инструментального магазина* (револьверная головка или многоинструментное устройство);
- д) *по конструкции главного привода* (с асинхронным электродвигателем, с двигателем постоянного тока, с гидродвигателем);
- е) *по характеру работы привода подачи* (перемещение пиноли с инструментом или стола с деталью);
- ж) *по конструктивному исполнению механизма автоматической смены инструмента* (с заменой шпиндельного узла или поворотом револьверной головки, со сменой инструмента в шпинделе станка, комбинированные);
- з) *по методу крепления инструмента* (с цилиндрическим или коническим хвостовиком);
- и) *по количеству шпинделей* (одно-, двухшпиндельные и многошпиндельные).

В целом выпускаемые многооперационные станки чаще всего по своей компоновке напоминают один из типов универсальных станков, на базе которых они создаются. В связи с этим по характеру преобладающих переходов в процессе обработки необходимо различать сверлильно-фрезерно-расточные, расточно-фрезерно-сверлильные, фрезерно-сверлильно-расточные (рис. 4.1) и токарные многооперационные станки.

Устройства для автоматической смены инструментов являются основной отличительной особенностью многооперационных станков. Инструментом у многоцелевого станка называют комплект из собственно режущего инструмента и инструментальной оправки, которая, как правило, центрируется в шпинделе станка по конической поверхности и редко — по цилиндрической. Обычно в качестве присоединительной поверхности оправки применяется несамотормозящий конус 7:24 (рис. 4.2). Переходные оправки разнообразных конструкций дают возможность использовать на станке инструменты разных типов и размеров. Все оправки данного станка должны иметь одинаковые элементы для базирования, зажима и восприятия крутящего момента.

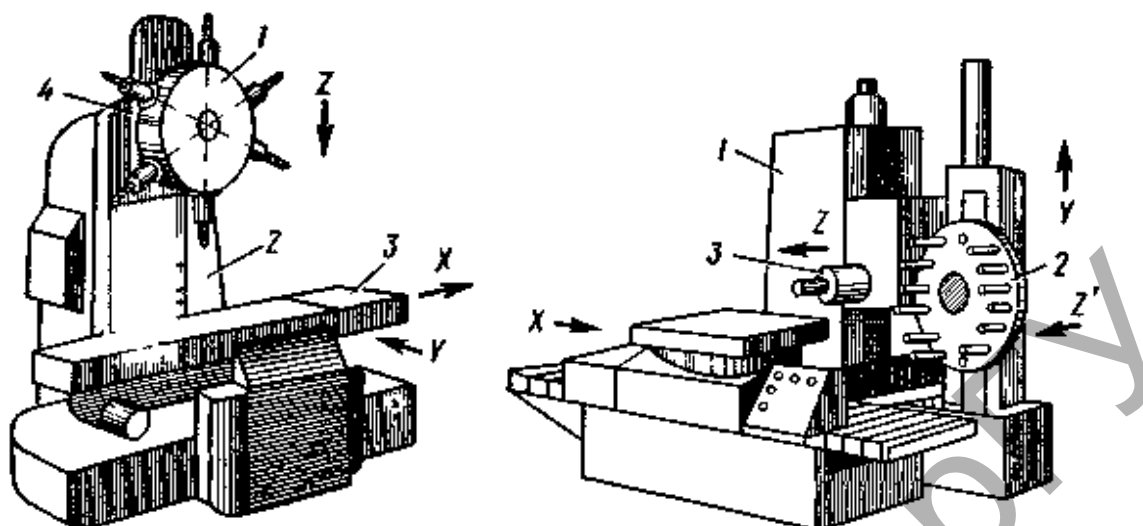


Рисунок 4.1 — Компоновка многооперационных станков на базе вертикально-фрезерного станка с револьверной головкой и горизонтально-расточного станка с магазином инструментов

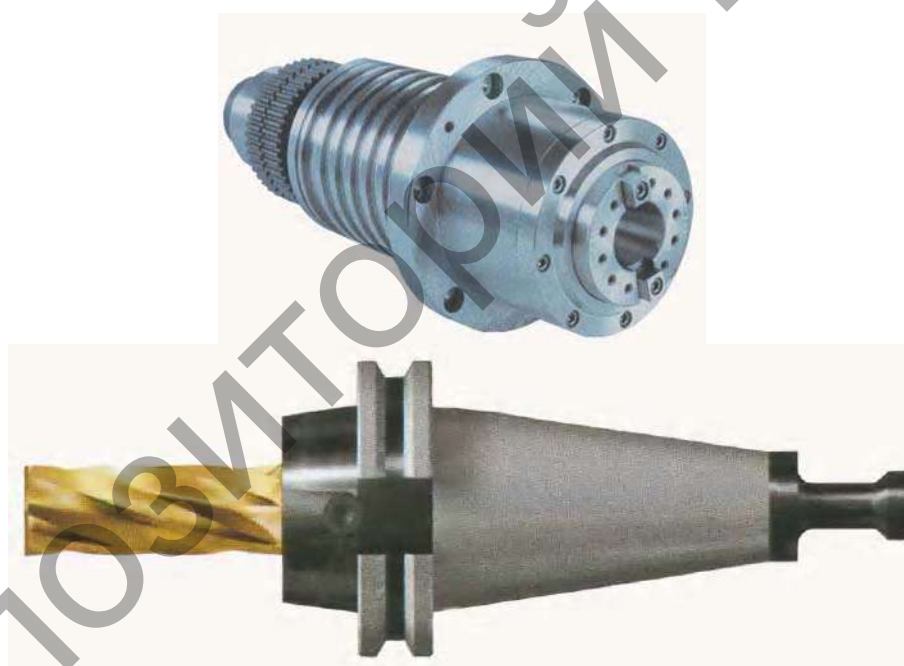


Рисунок 4.2 — Цилиндрический и конический хвостовики оправок для крепления инструмента

Крутящий момент от шпинделя на инструментальную оправку может передаваться торцевыми шпонками, но при этом надо ориентировать шпиндель и переходную оправку. Чтобы не применять специального механизма ориентации, оправку и шпиндель снабжают зубчатыми венцами, которые сцепляются при любом положении шпинделя. Оправка

затягивается в шпиндель проходящим через него штоком, имеющим на конце захватное устройство.

Механизмы автоматической смены инструмента по компоновочному и конструктивному исполнению делят на три группы:

а) с заменой всего шпиндельного узла (револьверные головки, магазины шпиндельных гильз);

б) со сменой инструмента в шпинделе станка (инструментальные магазины);

в) комбинированные (имеется и револьверная головка, и магазин).

В первом случае автоматическая смена инструментов осуществляется посредством индексирования револьверной шпиндельной головки или автоматической разгрузки и загрузки шпинделя оправками с инструментами из магазина с помощью автооператоров. Во втором и третьем — механизм смены инструмента включает магазин с хранящимися в нем инструментами. Если инструментальный магазин расположен далеко от шпинделя, станок снабжается дополнительным транспортным автооператором-перегрузателем. Замену инструмента в шпинделе станка производит автооператор.

Конструкции автооператоров весьма разнообразны. Наиболее простой служит для переноса инструмента из дискового магазина в шпиндель, когда их оси параллельны, а расстояние между положениями инструмента в магазине и шпинделе не превышает 250...300 мм, — это однозахватные автооператоры рычажного типа, совершающие одно простое вращательное (рис. 4.3, а, б) или поступательное движение.

Но чаще применяют *двухзахватные* автооператоры и *многозахватные*, которые делятся по виду их движения на автооператоры, выполняющие вращательное движение вокруг оси, параллельной или перпендикулярной к оси инструмента, или поступательное движение в плоскости, перпендикулярной к оси. Некоторые конструкции манипуляторов поясняют схемы, приведенные на рисунке 4.3. Преимущественное распространение получили автооператоры с использованием нескольких прямолинейных или вращательных движений, осуществляемых последовательно от независимых гидравлических или пневматических приводов, а также автооператоры с общим приводом, обеспечивающим заданное сочетание и последовательность нескольких движений

Двухзахватные механизмы автооператоров, в которых к моменту окончания какой-либо операции непосредственно у шпинделя располагается захватное устройство для снятия заменяемого инструмента, а вновь устанавливаемый инструмент уже подготовлен и находится во втором схвате, обеспечивают малое время (2...3 с) смены инструмента. Это достигается за счет совмещения с основным временем станка всех дополнительных движений автооператора, непосредственно не связанных

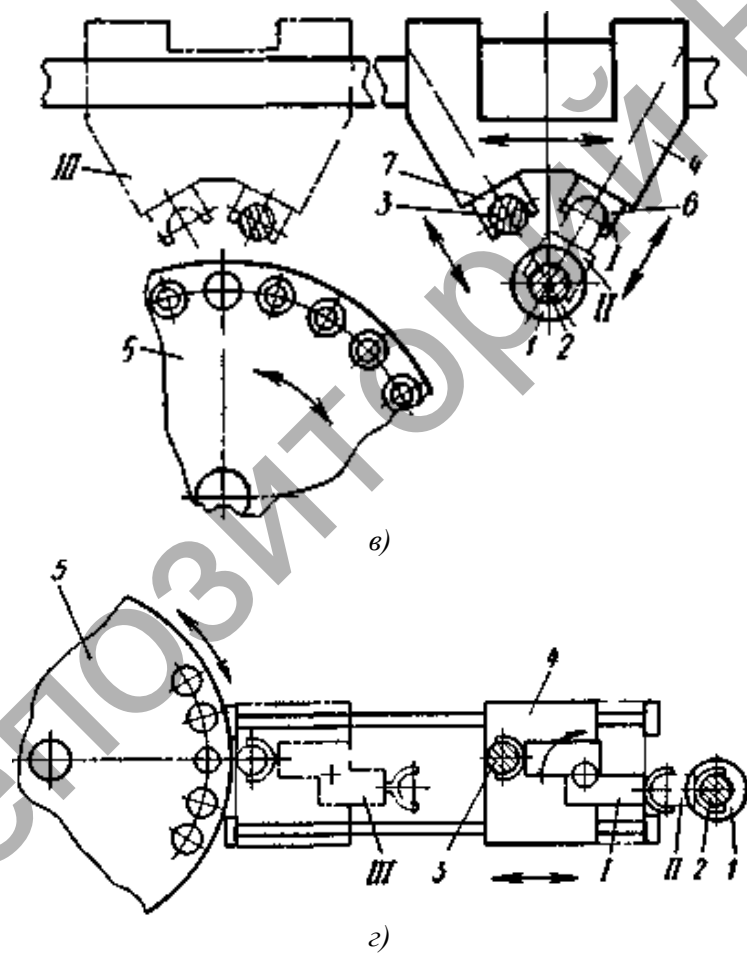
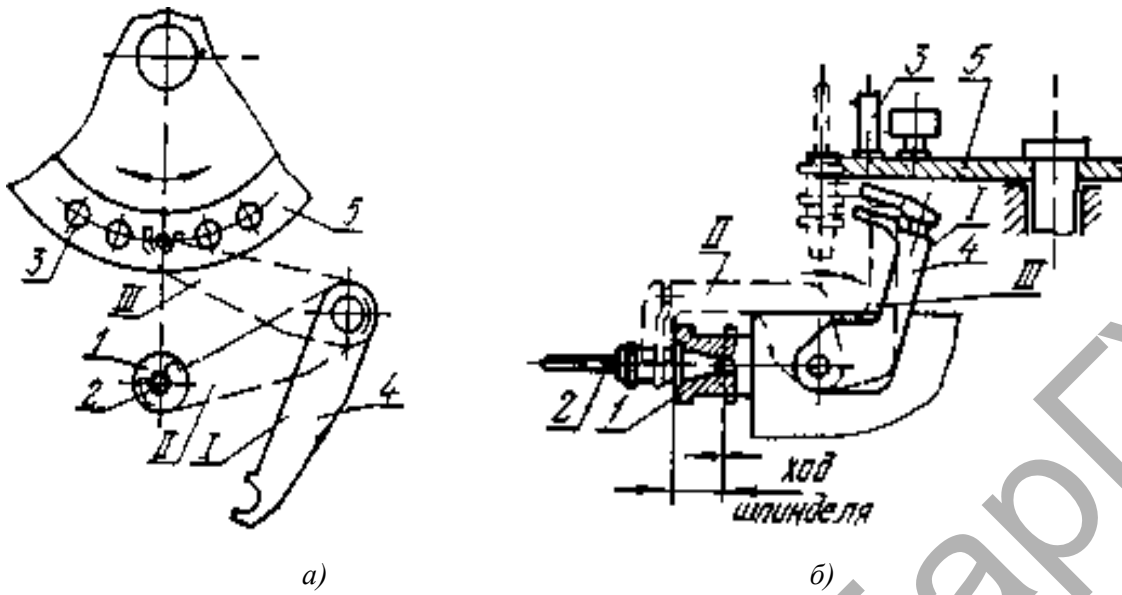
с перестановкой инструментов в шпинделе и обеспечивающих возвращение отработавшего инструмента в магазин, поворот магазина для поиска нового инструмента, захват и перенос данного инструмента к шпинделю.

Механизмы с двухзахватным автооператором, совершающим простые вращательные и поступательные перемещения, показаны на рисунке 4.3, *в, з, д*. Поворот производится мальтийским механизмом или с помощью гидроцилиндра и реечной передачи. Если оси инструментов в магазине и шпинделе не параллельны или направления этих осей противоположны, то применяют двухзахватные автооператоры, совершающие одновременно с переносом инструмента из магазина в шпиндель станка его поворот на 90° или 180° (рис. 4.3, *б*).

Многозахватные автооператоры с последовательными простыми движениями схватов применяют при частой смене небольшого числа инструментов. При размещении инструментального магазина на значительном расстоянии от шпинделя станка применяют схемы многозахватных автооператоров, обеспечивающих предварительное перемещение инструмента из магазина в промежуточную позицию, а затем из этой позиции в шпиндель станка. Для этого обычно используют дополнительный однозахватный автооператор, совершающий простое качательное, или возвратно-поступательное, или комбинированное движение относительно инструментального магазина.

Однозахватные автооператоры отличаются простотой конструкции, но производят замену инструмента за достаточно длительное время (до 10 с), которое можно сократить применением автооператора в комбинации с револьверной головкой.

Двухзахватные автооператоры с поступательным движением захвата (рис. 4.3, *в — и*), способные выполнять функцию транспортирования инструмента, используются в случае расположения инструментального магазина вне станка. При этом сокращается количество механизмов в устройстве смены инструментов и упрощается система управления. Широкое распространение получили двухзахватные автооператоры с вращательным движением захватов. Из них наиболее просты по конструкции автооператоры с радиальным зажимом инструментов (см. рис. 4.3, *ж*), но движение захвата по дуге окружности не позволяет располагать инструменты близко друг от друга. Когда инструментальный магазин находится близко от шпинделя, целесообразно применять автооператоры с комбинированным движением захвата (см. рис. 4.3, *е*). Для извлечения из шпинделя отработавшего инструмента и загрузки нового в направлении оси шпинделя может перемещаться как шпиндель (см. рис. 4.3, *б*), так и автооператор (см. рис. 4.3, *а, е*). В некоторых случаях (см. рис. 4.3, *ж*) в необходимое для смены инструмента положение поворачивается инструментальная оправка.



1 — шпиндель; 2 — заменяемый инструмент; 3 — новый инструмент; 4 — корпус автооператора; 5 — инструментальный магазин; 6 — захват;
 I, II, III — последовательное положение автооператора

Рисунок 4.3 — Схемы инструментальных автооператоров

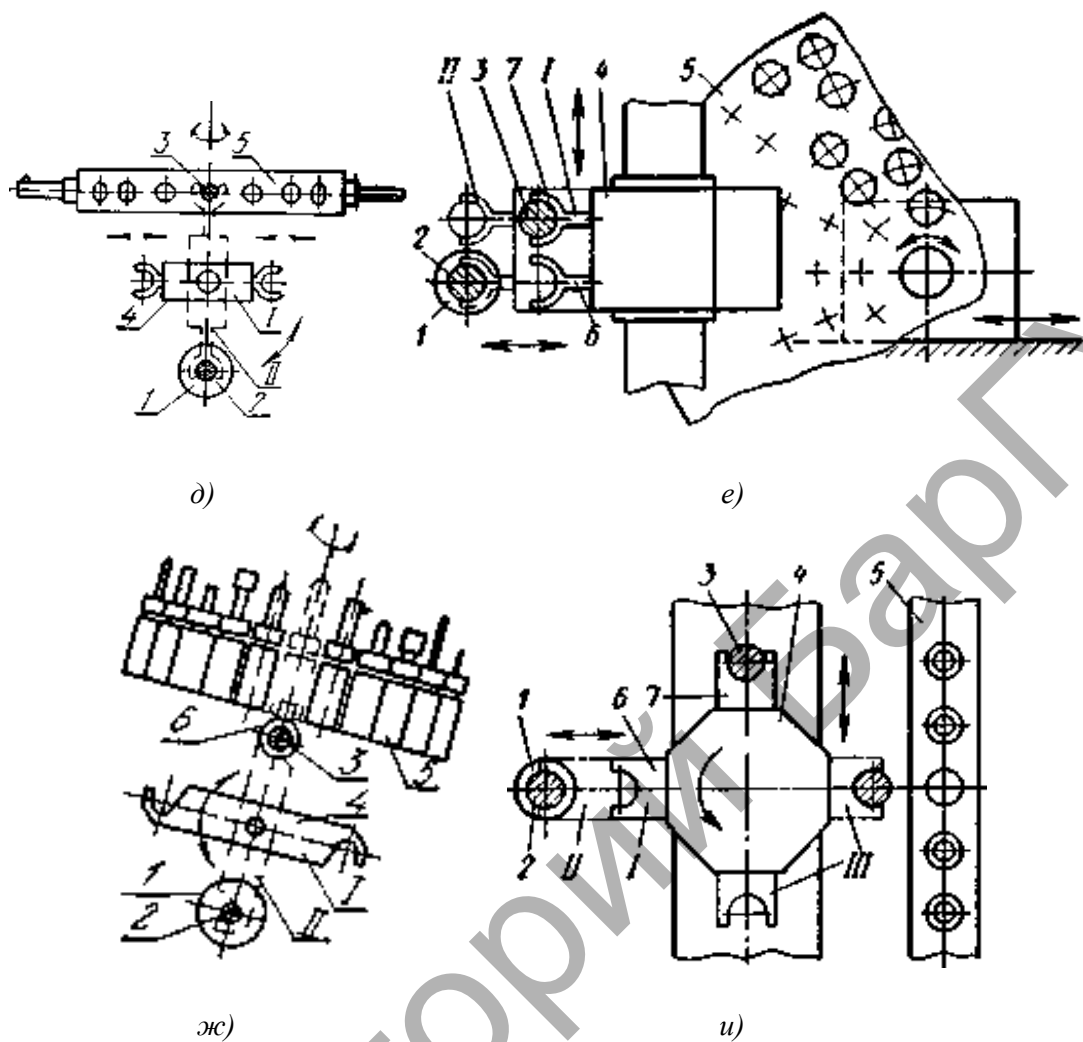


Рисунок 4.3 — Окончание

Применяют механизмы захвата, работающие по принципу радиального зажима с подпружиненным элементом (рис. 4.4, а, б), клещевые (см. рис. 4.4, б), тисочные и клещевые, работающие по принципу осевого зажима (рис. 4.4, в, г).

С целью ускорения смены инструментов в сочетании с инструментальным магазином применяется двухшпиндельная револьверная головка. Во время работы одного шпинделя в другом меняется режущий инструмент. По окончании технологической операции револьверная головка поворачивается на 180° и в течение 1...2 с в работу вступает новый инструмент (рис. 4.5).

Точные и ответственные, тяжелые и крупногабаритные инструменты (все неудобные для размещения в магазине), а также многшпиндельные головки на некоторых станках меняют вручную по команде программы.

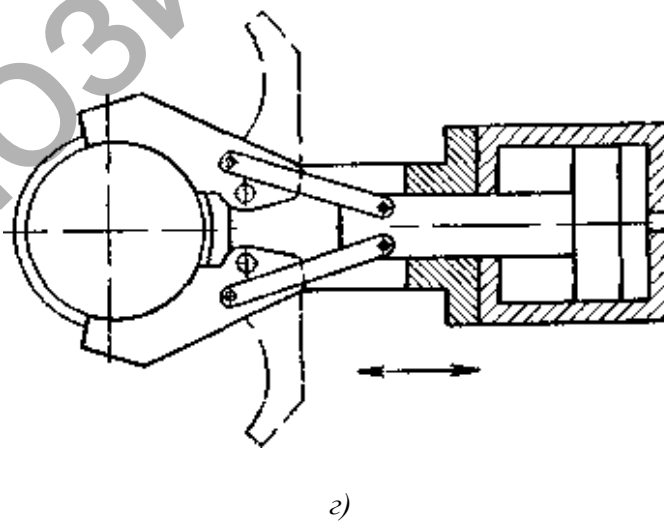
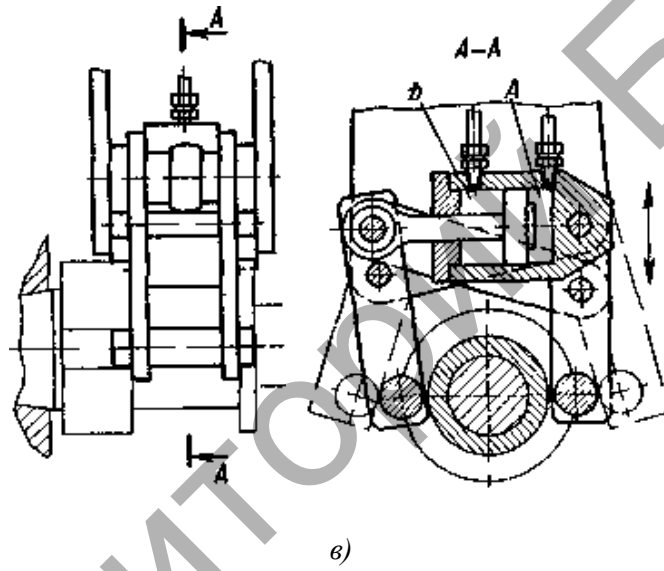
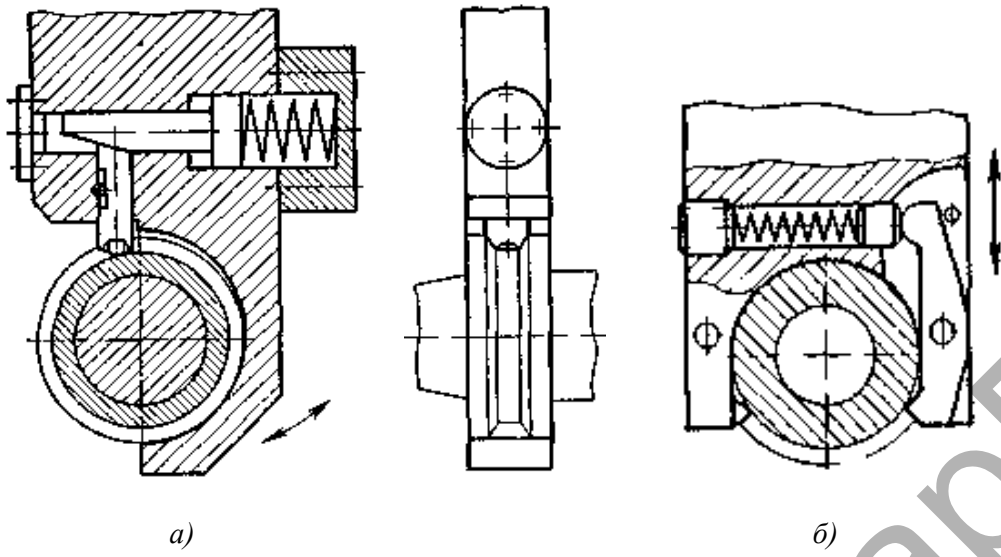
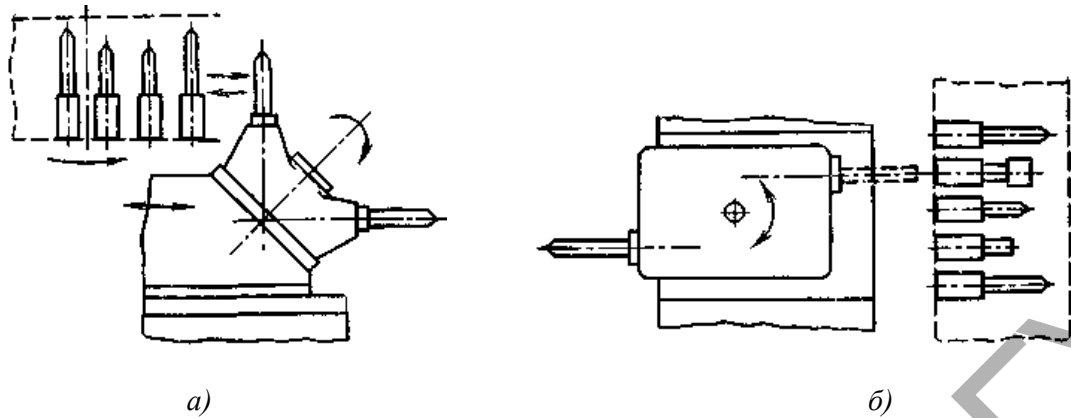


Рисунок 4.4 — Различные виды схватов



a — двухшпindelная головка для легких работ; *б* — двухшпindelная головка для тяжелых работ

Рисунок 4.5 — Револьверная головка для сокращения времени замены инструмента

На рисунке 4.6 показан наиболее распространенный способ автоматической замены инструмента с автооператором, расположенным между магазином и шпинделем. Автооператор имеет два захвата — для отработавшего и для нового инструментов. Автоматическая смена инструмента совершается в определенной последовательности.

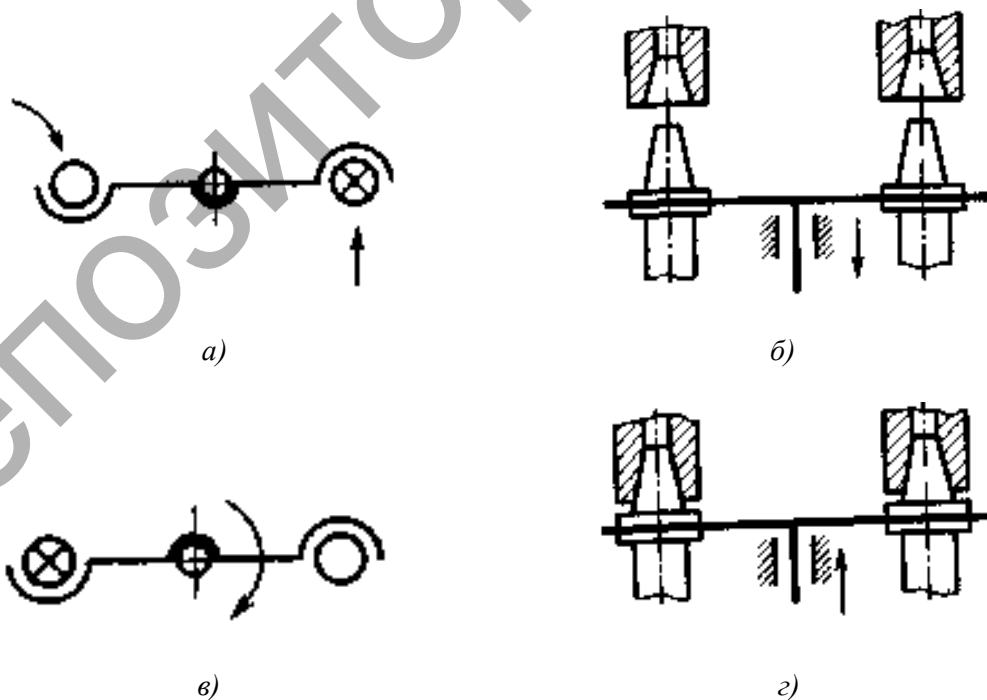


Рисунок 4.6 — Последовательность работы автооператора

По команде «начало цикла» механизм фиксации освобождает цепь магазина, включаются ее привод и система датчика поиска гнезда с заданным инструментом. Поиск ведется по кратчайшему пути при движении цепи в обе стороны. В конце поиска происходит замедление скорости движения цепи, затем механизм фиксации доворачивает ее и фиксирует гнездо. При наличии инструмента в гнезде подается команда на перемещение манипулятора к магазину, автооператор поворачивается из своего исходного положения и одновременно захватывает отработавший и новый инструменты (рис. 4.6, а).

Механизм зажима освобождает оправку в шпинделе. Включается двигатель автооператора. Происходит зажим инструментов в схватах руки. Автооператор перемещается в осевом направлении, извлекая предыдущий инструмент из шпинделя, а последующий — из магазина (рис. 4.6, б), затем поворачивается на 180° , меняя местами отработавший и новый инструменты (рис. 4.6, в), гнездо шпинделя, в которое будет установлена оправка с новым инструментом продувается сжатым воздухом для предотвращения попадания на посадочную поверхность грязи и автооператор перемещается в осевом направлении, посылая новый инструмент в шпиндель, а использованный — в гнездо магазина (рис. 4.6, г), схваты руки разжимаются. Механизм зажима закрепляет новую оправку в шпинделе. Автооператор, поворачиваясь, приходит в исходное положение. Весь цикл смены инструмента занимает 5...6 с и происходит при остановке шпинделя в определенном угловом положении для ориентирования торцовых шпонок, входящих в пазы фланца инструмента.

Устройства для передачи инструментов с помощью автооператоров при наличии промежуточной позиции и без нее получили в настоящее время наибольшее распространение. При установке инструментального магазина на столе станка удается простейшим образом превратить станок с ЧПУ в многооперационный. Но из-за больших затрат времени на смену инструментов, увеличения объема программы и уменьшения полезной площади стола станка эти механизмы не получили широкого распространения.

При расположении инструментального магазина на шпиндельной головке удастся упростить загрузку и транспортирование инструмента из магазина в шпиндель и производить смену инструментов в любом положении шпиндельной головки. Этот вариант дает большую жесткость шпинделя, хорошую точность, увеличенный рабочий ход, простоту и дешевизну, хотя ограничена емкость магазина (до 16 инструментов), рабочая зона загромождена соседними по магазину инструментами, при больших вылетах шпинделя снижается точность, а механизм смены инструментов нельзя сделать автономным, что его удорожает.

Замена инструмента в шпинделе при установке инструментального магазина на колонне станка (рис. 4.7, а) осуществляется перемещением

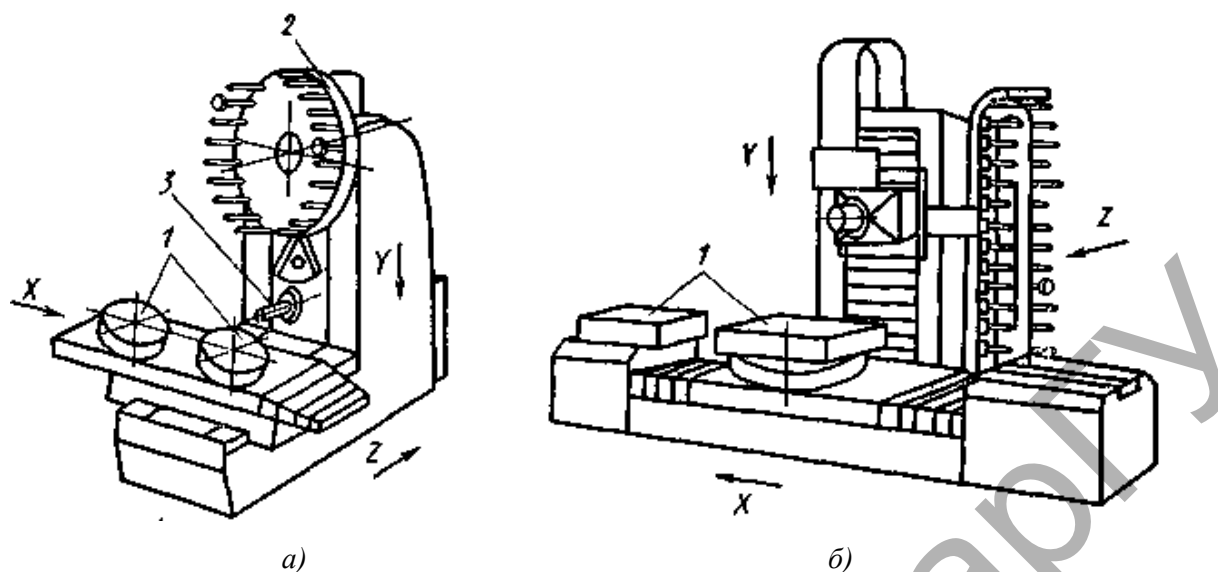


Рисунок 4.7 — Схемы вариантов замены инструмента

магазина к шпинделю по направляющим до совмещения оси пустого гнезда с осью шпинделя, изъятия инструмента, поворота магазина до совпадения с осью шпинделя оси необходимого инструмента, закрепления его в шпинделе и отъезда инструментального магазина в исходное положение. Когда инструментальный магазин устроен автономно, инструмент передается в шпиндель рукой автооператора, а при значительном расстоянии от магазина до шпинделя задействуется еще и транспортный манипулятор (рис. 4.7, б, 4.3, в). Транспортный манипулятор, или перегружатель, переносит оправку с очередным инструментом из гнезда магазина в позицию захвата автооператора, а отработавший инструмент — обратно (рис. 4.3, в, г, е). Перегружатель представляет собой клещи и транспортное устройство.

Устройства для закрепления инструментов в шпинделе станка (рис. 4.8—4.10). Для зажима фрезерных, сверлильных и расточных оправок в многоцелевом станке СС2В05ПМФ4 применяется механизм (рис. 4.8), находящийся внутри шпинделя и управляемый как автоматически по программе, так и вручную в наладочном режиме с пульта. На рисунке механизм изображен в зажатом состоянии. Закрепление оправки 1 производится усилием пакета тарельчатых пружин 8, удерживаемых на штоке 4 в сжатом состоянии конической прокладкой 9 и гайками 10. На левом конце штока 4 есть шариковый замок (в данном случае механизм зажима инструмента устроен аналогично конструкции широко применяемого быстросменного сверлильного патрона). Шток, перемещаясь внутри втулки 6, посредством шариков 7 закрепляет инструментальную оправку внутри шпинделя. Отжим инструмента выполняется с помощью кулачкового механизма отжима инструмента, расположенного на правом

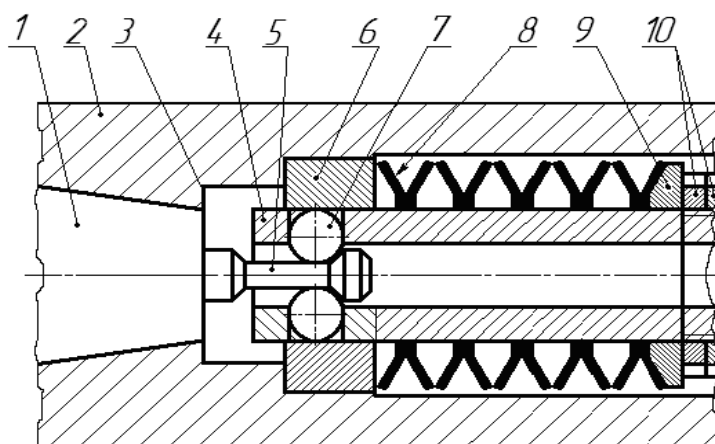


Рисунок 4.8 — Схема зажима инструмента в шпинделе станка с помощью шариков

торце шпинделя. Кулачок по команде ПУ совершает с помощью зубчатой передачи поворот на пол-оборота и при этом нажимает на правый конец штока 4, тем самым, сжимая пружины 8 и освобождая инструмент. При дальнейшем вращении кулачка шток освобождается и перемещается вправо, закрепляя инструмент или оставляя шпиндель свободным.

Механизм с тремя радиально расположенными сухарями 6 (рис. 4.9) применяется при больших усилиях резания. Затягивание оправки 1 в коническое отверстие шпинделя происходит при контакте сухарей с головкой винта 3, когда тяга 5 под действием пакета тарельчатых пружин 7 перемещается вправо, а втулка 4 при этом утапливает сухари. Пружина 7 прижимает втулку 4 к торцу расточки в шпинделе. Для очистки посадочного конического отверстия шпинделя через осевое отверстие в тяге 5 в момент перед установкой инструмента продувается воздух.

При больших усилиях зажима применяется как, например, в гибком производственном модуле модели ЛР400ПМФ4М механизм со скобами (рис. 4.10). Зажим инструмента, механизм которого расположен внутри шпинделя, производится автоматически в режиме программного управления. На рисунке механизм изображен в положении, когда инструмент зажат.

Зажим оправки 1 в шпинделе 2 производится усилием рабочего давления в цилиндре зажима-отжима через шомпол 13.

Замок состоит из четырех симметрично расположенных рычагов 4, постоянно поджатых к шомполу пружиной 5. Рычаги прилегают коническими поверхностями к конусу хвостовика оправки инструмента 3 (ввернутой в оправку), а цилиндрическими поверхностями — к внутренней поверхности шпинделя.

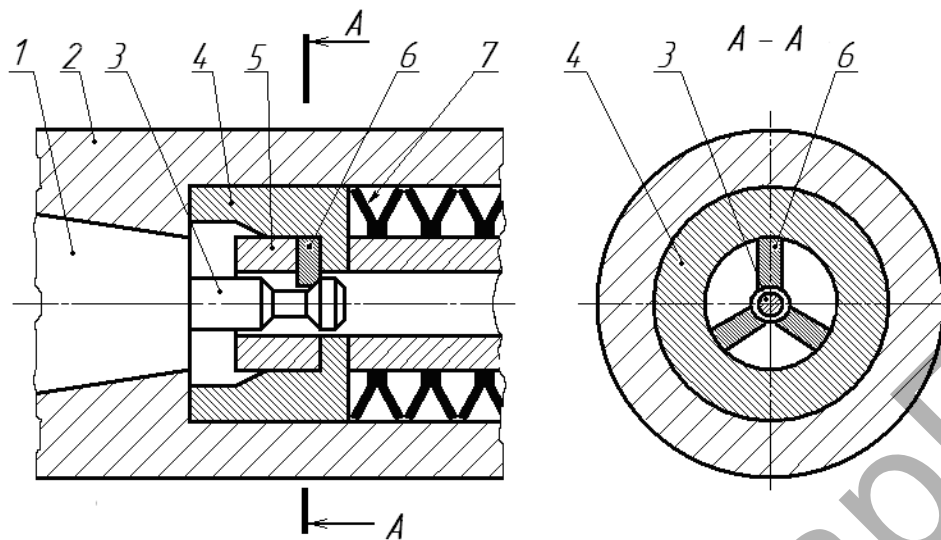


Рисунок 4.9 — Схема зажима инструмента в шпинделе станка с помощью сухарей

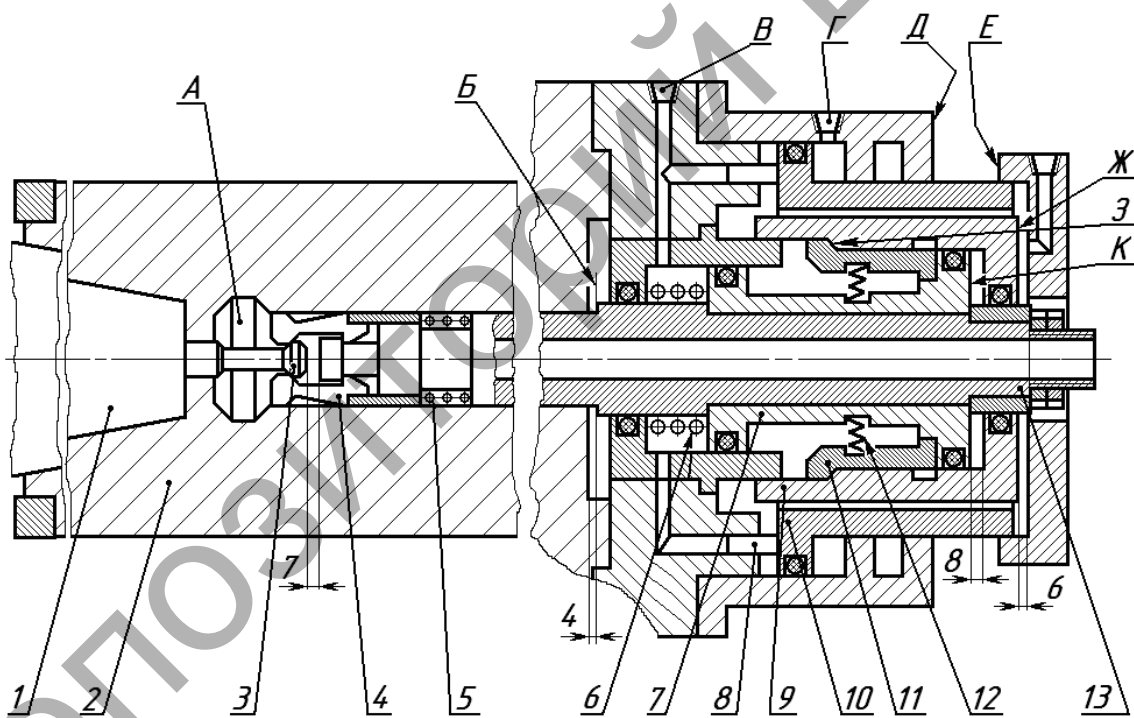


Рисунок 4.10 — Схема зажима инструмента в шпинделе станка с помощью скоб

По команде «отжим» масло под давлением подается в полость Г и поршень 10 перемещается влево на 6 мм до соприкосновения с поверхностью Ж. Затем вместе с поршнем начинает перемещаться втулка 9 на 8 мм до соприкосновения с поверхностью К. При этом втулка 9 своей конической поверхностью 3, преодолевая сопротивление пружин 12, выводит из горизонтального

положения три кулачка 11, блокирующие отжим инструмента при аварийном падении давления в полости зажима. Далее движение через втулку, жестко закрепленную на шомполе, преодолевая сопротивление пружины 6, передается на шомпол 13, который перемещается до упора поверхностей Д и Е. При этом рычаги перемещаются в положение «инструмент отжат», шомпол перемещается на 7 мм и своим торцом упирается в торец оправки 1, выталкивая ее. При удалении оправки конус хвостовика 3 раздвигает передние концы рычагов в зоне отверстия А шпинделя.

Зажим оправки происходит следующим образом: механизм находится в положении «отжато». Оправка автооператором вставляется в коническое отверстие шпинделя и рычаги 4 захватывают хвостовик 3 в свободном состоянии. По команде «зажим» масло под давлением подается в полость В и через поршень 8 давит на поршень 10, втулку 7 на шомполе (вместе со втулкой 9) и шомпол перемещается вправо, втягивая за хвостовик 3 оправку 1 в конус шпинделя 2.

При этом кулачки 11 под действием пружин 12 возвращаются в горизонтальное положение, механически блокируя перемещение шомпола влево и выпадение оправки из шпинделя при аварийном падении давления в цилиндре.

В положение «зажато без инструмента» шомпол, от положения изображенного на рисунке, переместится вправо на 4 мм до упора в торец Б.

Шпиндельное устройство (рис. 4.11), состоящее из гильзы 8 монтируется в стакане 9, который крепится на передний торец ползуна станка или на корпус шпиндельной бабки. На заднем торце шпинделя расположено зубчатое колесо 12, передающее крутящий момент, а на переднем торце — две шпонки 2, для базирования и вращения инструмента. Для герметизации полости, в которой расположены передние 5 и задние шпиндельные опоры, имеются лабиринтные уплотнения в виде колец 3, 4 и 11. Тарельчатые пружины 7 через шток 10 с помощью шариков 6 удерживают инструмент в шпинделе.

Все более широкое распространение находят шпиндельные устройства, изготавливаемые как отдельный модуль, который можно встраивать в различные станки.

Инструментальные магазины, имеющие конструкцию, зависящую от назначения самого станка, могут быть установлены на шпиндельной бабке, на станине — колонне, суппорте, вне станка на отдельной стойке и на столе станка (рис. 4.12). Каждый вариант имеет как положительные, так и отрицательные стороны.

Емкость *стационарного магазина*, установленного на столе станка при равной занимаемой площади, значительно больше поворотного магазина. Кроме того, магазин не требует дополнительных транспортных устройств. Недостатком стационарного магазина, установленного на столе

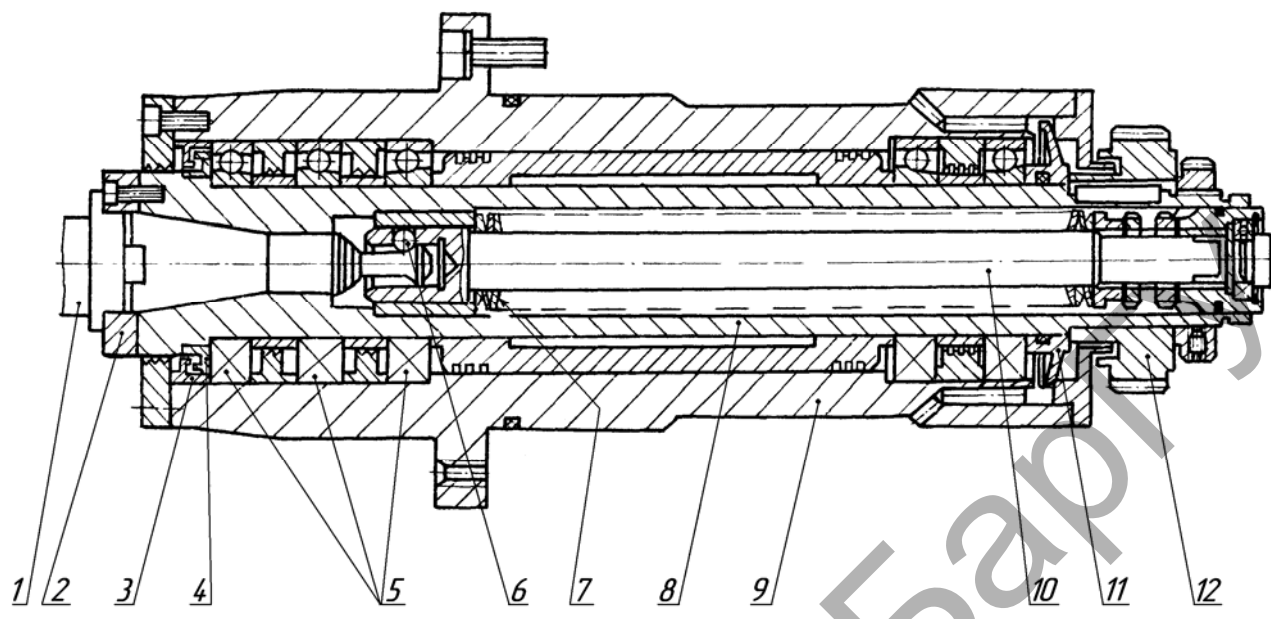
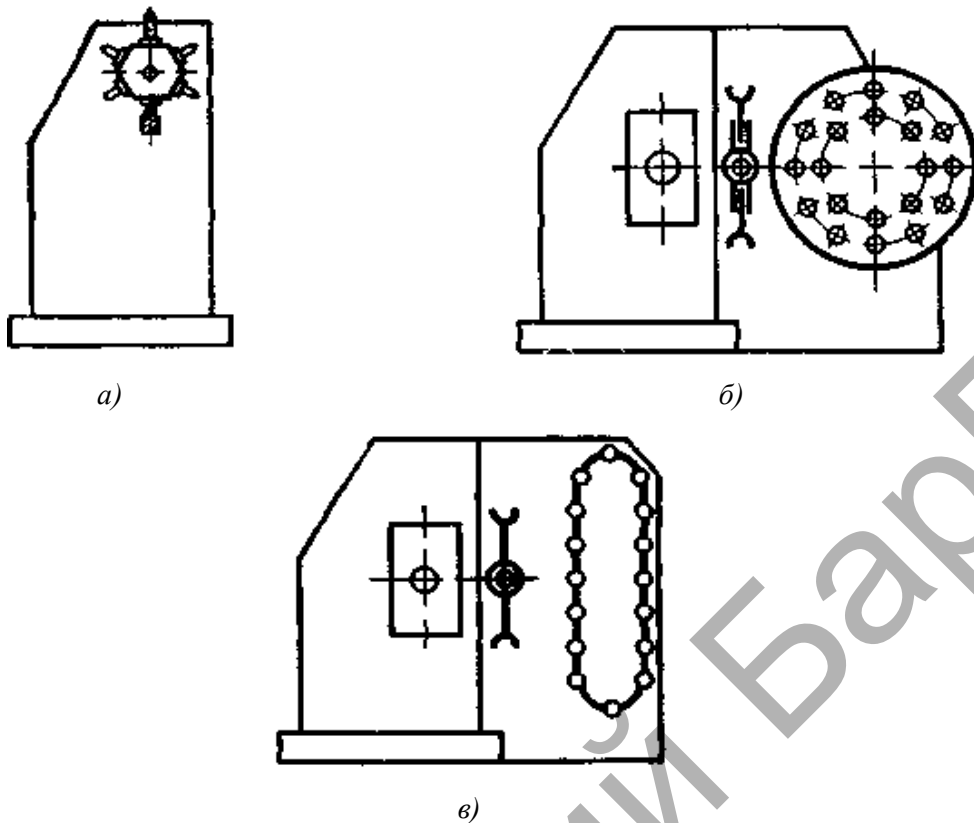


Рисунок 4.11 — Шпиндельное устройство

РЕПОЗИТОРИЙ БАРС



a — револьверная головка; *б* — дисковый магазин; *в* — цепной магазин

Рисунок 4.12— Основные виды накопителей режущего инструмента

станка является то, что движения при смене инструмента выполняются последовательно, и поэтому требуется большая затрата вспомогательного времени.

Наиболее распространенный *круглый поворотный магазин* тоже имеет недостаток — плохое использование размеров, так как инструменты располагаются только на периферии диска. За счет расположения инструментов на двух, а иногда и на трех, параллельных дисках значительно увеличивается емкость магазина.

Широко применяются *барабанные магазины с вертикальной осью вращения*. Инструменты в них располагаются радиально, параллельно оси барабана или по образующим конуса (рис. 4.13, *a* — *в*).

Находят применение *магазины с горизонтальной или наклонной осью* (рис. 4.13, *г*, *д*). С использованием барабанов строят многосекционные магазины, вмещающие до 100 инструментов (рис. 4.13, *е*, *ж*), которые целесообразны для инструментов больших размеров и сложной формы для тяжелых станков (рис. 4.14).

Большой объем характерен для *цепных инструментальных магазинов* (рис. 4.13, *и*, *к*) и поэтому они получили широкое распространение в

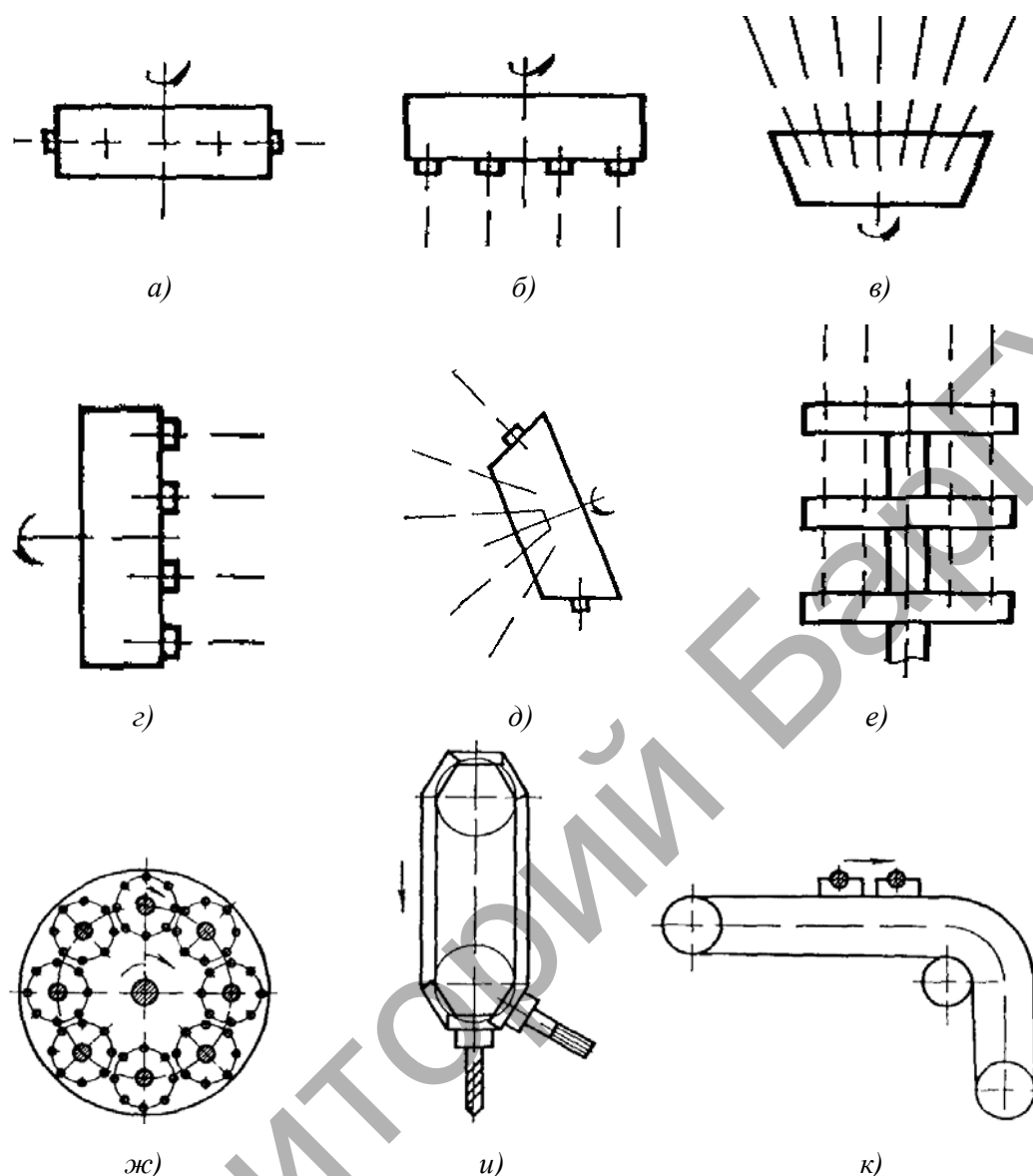


Рисунок 4.13 — Инструментальные магазины

многооперационных станках для фрезерных и сверлильно-расточных операций. Цепные магазины выполняются в виде цепи, на звеньях которой закрепляют гнезда для инструментов, и удобны тем, что их конфигурация легко приспособляется к станку.

На сравнительно простых многоцелевых станках автоматическая смена инструментов осуществляется с помощью *револьверных головок*, которые могут нести 6—10 инструментов. Головки имеют горизонтальную или наклонную ось вращения. Недостаточная их жесткость не позволяет осуществлять тяжелые режимы работы. Револьверные головки применяют на станках, имеющих компоновку вертикально-сверлильных, вертикально-фрезерных и продольно-фрезерных станков, а также на токарных станках.

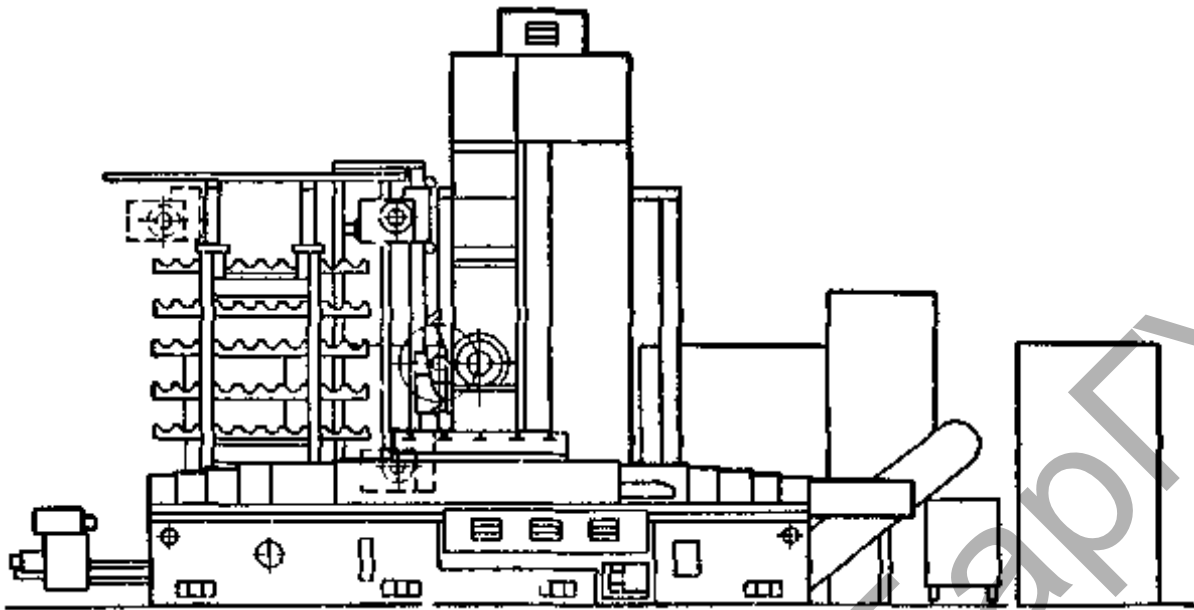


Рисунок 4.14 — Многооперационный станок с многоярусным магазином для инструментов

Способы передачи инструментов из магазина к шпинделю станка зависят, в основном, от емкости магазина. Если инструментальный магазин большой вместимости представляет собой автономное устройство, то дополнительно имеются автоматические транспортирующие механизмы, транспортные манипуляторы или тележки для перемещения выбранного в магазине инструмента в позицию захвата его автооператором и возврата заменяемого инструмента в магазин. Существует конструкция, в которой из неподвижного магазина на 300 инструментов дополнительным автооператором 10—12 инструментов передаются на специальную тележку, которая перемещает их в место, доступное автооператору, обслуживающему шпиндель станка.

Конструктивная схема устройства передачи инструментов в значительной степени зависит от типа магазина, который, в свою очередь, определяется числом размещаемых инструментов. При относительно небольшой вместимости (не более 20—25 шт.), когда применяют дисковые инструментальные магазины, размещаемые непосредственно на шпиндельной бабке станка, передача инструмента не требуется. Просто в заданный момент диск поворачивается в такое положение, в котором нужный инструмент окажется в зоне работы автооператора.

При большем числе инструментов (до 40—50 шт.) и использовании многосекционных барабанных или планетарных магазинов, установленных непосредственно на станке или на отдельной стойке, возможны два варианта: наличие транспортного автооператора или его отсутствие, — в зависимости от расстояния от шпинделя до ближайшей

ячейки магазина. Для этого обычно используют однозахватный автооператор. При необходимости изменения ориентации инструментальной оправки перед установкой ее в шпиндель станка или магазин устройство смены оснащают специальным однозахватным автооператором-кантователем.

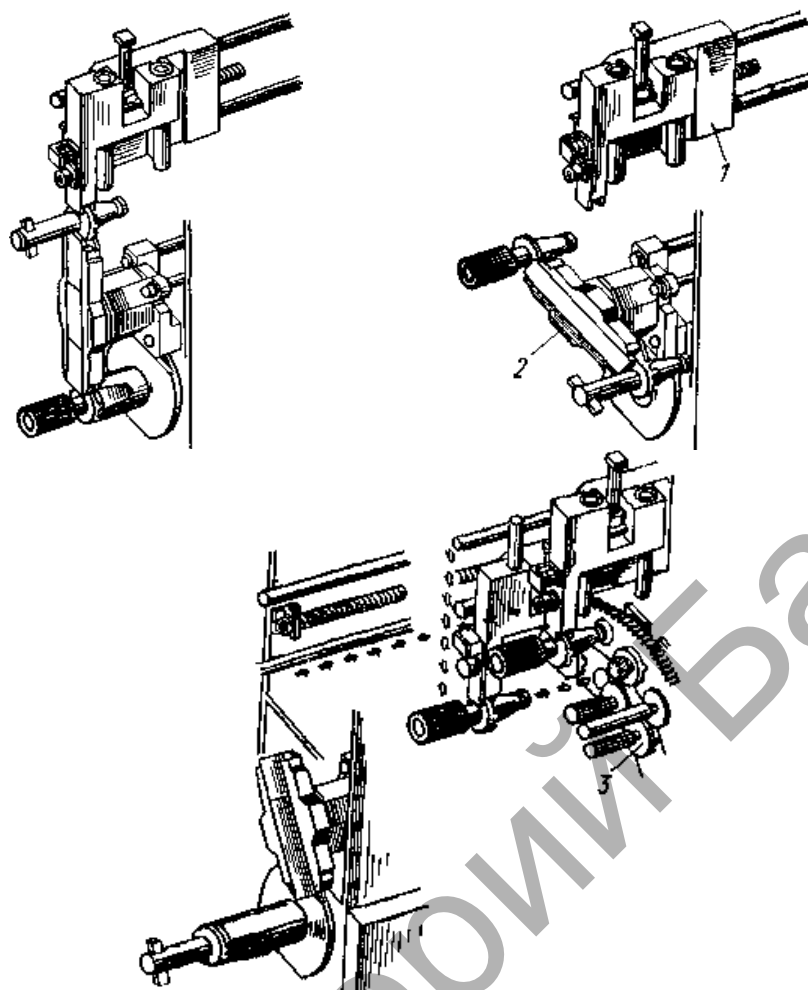
При дальнейшем увеличении вместимости (до 100—140 инструментов и более), когда применяют цепные магазины, устанавливаемые на колонне станка или на отдельном основании и изготавливаемые в виде автономных агрегатов, чаще используется транспортный и загрузочный автооператоры.

Весьма перспективна схема инструментального магазина, в котором инструменты располагаются в ячейках на плоскости как бутылки в ящике, а легкий транспортный порталый автооператор переправляет инструмент в зону его замены. Вполне возможно сделать такой магазин двух- и трехэтажным.

Малое время смены инструмента достигается совмещением с основным временем работы станка всех дополнительных движений автооператора, непосредственно не связанных с перестановкой инструментов в шпинделе. Это возвращение отработавшего инструмента в магазин, поворот магазина для поиска нового инструмента, захват и перенос данного инструмента к шпинделю. При необходимости частой смены небольшого числа инструментов применяют многозахватные автооператоры.

На рисунке 4.15 показана схема транспортного устройства фирмы “Giddings — Lewis” (США). Сначала транспортная тележка забирает инструмент из магазина и переносит к двухзахватной руке, которая меняет инструмент, а затем использованный инструмент переносит и вставляет в гнездо магазина.

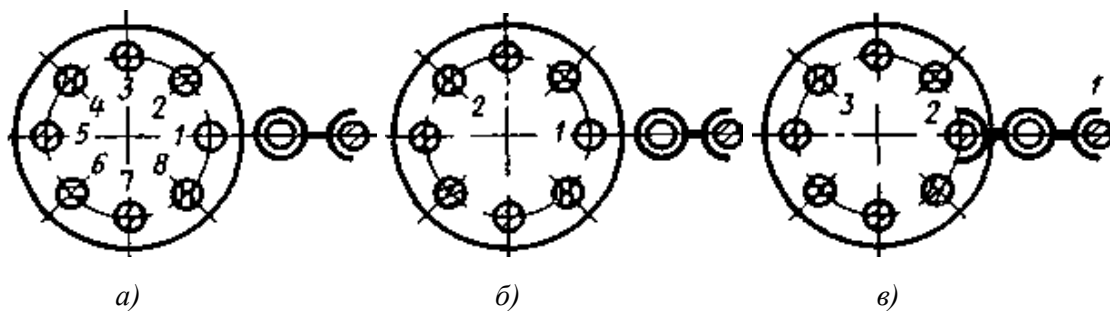
Если, применяя инструментальный магазин, инструменты располагают по порядку использования, то при обмене инструментами между шпинделем и гнездом магазина порядковая нумерация не нарушается, однако инструменты в магазине постепенно смещаются на один шаг. Повторное использование инструментов возможно путем их ручной перестановки в свободные гнезда, что усложняет обслуживание и увеличивает возможность ошибок при перестановке инструментов. Поэтому располагать инструменты в магазине в порядке их очередности можно только для операции, где общее число их невелико. В многооперационных станках число используемых в работе инструментов достигает нескольких десятков. В связи с этим возникает необходимость такого *кодирования инструмента* в магазине, которое допускало бы автоматическое распознавание нужного инструмента и выбор каждого последующего инструмента по сигналам программного управления.



1 — транспортная тележка; 2 — двухзахватная рука;
3 — двухрядный магазин

Рисунок 4.15 — Схема устройства для смены инструментов на станке фирмы “Giddings — Lewis”

Опознавание (идентификация) режущих инструментов при их автоматической смене возможны на основе трех принципиальных схем, представленных на рисунке 4.16. Первая из этих схем (рис 4.16, а) уже названа и предусматривает постоянную последовательность использования инструментов и по существу не годится для станков с ЧПУ. Во второй схеме (рис 4.16, б) за каждым инструментом закреплено соответствующее вполне определенное место в магазине. При этом неизбежны потери времени на смену инструмента, так как удаление использованного инструмента и установка новой могут осуществляться только последовательно и не могут быть совмещены во времени с рабочей операцией обработки на станке. При третьей схеме (рис. 4.16, в) очередной инструмент вынимается из магазина, а на освободившееся место ставится использованный инструмент.



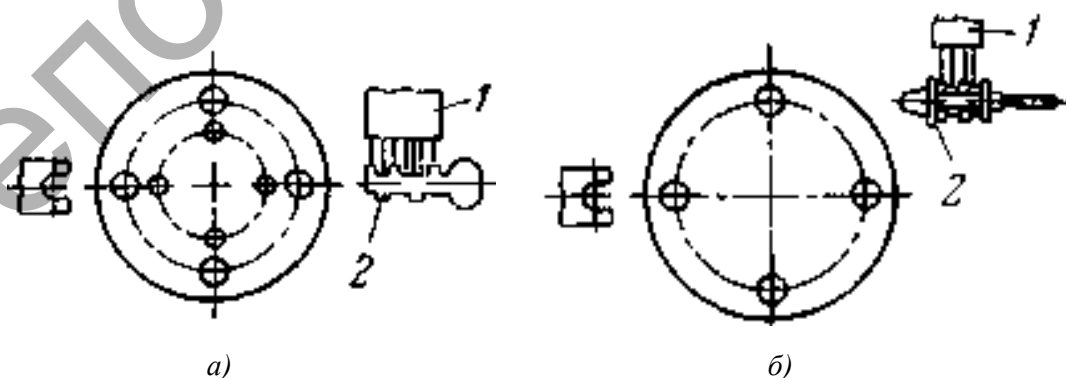
a — с фиксированной программой; *б* — с фиксированными местами для каждого инструмента; *в* — с индивидуальным кодом у каждого инструмента

1—8 — позиции инструмента

Рисунок 4.16 — Схемы кодирования инструментов в магазине

Для поиска инструмента требуются какие-то идентификационные знаки, однозначно определяющие для УЧПУ какой инструмент нужен. Их можно нанести или на гнездо магазина, где находится нужный объект, или на сам инструмент. Осуществляется это разными методами.

Кодирование гнезд магазина выполняют либо кодовыми ключами (рис. 4.17, *a*), устанавливаемыми в специальные замки рядом с соответствующим инструментом, либо кодовым барабаном с набором кулачков, который установлен в хвостовой части вала магазина и механически связан с его приводом. Не обязательно, чтобы эти ключи были механическими. Это могут быть чипы. Этот метод сокращает время поиска инструмента, но увеличивает время на установку в магазин отработавшего инструмента и усложняет управление поиском. При таком отделении кода от инструмента возможна ошибка, когда в гнездо с кодом сверла будет установлен метчик.



1 — считывающее устройство; *2* — кодовые кольца и ключ

Рисунок 4.17 — Схема поиска из магазина кодированного инструмента (*a*) и схема выбора инструментов из магазина по системе кодового ключа (*б*)

Еще по одной схеме инструментальные оправки кодируют кольцами, помещаемыми на цилиндрической части (рис. 4.17, б), или протачиваемыми на ней канавками. Каждый инструмент имеет свою комбинацию колец. Инструменты с закодированными оправками помещают в магазин в произвольной последовательности. Отработавший инструмент устанавливается в любое гнездо. Нужный по программе отыскивается во время работы станка поворотом магазина до момента его совмещения со считывающим устройством. В этот момент магазин останавливается и производится замена инструмента в шпинделе. Этот способ позволяет располагать инструмент произвольно, нет необходимости в поиске соответствующего места для предыдущего инструмента при возврате его в магазин, но усложняется конструкция самой инструментальной оправки, снижается жесткость и увеличивается масса инструментального магазина.

Более современными являются способы кодирования и поиска инструментов с использованием фотоэлектрических, электромагнитных и других физических эффектов, позволяющие достичь наибольшей компактности конструкции устройства при меньших затратах. Для кодирования инструмента в определенном месте нерабочего участка инструментальной оправки прикрепляют небольшую этикетку, например, с ферромагнитным слоем или штриховой шкалой, в котором записаны не только код инструмента, но и материал режущей части, настроечные размеры, рекомендуемая стойкость и т. д., как у фирмы “Balluff” из ФРГ.

Устройства передачи инструментов без использования автооператоров обычно выполняются либо в виде револьверной головки с набором шпинделей (рис. 4.18, а, б), либо в виде магазина, в котором размещаются шпиндельные гильзы (рис. 4.18, в). *Магазины шпиндельных гильз* бывают барабанными и кольцевыми, или линейными. При одинаковых диаметрах гильз в них смонтированы быстроходные шпиндели для легких работ и жесткие шпиндели для тяжелых работ. Гильзы поочередно занимают рабочее положение, при этом шпиндель соединяется с приводом главного движения, а гильза — с приводом подачи. К достоинствам такого способа смены инструментов надо отнести надежное и точное ручное крепление инструментов в шпинделях, достаточно большое количество инструментов, малое время смены инструмента (2,4...3 с), но из-за ограниченности рабочего объема станка, высокой стоимости, низкой точности обработки такие механизмы не получили распространения.

Револьверные инструментальные головки (рис. 4.18, а) широко применяют на станках токарной группы. Для расширения технологических возможностей многооперационных станков токарного типа их нередко снабжают несколькими револьверными головками с

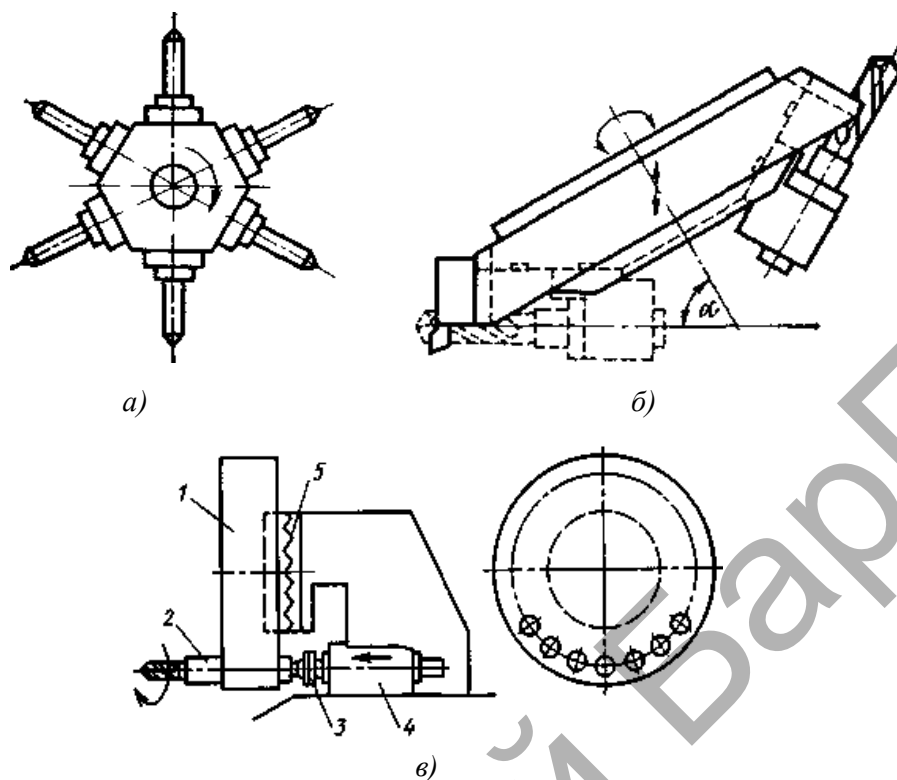


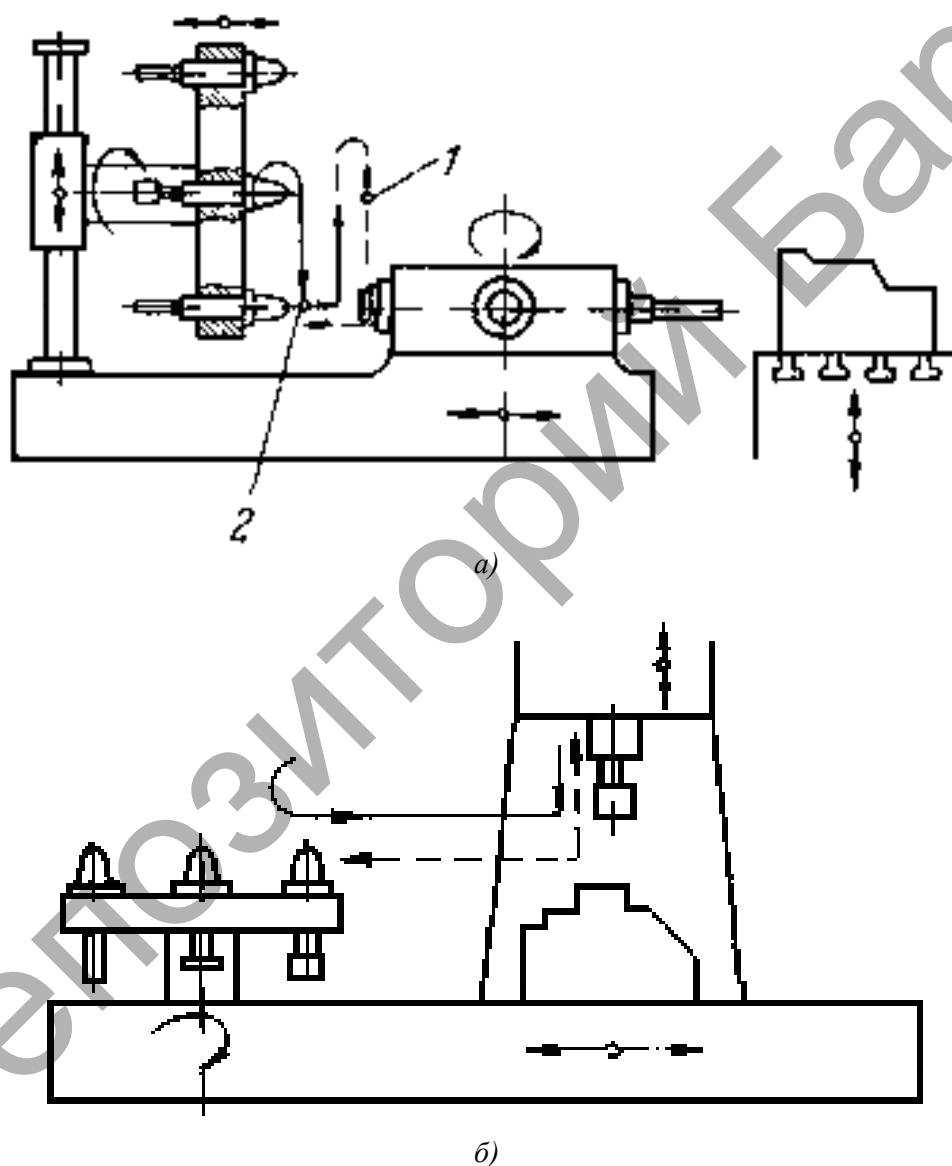
Рисунок 4.18 — Устройства передачи инструментов без использования автооператоров

независимым приводом. Головки представляют собой несколько инструментальных шпинделей, расположенных в общем корпусе, который за счет поворота и индексации осуществляет смену инструмента в рабочей позиции. При этом смена инструмента с помощью револьверной головки может производиться при неподвижных в осевом направлении шпинделях и при осевой подаче, сообщаемой салазкам головки. Смена заблаговременно укрепленных инструментов, осуществляется индексацией корпуса головки за короткое время (0,15...4 с), при минимальных вложениях для переделки обыкновенного станка в многооперационный и при возможности установки как легких, так и тяжелых шпинделей. Но число инструментов (обычно не более 6... 12 позиций), как и рабочая зона, ограничено, мала жесткость и точность сравнительно коротких шпинделей.

Представляет интерес конструкция револьверной головки, показанной на рисунке 4.18, б. Ось ее наклонена относительно оси шпинделя под углом $\alpha = 60^\circ$ и обе они лежат в одной плоскости. Данная конструкция позволяет при относительно небольшом диаметре револьверной головки располагать на ней 12 инструментальных шпинделей; несколько повышается жесткость и сокращается продолжительность вспомогательного времени перемещения головки к обрабатываемой заготовке.

Имеются конструктивные решения механизма смены инструментов без применения загрузочных и транспортных устройств, когда перемещают непосредственно магазин (рис. 4.19, а) или шпиндельную бабку (рис. 4.19, б).

Устройства для механизированной и автоматизированной загрузки заготовок в рабочую зону стола станка. Заготовки, обрабатываемые на многоцелевом станке, устанавливаются непосредственно на его столе или закрепляются в приспособлении-спутнике, еще называемом палетой. Зажим обрабатываемых деталей производится как вручную, так и автоматически.



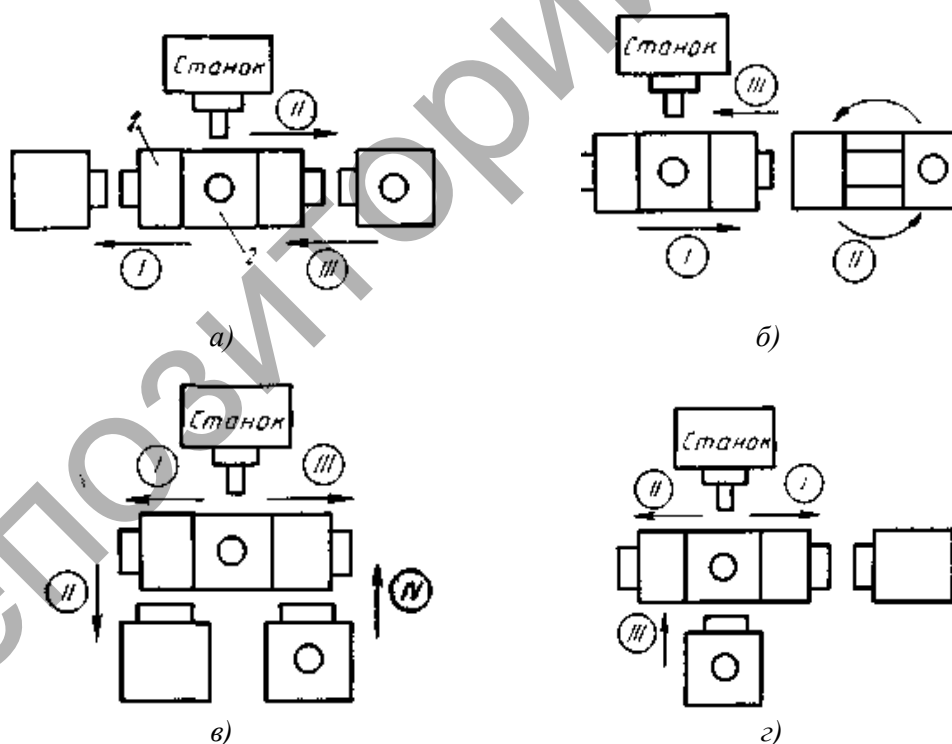
1 — позиция загрузки; 2 — позиция разгрузки

Рисунок 4.19 — Схема смены инструментов без применения загрузочных и транспортных устройств

Способ смены заготовки может оказать решающее влияние на компоновку станка (например, применение двух поворотных столов или сменных поворотных столов). Индексация поворотных столов выполняется прецизионной, чтобы обеспечить соосность отверстий, растачиваемых с двух противоположных сторон обрабатываемой детали, а также перпендикулярность и параллельность обработанных плоскостей. Обычно индексирующиеся поворотные столы имеют четыре или восемь позиций, но иногда это число достигает 72.

На станках типа «обрабатывающий центр» обычно применяются приспособления, собранные из универсальных элементов, а время, затрачиваемое на смену заготовок, сокращается путем совмещения смены заготовки с работой станка. Это достигается следующими способами:

а) на столе предусматривается загрузочная позиция. Например, во время обработки заготовки, установленной на одном поворотном столе, следующую заготовку закрепляют на другом (рис. 4.20, а), который в нужный момент сдвигается на рабочую позицию. Этот способ обработки называется маятниковым, или челночным;



I—IV — последовательность перемещения; I — стол станка;
2 — обрабатываемая заготовка

Рисунок 4.20 — Схемы двухместных устройств автоматической смены заготовок на многооперационных станках

б) применяется двухпозиционный поворотный стол или многопозиционный барабан с загрузочной позицией;

в) во время обработки одной заготовки следующая закрепляется на плите-спутнике (паллете). По окончании цикла плита-спутник быстро зажимается в простейшем приспособлении на столе станка. Этот способ применяется при обработке небольших и средних заготовок. Плиты с крупногабаритными заготовками перемещаются краном;

г) быстрая смена плит-спутников (рис. 4.20, б, в) производится путем их сдвига с рабочего стола на вспомогательные столы II или IV. Там обработанную деталь снимают, закрепляют новую заготовку, а в это время на рабочей позиции производится обработка. Плиты-спутники перемещаются по рольгангам или на воздушной подушке вручную, а также с помощью гидравлических толкателей. Сменные плиты могут применяться при невысоких требованиях к точности обработки;

д) централизованное складирование заготовок, их транспортировка и установка на спутниках обычно осуществляются вне станка. В последнее время находят применение устройства, встроенные в станок или связанные с ним и обеспечивающие смену обрабатываемых деталей. Так на многооперационных станках для обработки корпусных деталей широко используются двух- и многоместные загрузочные столы, которые дают возможность во время обработки детали установить следующую в непосредственной близости от рабочей зоны. Компоновка и конструктивное решение двухместных загрузочных устройств (см. рис. 4.20) для автоматической смены заготовок могут варьироваться;

е) многоместные устройства для автоматической смены заготовок (рис. 4.21) выполняют еще дополнительно функцию накопителей, позволяя создавать задел заготовок для обеспечения бесперебойной работы станка с течение одной-двух смен. При этом станок частично превращается в автономный технологический модуль.

Токарные многоцелевые станки (рис. 4.22) призваны снизить трудозатраты на механическую обработку тел вращения, составляющих примерно половину всей номенклатуры обрабатываемых деталей. После обработки на однооперационных токарных станках с ЧПУ только 15% таких деталей приобретают окончательные формы и размеры. Остальные детали должны подвергаться сверлению, зенкерованию, развертыванию, резьбонарезанию, фрезерованию и др. Поэтому в последнее время широкое распространение получают токарные обрабатывающие центры, предназначенные для выполнения всех перечисленных операций. Они оснащены одной — четырьмя 12—16-местными револьверными инструментальными головками, часть или все позиции которых имеют индивидуальные приводы вращательного движения для установки осевого инструмента (сверл, метчиков, зенкеров, разверток) и фрез (см. подраздел 3.3).

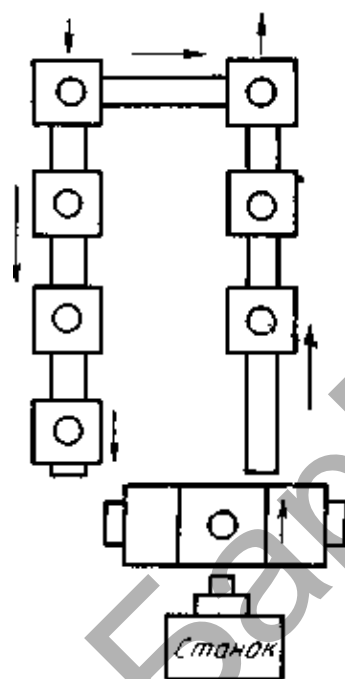
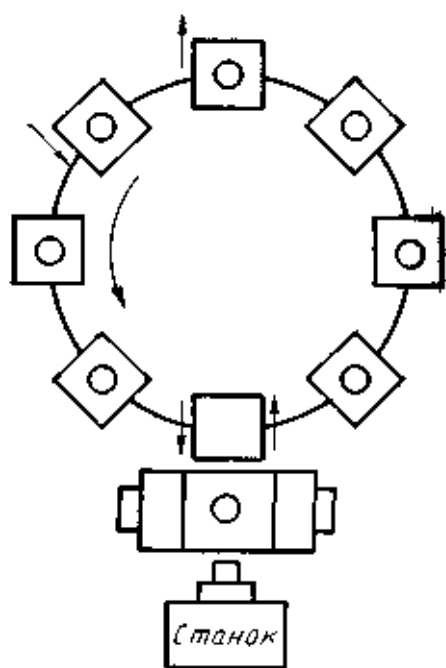


Рисунок 4.21 — Схемы многоместных устройств автоматической смены заготовок на многооперационных станках



Рисунок 4.22 — Станок модели 1П420ПФ40

На таких станках можно комплексно обрабатывать сложные соосные и несоосные поверхности вращения, а также плоские фасонные поверхности за одну установку разными инструментами. По сравнению с универсальными станками, обработка деталей на токарных обрабатывающих центрах позволяет повысить производительность труда в 8—10 раз, снизить себестоимость и количество станков, нужных для обработки, в 2,8—3 раза.

Операции, выполняемые на токарных многооперационных станках, рассмотрим на примере станка модели 1П420ПФ40, предназначенного для токарной и доделочной сверлильно-фрезерной обработки деталей типа тел вращения из стали, чугуна и цветных сплавов из прутка диаметром до 50 мм в автоматическом цикле, а также штучных заготовок диаметром до 200 мм в полуавтоматическом цикле в условиях мелкосерийного и серийного производства. Станок имеет автоматический гидрофицированный механизм зажима заготовок (диаметром до 200 мм) в трехкулачковом патроне (рис. 4.23), привод вращения шпинделя от двигателя постоянного тока мощностью 22 кВт, приводы подачи от высокомоментных электродвигателей, возможность токарной обработки с большими усилиями резания и на высоких скоростях. Станок позволяет выполнить:

- полную токарную обработку, включая криволинейные поверхности;

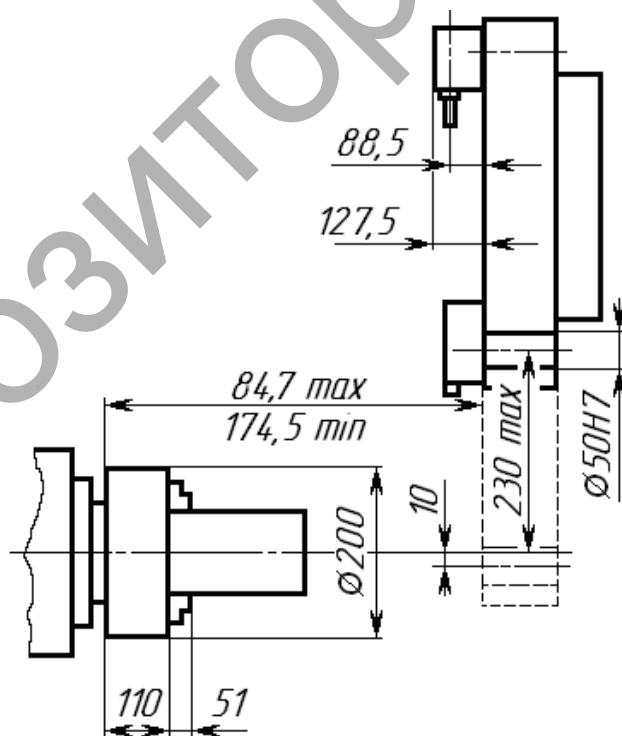


Рисунок 4.23 — Рабочее пространство станка 1П420ПФ40

- обработку внецентровых отверстий с нарезанием резьбы на торце и по периферии детали, фрезерование прямолинейных и криволинейных пазов, а также лысок и кулачков;

- обработку с помощью осевых и ортогональных сверлильно-фрезерных головок для вращающегося инструмента в любой из 12 позиций револьверной головки.

Шесть позиций револьверной головки имеют индивидуальный привод для вращающихся инструментов. Привод головки — гидромеханический с фиксацией на плоских зубчатых колесах — обеспечивает высокую точность ее положения в процессе работы. Вращающиеся инструменты в револьверной головке и механизм позиционирования шпинделя (через 1°) позволяют, кроме полной токарной обработки, производить разные сверлильные и фрезерные операции на торце и периферии детали.

Компоновка станка отвечает требованиям повышенной жесткости. Станок смонтирован на трубчатой литой чугунной станине с наклонными закаленными прямоугольными направляющими. Крестовый суппорт имеет механизм уравнивания двухкоординатной револьверной головки. На всех направляющих наклеены накладки из наполненного фторопласта для уменьшения сил трения при перемещении и улучшения характеристик разгона-торможения. В совокупности с шариковыми винтовыми передачами они обеспечивают высокую точность перемещения рабочих органов в процессе длительной эксплуатации станка.

Перемещение суппорта по оси X (перпендикулярно к оси вращения заготовки) осуществляется от высокомоментного электродвигателя М2 (рис. 4.24) через зубчатую ременную передачу (шкивы 9, 10) и шариковую винтовую передачу 7. Датчик D_3 контролирует перемещение суппорта вдоль оси Z с точностью до 0,001 мм. Гидродвигатель М4 посредством зубчато-ременной передачи (шкивы 14, 16) автоматически открывает и закрывает ограждение станка 15.

На суппорте станка установлена револьверная головка. Привод головки — гидромеханический с фиксацией на плоских зубчатых колесах — обеспечивает высокую точность ее положения в процессе работы. Значительное расширение технологических возможностей станка стало возможным благодаря наличию отдельного привода круговой подачи шпинделя в шпиндельной бабке и привода вращения инструмента в револьверной головке. Это позволяет производить обработку крепежных и резьбовых отверстий, различных пазов, плоскостей как на торце, так и на цилиндрической поверхности деталей через 1° .

Прецизионный шпиндель смонтирован на высокоточных радиально-упорных шариковых подшипниках в жестком чугунном корпусе шпиндельной бабки. Все это позволяет добиться высокой точности обработки. В станке предусмотрена встройка системы измерения детали

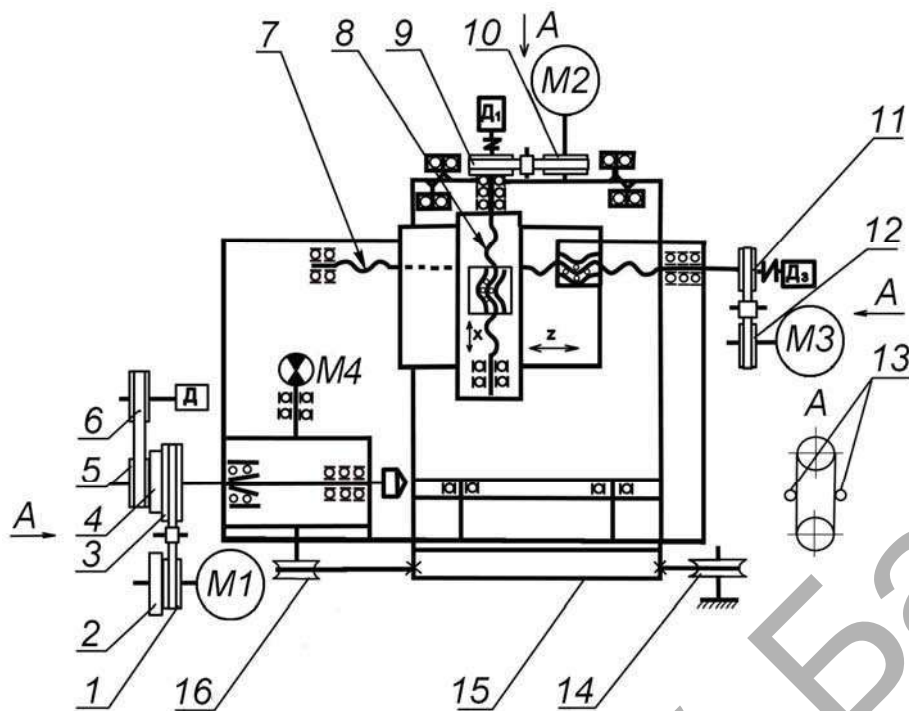


Рисунок 4.24 — Кинематическая схема станка 1П420ПФ40

и автоматической коррекции положения инструмента. Мощный привод главного движения, состоящий из двигателя постоянного тока М1 и поликлиновой передачи на шкив шпинделя, позволяет вести высокоэффективную обработку на современных режимах. Применение в приводах подачи высокомоментных двигателей постоянного тока и шариковых винтовых пар в комплекте с фотоимпульсными датчиками обратной связи обеспечивает высокую точность перемещения суппорта и обработки детали. Применяемая оперативная система управления значительно упрощает процесс программирования благодаря наличию большого количества вспомогательных функций (циклы многопроходной токарной обработки, нарезания резьб резцом и метчиком, глубокого сверления и зенкерования осевым центровым и внецентровым, радиальным инструментом, фрезерования пазов и плоскостей, измерения детали и др.). Для выгрузки из рабочей зоны готовых деталей из пружинного материала установлено разгрузочное устройство. Станок комплектуется транспортером для уборки стружки.

Особенности конструкции основных узлов станка модели 1П420ПФ40 обусловлены, во-первых, наличием в нем измерительной системы. На рисунке 4.25 представлена схема автоматического измерения размеров поверхностей детали и автоматической коррекции положения режущего инструмента в координатной системе станка. В одной из позиций револьверной головки 3 устанавливаются индикатор контакта 2. По заданной

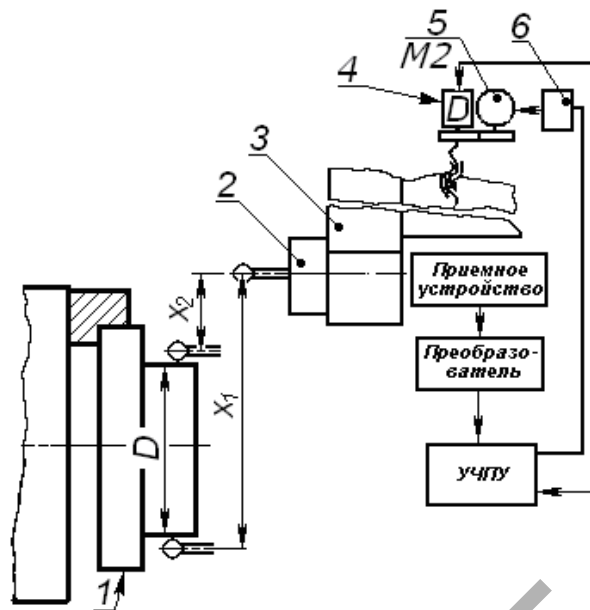


Рисунок 4.25 — Схема автоматического измерения диаметра обрабатываемой детали на станке модели 1П420ПФ40 и общий вид выполнения данной операции на токарном многоцелевом станке фирмы HAAS

УЧПУ программе индикатор касается образующей наружной поверхности детали *1* сверху, а затем снизу. Сигнал от него через датчик обратной связи *4* поступает в УЧПУ, фиксирующее размеры x_1 и x_2 ; разность $x_2 - x_1$ равна измеренному диаметру. Сигнал касания передается также через приемное устройство и преобразователь в УЧПУ, где производится перерасчет координат. Выработанный сигнал через тиристорный преобразователь *6* поступает на электродвигатель *5* привода подач *M2* (см. рис. 4.24), который вращает винт шариковой винтовой передачи поперечного перемещения суппорта (ось *X*) и корректирует его положение. Точность изменений (0,004...0,005 мм) позволяет автоматически обеспечивать точность обработки (0,02...0,03 мм).

Измерение может использоваться для быстрого контроля первой детали, для выполнения операций контроля в процессе обработки и для

обработки в автоматическом режиме. Данное устройство позволяет учитывать и износ инструмента.

Во-вторых, то, что рабочая зона станка полностью герметизирована, позволяет интенсивно смывать с помощью СОЖ стружку на специальный транспортер станка. Подача СОЖ составляет до 100 л / мин.

В качестве передней опоры шпинделя используются высоко-точные радиально-упорные шариковые подшипники, установленные по схеме «триплекс», задней опоры — двухрядный роликовый подшипник с внутренним коническим отверстием, воспринимающий нагрузки от шкивов 3, 4, 5 (см. рис. 4.24) и гидроцилиндра привода зажимного патрона.

Кинематическая схема токарного многоцелевого станка характерна для станков с ЧПУ тем, что с целью повышения точности все кинематические цепи сделаны максимально короткими. Вращение шпинделю станка (см. рис. 4.24) передается от регулируемого электродвигателя постоянного тока М1 (мощность 22 или 30 кВт) через поликлиновую ременную передачу: при частотах вращения $45 \dots 2500 \text{ мин}^{-1}$ — через шкивы 1 и 3; при $25 \dots 1400 \text{ мин}^{-1}$ — через шкивы 2 и 4. Через шкивы 5, 6 и зубчатую ременную передачу вращение передается фотоимпульсному датчику D_1 , который при резбонарезании обеспечивает определенное соотношение между перемещением суппорта и частотой вращения шпинделя и точную фиксацию шпинделя в требуемом угловом положении. Повышенная мощность привода главного движения при наличии возможности программирования усилия натяжения ремня (посредством гидроцилиндра) позволяет производить черновую и чистовую обработку детали с большими скоростями резания ($200 \dots 400 \text{ м/мин}$) при высокой точности и с заданным качеством обработанной поверхности. Отсутствие зубчатых колес обеспечивает точную, бесшумную и практически безвибрационную работу станка.

Конструкции многооперационных станков — наиболее динамично изменяющийся сегмент станочного парка. Вызвано это тем, что автоматизированное массовое и крупносерийное производство дает примерно только пятую часть продукции. Остальной выпуск продукции обеспечивается в единичном и серийном секторах промышленности. Поэтому даже незначительный рост производительности в единичном и серийном производствах сулит огромные прибыли и успех на рынке. За многооперационными станками будущее. Они находят применение не только в мелкосерийном и серийном производствах, но и, повышая гибкость оборудования, заменяют специальные станки в крупносерийном и массовом производствах. Изучению многооперационного оборудования необходимо посвятить значительно больше времени, чем сделали мы ввиду ограничений учебной программы.

ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ

Постоянное развитие систем ЧПУ и стремление к снижению доли живого труда привели к созданию комплексов оборудования, на которых автоматизированы как операции обработки, которые традиционно выполняют машины, так и вспомогательные операции управления оборудованием, контроль качества деталей и передача их между станками и различными вспомогательными машинами. Будучи полностью автоматизированными с помощью ЧПУ эти системы в отличие от обычных автоматических линий очень легко переналаживаются на обработку измененных и новых деталей, имея, таким образом, высокую гибкость, за что и получили название «гибкие производственные системы» (ГПС).

Технологическое оборудование и типовые компоновки гибких производственных систем (ГПС). Согласно ГОСТ 26 228-85 *элементы ГПС* — это совокупность технологического оборудования, промышленных роботов и средств оснащения, автономно функционирующих и осуществляющих многократные циклы. Как правило, оборудование имеет системы числового программного управления с использованием ЭВМ различного уровня. Особенность ГПС заключается в том, что ее оборудование в течение заданного периода времени должно работать в автоматическом режиме, т. е. с ограниченным участием обслуживающего персонала (так называемый «безлюдный» режим). Переналадка оборудования на изготовление новой продукции осуществляется в автоматизированном (с ограниченным участием человека) режиме. Средствами оснащения ГПС, обеспечивающими их функционирование, могут быть устройства накопления, ориентации, поштучной выдачи объектов производства и другие устройства. В соответствии с названным стандартом высшей формой ГПС может быть технологический участок. В технической литературе высказывается мнение, что *ГПС по организационным признакам делится на:*

- гибкие автоматизированные линии (ГАЛ);
- гибкие автоматизированные участки (ГАУ);
- гибкие автоматизированные цеха (ГАЦ).

Каждое из этих производственных подразделений в той или иной степени включает в себя *системы более низкого уровня*:

- систему автоматизированного проектирования (САПР), которая уточняет характеристики изделия по грубым моделям, делает анализ элементов изделия, разрабатывает программу ЧПУ для изготовления макетных образцов, проектирует детали и узлы конструкции, выпускает все нужные чертежи и документацию;

- автоматизированную систему технологической подготовки производства (АС ТПП), которая разрабатывает нужную техоснастку (штампы, пресс-формы, специнструмент), выпускает чертежи и документацию на них, подготавливает программы ЧПУ для изготовления оснастки, генерирует исходные данные для контроля и измерений в процессе производства;

- автоматизированную систему управления технологическими процессами (АСУ ТП);

- автоматизированную систему научных данных (АСНД);

- автоматизированную систему управления (АСУ);

- систему автоматизированного контроля (САК);

- автоматизированную систему инструментального обеспечения (АСИО);

- автоматизированную транспортно-складскую систему (АТСС);

- автоматизированную систему удаления отходов (АСУО).

Системы изготовления, складирования, сборки и контроля продукции управляют оборудованием с ЧПУ по изготовлению оснастки, деталей и узлов изделий, технологическими, сборочными и транспортными роботами, контролируют и диагностируют продукцию, технологическое оборудование, обеспечивают надежность функционирования производственной системы в целом.

Обработка деталей проводится на станках с ЧПУ, в гибких производственных модулях и на роботизированных технологических комплексах. В зависимости от назначения и состава оборудования на них может проводиться и сборка изделий.

Основное отличие ГПС от уже существующих автоматизированных производств — наличие гибкой организационной, информационно-управляющей и исполнительной систем, характеризующихся большой изменяемостью, обеспечивающих выполнение производственной программы с заданным качеством.

Робототехнические комплексы (РТК) ГПС, иначе называемые гибкими производственными модулями (ГПМ), являются их основной составной частью. Гибкий производственный модуль — это единица технологического оборудования, автономно функционирующая, автоматически осуществляющая весь цикл работы, связанный с изготовлением изделий, и имеющая возможность быть встроеной в ГПС. Кроме

обработки деталей, ГПМ выполняет в автоматическом режиме накопления заготовок, их загрузку в зону резания, выгрузку обработанных деталей, частичный или полный контроль точности обработки и другие вспомогательные операции. В типовой механообрабатывающий ГПМ (рис. 5.1) входит многошпиндельный станок 1 с ЧПУ и робот 7, управляемые от ЭВМ, накопитель заготовок 4 и обработанных деталей и вспомогательные устройства (устройства для удаления стружки с базовых поверхностей, устройства для контроля износа инструмента и др.).

Непременным требованием к модулю является наличие стандартных сопрягающих устройств, позволяющих ему состыковываться с автоматизированной транспортно-складской системой, с центральной управляющей ЭВМ, а также отдельными системами ЧПУ других ГПМ, станков, роботов, самоходных тележек.

При использовании в составе гибкого производственного модуля промышленного робота (ПР) для обслуживания металлорежущих станков решаются следующие задачи:

- загрузка-выгрузка станков;
- межстаночное транспортирование полуфабрикатов;
- захват заготовок из накопителей и загрузка накопителей готовыми деталями.

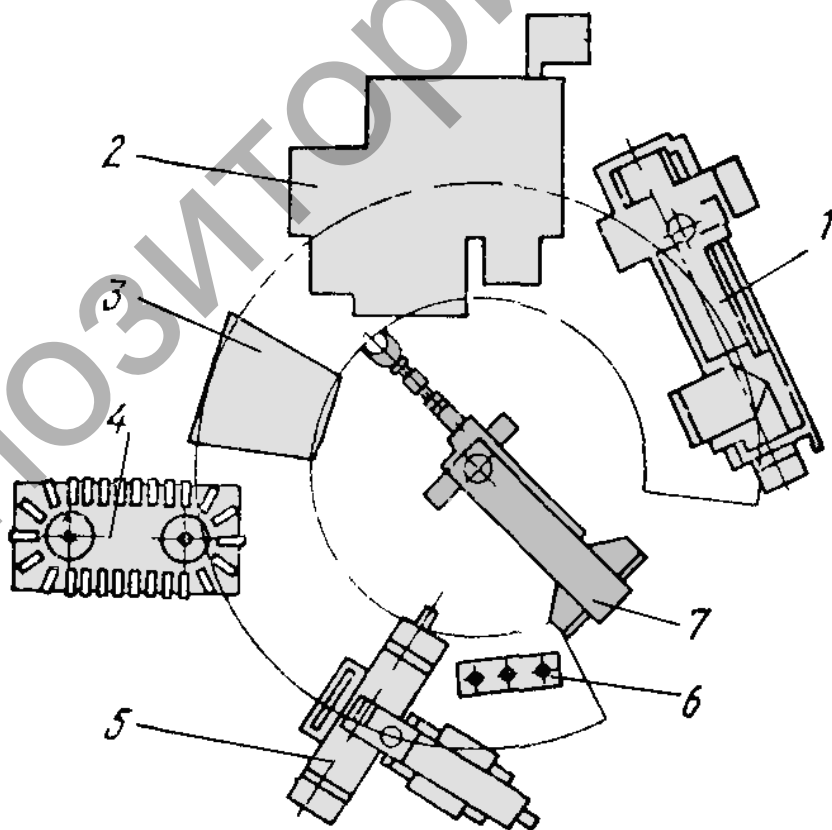


Рисунок 5.1 — Станочный модуль

Промышленные работы оборудуются системой датчиков, располагающихся на схвате, контролирующей положение звеньев манипулятора и устройств перемещения. Управление роботами производится с помощью ЭВМ по программам, составленным на основании рабочих чертежей выполняемых операций. Однако существуют процессы, которые целесообразно не заранее программировать, а воспользоваться фиксированием движений высоко-квалифицированного опытного рабочего (например, при окраске краскораспылителем изделий сложной формы). При этом программирование осуществляется методом обучения. После окончания обучения процесс может быть автоматически воспроизведен многократно при последующей работе.

Помимо указанного оборудования, в состав любого РТК входят устройства управления как отдельным ПР, так и всем РТК. Число устройств управления, как правило, равно числу станков и других технологических машин (в том числе и ПР), входящих в состав РТК. Вместе с тем, для управления одностаночного РТК в ряде случаев используют общую систему управления, особенно тогда, когда управление станком и ПР осуществляется раздельно во времени.

Дополнительные задачи, которые могут быть возложены на ПР, связаны с дальнейшим повышением производительности обслуживаемого оборудования путем оснащения работа системами активного контроля размеров обрабатываемых деталей и организации соответствующей автоматической коррекции управляющих программ металлорежущих станков.

В зависимости от числа станков, обслуживаемых одним ПР, различают *одностаночные* и *многостаночные* РТК.

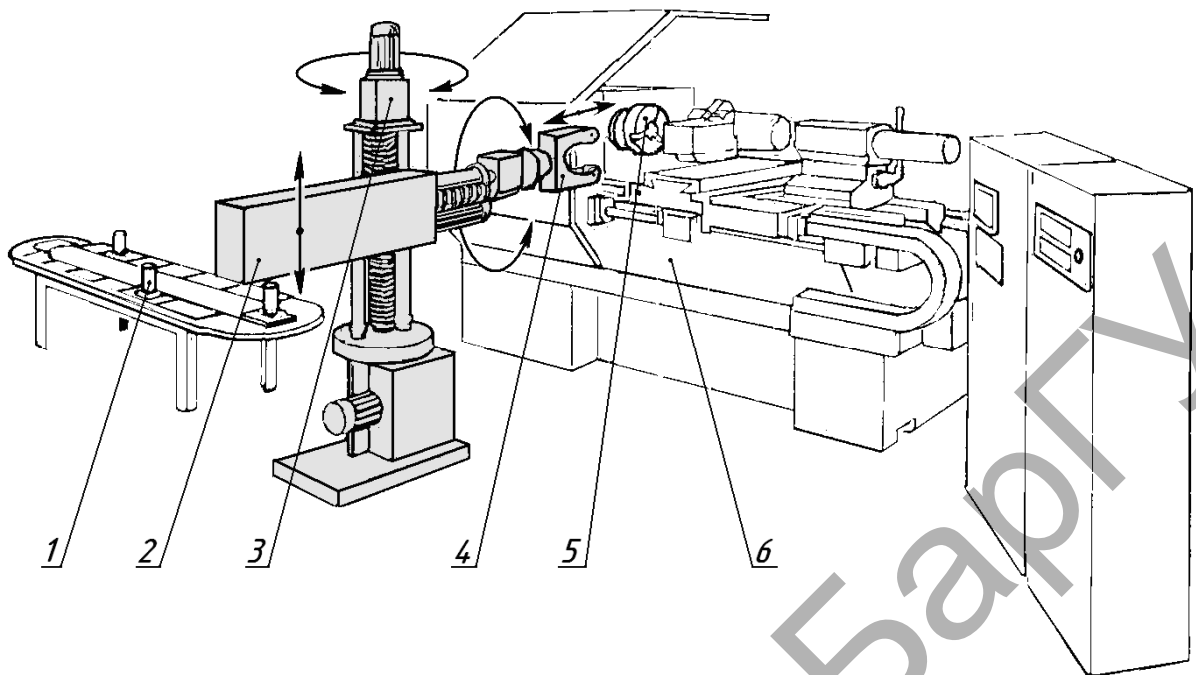
Наиболее распространенным является тип *напольного вспомогательного ПР с одной горизонтальной выдвижной рукой и с вертикальной колонной*, вокруг оси которой осуществляется поворот руки (рис. 5.2).

Второй тип *напольного вспомогательного или технологического робота* выполняется с *шарнирной складной рукой* (оси шарниров горизонтальны).

К третьему типу относятся *портальные ПР*, имеющие одну или несколько качающихся рук, причем каждая из рук имеет три степени подвижности (рис. 5.3).

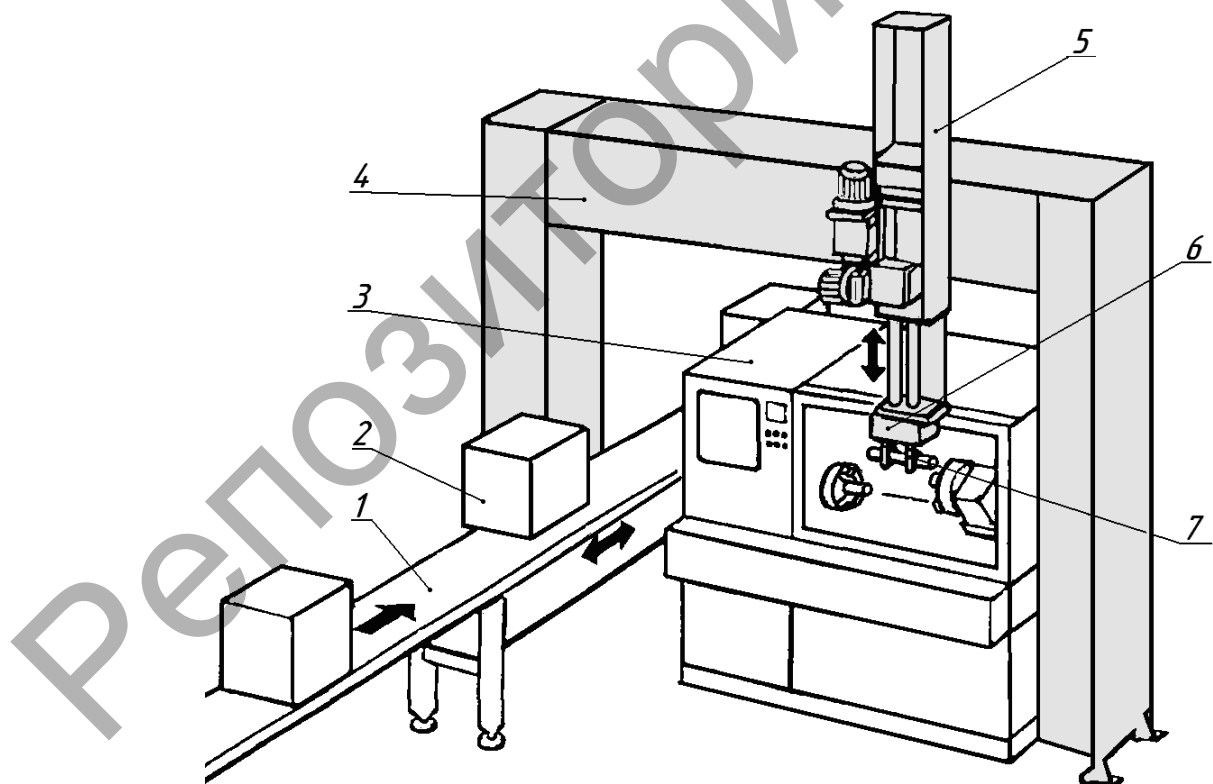
К четвертому типу относятся *встроенные ПР*, разнообразные по схемам и отличающиеся обычно малыми ходами руки и малой массой, поскольку в качестве основания манипулятора используются базовые детали рабочей машины — станина, стойка (рис. 5.4).

Все более широко распространено в системах управления РТК техническое зрение роботов, которое различает 64 уровня яркости и предназначено для управления роботом в режиме реального времени и для контроля. В состав систем обработки изображения входит программируемый предпроцессор, осуществляющий предварительную обработку и фильтрацию



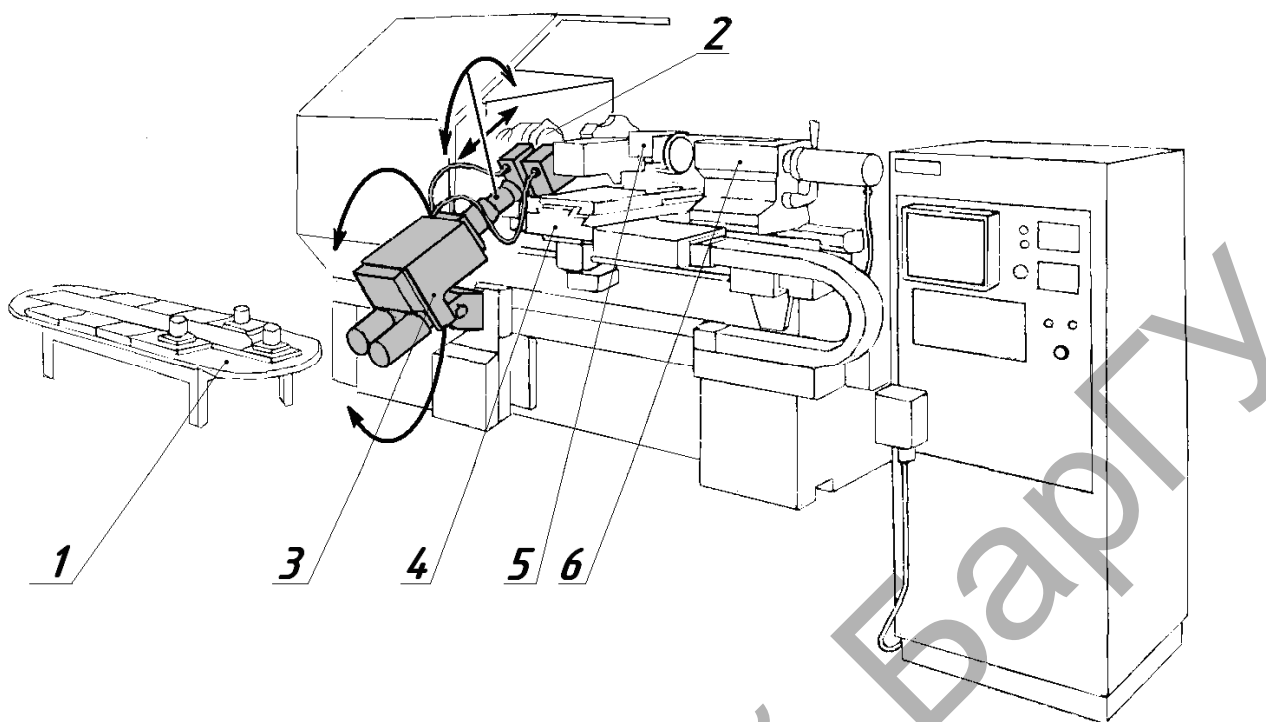
1 — заготовки; 2 — механизм продольного перемещения схвата робота; 3 — механизм вертикального перемещения схвата робота; 4 — схват; 5 — патрон; 6 — станок

Рисунок 5.2 — РТК модели 16К20Ф3Р с роботом напольного типа М20П.40.01



1 — конвейер; 2 — штабель поддонов с заготовками; 3 — станок; 4 — портал; 5 — робот; 6 — ротационный блок схвата; 7 — схват

Рисунок 5.3 — Портальный промышленный робот



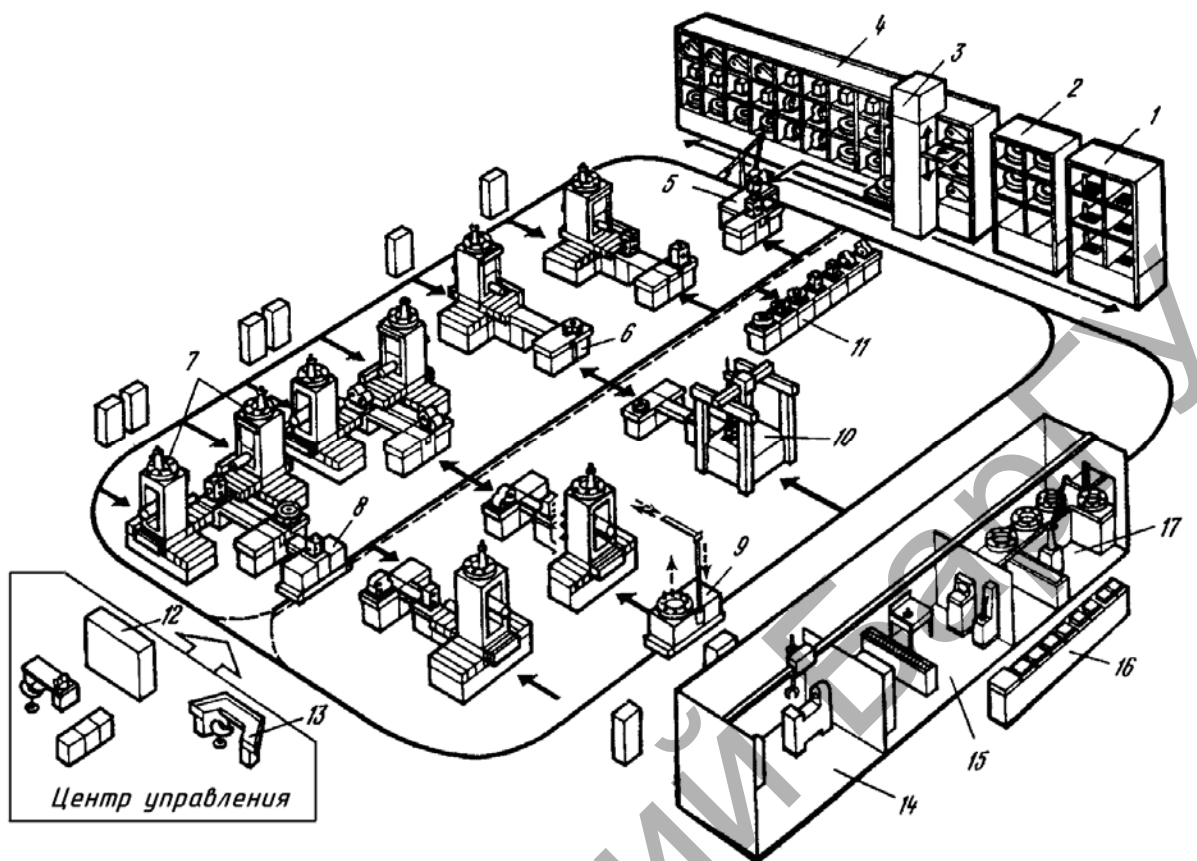
1 — кассета с заготовками; 2 — заготовка в патроне; 3 — навесной робот;
4 — каретка суппорта; 5 — револьверная головка; 6 — задняя бабка

Рисунок 5.4 — РТК модели 16К20Ф3Р с пристраиваемым роботом
типа М10П.62.01

изображения, отслеживание границ и предварительную сегментацию. Получаемые данные передаются роботу или во внешнее устройство связи и управления. Для повышения скорости обработки большинство операций обработки изображений реализовано аппаратно. Система технического зрения использовалась для сборки электромеханического оборудования. Она получает распространение при замене ручных операций в тяжелых условиях, например, при горячей штамповке.

Структура транспортной системы ГПС. Транспортно-накопительные средства гибкой производственной системы обеспечивают хранение и транспортирование по заданным адресам оперативного задела заготовок, частично и полностью изготовленных деталей, инструмента, оснастки, сопроводительной документации, стружки. Грузопотоки осуществляются со свободным ритмом, т. е. по запросам (сигналам) от обслуживаемых адресов, и обеспечивают практически независимую и совмещенную по времени работу на всех рабочих местах участка.

На рисунке 5.5 можно проследить обозначенные жирными линиями со стрелками пути автоматизированной системы транспортирования деталей, заготовок и инструментов.

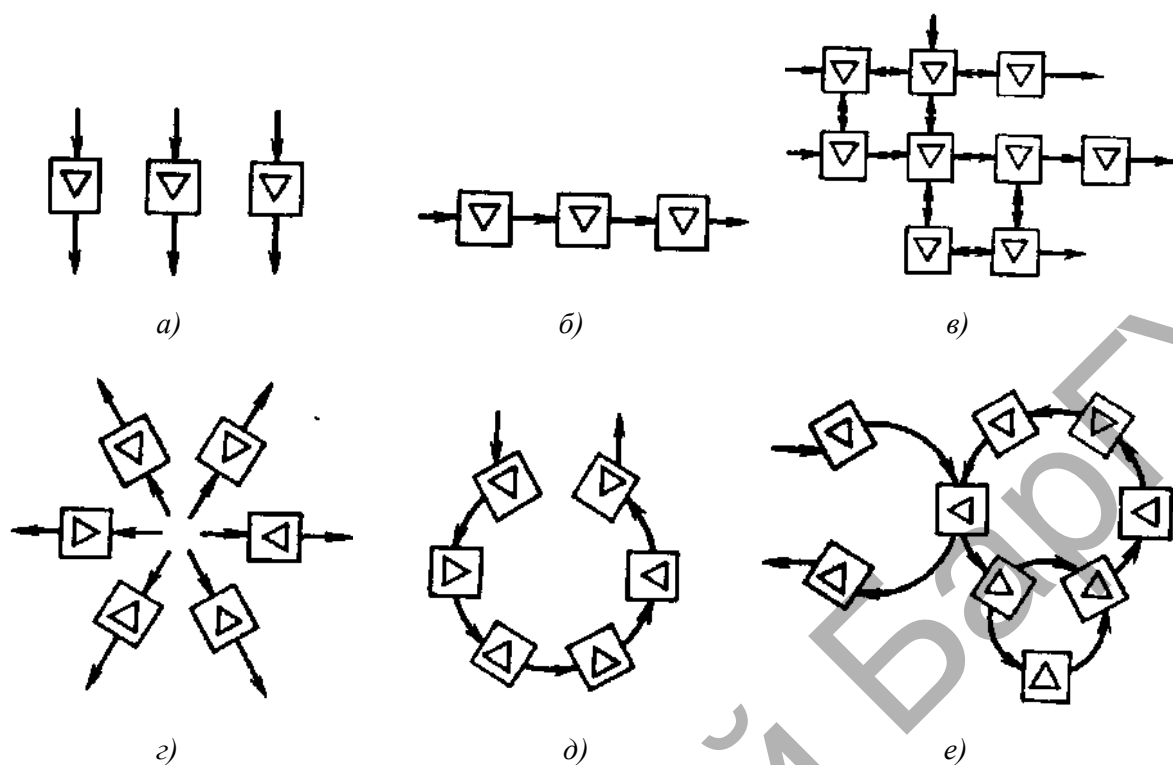


- 1 — приспособления-спутники; 2 — инструментальные магазины; 3 — робот-штабелер; 4 — заготовки и детали; 5 — монтажный стол; 6 — накопители с автоматической загрузкой; 7 — обрабатывающее оборудование; 8, 9 — самоходные транспортные тележки-робокары; 10 — измерительная машина; 11 — пункт оперативного накопления; 12 — ЭВМ; 13 — пульт оператора; 14 — отделение заточки инструмента; 15 — отделение комплектации и настройки инструмента; 16 — отделение сборки приспособлений-спутников; 17 — отделение комплектации магазинов

Рисунок 5.5 — Структурно-компоновочная схема ГПС механообработки

Перемещение заготовок и других компонентов материального потока в зависимости от схемы расположения оборудования в ГПС может быть организовано по жесткому маршруту, что характерно для гибких автоматических линий (рис. 5.6) или по изменяемому (гибкому) маршруту (в гибких автоматизированных участках). При комбинированном потоке на отдельных участках ГПС маршрут может не изменяться, а на других может быть изменен.

Транспорт для систем обеспечения инструментом. Автоматический склад предназначен для хранения заготовок, инструмента и деталей. Загрузка и разгрузка ячеек склада осуществляется при помощи штабелера. Система управления обеспечивает работу склада от ЭВМ либо от пульта оператора.



a — параллельная; *б* — линейная однорядная; *в* — линейная многорядная (сетевая); *г* — звездообразная; *д* — круговая; *е* — роторная (*а, б, в* — разомкнутое положение оборудования; *г, д, е* — замкнутое положение оборудования)

Рисунок 5.6 — Типовые компоновочные схемы расположения оборудования ГПС

Транспортный робот осуществляет связь между складом и станочными модулями. Тележка, снабженная автономной энергетической установкой, движется по светоотражающей полосе или ориентируясь на другие датчики, имеет датчики обмена информацией с ЭВМ по электронно-оптическому каналу. Предназначается ЭВМ кроме управления транспортом для управления модулями ГПС и внутрицеховым планированием.

Склады и локальные накопители. Нормальное функционирование ГПС во многом определяется наличием необходимого количества заготовок, режущего и вспомогательного инструмента и технологической оснастки, транспортирование и складирование которых осуществляется автоматизированной транспортно-складской системой (АТСС). К техническим средствам АТСС относятся: краны-штабелеры, стеллажи для хранения грузов, производственная тара, устройства, обеспечивающие перегрузку деталей, контейнеры, транспортные роботы (электророботы), средства доставки СОЖ и удаления стружки, промышленные роботы.

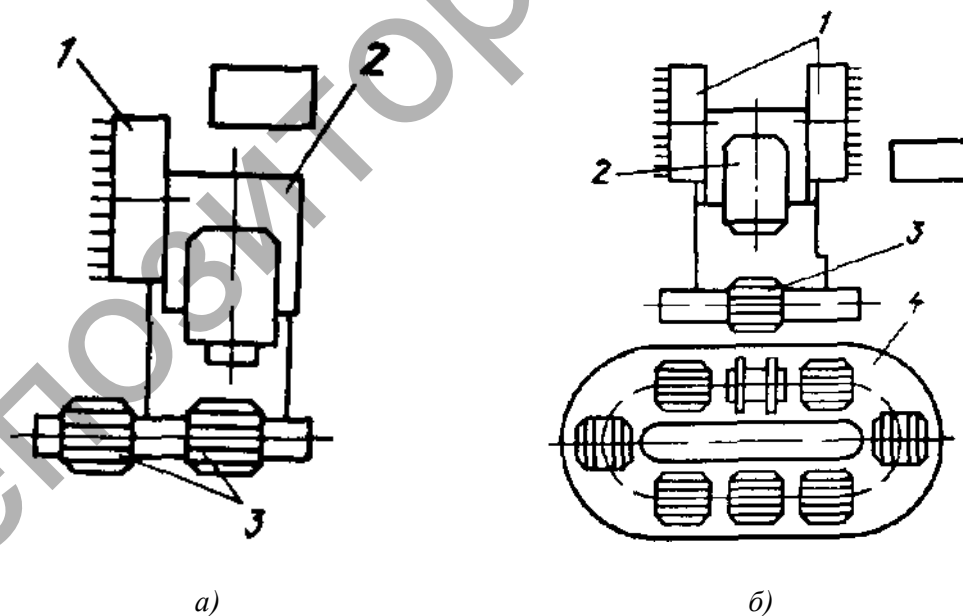
Транспортная система функционально связана с основным и вспомогательным оборудованием ГПС и обеспечивает перемещения

заготовок, изделий, оснастки. Изделия могут перемещаться на спутниках (паллетах, кассетах и др.) или без них (по лоткам, склизам и т. п.).

Транспортирование отходов в ГПС является сложной задачей, особенно при обработке пластичных материалов, образующих сливную стружку. Каждый отдельный случай требует особого подхода.

Большинство современных станков имеет транспортеры для удаления стружки, которые передают ее в цеховой стружкоуборочный конвейер. Особой заботой является дробление сливной стружки, которое при управлении ЧПУ можно решить кратковременным прекращением подачи инструмента при резании. При больших количествах стружки нужно за пределами цеха организовывать ее брикетирование механическим прессованием, что уменьшит количество транспорта для перевозки стружки и ее выгорание при переплавке.

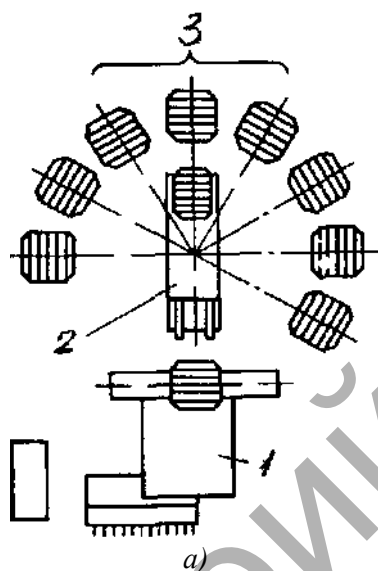
Устройства загрузки заготовок и удаление готовых деталей. Способы смены обрабатываемых деталей в гибких производственных модулях весьма разнообразны. Во многом они копируют многооперационные станки. В простейшем случае заготовку устанавливают на стол вручную, в то время как на другом столе идет обработка другой детали (рис. 5.7, а). Совмещение времени установки со временем обработки дает выигрыш в производительности. Более совершенным



а — с двумя маятниковыми рабочими столами;
 б — с автоматизированным загрузочным устройством
 1 — магазины с инструментами; 2 — станок с ЧПУ; 3 — стол станка;
 4 — автоматизированное загрузочное устройство

Рисунок 5.7 — ГПМ с одним станком с ЧПУ

является ГПМ, содержащий многооперационный станок (рис. 5.7, б), у которого для обработки подготовлено больше заготовок. Шаговый конвейер — накопитель спутников с 4, 6, 8 или с 12 заготовками, позволяющий длительное время вести обработку с ограниченным участием оператора. В ГПМ со стационарным накопителем веерного типа заготовки со станков на станок перегружаются с помощью поворотного стола (рис. 5.8).



б)

a — схема; *б* — горизонтальный обрабатывающий центр ЕС-400

1 — станок с ЧПУ; *2* — поворотный стол-перегрузатель; *3* — веерный накопитель заготовок

Рисунок 5.8 — ГПМ с накопителем веерного типа

Загрузка заготовок в накопитель может осуществляться роботом или роботкаром. Отсутствие механизма конвейера упрощает конструкцию, увеличивая надежность. На гибких автоматизированных участках, включающих в свой состав несколько гибких модулей, один комплект паллет используют для нескольких станков, что сокращает затраты времени на перезакрепление заготовки и повышает точность взаимного расположения поверхностей, обработанных на разных станках.

Возможна переагрузка заготовок с помощью поворотных устройств. На гибких автоматических линиях перемещение заготовок по линии осуществляется жестким конвейером. В случае обработки некрупных деталей при использовании нескольких станков разных групп подача заготовок обычно ведется в кассетах. Промышленный робот забирает заготовки из кассет и подает их на станки. Снятую со станка деталь ПР укладывает обратно в кассету.

Перспективы развития ГПС. В настоящее время машиностроение делят на два резко отличающихся вида — мелкосерийное и крупносерийное. Крупносерийное производство характеризуется двумя особенностями. С одной стороны, создается масса новых машин, приборов, с другой стороны, все это настолько быстро совершенствуется, что возникает противоречие между массовостью и быстрой сменяемостью выпускаемых изделий. Надо отметить, что при высокой автоматизации гибкость труднее всего дается современным предприятиям крупносерийного производства со специальными высокопроизводительными станками, станками-автоматами и автоматическими линиями. В то же время мелкосерийное производство нужно преобразовать так, чтобы оно наряду с гибкостью приобрело и лучшие черты массового производства: высокий уровень автоматизации, непрерывность, высокие темпы выпуска продукции. И эти противоречия существуют на фоне того, что мелкосерийное производство выпускает до $\frac{4}{5}$ продукции машиностроения. Решение этих проблем возможно с внедрением гибких производственных систем, целью которых является максимальное использование возможностей оборудования. Благодаря этому коэффициент загрузки станков в них может быть доведен до 0,85...0,9, цикл обработки изделий по сравнению с традиционной технологией сокращен в 2—3 раза, а себестоимость продукции снижена в 3—5 раз. Одновременно при том же объеме выпуска продукции в 2—3 раза уменьшается число необходимых станков с ЧПУ. Соответственно экономится и производственная площадь. Но здесь необходимо сделать ремарку.

В технике одним из показателей надежности служит *наработка на отказ* — время до первой поломки. Если для универсальных станков этот показатель принять равным 1, то для станков с ЧПУ, которые

представляют собой более современные машины, он окажется равным 0,4...0,6. Сказывается сложность, многоэлементность конструкции. У робототехнических комплексов этот показатель снижается до 0,3...0,4, а у автоматических линий — до 0,25...0,3. Но для того, чтобы ГПС успешно действовала, как показывают расчеты, показатель надежности должен быть в 8—10 раз больше, чем у универсальных станков. Большинство отказов происходит из-за несогласованности стыков «станок-электроника» и недостаточной надежности электронных блоков. Понятно, что решение этой проблемы можно ожидать, но не завтра и даже не через год. Это довольно отдаленная перспектива. Над ее приближением придется работать многим специалистам. Уже сейчас абсолютное большинство представляемого на машиностроительных выставках металлорежущего оборудования в той или иной степени является многооперационным, оснащенным промышленными роботами.

Есть масса фактов, показывающих перспективность ГПС. В качестве примера можно привести результаты внедрения гибкого автоматизированного производства в автомобилестроении.

Фирма «Вольво» (Швеция) в 1983 году выпустила 105 тыс. автомобилей при общем числе занятых 5 800 чел., т. е. в среднем 18 автомобилей в год на одного занятого. Та же фирма на новом заводе при использовании ГАП выпустила в 1990 году 30 тыс. автомобилей при общем числе занятых 600 человек, т. е. 50 автомобилей в год на одного занятого. Производительность завода фирмы «Дженерал Моторс» по проекту «Сатурн» на основе технологии ГАП составляет 400...500 тыс. автомобилей в год при общем числе занятых 6 тыс. человек, что составляет более 80 автомобилей в год на одного занятого.

АГРЕГАТНЫЕ СТАНКИ

Принцип агрегатирования станков, его сущность и достоинства. Принцип агрегатирования станков основан на том, что вместо разработки всех узлов при проектировании нового станка используют ранее разработанные узлы, komponуя которые в соответствии с технологическим процессом обработки детали, получают новый станок. Конструкторскими бюро агрегатных станков (АС) предварительно разрабатываются несколько однотипных узлов (агрегатов) разного размера и мощности, называемых *нормализованными* или *унифицированными*, позволяющих спроектировать станок, довольно хорошо соответствующий технологическому процессу обработки детали. Кроме того, стараются эти агрегаты делать самодействующими, снабжая каждый своим двигателем.

Агрегатными называют станки, которые komponуются из нормализованных, т. е. разработанных ранее и частично специальных узлов и деталей соответствующих индивидуальным условиям конструкции, закрепления и обработки конкретной детали, для изготовления которой проектируется агрегатный станок, путем объединения их в единый агрегат (станок, рабочий комплекс) с общей системой управления и контроля. Агрегатные станки применяют в крупносерийном и массовом производствах. Появились АС с ЧПУ, применяемые в серийном производстве. На агрегатных станках осуществляют многоинструментную и многопозиционную обработку деталей. В них заготовка, как правило, неподвижна, что позволяет обрабатывать ее одновременно с нескольких сторон.

В настоящее время на АС выполняется широкий *круг технологических операций*: сверление, развертывание, зенкерование, рассверливание, растачивание, цекование, подрезание торцов, фрезерование плоскостей, прорезание кольцевых пазов, некоторые виды токарной обработки, нарезание внутренних и наружных резьб, накатывание резьб. На АС выполняют операции протягивания, прошивания, шлифования, полирования, хонингования. Кроме обработки резанием, на некоторых станках производят штамповку, сварку, термообработку, сборку, клеймение, контроль. Особый интерес представляет применение АС в автоматических станочных линиях, что уменьшает время изготовления и перестройки линий.

Рассмотрим подробнее достоинства агрегатирования станков:

а) агрегатирование дает возможность создания оборудования по наиболее выгодному технологическому процессу. Когда намечается применение АС, сначала разрабатывают такой технологический процесс обработки детали, а потом по нему в короткие сроки komponуют станок из готовых узлов;

б) использование многоинструментной обработки резко повышает производительность работы;

в) появляется возможность выполнения самых разных операций на одном станке;

г) создается возможность многократной обратимости конструкций станков, т. е. многократного использования одних и тех же узлов для создания станков разных компоновок. Это обеспечивает быструю перестройку производства и способствует совершенствованию конструкций машин, детали которых обрабатываются на АС;

д) агрегатный принцип проектирования оборудования позволяет постоянно совершенствовать само оборудование, так как надо модернизировать не весь станок, а лишь тот узел, который устарел;

е) принцип агрегатирования создает благоприятные условия для узлового ремонта станков. Вышедший из строя узел можно быстро заменить новым со склада (если он там лежит, увеличивая стоимость основных средств);

ж) с использованием АС повышается надежность работы оборудования, так как станки создаются из проверенных нормализованных узлов;

и) возможность создания станков разного назначения из одинаковых агрегатов резко повышает серийность изготовления этих узлов, что их удешевляет.

Наряду с достоинствами, у АС есть и недостатки, предопределившие их закат на небосклоне машиностроения, даже массового:

а) при малейшем изменении конструкции обрабатываемой детали их уже нельзя использовать. Для новой детали, даже мало отличающейся от прежней по обрабатываемым поверхностям, надо делать новый специальный станок;

б) специальные станки стоят довольно дорого и имеют узкую область применения — массовое производство.

Для устранения этих противоречий надо, чтобы специальное станочное оборудование обеспечивало *три главных условия*:

- возможность переналадки на обработку разных деталей при достаточно высокой производительности;

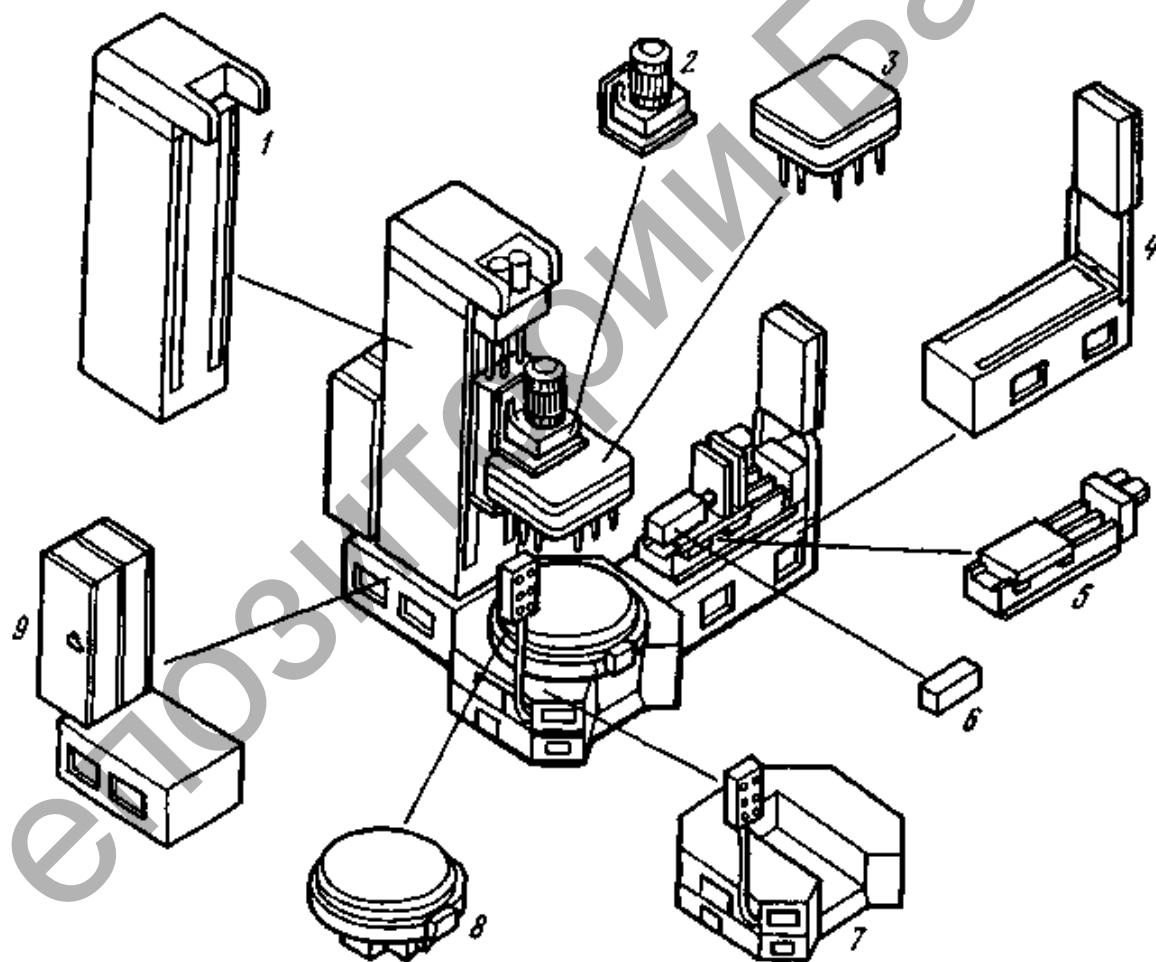
- короткие сроки проектирования и изготовления;

- невысокую стоимость и быструю окупаемость.

Унифицированные узлы агрегатных станков. Все многообразие компоновок станков достигается при минимальной номенклатуре

унифицированных узлов. В состав станка могут входить следующие унифицированные узлы станков (рис. 6.1): силовые головки, силовые столы 5, поворотные делительные столы 8, фрезерные бабки, расточные бабки 6, сверлильные бабки, станины 4, 7, 9, стойки 1, станции гидропривода, электрошкафы, пульта, стружкоуборочные конвейеры и др. — это и есть те агрегаты, конструкции которых разрабатываются заранее, еще до того, как будет проектироваться станок, и которые могут применяться в станках разных конструкций.

Обычно оригинальными узлами являются приспособление для закрепления обрабатываемых заготовок (однако и в нем используют унифицированные детали), а также кондукторная плита для направления инструментов и шпиндельная коробка.



1 — стойка; 2 — силовая бабка; 3 — многшпиндельная коробка; 4 — станина боковая,
5 — силовой стол; 6 — одношпиндельная расточная бабка;
7 — станина центральная; 8 — поворотный делительный стол; 9 — станина-подставка

Рисунок 6.1 — Составные элементы агрегатного станка

Станины, стойки, основания, многопозиционные столы, силовые столы и силовые головки. Базовые корпусные детали предназначены для установки и закрепления на них всех остальных агрегатных узлов. В группу базовых корпусных деталей входят (рис. 6.2) боковые станины 1, стойки 2, средние станины 3, угольники 4. Базовые детали представляют собой чугунные отливки или сварные корпуса, в которых имеются обработанные стыковочные поверхности для установки узлов и механизмов и стыковки между собой, литые окна и ниши для монтажа комплектующих узлов, предусмотрены ребра жесткости. От конструкции базовых деталей в большой степени зависят жесткость и виброустойчивость системы станка, удобство сборки и монтажа, точность и стабильность обработки изделий.

На среднюю станину 3 устанавливается поворотный делительный стол. К боковым ее граням присоединяются боковые станины 1. Для присоединения и точного фиксирования боковых станин на боковых привалочных плоскостях средней станины имеются пазы для шпонок. У передней грани средней станины организуется загрузочная позиция, а одна из боковых (например, срезанная как фаска) используется для уборки стружки.

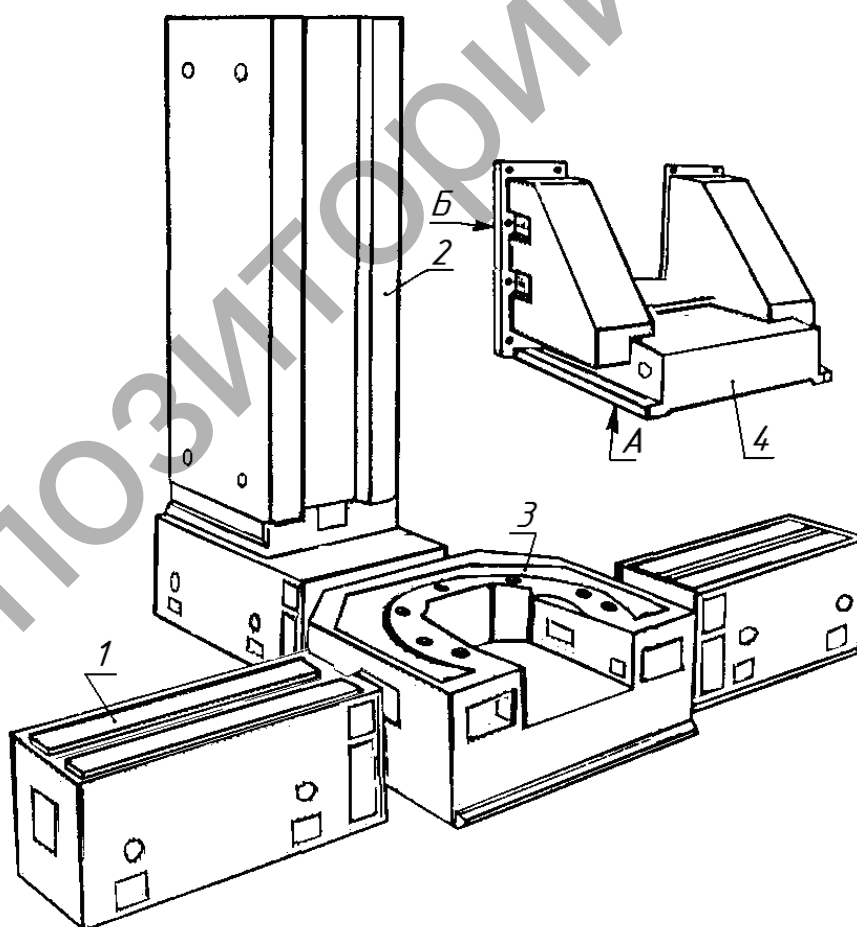


Рисунок 6.2— Базовые узлы

Станины служат для компоновки однопозиционных или многопозиционных агрегатных станков с силовыми головками. Круглые и полукруглые станины позволяют компоновать многопозиционные агрегатные станки с поворотным делительным столом. Вместо поворотного делительного стола может быть установлено стационарное зажимное приспособление. Делаются двусторонние и односторонние станины. На стойке 2 в вертикальном положении помещают силовой стол. Внутри ее имеется противовес, служащий для уравнивания подвижных узлов: силового стола, шпиндельной коробки с упорным угольником 4 и инструментальной наладкой, а также кондукторной плиты. На боковых станинах 1 устанавливаются силовые столы, силовые головки или вертикальные стойки.

Кроме прямых стоек делают арочные, которые позволяют устанавливать на них силовые головки с выдвижной пинолью в вертикальном или наклонном положении на тех же позициях агрегатного станка, на которых устанавливаются и горизонтальные головки. Вариант установки на одной рабочей позиции вертикальной и горизонтальной головок позволяет одновременно обрабатывать детали в разных плоскостях, что повышает производительность.

Упорные угольники представляют собой кронштейн для установки многошпиндельных коробок. Угольник 4 (см. рис. 6.2) имеет две взаимно перпендикулярные установочные плоскости А и Б, одна из которых служит для крепления шпиндельной коробки, а вторая сопрягается с зеркалом платформы силового стола.

Многопозиционные столы, как и базовые детали, относятся к унифицированным элементам АС и предназначены для установки на них приспособлений с заготовками. Столы совершают периодический круговой перенос обрабатываемых деталей из одной позиции в другую и точную фиксацию относительно режущих инструментов. Конструкции поворотных столов можно разделить в зависимости от плоскости поворота в пространстве: в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Столы делают в виде круглых или кольцевых поворотных, а также прямоугольных с прямолинейным перемещением в горизонтальной плоскости и барабанов для поворота в вертикальной плоскости. В последнем случае деталь можно обрабатывать сразу с двух противоположных сторон.

Размерный ряд столов включает узлы с диаметрами планшайбы 500, 630 и 800 мм, построенные по одинаковой кинематической схеме. Планшайба может поворачиваться по часовой стрелке на 180, 120, 90, 72, 60, 45, 40, 36 и 30 градусов, но деление окружности может выполняться и на заданное количество неравных углов. Среди механизмов поворота стола часто используется мальтийский крест.

Электромеханический поворотный делительный стол состоит из собственно стола (планшайбы) 4, основания 3 и редуктора (рис. 6.3). От

кнопки «Пуск» на пульте управления станком включается электродвигатель 2, который через червячную пару 19-18 и зубчатые колеса 6-7 вращает планшайбу стола 4. При этом редуктор отключенного двигателя 1 получает свободное вращение через зубчатые колеса 20-21-22.

Планшайба 4 центрируется на коническом роликоподшипнике, насаженном на неподвижную центральную ось 8. В планшайбу запрессовано столько делительных пальцев 5, сколько фиксированных позиций должен иметь стол. Положение пальца определяет угол поворота. Если пальцы установлены равномерно по кругу, то стол поворачивается на равные углы. Если неравномерно, то на разные. При повороте планшайбы 4 из данной позиции в соседнюю делительный палец, соответствующий этой соседней позиции, отклоняет фиксирующий упор 16, который преодолевает сопротивление пружины 14. При этом лепесток 10 бесконтактного конечного переключателя, связанный с откидным фиксирующим упором 16 через коническую передачу 16-13 и валик 12 входит в щель переключателя 11.

При дальнейшем повороте планшайбы фиксирующий упор 16 соскальзывает с пальца 15 и под действием пружины 14 доходит до ограничителя 17. Одновременно лепесток 10 входит в путевой переключатель 9 и этим подает команду на выключение двигателя поворота 2 и включение двигателя фиксации 1, который вращает планшайбу 4 в обратную сторону, передавая движение через зубчатые колеса 22-21-20, самотормозящую червячную 19-18 и цилиндрическую пару 6-7.

Планшайба 4 поворачивается до того момента, пока фиксирующий упор 16 не окажется прижатым своим посадочным местом к делительному пальцу 15. После этого дается команда на начало цикла силовых узлов агрегатного станка. Особенность стола в том, что он имеет две скорости вращения — высокую при повороте и низкую (в обратном направлении) во время фиксации, что обеспечивает нужную точность деления.

Силовые головки — это основные нормализованные силовые узлы АС, определяющие технологические возможности станков. Они предназначены для сообщения инструменту главного движения, рабочей подачи и установочных перемещений. В большинстве случаев осуществляются стандартные циклы движений, включающие быстрый подвод инструмента, одну или две рабочие подачи (в зависимости от технологического процесса), выдержку на жестком упоре (при необходимости), быстрый отвод и остановку в конце хода. Программа движений осуществляется автоматически. В единой гамме унифицированных узлов предусмотрены несамодельствующие

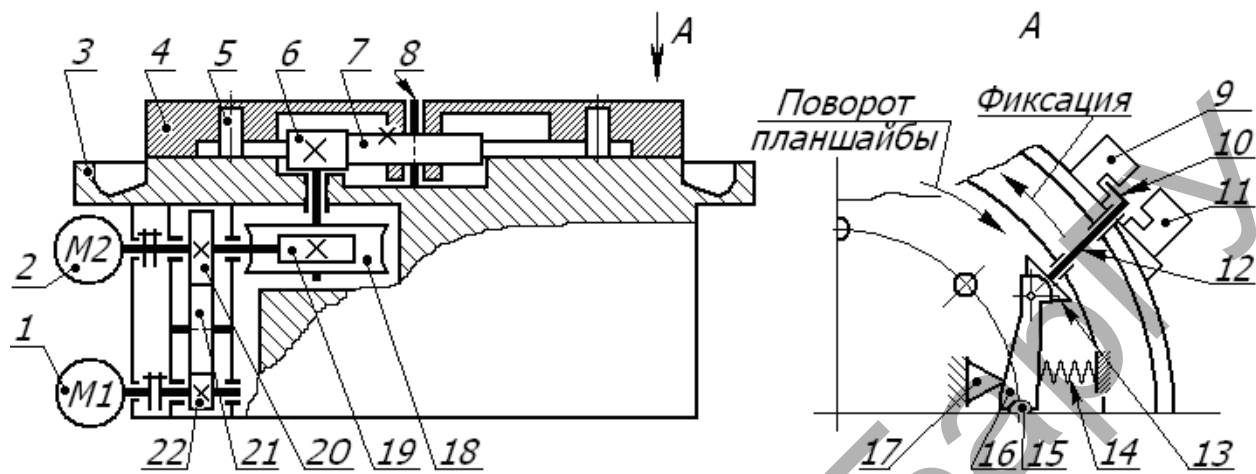


Рисунок 6.3 — Кинематическая схема поворотного делительного стола

гидравлические малогабаритные пинольные головки и самодействующие плоскокулачковые пинольные головки. Шпиндель головки, расположенный внутри пиноли, передает вращение от двигателя шпиндельной коробке или одному инструменту. Гидравлические головки не могут выполнять свою функцию отдельно от станка, так как источник энергии для движения подачи, насос, находится вне головки. Пиноль силовой головки вместе с насаженной на нее шпиндельной коробкой выдвигается (движение подачи) с помощью гидроцилиндра или кулачка.

Основными параметрами силовых головок являются мощность привода главного движения, наибольшая сила подачи, частота вращения приводного вала шпинделя головки, пределы подач, скорость быстрых перемещений, длина рабочего хода, точность переключения механизма подачи, габаритные размеры.

Существует несколько основных признаков *классификации силовых головок*:

- по типу подачи — электромеханические (кулачковые и винтовые), гидравлические и пневмогидравлические;
- по конструктивному признаку — с выдвигной пинолью (самодействующие) и с подвижным корпусом (несамодействующие).

На рисунке 6.4 показана схема малогабаритной силовой головки (моделей ГС 02 — ГС 06) с плоскокулачковым приводом подачи и выдвигной пинолью. Предназначена для сверления, развертывания, торцевания и нарезания резьбы. При оснащении специальными приспособлениями можно выполнять фрезерование, обтачивание и растачивание кольцевых канавок в отверстиях. Ее конструкция предусматривает возможность оснащения многошпиндельной насадкой, механизмом обратного хода, механизмом двухсторонней обработки и другими устройствами.

Корпус 3 головки смонтирован на салазках, закрепляемых на станине. При наладке станка корпус головки можно вручную (при помощи винта) перемещать вдоль салазок. Во время работы корпус головки неподвижен. Головка обеспечивает режущему инструменту вращательное и поступательное движения при резании деталей стержневыми инструментами. Приводной вал 2 вращается электродвигателем 4 при помощи ременной или зубчатой передачи. Может применяться при одношпиндельном и многошпиндельном варианте обработки в зависимости от формы конца шпинделя и имеет следующие *конструктивные исполнения*:

- с зубчатым или ременным редуктором на установочных салазках для ручного перемещения;
- с зубчатым редуктором на салазках с пневматическим или электромеханическим винтовым приводом, обеспечивающим ускоренный подвод и отвод головки.

Принцип работы головки заключается в следующем (рис. 6.5). От электродвигателя 22 через сменные шкивы клиноременной передачи 21

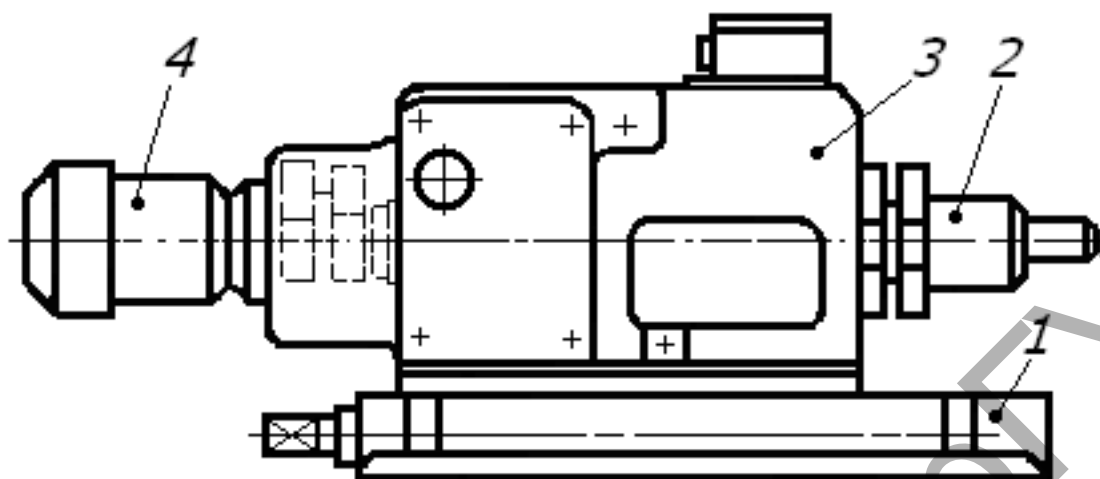
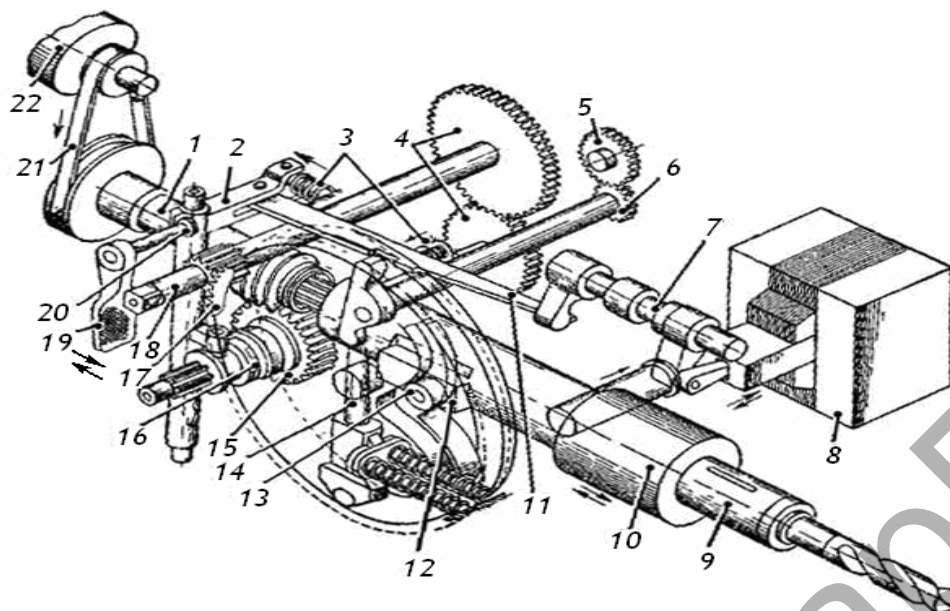


Рисунок 6.4 — Малогобаритная силовая головка

вращательное движение передается полому валу *1*, имеющему внутренние шлицы для соединения со шпинделем *9*. На полном валу имеется червяк, вращение от которого передается колесу-кулаку *17* через червячное зубчатое колесо с предохранительной муфтой *15* сменные колеса *4* и вал-шестерню *18*. Ролик *13*, ось которого впрессована в пиноль *10*, прижат при помощи рычага *14* и пружин к кулаку. Механизмы головки предохраняются от перегрузки шариковой муфтой, вмонтированной во втулку червячного зубчатого колеса *15*. Главное движение настраивается сменными шкивами ременной передачи, а величина подачи — подбором сменных зубчатых колес *4*. Силовая головка модели ГС применяется, как правило, в компоновках малых агрегатных станков с автоматическим или полуавтоматическим циклом работы.

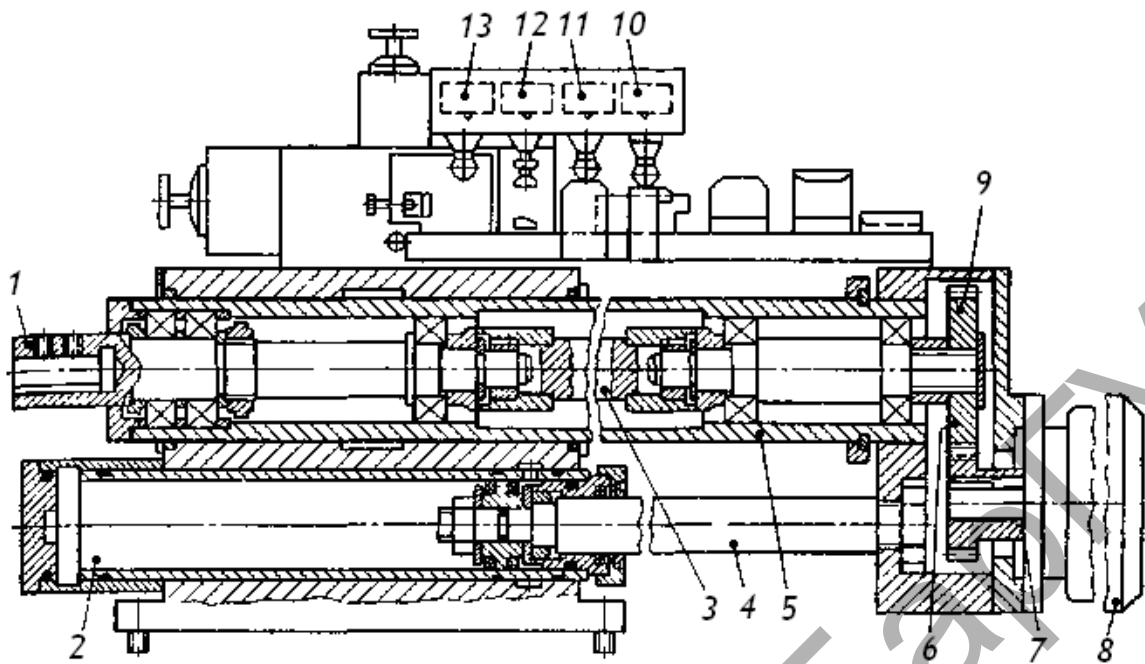
Барабанно-кулачковые силовые головки с подвижной пинолью или с подвижным корпусом применяются для сверлильно-фрезерных и резьбонарезных операций, мощность их составляет 0,1...6 кВт. По своей конструкции они отличаются от плоскокулачковых головок только конструкцией кулачка и сопутствующих деталей. Приводы главного движения и движения подачи имеют свои отдельные электродвигатели. Барабанный кулачок обеспечивает движение подачи на большее расстояние, чем плоский. Эта особенность и явилась основной причиной появления барабанных головок.

Силовые головки с гидроприводом (рис. 6.6). От двигателя *8*, через пару зубчатых колес *6—9* вращение передается через связь *3* на шпиндель *1*, который установлен внутри пиноли, связанной с поршнем гидропривода подачи. При перемещении поршня влево шпиндель скользит внутри втулки, с которой имеет подвижное соединение, осуществляя движение подачи. На боковых поверхностях силовой головки устанавливаются упоры, воздействующие на электрическую и гидравлическую (*10, 11, 12, 13*) аппаратуру управления.



- 1 — пустотелый червяк; 2 — рычаги; 3 — пружины; 4 — сменные зубчатые колеса; 5 — стопор;
 6 — втулка—шестерня; для регулирования момента отключения подачи; 7 — оси; 8 — электромагнит;
 9 — шпиндель; 10 — пиньоль; 11— тяга; 12 — планка; 13 — ролик; 14 — рычаг поджима ролика;
 15 — червячное колесо с предохранительной муфтой; 16 — муфта;
 17 — кулачок с зубчатым венцом; 18 — вал-шестерня; 19 — рукоятка подачи пиньоли (при наладке);
 20 — эксцентрик; 21 — ременная передача (в ряде конструкций зубчатая); 22 — электродвигатель

Рисунок 6.5 — Схема плоскокулачковой силовой головки



1 — шпиндель; 2 — гидроцилиндр; 3 — связь; 4 — шток гидроцилиндра; 5 — корпус шпинделя; 6, 9 — зубчатое колесо электродвигателя; 10, 11, 12, 13 — конечные выключатели

Рисунок 6.6 — Силовая головка с гидроприводом

Гидравлические силовые головки применяют для выполнения как легких, так и тяжелых работ при обработке деталей средних и больших размеров. Имея при необходимости мощный привод главного движения (0,27...30 кВт) и преодолевая большие усилия подачи (0,4...100 кН), они позволяют осуществлять наибольшую концентрацию операций. Гидропривод обеспечивает бесступенчатое регулирование подачи в пределах 0,12...14 мм / с и скорость быстрых перемещений 50...125 мм / с. Малое время холостых ходов обусловлено достаточной точностью переключения с быстрых ходов на рабочие подачи и наоборот (выбег составляет 0,18...0,47 мм). Частота вращения инструмента до 9 000 мин⁻¹, а для сверления отверстий диаметром менее 1 мм шпиндель делает до 24 000 мин⁻¹. Большая жесткость, надежная защита от перегрузки и самосмазываемость деталей привода обеспечивают силовой головке высокие эксплуатационные качества. К числу недостатков гидравлических головок относят сложность эксплуатации и ремонта гидропанелей, нестабильность подачи при резко меняющихся силах резания и невозможность нарезать резьбу.

Быстрые перемещения в агрегатных станках с гидроприводом составляют по времени до 50%. Увеличение скорости быстрых ходов более 5 м / с вызывает рост инерционности и времени хода. Введение двухскоростного подвода с переключением на скорость 2 м / с повышает стабильность точки переключения и сокращает время переключения на 27...50%.

Винтовые электромеханические головки применяются для сверлильных, расточных и особенно резбонарезных операций. Самодействующая силовая головка (рис. 6.7) обеспечивает основные движения и быстрый подвод и отвод режущего инструмента. Длина хода инструмента 500...800 мм, пределы подач 16,4... 349 мм / мин, мощность электродвигателя 14 кВт, масса головки 5,9 кН.

В целом головки с силовым столом обеспечивают большую гибкость, при конструировании агрегатных станков, а винтовой привод подачи — надежную и стабильную подачу порядка 0,2...2,2 мм / с, скорость быстрых ходов 0,07...0,11 м / с и силу подачи 3...100 кН. Мощность привода главного движения обычно составляет 0,8... 30 кВт. Эти показатели такие же, как и у гидравлических силовых головок.

К *преимуществам* силовых головок с винтовым приводом следует отнести также более простую конструкцию и аппаратуру управления; с помощью данных головок можно нарезать резьбу. К *недостаткам* головок относятся сложность электрической схемы, ступенчатое изменение подачи, трудности при получении малых подач. Вследствие большой инерционности во время быстрых перемещений точность переключения движения стола на рабочую подачу низка (выбег до 2,5 мм), поэтому эти головки требуют большей величины хода на врезание (на 2... 3 мм больше нормативного).

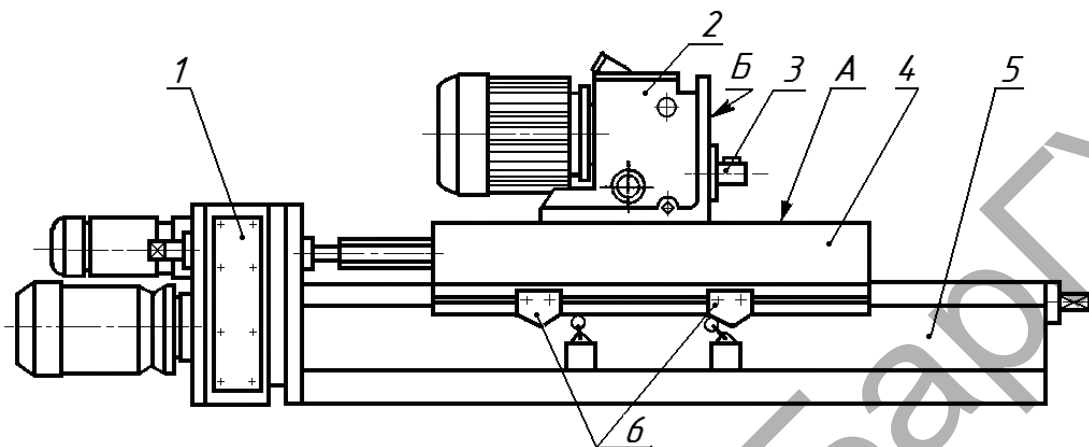


Рисунок 6.7 — Винтовая электромеханическая силовая головка

Пневмогидравлические силовые головки работают с применением сжатого воздуха в сочетании с гидравлическим регулированием величины подачи.

Самодействующие **многошпиндельные силовые головки** предназначены для сообщения режущим инструментам вращательного и поступательного движения. Корпус 3 (рис. 6.8) перемещается по направляющей плите 11 гидроцилиндром 12, гильза которого крепится к головке, а шток — к направляющей плите.

Масло в гидроцилиндр поступает через гидропанель от сдвоенного пластинчатого насоса 5, вращению которому передается от электродвигателя 9 через зубчатый редуктор 8 — 10 и упругую муфту 7. Насос расположен в полости 4 корпуса 3, заполняется маслом, заливается через закрываемое пробкой 6 отверстие. Головка переключается на различные переходы цикла перемещением распределительного золотника гидропанели под действием кулачков либо посредством электромагнитов, включаемых конечными переключателями, закрепленными на направляющей плите 11, на которые воздействуют кулачки, закрепленные на планке корпуса головки. Количество и расположение упоров управления зависят от цикла работы головки. В специальном бачке находится масло для смазки направляющих, подаваемое самотеком.

Многошпиндельная коробка 2 крепится к фланцу корпуса головки. Шпиндели вращаются с помощью приводного вала 1 от электродвигателя 9 через пару зубчатых колес 8 и 10.

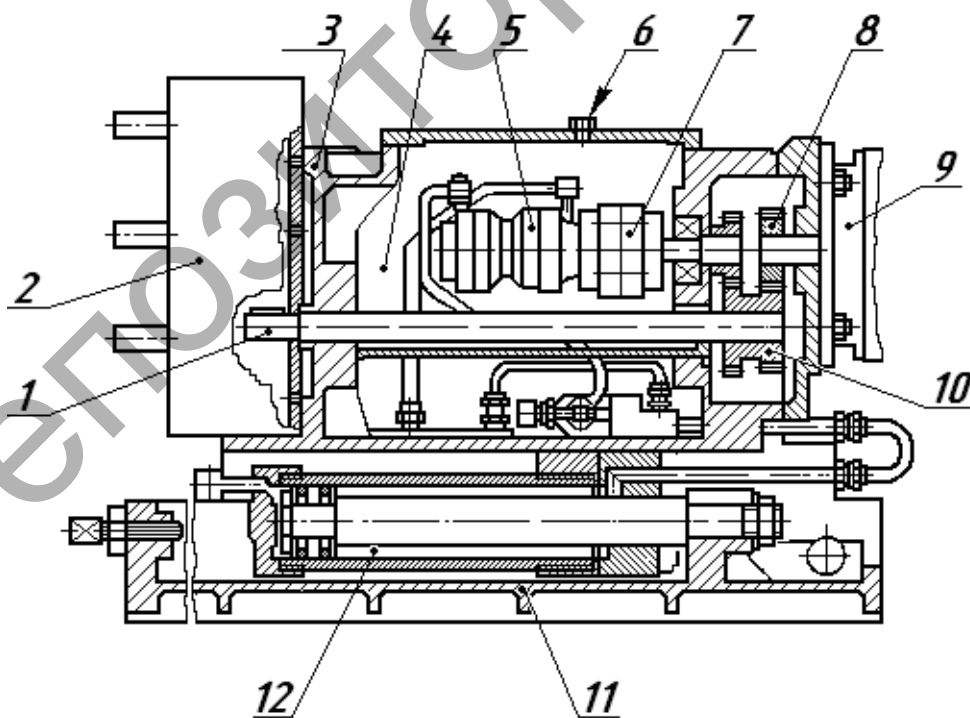


Рисунок 6.8 — Конструктивный разрез многошпиндельной силовой головки

Сообщение режущим инструментам главного движения, рабочей подачи и установочных перемещений. Главное движение вращения инструментам сообщают шпиндельные узлы. Одношпиндельные узлы (сверлильные, расточные, фрезерные бабки, револьверные бабки) широко используются для выполнения расточных, сверлильных, фрезерных операций и нарезания резьбы. Шпиндельные бабки связаны с приводом вращения силовой головки и устанавливаются на силовой узел станка (силовую головку, силовой стол), сообщая им рабочую подачу и установочные перемещения.

Для подрезания торцов бабки оснащаются механизмами поперечных подач и планшайбами. В комплекте с приводом главного движения и силовыми столами бабки могут устанавливаться на горизонтальное, вертикальное или наклонное основание для обработки поверхностей, расположенных под разными углами.

В компоновках агрегатных станков и автоматических линий применяется большое количество разнообразных шпиндельных узлов. Наибольшее распространение имеют многошпиндельные коробки для сверлильной и резьбонарезной обработки.

Сверлильные шпиндельные коробки (рис. 6.9) предназначены в большинстве случаев для обработки деталей по направляющим втулкам (кондуктору). Они выполняют всевозможные виды обработки отверстий (для нарезания резьбы имеются модификации коробок) и могут иметь до 80 шпинделей *l*.

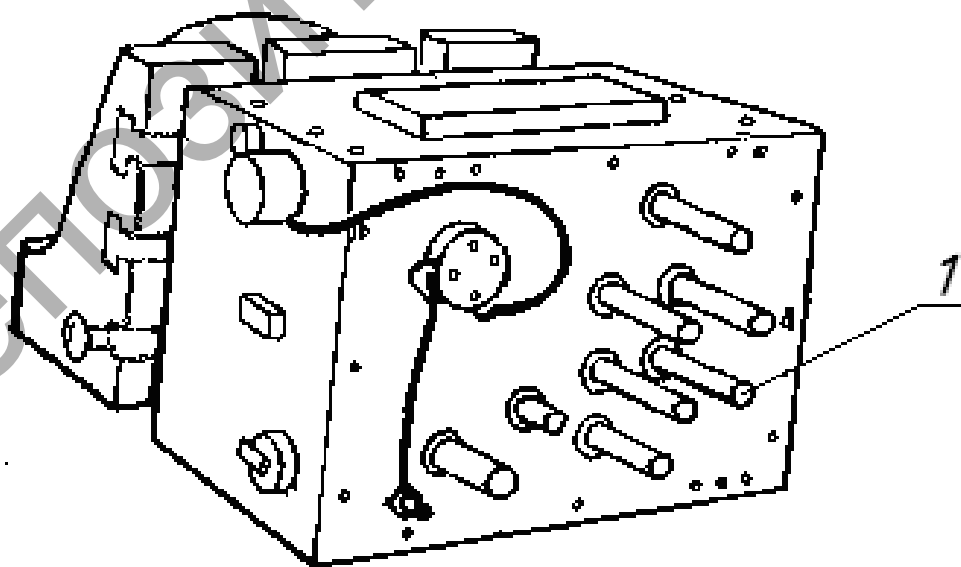
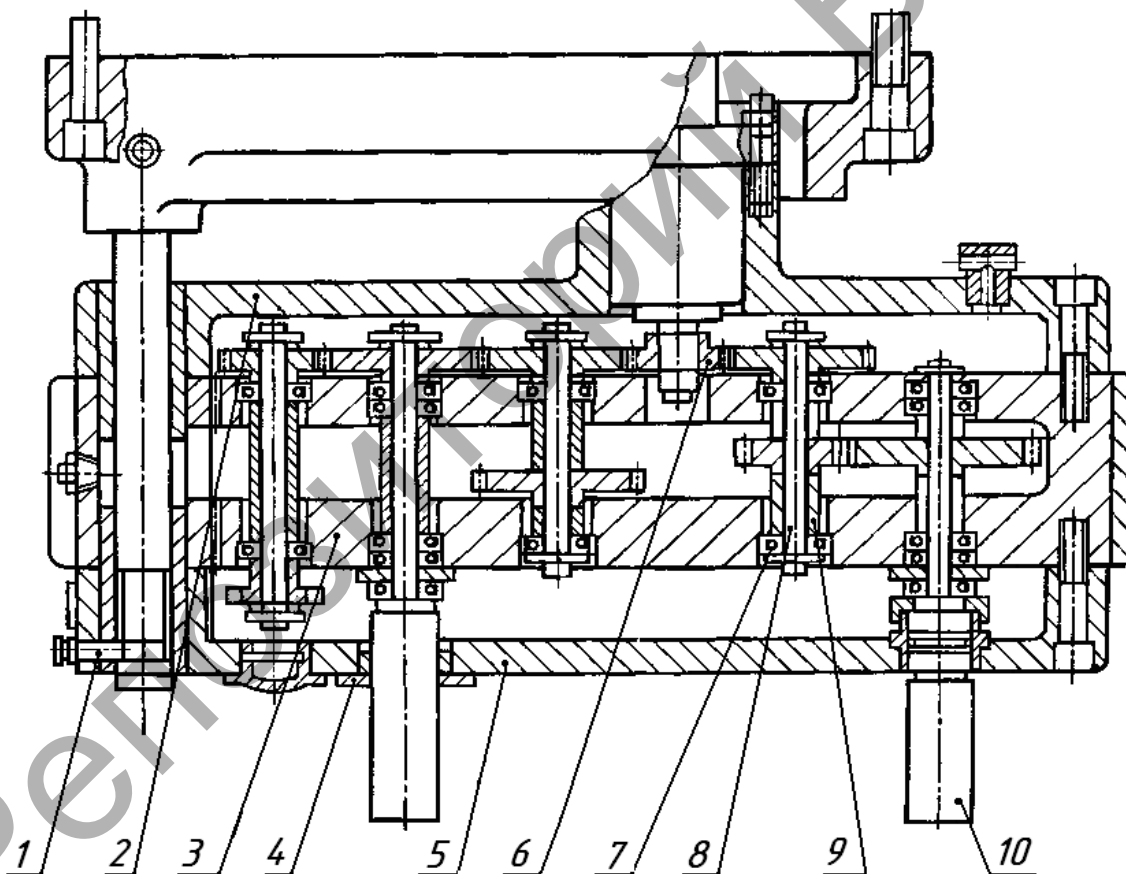


Рисунок 6.9 — Шпиндельная коробка

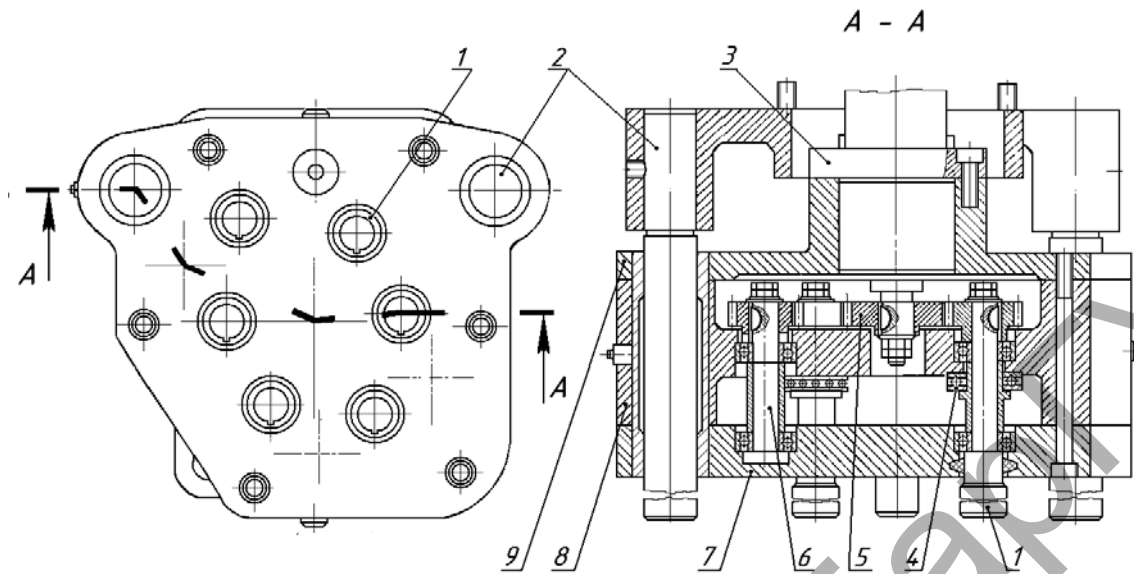
Невозможно целиком унифицировать шпиндельные коробки, так как бесчисленны варианты чисел, типов, расположения шпинделей, межцентровых расстояний. Поэтому унифицированы комплекты литья, шпиндели с опорами, промежуточные валы с опорами, зубчатые колеса, подшипники качения, распорные втулки и узлы смазки и все другие детали, в том числе корпуса, подготовленные под расточку. Оригинальными являются чертеж расположения отверстий на корпусе коробки и сборочный чертеж.

Конструкция шпиндельной коробки (рис. 6.10) позволяет получить на шпинделях широкий диапазон чисел оборотов, а гамма унифицированных шпинделей — крепить переходные инструментальные оправки следующих диаметров: 19; 26; 36, 44; 60; 80 мм. Таким образом, шпиндельная коробка допускает различное сочетание видов инструмента, диаметров обработки и режимов резания.



1 — фиксатор; 2 — плита задняя; 3 — корпус; 4 — фланец; 5 — плита передняя;
6 — приводное зубчатое колесо; 7 — радиальный шарикоподшипник;
8 — промежуточный вал; 9 — втулка распорная; 10 — шпиндель

Рисунок 6.10 — Типовая компоновка многошпиндельной коробки



1 — шпindelь; 2 — скалка; 3 — державка; 4 — упорный шарикоподшипник; 5 — зубчатое колесо;
 6 — промежуточный вал; 7 — нижняя крышка; 8 — корпус головки; 9 — верхняя крышка

Рисунок 6.12 — Многошпindelная насадка

Державка 3 насадки закрепляется на торце силовой головки, и движение со шпинделя головки через зубчатые колеса 5, установленные на промежуточных валиках, передается рабочим шпинделем насадки.

Сверлильно-резьбонарезные шпиндельные коробки применяются в случаях, когда на агрегатных станках необходимо нарезать резьбу. Сверлильно-резьбонарезные коробки отличаются тем, что резьбонарезные шпиндели имеют отдельный независимый привод вращения, позволяющий их реверсировать, и командоаппарат (счетный механизм) для контроля хода метчиков, подачи команды на реверс и остановку резьбонарезных шпинделей в исходном положении от встроенного тормоза (при мощности резьбонарезания не более 2,8 кВт) либо электродвигателя в сочетании с дисковым электротормозом, устанавливаемым на задней плите коробки.

Рабочая подача метчиков осуществляется перемещением с помощью резьбовых копиров, которые несут инструмент и получают вращение от резьбонарезных шпинделей относительно неподвижной копирной гайки.

Резьбонарезные шпиндельные коробки, осуществляющие только нарезание резьбы, имеют различное конструктивное исполнение в зависимости от силового органа.

Для выполнения фрезерных операций, чернового и чистового растачивания, подрезки больших торцов при возникновении значительных сил резания требуются узлы жесткой конструкции с минимальным количеством подвижных стыков. Технологичной является конструкция, когда механизм главного движения отделен от механизма подачи и данное устройство выполнено в виде двух независимых узлов: силового стола и силовой бабки.

Независимый привод стола осуществляется с помощью электродвигателей, редуктора и пары винт — гайка. На силовом столе устанавливают силовые бабки, имеющие отдельный привод главного движения, индивидуальный рабочий шпиндель или приводной вал, вращающий шпиндель шпиндельной коробки. Движением стола управляют система упоров и конечные электрические переключатели.

Силовые столы предназначены для установки на них узлов главного движения (расточных, сверлильных, фрезерных бабок; упорных угольников со шпиндельными коробками) или зажимных приспособлений с обрабатываемыми заготовками и сообщения им прямолинейных рабочих движений подачи. Широко применяются силовые столы с винтовым приводом подачи. Наряду с винтовыми парами скольжения в силовых столах используются винтовые пары качения, отличающиеся высокой долговечностью и обеспечивающие за счет плавности перемещения стола высокую долговечность режущего инструмента. Многие агрегатные станки komponуются на базе гидравлических силовых столов, которые могут работать в горизонтальном, вертикальном и

наклонном положении. При вертикальном или наклонном варианте установки стола его движущая часть уравнивается грузом-противовесом, который размещается внутри стойки и подвешивается на двух втулочно-роликовых цепях или стальных канатах.

Столы используются в качестве механизмов подачи агрегатных станков для обработки средних и крупных деталей. Основной рабочий цикл силовых столов: ускоренный подвод — рабочая подача (одна или две) — выдержка на жестком упоре — быстрый отвод.

В зависимости от типоразмера наибольшая длина хода стола 250... 1250 мм, а наибольшая сила подачи 6,3...100 кН. Привод с гидроцилиндром обеспечивает бесступенчатое регулирование подачи и достаточную точность переключения с быстрого хода на рабочую подачу (выбег до 0,5 мм).

Силовой стол (рис. 6.13) состоит из собственно стола (подвижной плиты) 17, салазок 18 и редуктора. На столе устанавливается приспособление с заготовкой или узлы, сообщающие инструментам главное вращательное движение (бабки сверлильные, расточные, фрезерные и др.). Стол сообщает заготовке или бабке быстрый подвод, рабочую подачу и быстрый отвод. Рабочую подачу он получает от электродвигателя 1 при включенной электромагнитной муфте 13 через зубчатые колеса 2-4, 3-6, сменные 5 и 7 и зубчатые 15-16, 9-12, 10-11. Максимальное усилие подачи регулируется фрикционной муфтой 14.

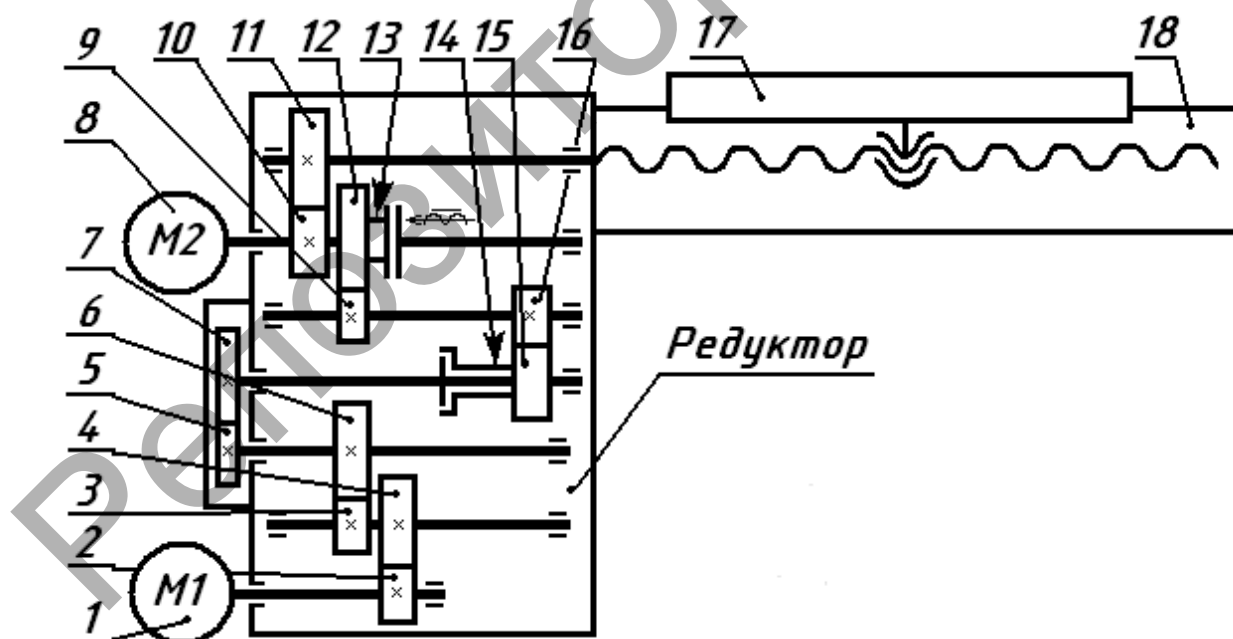


Рисунок 6.13 — Кинематическая схема силового стола

В цикле может быть одна или две рабочие подачи в зависимости от того, одну или две скорости имеет электродвигатель 1. Когда надо обеспечить перпендикулярность оси отверстия и его торца, обработка последнего производится на жестком упоре. При этом стол упирается в отрегулированный винт, а предохранительная муфта 14 проскальзывает. Быстрый подвод и отвод стола сообщает электродвигатель 8 через зубчатые колеса 10-11 при выключенной электромагнитной муфте 13. Управление циклом движений стола производится переставными упорами и бесконтактными путевыми переключателями типа БВК. Выпускаются столы нескольких размеров и двух разновидностей: с коротким и длинным ходом. Они могут работать в горизонтальном, вертикальном и наклонном положениях; обеспечивают агрегатным станкам широкие технологические возможности и гибкость при проектировании.

Основными элементами силового стола с гидроприводом, иначе называемого подкатным столом (рис. 6.14), являются основание 4 и плита 3, которая получает перемещение от гидроцилиндра 7 через шток 1 и серьгу 2. При наладке верхняя плита может передвигаться при вращении съемной рукоятки, если ею вращать валик 5, в результате промежуточные зубчатые колеса сместят рейку 6.

Крестовый стол имеет возможность обеспечивать установочные перемещения в двух взаимно перпендикулярных направлениях и движение подачи в одном из этих направлений. В зависимости от исполнений движения в обоих направлениях осуществляются гидроприводом или установочное перемещение стола поперек основания производится гидроцилиндром, а каретка перемещается вдоль основания электромеханическим приводом. Максимальная мощность электродвигателя с направлением режущего инструмента составляет 17 кВт.

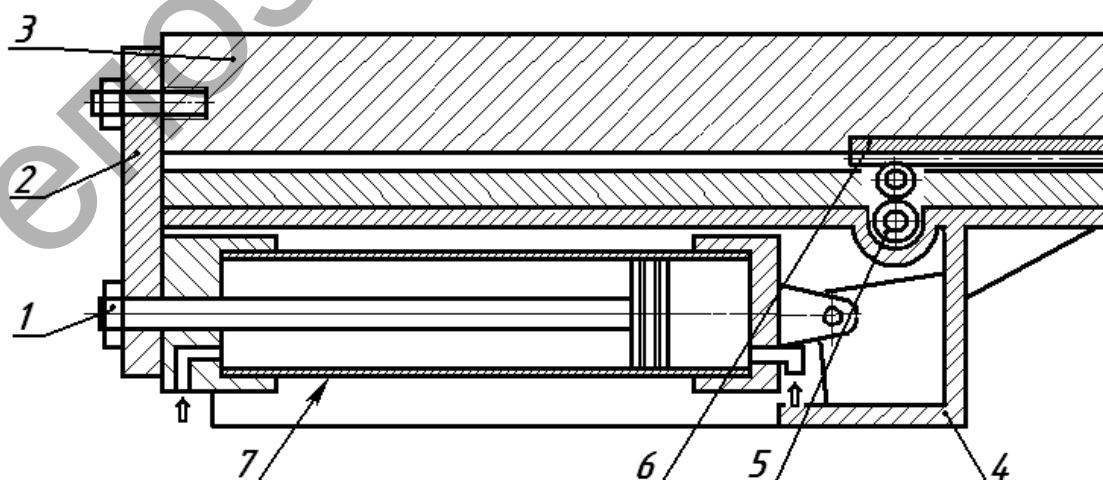


Рисунок 6.14 — Подкатной стол

Силовые бабки. *Сверлильные бабки* предназначены для сообщения режущему инструменту вращательного (главного) движения при сверлении, зенкеровании, развертывании, цековании. Сверлильные бабки могут работать в горизонтальном, вертикальном и наклонном положениях (рис. 6.15).

Приводом сверлильной бабки может служить ременной редуктор или коробка скоростей с зубчатым редуктором. Ременной редуктор применяется при операциях чистовой обработки.

Расточные бабки служат для сообщения режущему инструменту вращательного (главного) движения при черновом и чистовом растачивании, обтачивании, зенкеровании и подрезании торцов осевой подачей инструмента (рис. 6.16).

Для получения движения подачи расточная бабка устанавливается на силовой стол. Если движение подачи сообщается обрабатываемой детали, она может устанавливаться на неподвижную станину или стойку. Расточные

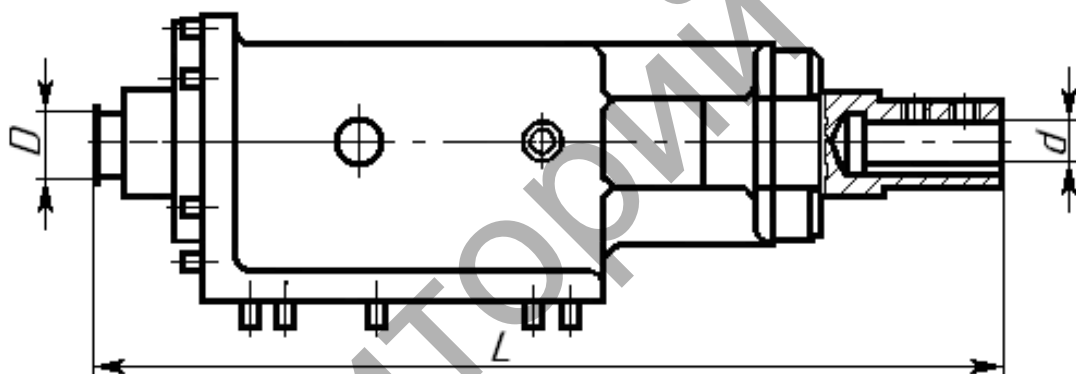


Рисунок 6.15 — Сверлильная бабка

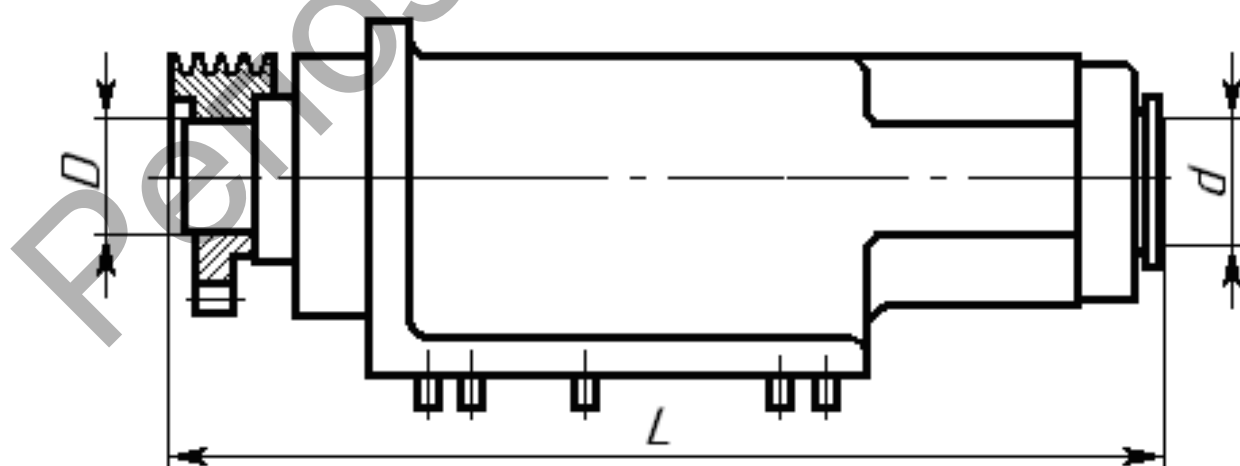


Рисунок 6.16 — Расточная бабка

бабки могут работать в горизонтальном, вертикальном или наклонном (при направлении движения рабочей подачи сверху вниз) положениях. В качестве привода расточной бабки применяется ременная передача или коробка скоростей с зубчатым редуктором.

Резьбонарезные бабки (рис. 6.17) применяются для сообщения главного движения резьбообразующему инструменту и позволяют методом самозатягивания нарезать наружную и внутреннюю резьбу, а также накатывать наружную резьбу резьбонакатными головками. Резьбонарезные бабки выполнены на базе расточных бабок и представляют собой встроенный в корпус шпиндель, внутри которого установлен другой шпиндель, подвижный в осевом направлении. Резьбонарезная бабка снабжена механизмами включения и выключения резьбонарезных головок.

Резьбонарезные бабки устанавливаются на силовые столы, которые сообщают им установочные перемещения и движение подачи, причем подача стола должна обеспечивать минимально возможное, но не менее чем 5%-ое отставание перемещения стола относительно инструмента (подвижного шпинделя), перемещающегося в соответствии с шагом нарезаемой резьбы.

Револьверные бабки (рис 6.18) предназначены для сообщения главного движения режущему инструменту на рабочей позиции и автоматической смены инструмента (при обработке нескольких заготовок).

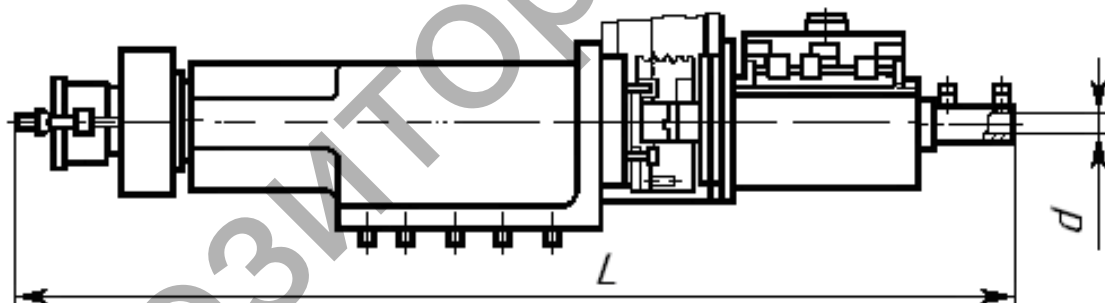


Рисунок 6.17 — Резьбонарезная бабка

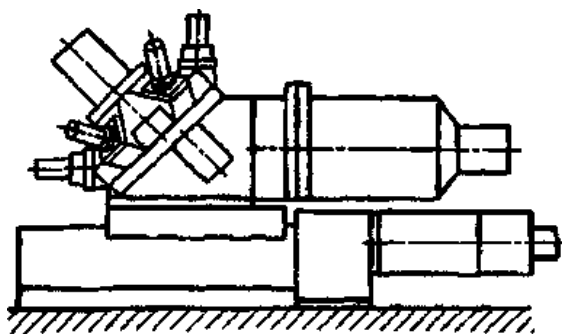


Рисунок 6.18 — Револьверная бабка

Бабки выполняют операции сверления, развертывания, фрезерования, растачивания, а также многошпиндельную обработку при установке на них многошпиндельных коробок. Могут работать в горизонтальном, наклонном и вертикальном положениях.

Виды компоновок агрегатных станков и их зависимость от назначения станка. Компоновки агрегатных станков условно делятся на четыре группы:

а) *на станках нет устройства для периодического транспортирования обрабатываемых деталей*, т. е. детали остаются неподвижными в течение всего цикла обработки. При одной установке можно обрабатывать на разных сторонах детали поверхности, точно связанные друг с другом, например отверстия в корпусе редуктора или в чашке дифференциала, цапфы крестовины карданного вала. Благодаря тому, что приспособление неподвижно, можно достичь относительно высокой точности обработки;

б) *АС имеют поворотный делительный стол*. Обычно на нем помещается многопозиционное приспособление; последовательная обработка детали производится несколькими инструментами. Периодическое перемещение приспособлений вместе с обрабатываемыми деталями из одной позиции в другую производят при помощи многопозиционных столов: поворотных или с прямолинейным движением. При обработке заготовка, как правило, неподвижна, рабочие движения сообщаются режущим инструментам. Возможна конструкция со столом, вращающимся вокруг центральной колонны. Иногда в центре поворотного стола устанавливается одна крупногабаритная заготовка;

в) *станки имеют барабан с горизонтальной осью вращения*, на гранях которого находятся приспособления для закрепления обрабатываемых деталей. На барабанных станках обычно обрабатываются детали с двух противоположных сторон и с трех, т. е. типа валов, труб, корпусных. Небольшие подвесные головки позволяют распространить обработку на большее число сторон;

г) *станки имеют многопозиционный стол с линейным перемещением* и предназначены для обработки деталей с большим количеством повторяющихся элементов или крупногабаритных. Для загрузки и съема заготовок служат одна позиция или две на противоположных сторонах станка.

Зажимные приспособления АС обеспечивают базирование заготовки с требуемой точностью и надежное ее закрепление. В автоматизированных приводах зажима используют пневматические или гидравлические цилиндры, а также электромеханические или гидромеханические ключи.

На рисунке 6.19 показаны схемы компоновки АС, на которых крупные заготовки обрабатываются силовыми узлами 2 в одном положении в стационарном приспособлении 1. Эти АС называются однопозиционными. Обработка производится с одной (рис. 6.19, а), двух (рис. 6.19, б, в) и трех (рис. 6.19, г, д) сторон.

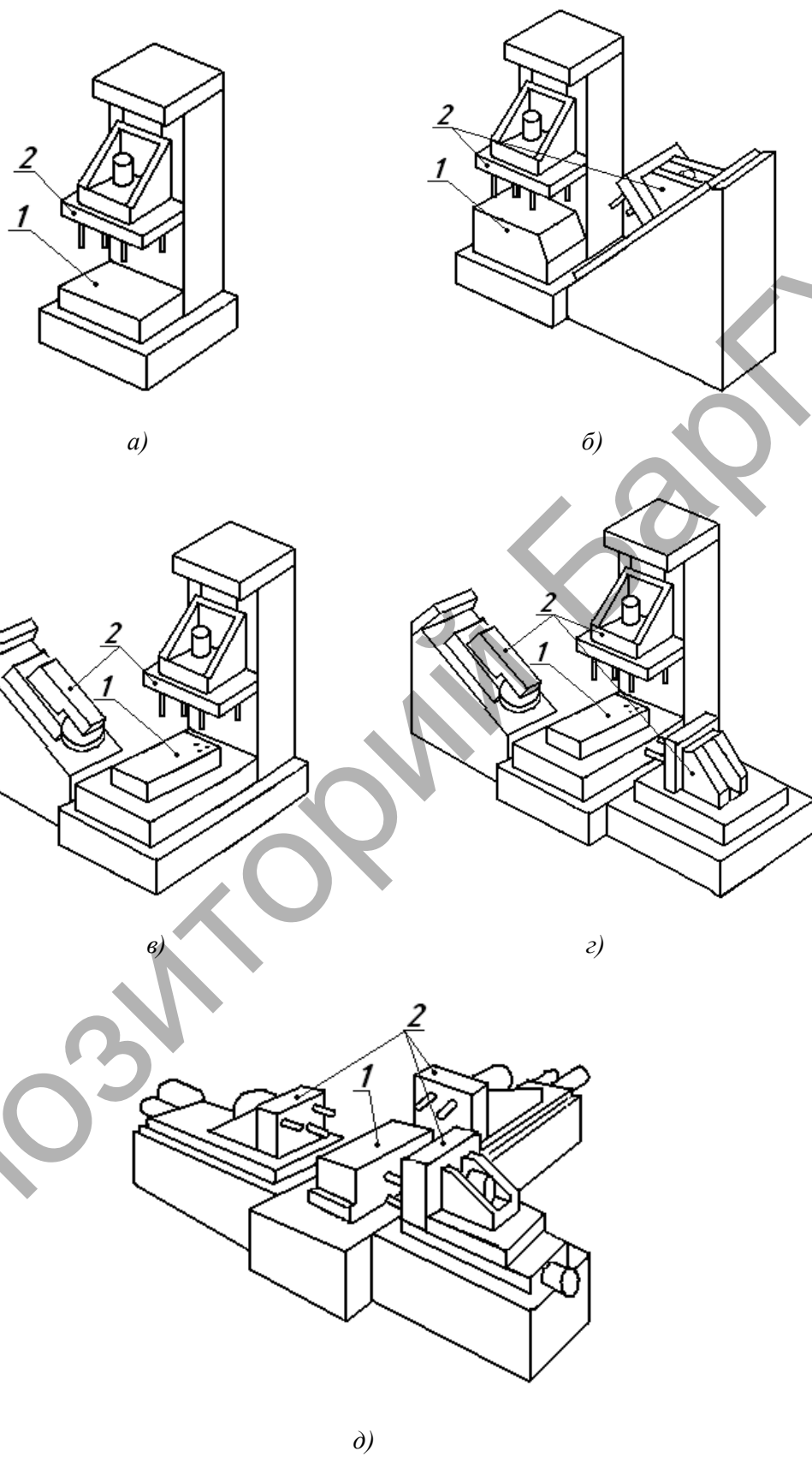


Рисунок 6.19 — Типовые компоновки агрегатных станков со стационарными приспособлениями

Количество силовых агрегатов и инструментальных шпинделей, расположение осей шпинделей в пространстве зависят от назначения станка. Различают станки *одноагрегатные* (см. рис. 6.19, *а*) и *многоагрегатные* (см. рис. 6.19, *б — д*), одношпиндельные и многошпиндельные, горизонтальные (см. рис. 6.18, *д*), вертикальные (см. рис. 6.19, *а*), наклонные (см. рис. 6.19, *б — г*), смешанные (см. рис. 6.19, *г*), односторонние (см. рис. 6.19, *а*) и многосторонние (см. рис. 6.19, *б — д*).

Подвижное приспособление в многопозиционном станке бывает одноместным и многоместным. Компоновки АС с поворотным делительным столом 2 (рис. 6.20) выполняются в вертикальном (рис. 6.20, *а, б*), горизонтальном (рис. 6.20, *в — д*) и вертикально-горизонтальном (рис. 6.20, *е*) исполнениях. Заготовка закрепляется в приспособлениях 1, устанавливаемых на делительном столе, и обрабатывается последовательно с одной, двух и трех сторон на нескольких позициях стола.

Агрегатные станки с поворотным делительным барабаном 1 и приспособлением 2, совершающем круговое движение показаны на рисунке 6.21. Заготовки обрабатываются с одной (рис. 6.21, *а*), двух (рис. 6.21, *б*) или трех (рис. 6.21, *в*) сторон.

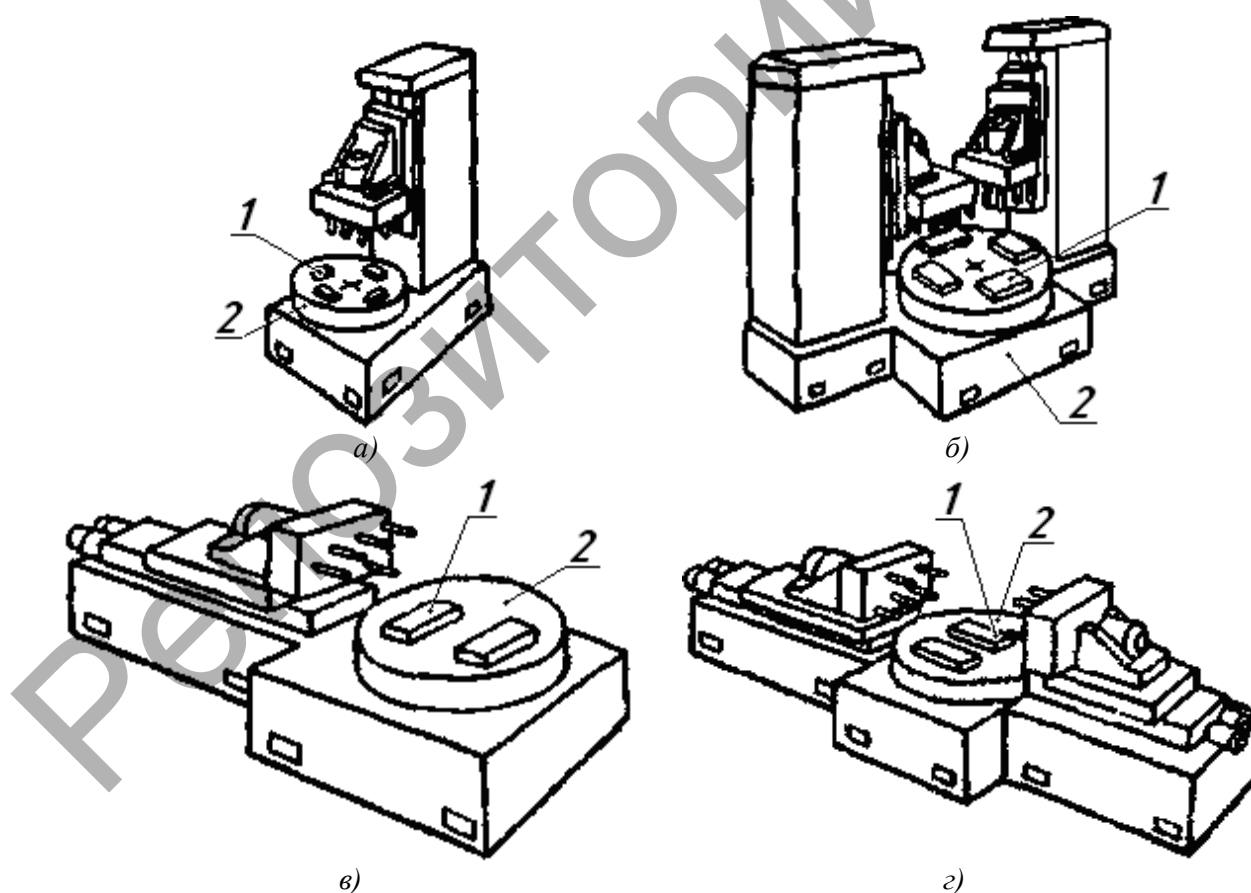


Рисунок 6.20 — Типовые компоновки агрегатных станков с поворотным делительным столом

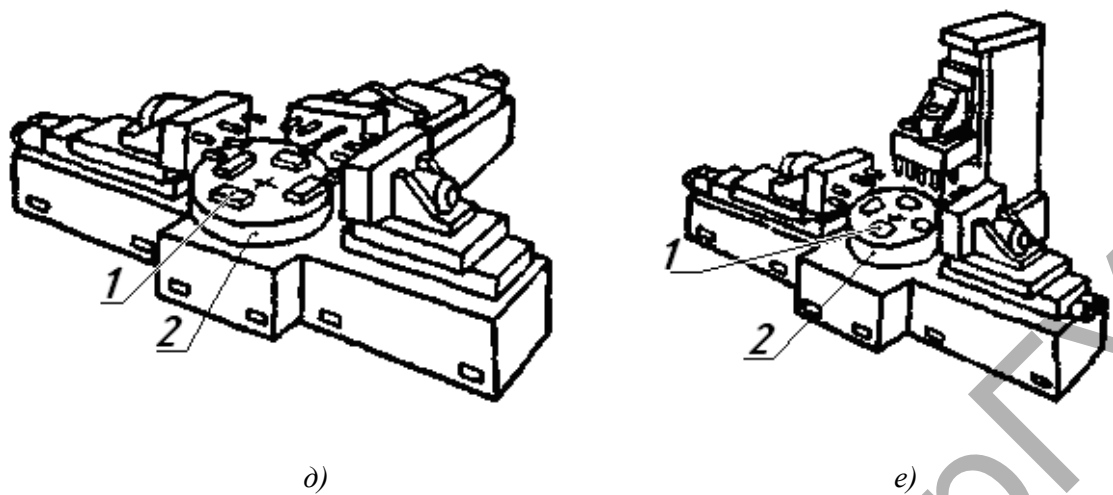


Рисунок 6.20 — Окончание

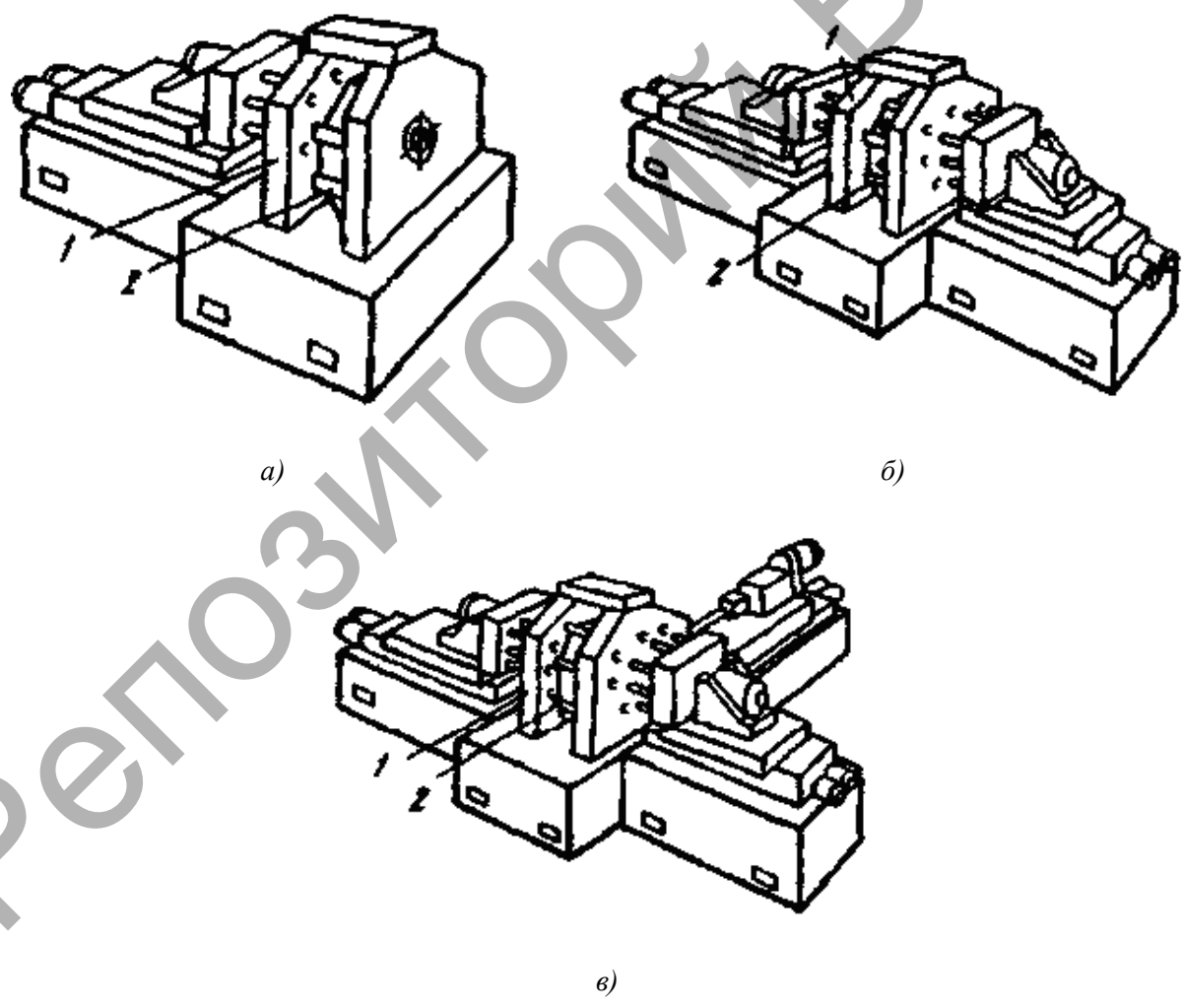


Рисунок 6.21 — Типовые компоновки агрегатных станков с поворотным делительным барабаном

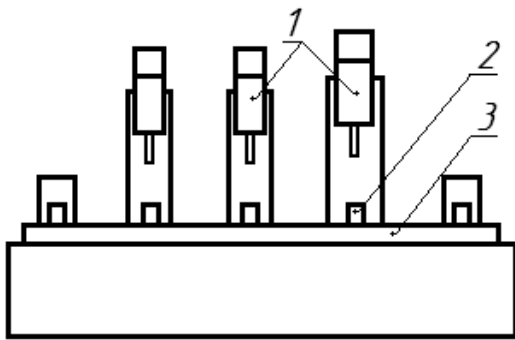


Рисунок 6.22 — Компоновка агрегатных станков с прямолинейным перемещением заготовок

Типовая компоновка АС с прямолинейным движением стола 3 с заготовками 2 относительно силовых головок 1 показана на рисунке 6.22.

Конструктивные особенности силовых узлов агрегатных станков.

Предварительная схема компоновки и использование тех или иных силовых узлов определяется видом выполняемой работы, числом переходов и операций и последовательностью обработки. Основным моментом при выборе схемы компоновки станка является положение

обрабатываемой детали на станке, так как это влияет на конструкцию приспособления для ее закрепления, на взаимное расположение детали, инструментов, приспособления и силовых головок и габаритные размеры станка в целом.

Черновую и чистовую обработку производят на разных станках или на разных позициях. На одной позиции не совмещают тяжелые и легкие операции, например, фрезерование и сверление отверстий малого диаметра, так как из-за вибрации при фрезеровании, даже если деталь хорошо закреплена, сверло может сломаться.

В случае жестких допусков (менее 0,1 мм) на расстояние между осями отверстий шпиндели для их обработки устанавливают на одной позиции многошпиндельной коробки, чтобы погрешности поворота стола и расположения головок не отражались на точности расположения отверстий.

Для уменьшения количества шпинделей в силовых узлах агрегатных станков широко применяются комбинированные инструменты (например, для одновременного сверления или растачивания ступенчатых отверстий, растачивания и подрезания торца и т. д.).

Передаточные отношения механизмов АС выбирают из расчета увеличения на 20—30% периода стойкости режущих инструментов. Режимы резания при обработке на агрегатных станках выбирают по соответствующим нормативам или рассчитывают. Минутная подача всех инструментов, установленных на одной шпиндельной коробке (для многоинструментальных коробок), если шпиндели не выдвижные, имеет одинаковую величину. Скорость резания также меньше, чем при одноинструментной обработке, из-за увеличенных значений стойкости инструмента.

Основными специальными узлами агрегатных станков являются приспособления для крепления обрабатываемой детали и шпиндельные коробки. От зажимных приспособлений зависит сложность конструкции станка, его размеры, производительность и качество обработанных на

станке деталей. Шпиндельные коробки на станке могут располагаться вертикально, горизонтально и наклонно, но, независимо от расположения, имеют подобную конструкцию, komponуются из одинаковых нормализованных элементов, шпиндели должны вращаться в одном направлении, передаточные отношения зубчатых колес в шпиндельных коробках рекомендуется принимать от 1 до 1,5. В шпиндельной коробке предусматривают сменные зубчатые колеса для изменения, при необходимости, режимов резания. Обеспечивается возможность проворота всех шпинделей от руки, что необходимо при монтаже шпиндельной коробки, смене, осмотре и установке инструментов. Размеры шпиндельной коробки определяются размерами участка, на котором расположены обрабатываемые поверхности и отверстия с минимально допустимыми расстояниями от осей шпинделей до стенок корпуса шпиндельной коробки.

Репозиторий БарГУ

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ

Основные понятия и классификация автоматических линий. Назначение автоматических линий (АЛ), как и любого другого действия сводится к основным экономическим показателям: повышению производительности и увеличению прибыли. Получается, как говорят американцы: «Время — деньги!» В данном случае эффективность достигается за счет многоинструментной и многопозиционной обработки деталей, т. е. концентрацией производства, полной автоматизации всех вспомогательных процессов и резкого уменьшения количества обслуживающего персонала. На АЛ высоких экономических показателей достигают путем разделения сложных операций на более простые и удобные для наладки и стабильные в работе тем самым сокращая время обработки. В то же время простые операции и переходы объединяют в одну операцию — и опять время обработки сокращается. Стараются выполнить обработку заготовок одновременно с нескольких сторон, применяют комбинированных инструмент и т. д. Автоматические линии обеспечивают комплексную автоматизацию, в 5—8 раз уменьшают число нужных для обработки станков и рабочих, снижают себестоимость обработки в 3,5—4,5 раза, уменьшается объем незавершенного производства и связанные с ним издержки, повышается качество обработки.

Автоматические линии — это ряд автоматически управляемых станков, транспортных и контрольных механизмов, работающих по заданному технологическому процессу и представляющих собой единую систему, предназначенную для массовой обработки устойчивых по конструкции изделий. Заготовки на АЛ в процессе их последовательной обработки автоматически перемещаются транспортными устройствами между станками линии. Закрепление заготовок, имеющих простые формы производится обычно непосредственно. А вот заготовки сложной и неустойчивой при перемещении по конвейеру и в приспособлении станка формы необходимо в начале линии устанавливать вручную в специальное приспособление-спутник, которые вместе с заготовками базируются и зажимаются в приспособлениях станков автоматической линии. Самая короткая АЛ должна содержать не менее двух автоматических станков.

Автоматическая линия рассчитана на обработку устойчивых по своей конструкции деталей и поэтому используются преимущественно в массовом производстве разных отраслей промышленности. В машиностроении они выполняют широкую номенклатуру операций. Если первые АЛ выполняли сверлильные и резьбонарезные операции, то сегодня никаких ограничений на номенклатуру выполняемых работ нет. Это фрезерные, шлифовальные, токарные, зуборезные, кузнечно-прессовые, литейные, сварочные, термические, окрасочные, гальванические и другие операции.

Для управления циклом работы и наблюдения за эксплуатацией АЛ в настоящее время используются программируемые командоаппараты и ЭВМ.

Есть немало ярких примеров применения автоматических линий. Так, в 1949 году в Горьком был построен автоматический завод по производству поршней с 9 рабочими в смену и рассчитанный на выпуск 3 500 поршней в сутки. В США подобный автоматический завод был создан фирмой “Понтиак” в конце 1954 года. В 1956 году на ГПЗ-1 в Москве вошел в строй цех по производству подшипников, оборудованный двумя АЛ, которые обеспечивали весь цикл обработки, вплоть до упаковки готовых изделий.

В то же время, у автоматических линий есть один весьма существенный *недостаток*: для них требуется, как сказано выше, стабильная по конструкции деталь, т. е. гибкость оборудования весьма низка. И завод, однажды вложив деньги в линию, не заинтересован в изменении конструкции детали, если это приведет к тому, что АЛ станет ненужной еще до того, как она себя окупит. Это является существенным тормозом в совершенствовании конструкций машин. Учитывая, что в рыночных условиях конкуренция вынуждает постоянно совершенствовать продукцию, производители даже в массовом производстве сегодня все чаще применяют многооперационные станки и гибкие автоматические линии, автоматизированные совершенно на других принципах. Об этом надо постоянно помнить при выборе и заказе нового оборудования.

Классификация автоматических линий. Автоматические линии различают по виду применяемых станков, виду связи между станками, особенностям транспортных устройств, систем контроля и управления, порядку расстановки оборудования, возможности переналадки, виду изготавливаемых деталей.

Автоматические линии могут состоять из станков *общего назначения* (преимущественно для изготовления деталей типа тел вращения), *специализированных, специальных станков*. Непосредственно станок общего назначения или специализированный в АЛ не установится. Надо провести их модернизацию, снабдив загрузочными приспособлениями. Требуется переделки и электросхема станка для встройки его в общую систему управления линии. Мы знаем, что станки общего назначения имеют весьма

высокую гибкость и ясно, что с ними возможно совершенствование продукции и успех в рыночной конкуренции. Примерно то же можно сказать и о специализированных станках. Только их гибкость несколько меньше, но и переделок они потребуют меньше. Конечно, их производительность будет ниже, чем у специальных станков, но что выгоднее в каждом конкретном случае покажет экономический расчет приведенных затрат на единицу продукции. Из специализированных станков АЛ можно сделать даже в условиях обыкновенного машиностроительного завода, соединив их транспортной системой и общим управлением. Специальные станки никакой модернизации не потребуют, так как они специально сделаны для той или иной АЛ, но обойдутся дороже из-за штучного характера их производства.

Связь между станками в АЛ может быть жесткой (синхронной) и гибкой (несинхронной). *Жесткая связь* характеризуется синхронностью работы оборудования и передачи заготовок от станка к станку, т. е. детали между станками передаются так же слаженно, как шагают солдаты на параде. Для *гибкой связи* характерна некоторая независимость работы станков.

Схема связи бывает простой, последовательной и ветвящейся.

Расстановка оборудования может быть выполнена различными способами. Во-первых, *по кольцу* или *по прямоугольнику*. Это удобно при использовании спутников. В начале линии на спутники установили новые заготовки и с уже обработанными заготовками они пришли туда же. В таком случае не нужен специальный конвейер для доставки в начало линии свободных спутников. Однако доступ к оборудованию АЛ в таком случае затруднен, поэтому надо строить над линией всевозможные переходные мостики и т. п. Плохо и то, что чистовые операции, требующие особых условий обработки и аккуратности, выполняются рядом с черновыми, где в изобилии стружка, грязь, т. е. совершенно другой подход к работе. Поэтому преобладают *незамкнутые АЛ*, у которых станки устанавливаются в линию, П-образно, зигзагообразно или придумывают другую планировку. Возможны варианты с поперечным, продольным и угловым расположением станочного оборудования относительно основного потока заготовок.

По расположению транспортных устройств относительно станков и *способу передачи заготовок* в рабочие зоны станков различают АЛ:

- со сквозным транспортированием через рабочую зону — этот вариант применяется в основном при обработке корпусных деталей на агрегатных станках;

- с верхним транспортированием проектируются АЛ для обработки зубчатых колес, фланцев, валов и т. п.;

- с боковым (фронтальным) транспортированием АЛ применяется при обработке коленчатых, распределительных и ступенчатых валов, гильз, крупных колец;

- с роторным транспортированием — на роторных АЛ, где обработка и транспортирование совмещены полностью или частично.

Линии с жесткими и гибкими связями, спутниковые и беспутниковые, однопоточные и многопоточные. Транспортные системы автоматических линий с жесткой, гибкой и смешанной связью являются одной из основных характерных особенностей АЛ.

Жесткая межоперационная связь характеризуется отсутствием межоперационных заделов. В такой АЛ заготовки загружаются, обрабатываются, разгружаются и передвигаются от станка к станку одновременно или через кратные промежутки времени. В таком случае при остановке одного из станков останавливается вся автоматическая линия, приводя к экономическим потерям. Это основной недостаток такого типа АЛ. Но проектировать такую линию, особенно для обработки крупных деталей, несколько легче из-за меньшего числа элементов транспортной системы.

Гибкая межоперационная связь обеспечивается наличием межоперационных заделов. Транспортная система при гибкой связи передает заготовки от станка к станку не только после окончания цикла обработки и остановки станков, но и когда станки работают, т. е. она автономна и появляется возможность работы АЛ в случае прекращения работы отдельных станков. Так, если остановился станок в начале линии, то на последующие станки поступают заготовки, оставшиеся на транспортере и в специальных накопителях, а если простаивает окончательный станок, то детали скапливаются на транспортере и в накопителях. Таким образом, этот запас является страховым для выполнения сменного плана, но он же представляет собой и незавершенное производство, бороться с экономическими потерями от которого призваны автоматические линии. Накопительные устройства, разделяющие АЛ на части, бывают транзитными (проходными) и тупиковыми. Через *транзитный накопитель* проходят все заготовки. Устроен он следующим образом. Если между станками, скажем, 3 м, а конвейер сделали змейкой длиной 6 м, то получился транзитный накопитель. Для мелких деталей в качестве накопителя может использоваться бункер. *Тупиковый накопитель* предполагает какое-то ответвление от транспортера, куда при наличии невостребованных для дальнейшей обработки заготовок передается некоторая их часть. В АЛ накопители находятся между отдельными станками или участками. В системах линий накопители находятся также между отдельными линиями. Емкости межоперационных накопителей АЛ выбирают, исходя из надежности технологического оборудования, технологических и организационных предпосылок. По мере ухудшения показателей надежности оборудования, встраиваемого в линию, эффективность введения межоперационных заделов увеличивается.

В автоматических линиях с гибкой связью в качестве транспортных средств используют лотковые устройства различных типов, совмещенные с подъемниками, магазинами, отводящими транспортерами, бункерами и транспортерами-распределителями.

По способу перемещения обрабатываемых деталей с позиции на позицию АЛ можно разделить на *спутниковые*, на которых обрабатывают сложные по форме детали, неудобные для базирования, которые трудно или невозможно транспортировать и закреплять в автоматическом режиме с помощью механических устройств, и *бесспутниковые*, на которых обрабатывают детали, имеющие развитые базовые поверхности, гарантирующие надежную и точную установку детали на транспортере и в зажимном приспособлении. Спутник (рис. 7.1), который может быть одноместным или многоместным, представляет собой плиту (в западной технической литературе его называют паллетой), верхняя часть которой приспособлена для фиксации и закрепления заготовок 4, а нижняя — сопрягается с транспортирующими устройствами 7 АЛ и с зажимными устройствами станков. Спутник перемещает обрабатываемую заготовку от начала АЛ до конца, а после снятия готовой детали возвращается к началу АЛ, чтобы принять очередную заготовку. Для возврата спутников необходим дополнительный конвейер, который располагают вдоль основного конвейера (над ним или сбоку), если только оборудование АЛ не расставлено по кольцу.

Последовательная схема связи станков в АЛ является наиболее простой. Еще ее называют *однопоточной* (неветвящейся), когда за станком, выполнившим первую операцию стоит станок для второй, за ним для третьей и так далее.

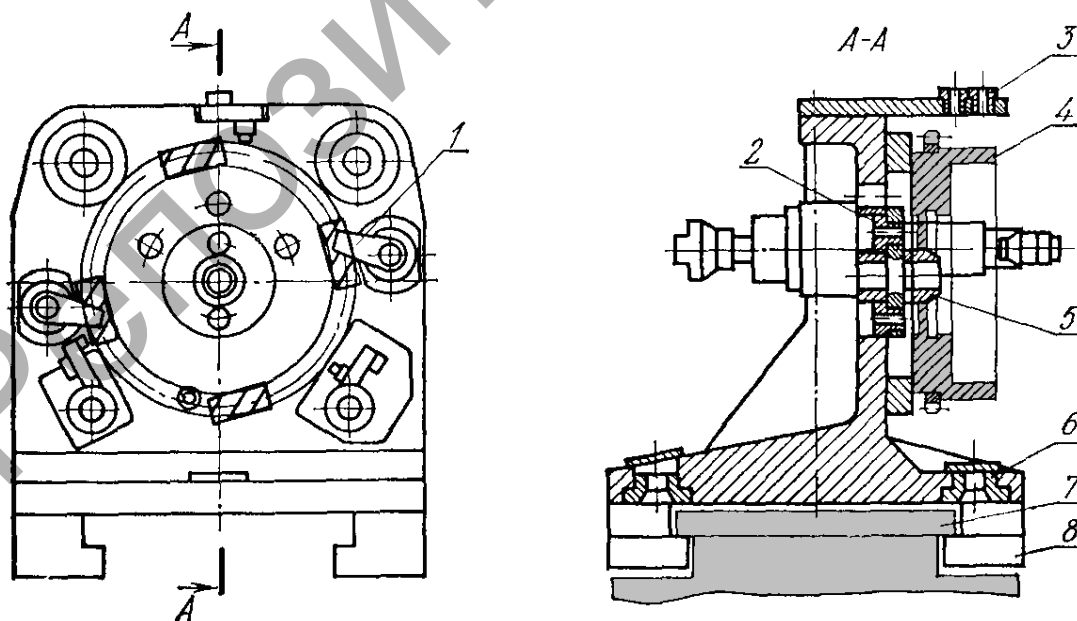


Рисунок 7.1 — Приспособление-спутник автоматической линии

В этом случае циклы работы всех станков должны быть спроектированы очень близкими по продолжительности и обработка на них должна заканчиваться практически одновременно. Но так получается не всегда. Например, при обработке зубчатого колеса машинное время токарной операции существенно меньше, чем нужно для зубодолбления. Тогда, после обработки на одном высокопроизводительном станке, приходится задействовать несколько менее производительных, выполняющих одинаковую работу. В этом случае автоматическая линия называется *многопоточной* (ветвящейся). Она должна иметь конвейер-распределитель или делители потока. Эти потоки могут быть зависимыми и независимыми друг от друга.

Автоматические линии из агрегатных станков предназначены для обработки корпусных деталей или деталей сложной формы (например, рычагов).

Важной особенностью линий этого типа является значительный рост производительности по сравнению с линиями на базе типового оборудования. *Агрегатные станки* — специальные станки, созданные в соответствии с требованием технологического процесса для обработки конкретной детали. Это позволяет использовать широкие возможности дифференциации и концентрации операций, многопозиционную обработку, обработку детали одновременно с нескольких сторон и т. д. Линии собирают из выпускаемых серийно агрегатов и механизмов, что уменьшает затраты на автоматизацию, значительно сокращает время проектирования и производства оборудования.

Число станков в АЛ и ее компоновка зависят от степени сложности изготавливаемой детали, состава необходимых операций и переходов обработки, требуемой производительности. Детали простой формы обрабатывают на относительно коротких АЛ. В АЛ для обработки сложного блока цилиндров автомобильного двигателя их число доходит до 40 станков. Наибольшее распространение в автоматических линиях из агрегатных станков получила обработка осевым инструментом (сверление, зенкерование, нарезание резьбы).

На рисунке 7.2 показан участок классической автоматической линии из агрегатных станков для обработки отверстий в блоке автомобильного двигателя. В позиции 1 производится загрузка заготовок; на станке 2 растачиваются гнезда под впускные и выпускные клапаны; на станках 3 и 4 поочередно зенкеруются фаски и площадки под седла клапанов; на станках 5—8 сверлятся, зенкеруются и разворачиваются отверстия под втулки клапанов, а также нарезается коническая резьба в отверстиях под маслопровод и под пробки; на позиции 9 снимаются с конвейера блоки цилиндров.

На линиях из агрегатных или специальных станков сильнее всего проявляется *основной недостаток* АЛ: на них утрачивается гибкость производства и затрудняется возможность изменения технологии обработки данного изделия, а также быстрый переход от производства одного изделия к другому.

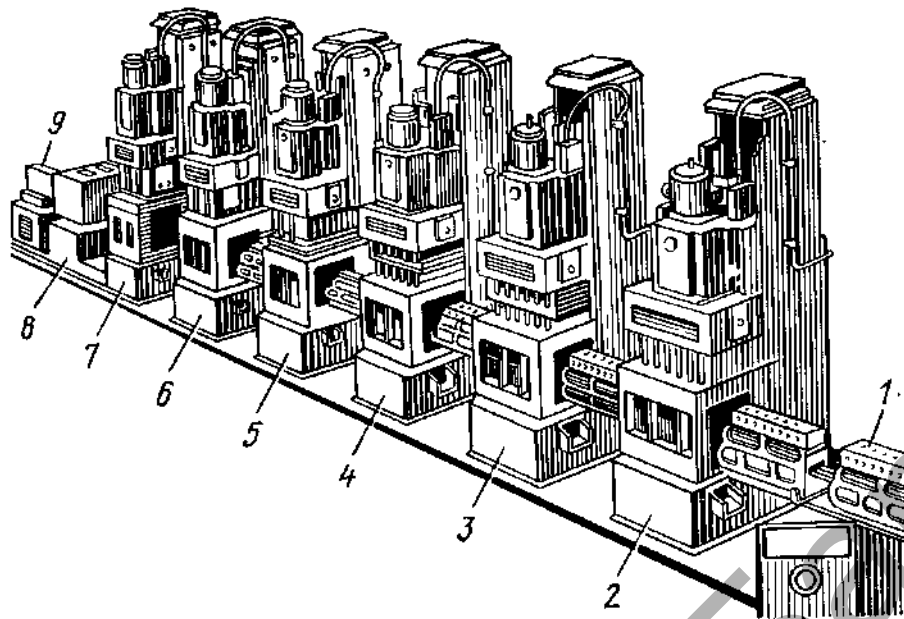


Рисунок 7.2 — Участок автоматической линии для обработки блока цилиндров

Это привело к тому, что в последнее время широкое распространение получили автоматические линии из типового универсального и специализированного оборудования, т. е. из автоматизированных станков обычных типов: токарных (рис. 7.3), сверлильных, фрезерных, зубофрезерных, шлифовальных и т. п. Использование универсального оборудования позволяет снизить сроки изготовления автоматических линий, увеличивает надежность работы и обеспечивает возможность переналадки АЛ на разные типоразмеры деталей или на новый объект производства. Но, в отличие от АЛ из спецстанков, на такой автоматической линии невозможна концентрация операций, что снижает производительность труда.

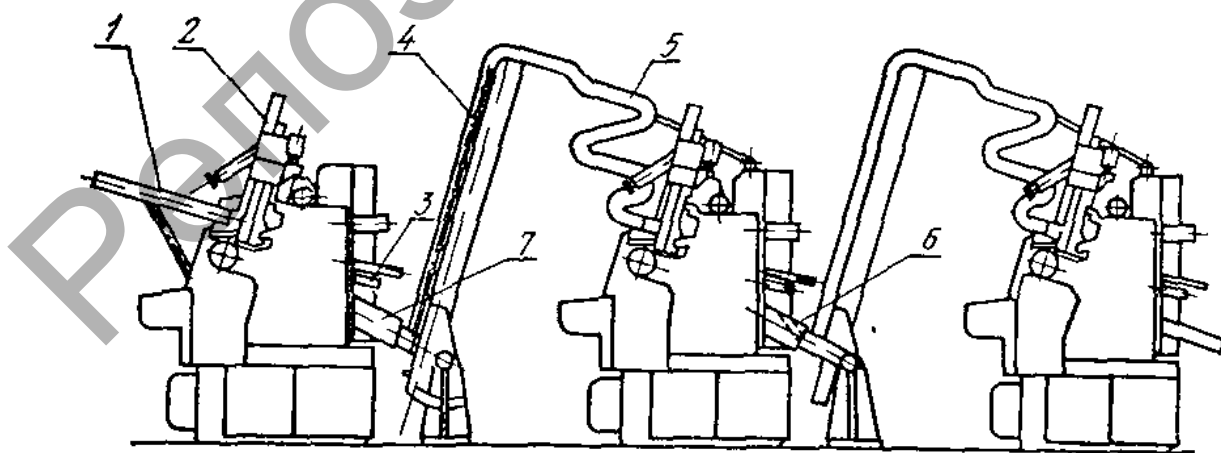


Рисунок 7.3 — Автоматическая линия из гидрокопировальных полуавтоматов для токарной обработки

Наряду с созданием линий из нового оборудования весьма эффективна постройка линий на основе использования действующего оборудования, модернизированного соответствующим образом. Создание таких линий требует меньших капиталовложений и меньше времени на их изготовление и освоение.

На базе переналаживаемых агрегатных станков создают переналаживаемые АЛ, которые предназначены для изготовления деталей, выпускаемых средними сериями (по 50...200 шт. в повторяющихся партиях).

Системы управления и транспортные системы. Они включаются в оборудование автоматических линий помимо станков.

Система управления вместе с комплексом механизмов рабочих и холостых ходов является обязательной составной частью автоматической машины, выполняющей заданный технологический процесс без участия человека. Она определяет характер взаимодействия управляемых рабочих органов автоматической машины и *объединяет*:

- систему управления движениями, задающую очередность работы всех основных и вспомогательных механизмов;
- систему блокирования, обеспечивающую безаварийность работы механизмов;
- систему регулирования, служащую для поддержания станков и инструментов в рабочем состоянии;
- систему контроля размеров обрабатываемых деталей;
- систему сигнализации, предупреждающую об отказах на линии.

В системах автоматического управления могут быть электрические, гидравлические и пневматические устройства связи. *Внешние связи* управления обеспечивают согласованную работу независимых друг от друга участков автоматической линии. *Промежуточные связи* согласовывают работу станков какого-либо участка. *Внутренние связи* задают последовательность работы отдельных механизмов станков, входящих в автоматическую линию. *Вспомогательные связи* согласовывают последовательность фаз работы отдельных агрегатов с другими системами управления. Внешние и вспомогательные связи почти всегда бывают электрическими, а промежуточные — комбинированными (электромеханическими, электрогидравлическими или электропневматическими). Внутренние связи выполняются разными устройствами: механическими, электрическими, пневматическими, гидравлическими или комбинированными. Существует много вариантов систем управления последовательностью фаз работы основных и вспомогательных агрегатов на автоматических линиях (централизованных, децентрализованных и смешанных), которые выбирают в зависимости от назначения и состава оборудования, размера линии, а также длительности цикла ее работы.

Принятый вариант системы управления предопределяет перечень самих управляющих механизмов. Развитая система управления включает следующие

элементы: программоноситель, считывающее устройство, устройство ввода программы, передаточно-преобразующее устройство, исполнительное устройство, систему обратной связи. Конструктивное воплощение каждого элемента зависит прежде всего от вида программоносителя. Оборудование АЛ может управляться от передвижных упоров (например, в АЛ применяются силовые столы, на верхнюю плоскость которых устанавливаются шпиндельные узлы с самостоятельным приводом вращения — фрезерные, расточные, револьверные бабки. Включение различных этапов цикла стола происходит по команде, поступающей от конечного выключателя после нажатия на него упора), от распределительных валов с кулачками (например, при включении в АЛ многошпиндельных или одношпиндельных токарных автоматов, управляемых от одного или двух распределительных валов — при включении в АЛ специализированных станков), от копиров (например, те же гидрокопировальные токарные полуавтоматы), от перфоленты или гибкого диска, флэш-карты. Управление каждого отдельного станка должно согласовываться с общим управлением АЛ.

Транспортная система состоит из устройства для перемещения деталей, загрузочных, поворотных, ориентирующих устройств, приспособлений для установки и закрепления обрабатываемых заготовок, устройств для отвода стружки и накопителей заделов.

В АЛ для перемещения обрабатываемых заготовок с одной рабочей позиции на другую применяют разные транспортные средства — транспортеры, механические руки, а также лотки, трубы и т. п. Например, для перемещения корпусных деталей, а также деталей, закрепленных в приспособлениях-спутниках, применяют шаговые транспортеры. Кроме них в автоматических линиях применяют цепные, ленточные и др. Шаговые штанговые транспортеры с собачками чаще всего применяется для перемещения деталей-параллелипипедов. Эти транспортеры совершают возвратно-поступательное движение вдоль линии от гидро- или пневмоцилиндра. Нашли применение шаговые транспортеры с флажками, рейнерные, толкающие. Цепные транспортеры применяют на линиях, где надо непрерывно двигать заготовки в процессе обработки. Чаще это АЛ с гибкой связью. В качестве шаговых цепные транспортеры почти не применяют, так как они не могут обеспечить точное перемещение заготовок для их фиксации при базировании и зажиме на рабочих позициях.

Конструкции транспортных механизмов и систем АЛ, как одного из наиболее существенных вопросов компоновки АЛ, зависят по большей части от обрабатываемых деталей. Транспортные механизмы перемещают заготовки с одной рабочей позиции на другую, изменяя их ориентацию (в поворотных устройствах), убирают стружку. Основными видами

транспорта АЛ являются транспортеры, подъемники, распределительные транспортеры, манипуляторы, поворотные устройства, транспортеры для уборки стружки и пр.

В АЛ из агрегатных станков для обработки корпусных деталей большей частью применяют транспортные системы с шаговыми конвейерами с убирающимися собачками или поворачивающимися флажками. В целях сокращения простоев в АЛ с жесткой связью применяют конвейеры с управляющимися собачками, которые позволяют производить небольшое межоперационное накопление деталей (между станками). В АЛ с гибкой связью большей частью применяются транспортные системы в виде цепных, роликовых, винтовых, вибрационных конвейеров, подъемников, лотков. При гибкой связи координация перемещений деталей в линии отсутствует и это упрощает конструкцию транспортера.

Транспортные устройства АЛ делятся: *по способу перемещения деталей* на устройства циклического и непрерывного действия, *по методу перемещения деталей* — под действием силы тяжести, принудительно и смешанным способом, *по целевому назначению* — на системы для межоперационного и межстаночного перемещения и для удаления стружки.

Механизмы изменения ориентации обрабатываемых деталей зависят от вида связи между станками: жесткая или гибкая. В первом случае используются кантователи, поворотные столы, выполняющие эту операцию в строго определенном порядке; во втором случае — разные загрузочные устройства или их элементы, использующие профиль детали и силы тяжести, разные упоры и ограничители. Для каждой конкретной детали это делает конструктор. Механизмы поворота должны поворачивать устройство с заготовкой быстро и плавно, без толчков и ударов. Гидравлические механизмы поворота делают на основе гидроцилиндра в совокупности с зубчатой передачей и обгонной муфтой, в сочетании с мальтийским крестом или рычажно-храповым механизмом, а также на основе гидродвигателя или однополостного гидромотора. Аналогичные схемы имеют пневматические и пневмогидравлические механизмы поворота. В электрических механизмах применяют асинхронные или шаговые электродвигатели. Из механических механизмов поворота наиболее часто применяют рычажные, мальтийские, кулачковые и зубчатые.

Загрузочные устройства весьма разнообразны по конструкции. *По месту расположения* загрузочные устройства делятся на непосредственно встроенные в автоматы и являющиеся их неотъемлемыми узлами (работают от привода станка) и на устройства, расположенные около автоматов и между участками линии и имеющие самостоятельный привод. *По характеру подачи деталей* загрузочные

агрегаты делят на работающие непрерывно и циклически. Они приводятся в действие от механического, гидравлического или пневматического привода. В зависимости от принятого метода накопления деталей устройства делят на бункерные (детали в них располагаются навалом), магазинные (детали в емкости располагаются ориентированно в один ряд), штабельные (детали в емкости располагаются ориентированно в несколько рядов или слоев). По конструктивному исполнению загрузочные устройства делят на цепные, фрикционные, трубчатые, дисковые и лотковые. Детали могут перемещаться под действием подающего диска, толкателя, цепи, вибрационного механизма, вращающихся щеток и других механизмов, а также под действием силы тяжести.

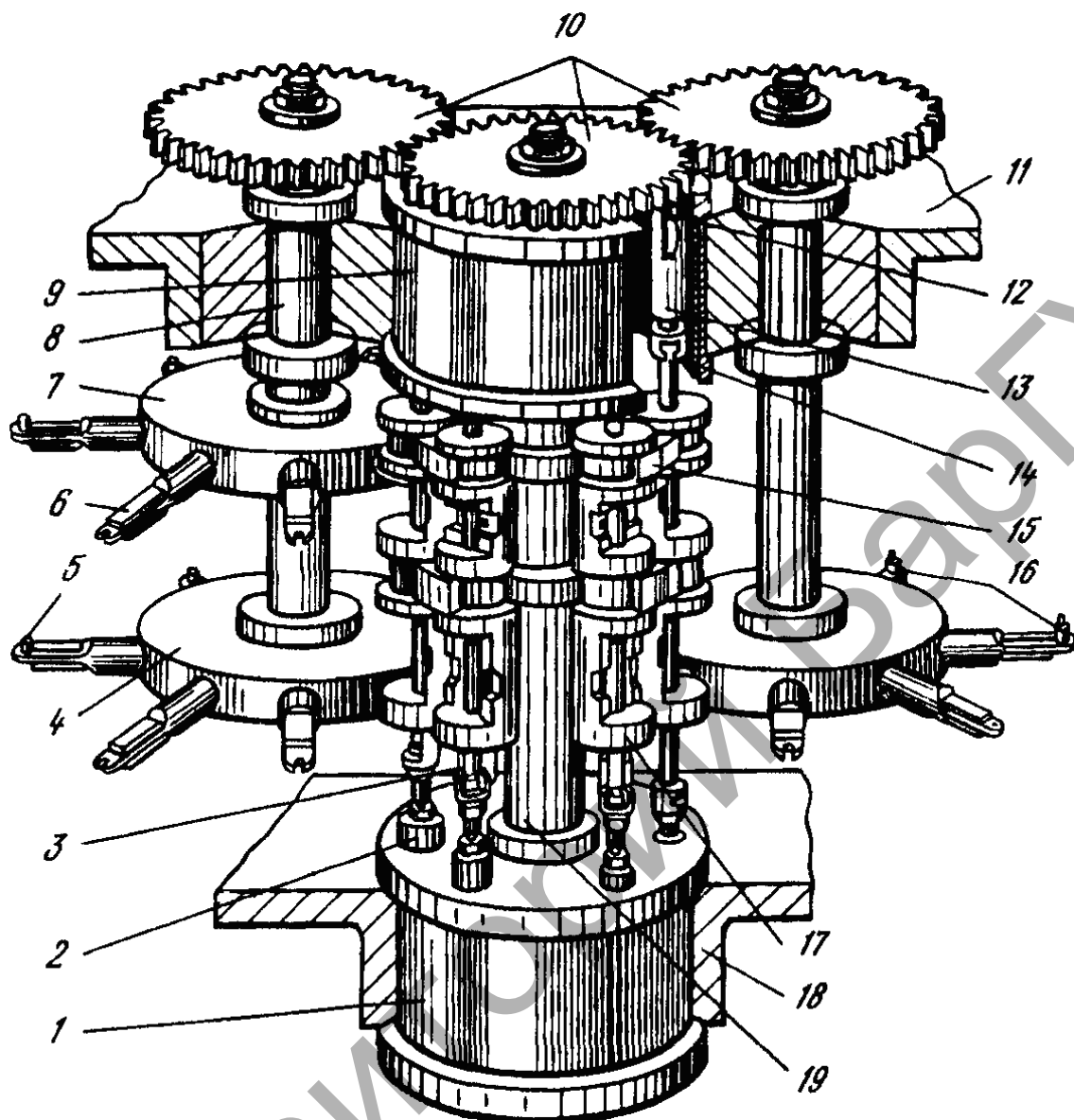
Зажимные приспособления АЛ, как уже говорилось, есть двух видов: стационарные и приспособления-спутники. *Стационарные приспособления* монтируют на отдельные станки АЛ; в них подают, устанавливают, закрепляют и обрабатывают заготовки с надлежащим направлением режущего инструмента. После обработки заготовку открепляют, удаляют из приспособления и передают на транспортирующее устройство для перемещения на следующий станок. Обычно используют одноместные однопозиционные приспособления, реже многопозиционные (поворотные) и многоместные. Стационарные приспособления автоматических линий выполняют те же функции, что и обычные, но их конструкция и устройство имеют свои особенности. Прежде всего, подают и устанавливают заготовки в эти приспособления простейшим движением транспортирующего устройства линии. Часто установочные элементы приспособлений в виде опорных пластинок являются продолжением направляющих планок конвейера и располагаются с ним на одном уровне. В этом случае установочные элементы делаются выдвигными. Так, например, при обработке корпусных деталей их устанавливают на нижнюю плоскость и на два базовых цилиндрических отверстия. В качестве установочных элементов используют опорные планки и два выдвигных пальца с коническими фасками. Если пальцы не выдвигаются, а стоят постоянно, то используются специальные устройств — досылатели. По сложной траектории (дуги и прямые) с помощью автооператоров заготовки обычно подаются в центра станков. Это, как правило, детали типа тел вращения. Для предупреждения брака и аварий предусматривают автоматический контроль правильности установки заготовки в приспособление. Работа приспособлений должна быть четко согласована с действиями станка и конвейера.

Приспособления-спутники просто решают задачу точного ввода заготовок в рабочую зону разных агрегатов линии и применяются для

обработки заготовок сложной конфигурации, осуществляя принцип постоянства установочных баз. Вся обработка производится при одном закреплении заготовки. Как и у корпусной детали, у плиты приспособления-спутника есть опорная поверхность и два установочных отверстия. Приспособления-спутники облегчая установку заготовок и повышая надежность их ориентации, улучшают доступность подвода рабочих инструментов к заготовке в разных сторонах и облегчают уборку стружки. В то же время, спутники несколько усложняют АЛ из-за необходимости их возврата, удорожают АЛ, мешают созданию заделов, вынуждая организовывать на АЛ жесткую транспортную связь.

Устройства для удаления стружки из рабочей зоны станков выполняют это смывом эмульсией, сдуванием сжатым воздухом или перемещением ее подвижными элементами станков и конвейера. При обработке деталей из чугуна без охлаждения применяется *отсасывание* металлической стружки и графитовой пыли с помощью гидроциклонов. Удаление стружки из отверстий производится *выдуванием* или вытряхиванием на спецустройствах. Для улучшения отвода сливной стружки и предотвращения ее сворачивания в клубок на режущем инструменте применяют стружколомы, с опорных поверхностей приспособлений стружку смывают и сдувают. В АЛ встраивают моечные машины. С линии стружку удаляют двумя способами: конвейерами вне линии и встроенными в линию. При этом используются скребки, шнеки, виброконвейеры, смыв стружки струей СОЖ из сопел, расположенных вдоль канала для удаления стружки, с помощью электромагнитов.

Роторные АЛ. Роторные машины и роторно-конвейерные линии по структурному построению сильно отличаются от линий из агрегатных и других станков, соединенных единой транспортной системой. Роторные линии (рис. 7.4) комплектуют из рабочих роторных автоматов 19, на которых обработка деталей выполняется в процессе непрерывного транспортирования их совместно с инструментом. Рабочие и транспортные роторы 8 расположены попеременно в шахматном порядке и непрерывно вращаются. Рабочий ротор для механической обработки представляет собой многопозиционный станок непрерывного действия. Транспортный ротор снабжен несколькими захватами. В зонах контакта роторов заготовка передается на ходу в загрузочную позицию или из разгрузочной позиции рабочего ротора. Обработка совмещена с поворотом рабочего ротора. Таким образом, главной особенностью роторных линий является совмещение во времени транспортирования заготовок и их обработки.



a)

a — схема; б — проекция движения потока предмета обработки на горизонтальную плоскость

1 — блок нижней системы подвода сборочного ротора; 2 — ползуны нижнего привода; 3 — нижний шток инструментального блока; 4 — нижний диск транспортного (загрузочного) ротора; 5 — собираемые элементы; 6 — клещевые захваты; 7 — верхний диск транспортного (загрузочного) ротора; 8 — вал транспортного ротора; 9 — блок верхней системы привода сборочного ротора; 10 — зубчатая передача транспортного вращения роторов; 11 — верхняя часть станины; 12 — торцовый кулачок верхней системы привода; 13 — ползун верхней системы привода; 14 — пазовый кулачок верхней системы привода; 15 — блокодержатели; 16 — собранные детали; 17 — инструментальный блок; 18 — нижняя часть станины; 19 — основной вал сборочного ротора

Рисунок 7.4 — Типовая единичная группа роторной линии

Заготовки, прошедшие обработку на предыдущих станках, клещевыми захватами 6 транспортного ротора переносятся на рабочий. Инструментальные блоки 17, установленные в ползунах 2 и 13, при вращении ротора вокруг центральной оси 19 получают перемещения от кулачков 12 и 14. Заготовки на нем также вращаются вокруг оси. Главное движение могут совершать или заготовки, или инструмент, закрепленный в ползунах-суппортах 2 и 13, перемещающихся вверх-вниз вдоль колонн. Нужное вращательное движение инструменту, детали, рабочему и транспортному роторам сообщается от электродвигателя через систему зубчатых 10, червячных или других видов передач. Поступательное движение инструмент или деталь могут получать не только от соответствующих копиров (рис. 7.5), как это делается и в токарных многошпиндельных вертикальных полуавтоматах параллельного действия, но и от гидросистемы.

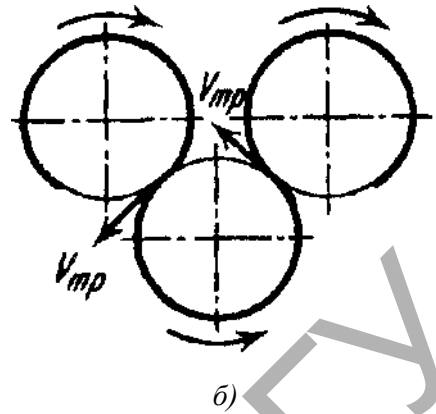


Рисунок 7.4 — Окончание

Типовые компоновки и технологические возможности роторных автоматических линий. Траектория транспортного перемещения заготовки имеет замкнутую форму (обычно это окружность). На рисунке 7.5 показана развертка барабана роторного автомата. На инструментальном

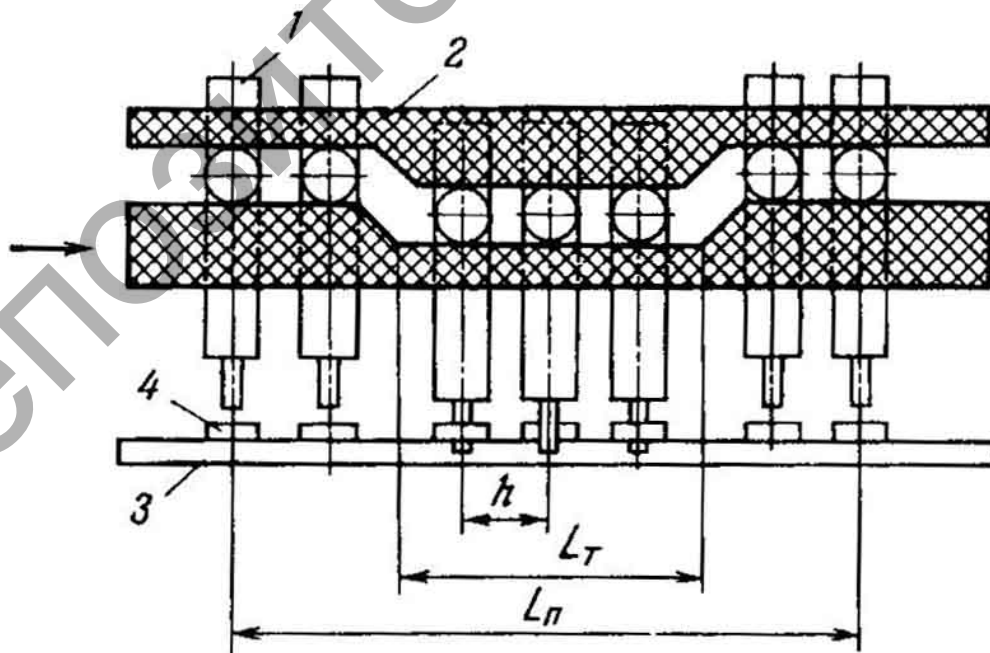


Рисунок 7.5 — Схема роторного автомата (развертка барабана)

барабане 2 установлены инструментальные шпиндели 1 (с шагом h), соосно с которыми на транспортном барабане 3 расположены обрабатываемые заготовки 4. Скорость транспортного 3 и инструментального 2 барабанов одинакова. При вращении барабана с транспортной скоростью v_T инструментальный шпиндель 1 обрабатывает заготовку 4 на пути транспортирования L_T , который меньше длины развертки L_{Π} инструментального барабана.

Все инструментальные шпиндели оснащены одинаковыми инструментами и выполняют только одну технологическую операцию. Каждый инструментальный шпиндель соответствует шпинделю изделия.

Технологическое время на обработку одного изделия составляет

$$T = L_T / v_T.$$

Полный цикл работы один инструментальный шпиндель 1 совершает за время $T_n = (L_n - h) / v_T$ (т. е. за один оборот барабана). Число изделий, обработанных за один оборот барабана, равно числу шпинделей, т. е. время на обработку одного изделия $T_1 = h / v_T$. На роторном автомате путем подбора скорости v_T перемещения транспортного диска и шага h (расстояния между шпинделями) можно получить заданную весьма высокую производительность.

Производительность роторной линии зависит от числа позиций и частоты вращения роторов при сравнительной простоте конструкции и обеспечивают высокую производительность при изготовлении небольших, сравнительно простых деталей, при малом основном технологическом времени. Роторные линии эффективно используют в массовом производстве. Изменение в широких пределах числа позиций в каждом роторе позволяет получить одинаковую производительность на всех операциях автоматической линии. Это дает возможность включать в единую технологическую цепочку разнообразные виды обработки, комплексно решать вопросы автоматизации.

Надо указать на то, что перестановка деталей с одного ротора на другой приводит к потере точности. Комплексная автоматизация на базе роторных линий возможна при их применении для изготовления холодноштампованных и горячештампованных деталей, изделий из пресспорошков и др., имеющих простую конструкцию и невысокую точность. В силу специфических особенностей для обработки металлов резанием эти линии нашли ограниченное применение. Это вызвано сравнительно невысокой жесткостью рабочих машин, трудностью отвода стружки, недостаточной для ряда технологических процессов точностью обработки.

Роторные автоматические линии, кроме различных рабочих роторов, включают также контрольно-измерительные и сборочные роторы, роторы-

накопители, запоминающие устройства, механизмы замены инструмента и др. Наиболее успешно на этих линиях осуществляются штамповочные, сборочные и контрольные операции. Из механической обработки получили распространение сверление, токарные и фрезерные работы.

Наличие большого числа инструментов требует особого внимания к разработке конструкций для их крепления и замены. Непрерывное перемещение деталей и высокая производительность роторных машин вызывают необходимость в некоторых случаях создания устройств автоматической замены инструмента без остановки роторов. Замена инструментальных блоков может происходить во время холостого хода рабочего ротора по команде специальных устройств, контролирующих состояние инструментов и качество обработки.

Контрольно-измерительные операции могут осуществляться, когда деталь находится в специальных или в транспортных роторах. Включение в автоматическую линию из роторных машин контрольных устройств позволяет без особого увеличения затрат и при сохранении заданной производительности проводить контроль всех обрабатываемых деталей, не увеличивая объем незавершенного производства, находящийся обычно в бункерах и накопителях.

Важным направлением в совершенствовании создания автоматических станочных систем на базе роторных машин является особо тщательная разработка технологического процесса для необходимого смягчения режимов обработки при требуемой производительности, что возможно осуществить за счет изменения числа рабочих позиций, скорости транспортировки, размеров ротора и т. д. Важной является также оценка целесообразности использования роторных машин вместо стационарных с учетом всех их особенностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Абламейко, С. В.* Обработка изображений: технология, методы, применение : учеб. пособие / С. В. Абламейко, Д. М. Лагуновский. — Минск : Амалфея, 2000. — 304 с.
2. *Айзенштадт, Л. А.* Очерки по истории станкостроения СССР / Л. А. Айзенштадт, С. А. Чихичев. — М. : изд-во машиностроит. лит, 1957. — 527 с. : ил.
3. *Анурьев, В. И.* Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / В. И. Анурьев — 5-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1979. — Т. 1. — 728 с. : ил. ; Т. 2. — 559 с. : ил. ; Т. 3. — 557 с. : ил.
4. *Барбашов, Ф. А.* Фрезерное дело : учеб. пособие для средних проф.-техн. училищ. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Высш. шк., 1980. — 208с. : ил.
5. *Бушуев, В. В.* Станочное оборудование автоматизированного производства : в 2 т. / В. В. Бушуев. — М. : Станкин, 1993. — Т. 1. — 584 с. : ил. ; Т. 2. — 656 с. : ил.
6. *Бушуев, В. В.* Тяжелые зубообрабатывающие станки / В. В. Бушуев, С. П. Налетов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1986. — 280 с. : ил.
7. *Винников, И. З.* Сверлильные станки и работа на них / И. З. Винников. — Изд. 5-е, перераб. и доп. — М. : Высш. шк., 1988. — 256 с. : ил.
8. *Власов, С. Н.* Справочник молодого наладчика автоматических линий и специальных станков / С. Н. Власов, Б. И. Черпаков. — М. : Высш. шк., 1972. — 264 с. : ил.
9. *Власов, С. Н.* Устройство, наладка и обслуживание металлообрабатывающих станков и автоматических линий : учеб. для машиностроит. техникумов по специальности «Монтаж и эксплуатация металлообаб. станков и автомат. линий» / С. Н. Власов, Г. М. Годович, Б. И. Черпаков. — М. : Машиностроение, 1983. — 439с. : ил.
10. *Волчкевич, Л. И.* Автоматы и автоматические линии : учеб. пособие для вузов / Л. И. Волчкевич, М. М. Кузнецов, Б. А. Усов. — М. : Высш. шк., 1976. — Ч. 1 : Основы проектирования / под ред. Г. А. Шаумяна. — 230 с. : ил. ; Ч. 2 : Основы проектирования / под ред. Г. А. Шаумяна. — 230 с. : ил.
11. *Гжиров, Р. И.* Программирование обработки на станках с ЧПУ : справочник / Р. И. Гжиров, П. П. Серебрицкий. — Л. : Машиностроение, 1990. — 588 с. : ил.
12. *Гусев, И. Т.* Устройства числового программного управления : учеб. пособие для техн. вузов / И. Т. Гусев, В. Г. Елисеев, А. А. Маслов. — М. : Высш. шк., 1986. — 296 с. : ил.
13. *Евдокимов, В. Д.* Быть машиностроителем — престижно / В. Д. Евдокимов, С. Н. Полевой. — М. : Машиностроение, 1989. — 160 с. : ил.
14. *Ермаков, Ю. М.* Металлорежущие станки : учеб. пособие для техникумов по специальности «Инструментальное производство» / Ю. М. Ермаков, Б. А. Фролов. — М. : Машиностроение, 1985. — 320 с. : ил.
15. *Жигалко, Н. И.* Обработка металлов, станки и инструменты / Н. И. Жигалко, Е. С. Яцура. — Минск : Выш. шк., 1984. — 373 с. : ил.
16. *Игумнов, Б. Н.* Расчет оптимальных режимов обработки для станков и автоматических линий / Б. Н. Игумнов. — М. : Машиностроение, 1974. — 200 с. : ил.
17. *Каменев, А. Ф.* Технические системы : закономерности развития / А. Ф. Каменев. — Л. : Машиностроение, 1985. — 216 с.

18. *Кане, М. М.* Основы научных исследований в технологии машиностроения : учеб. пособие для вузов / — Минск : Выш. шк., 1987. — 231 с. : ил.
19. *Каштальян, И. А.* Обработка на станках с числовым программным управлением : справ. пособие / И. А. Каштальян, В. И. Клевзович. — Минск : Выш. шк., 1989. — 271 с. : ил.
20. Конструкция и наладка станков с программным управлением и роботизированных комплексов : учеб. пособие для ПТУ / Л. Н. Грачев [и др.]. — 2-е изд., стер.— М., Высш. шк., 1989. — 271 с. : ил.
21. Конструкция шлифовальных станков : учеб. для ПТУ / Т. А. Альперович [и др.]. — М., Высш. шк., 1989. — 288с. : ил.
22. *Корсаков, В. С.* Автоматизация производственных процессов : учеб. для вузов / В. С. Корсаков. — М. : Высш. шк., 1978. — 295 с. : ил.
23. *Кочергин, А. И.* Автоматы и автоматические линии : учеб. пособие для техн. вузов / А. И. Кочергин. — Минск : Выш. шк., 1980. — 288 с. : ил.
24. *Кучер, А. М.* Металлорежущие станки (альбом общих видов, кинематических схем и узлов) / А. М. Кучер, М. М. Киватицкий, А. А. Покровский. — М. : Машиностроение, 1971. — 308 с., ил.
25. *Лилли, С.* Люди, машины и история : пер. с англ. / С. Лилли. — М. : Прогресс, 1970. — 430 с. : ил.
26. *Лоскутов, В. В.* Зубообрабатывающие станки / В. В. Лоскутов, А. Г. Ничков. — М. : Машиностроение, 1978. — 192 с. : ил.
27. *Маеров, А. Г.* Устройство, основы конструирования и расчет металлообрабатывающих станков и автоматических линий : учеб. пособие для техникумов по специальности «Металлообработ. станки и автомат. линии» / А. Г. Маеров. — М. : Машиностроение, 1986. — 368 с. : ил.
28. *Маталин, А. А.* Технология машиностроения : учебн. для вузов / А. А. Маталин. — Л. : Машиностроение, 1985. — 496 с.
29. Металлорежущие системы машиностроительных производств : учеб. пособие для студентов технич. вузов / О. В. Таратынов [и др.] ; под ред. Г. Г. Земскова, О. В. Таратынова. — М. : Высш. шк., 1988. — 464 с. : ил.
30. Металлорежущие станки : учеб. для машиностроит. вузов / под ред. В. Э. Пуша. — М. : Машиностроение, 1985. — 256 с. : ил.
31. Металлорежущие станки : учеб. пособие для вузов / Н. С. Колев [и др.]. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1980. — 500 с. : ил.
32. Металлорежущие станки и автоматы : учеб. для машиностроит. вузов / под ред. А. С. Проникова. — М. : Машиностроение, 1981. — 479 с. : ил.
33. Модернизация токарных многошпиндельных автоматов и полуавтоматов (руководящие материалы) : под редакцией А. Е. Прокоповича ; ЭНИМС. — М. : изд-во машиностроит. лит., 1958.
34. *Монахов, Г. А.* Станки с программным управлением : справочник / Г. А. Монахов, А. А. Оганян, Ю. И. Кузнецов. — М. : Машиностроение, 1975. — 288 с. : ил.
35. *Моталин, А. А.* Многооперационные станки / А. А. Моталин, Т. Б. Дашевский, И. И. Княжицкий. — М. : Машиностроение, 1974. — 320с. : ил.
36. *Никифоров, А. Д.* Процессы управления объектами машиностроения : учеб. пособие для машиностроит. специальностей вузов / А. Д. Никифоров, А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров. — М. : Высш. шк., 2001. — 455 с : ил.
37. *Паньков, Л. А.* Обработка инструментами из шлифовальной шкурки / Л. А. Паньков, Н. В. Костин. — Л. : Машиностроение, 1988. — 235 с. : ил.
38. *Половинкин, А. И.* Законы строения и развития техники : учеб. пособие / А. И. Половинкин. — Волгоград : ВолгПИ, 1985. — 202 с.
39. *Попилов, Д. Я.* Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов : справочник / Д. Я. Попилов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1982. — 400 с. : ил.

40. Прогрессивные методы хонингования / С. И. Куликов [и др.]. — М. : Машиностроение, 1983. — 135 с. : ил.
41. Проектирование технологических процессов в машиностроении : учеб. пособие для вузов / И. П. Филонов [и др.] ; под общ. ред. И. П. Филонова. — МИНСК : Технопринт, 2003 — 910 с. + 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
42. *Проников, А. С.* Расчет и конструирование металлорежущих станков / А. С. Проников. — Изд. 2-е. — М. : Высш. шк., 1968. — 431 с. : ил.
43. *Пуш, В. Э.* Конструирование металлорежущих станков / В. Э. Пуш. — М. : Машиностроение, 1977. — 390 с. : ил.
44. *Решетов, Д. Н.* Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. — М. : Машиностроение, 1986. — 336 с. : ил.
45. *Савенко, Г. Г.* Станки, автоматы, автоматические линии : учеб. пособие для машиностроит. техникумов / Г. Г. Савенко, Б. Г. Егерман. — М. : Высш. шк., 1967. — 356 с. : ил.
46. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1986. — Т. 1. — 656 с. : ил. ; Т. 2. — 496 с. : ил.
47. *Тарзиманов, Г. А.* Проектирование металлорежущих станков. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1980. — 288 с. : ил.
48. Технологическое оснащение хонингования / Н. Н. Богородицкий [и др.]. — Л. : Машиностроение, 1984. — 237 с. : ил.
49. *Трондин, К. Е.* Металлорежущие станки / К. Е. Трондин. — Минск : Выш. шк., 1975. — 432 с. : ил.
50. *Трофимов, А. М.* Металлорежущие станки : учеб. пособие для техникумов / А. М. Трофимов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1979. — 224 с.
51. *Фельдштейн, Е. Э.* Справочник сверловщика / Е. А. Фельдштейн, Э. Я. Ивашин, М. А. Корниевич. — Минск : Выш. шк., 1986. — 336 с. : ил.
52. *Чернов, Н. Н.* Металлорежущие станки : учеб. для машиностроит. техникумов / Н. Н. Чернов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1978. — 389 с. : ил.
53. *Черпаков, Б. И.* Эксплуатация автоматических линий : пособие для инженерно-педагог. работников профессионально-технич. училищ / Б. И. Черпаков. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1990. — 304 с. : ил.
54. *Чус, А. В.* Основы технического творчества : учеб. пособие / А. В. Чус, Данченко, В. А. Данченко. — Киев : Донецк : Вища шк., 1983. — 184 с.
55. *Ящерицин, П. И.* Основы резания материалов и режущий инструмент / П. И. Ящерицин, М. Л. Еременко, Н. И. Жигалко. — Минск : Выш. шк., 1975. — 528 с. : ил.
56. *Ящерицин, П. И.* Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах : учеб. для вузов / П. И. Ящерицин, М. Л. Еременко, Е. Э. Фельдштейн. — Минск : Выш. шк., 1990. — 512 с. : ил.

Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции: ГОСТ 27.202-83 — Введ. 01.07.84. — М. : Гос. комитет СССР по стандартам : Изд-во стандартов, 1987. — 50 с.

СПИСОК ИНТЕРНЕТ-САЙТОВ

1. www.perytone.ru
2. www.tehnoterra.ru
3. www.HaasCNC.com
4. www.cftech.ru
5. www.gildemeister.com
6. www.domss.doosaninfracore.com
7. www.finval.ru www.solver.ru

Учебное издание

Николай Николаевич Сергель

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ

**Учебное пособие
для студентов инженерных специальностей
высших учебных заведений**

**В 2 частях
Часть 2**

Корректор *М. Л. Потапчик*
Технический редактор *О. И. Ющук*
Компьютерная верстка *В. В. Кукреш*

Ответственный за выпуск *Е. Г. Хохол*

Подписано в печать 15.07.2009.
Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Отпечатано на ризографе.
Усл. печ. л. 17,44. Уч.-изд. л. 14,27.
Заказ 53. Тираж экз.

ЛИ 02330/0133468 от 09.02.2005

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Барановичский государственный университет»
225404 г. Барановичи, ул. Войкова, 21

Репозиторий Баргу

Репозиторий Баргу