

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой»

**А. И. Голембиевский**

# **МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ**

Учебное пособие  
для студентов специальности 6-05-0714-02  
«Технология машиностроения,  
металлорежущие станки и инструменты»

В двух частях

Часть 2

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой  
2023

УДК 621.9.06:530.1(075.8)  
ББК 34.63-5я73  
Г60

Одобрено и рекомендовано к изданию  
методической комиссией механико-технологического факультета  
(протокол № 6 от 23.02.2023 г.)

Кафедра технологии и оборудования машиностроительного производства

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

д-р техн. наук, проф., проф. каф. металлорежущих станков и инструментов  
Белорусского национального технического университета В. А. ДАНИЛОВ;  
канд. техн. наук, доц., ведущий механик производства №7 ОАО «Нафтан»  
Р. А. КИСЕЛЁВ;

д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологии и оборудования машиностроительного  
производства Полоцкого государственного университета  
имени Евфросинии Полоцкой Н. Н. ПОПОК

**Голембиевский А. И.**

Г60           Металлорежущие станки: учеб. пособие. В 2 ч. / А. И. Голембиевский. –  
Новополоцк: Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2023. –  
Ч. 2. – 252 с.

ISBN 978-985-531-840-9.

Содержит фундаментальные начала станковедения: теоретические основы формообразования реальных поверхностей в машиностроении, основы функционального проектирования кинематической структуры металлорежущих станков по законам функционирования, задаваемым виртуальными техническими решениями (способами формообразующей обработки), основные понятия кинематической структуры, функции и настройки станков.

Описаны на логико-математическом языке, характерном для общей теории систем, станки основных технологических групп с механическими и мехатронными связями.

Рассмотрено понятие о промышленных роботах, робототехнических комплексах, гибких производственных модулях и системах.

Предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». Будет полезно магистрантам, аспирантам, преподавателям и инженерно-техническим специалистам, занимающимся проектирование и эксплуатацией станочного оборудования.

**УДК 621.9.06:530.1(075.8)**

**ББК 34.63-5я73**

**ISBN 978-985-531-840-9 (Ч. 2)**

**ISBN 978-985-531-838-6**

© Голембиевский А. И., 2023  
© Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой, 2023



## СОДЕРЖАНИЕ

### Глава 11

<b>Станки для обработки конических зубчатых колес</b> .....	6
11.1 Понятие о производящем колесе .....	6
11.2 Типовые структурные схемы станков для обработки конических зубчатых колес .....	9
11.3 Зубострогальный станок для обработки прямозубых конических колес модели 5А26 .....	18
11.4 Станки для обработки конических колес с круговыми зубьями .....	25
11.4.1 Зуборезный станок для обработки конических колес с круговыми зубьями модели 528 .....	27
11.4.2 Зубофрезерный станок для обработки конических колес с прямыми зубьями модели 5230 .....	34

### Глава 12

<b>Станки для обработки резьбы</b> .....	41
12.1 Общие сведения об обработке резьбы .....	41
12.2 Резьбофрезерный станок для обработки короткой резьбы модели 5М5Б62 .....	43
12.3 Резьбошлифовальные станки .....	47
12.3.1 Универсальный резьбошлифовальный станок модели 5822М .....	47
12.4 Резьбонакатные станки .....	54
12.4.1 Общие сведения о накатывании резьбы .....	54
12.4.2 Универсальный резьбонакатной станок модели 6933 .....	55
12.5 Специализированный станок для нарезания червяков модели ЕЗ-10А .....	57
12.6 Модернизация кинематической структуры специализированного станка для обработки червяков .....	60

### Глава 13

<b>Шлифовальные станки</b> .....	69
13.1 Круглошлифовальные станки .....	69
13.1.1 Круглошлифовальный полуавтомат для наружного шлифования модели 3М151 .....	72
13.2 Внутришлифовальные станки .....	75
13.2.1 Внутришлифовальный полуавтомат модели 3К227Б .....	77
13.3 Плоскошлифовальные станки .....	80
13.3.1 Плоскошлифовальный станок модели 3Е711В .....	82
13.4 Бесцентрово-шлифовальные станки .....	85
13.4.1 Общие сведения о бесцентровом шлифовании .....	85
13.4.2 Бесцентрово-шлифовальный станок модели 3М182 .....	87
13.5 Хонинговальные станки .....	90
13.5.1 Общие сведения о процессе хонингования .....	90
13.5.2 Хонинговальный станок модели 3Г833 .....	92
13.6 Суперфиниширование .....	95
13.7 Притирка .....	98
13.7.1 Вертикальный притирочный станок модели 3Б814 .....	99

## Глава 14

<b>Станки строгально-протяжной группы</b> .....	103
14.1 Строгальные станки .....	103
14.2 Долбежные станки .....	105
14.2.1 Долбежный станок модели 7Д430 .....	106
14.3 Протяжные станки .....	110
14.3.1 Горизонтально-протяжной станок модели 7Б510 .....	111

## Глава 15

<b>Токарные автоматы и полуавтоматы</b> .....	115
15.1 Общие сведения об автоматизации металлорежущих станков .....	115
15.2 Классификация временных систем управления .....	117
15.3 Классификация станков-автоматов и полуавтоматов .....	122
15.4 Одношпиндельный токарно-револьверный автомат модели 1Е140 .....	124
15.5 Многошпиндельный прутковый автомат модели 1Б240-6 .....	133
15.6 Токарный многорезцовый полуавтомат модели 1Н713 .....	142

## Глава 16

<b>Станки с числовым программным управлением</b> .....	146
16.1 Особенности числового программного управления .....	146
16.2 Классификация систем ЧПУ по технологическому признаку .....	147
16.3 Общая структура систем ЧПУ .....	148
16.4 Поколения станков с ЧПУ .....	165
16.4.1 Токарный патронно-центральной станок модели 16К20Ф3 .....	167
16.4.2 Гибридная мехатронная структура реьбонарезного станка по схеме задающая–ведомая координаты .....	172
16.4.3 Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ модели 6Р13Ф3 .....	175
16.4.4 Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточной полуавтомат модели 243ВМФ2 .....	179
16.4.5 Станок с гибридными формообразующими группами для обработки двухшаговых червяков .....	187
16.4.6 Станок с гибридными формообразующими группами для зубофрезерования цилиндрических колес с наклонными зубьями .....	197

## Глава 17

<b>Агрегатные станки</b> .....	209
17.1 Типовые унифицированные компоновки .....	209
17.2 Силовые и шпиндельные узлы .....	211
17.3 Гидропанели .....	215

## Глава 18

<b>Станки для электрофизической, электрохимической и водоабразивной обработки</b> .....	217
18.1 Электроэрозионные станки .....	217
18.1.1 Электроэрозионный вырезной станок с ЧПУ модели 4532Ф3 .....	219
18.2 Комбинированные схемы обработки .....	222
18.3 Лазерное оборудование .....	224
18.4 Водоабразивная обработка .....	228

<b>Глава 19</b>	
<b>Промышленные роботы,</b>	
<b>гибкие производственные модули и системы .....</b>	<b>231</b>
19.1 Промышленные роботы .....	231
19.1.1 Поколения промышленных роботов .....	232
19.2 Промышленный робот модели Циклон .....	234
19.3 Робототехнические комплексы .....	236
19.4 Роботизированные технологические комплексы .....	238
Словарь специфических терминов .....	243
Литература .....	248

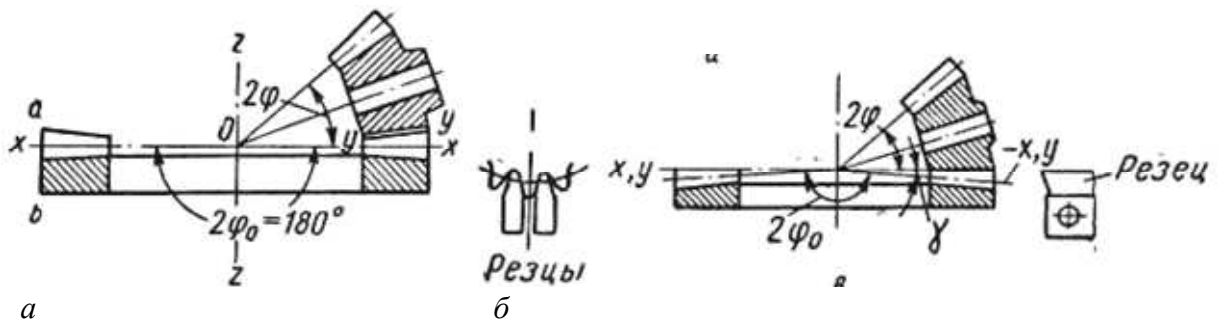
## Глава 11

# СТАНКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Конические зубчатые колеса используют для передачи вращательного движения между пересекающимися и скрещивающимися осями. Форма зубьев конических колес по длине может быть прямо- или криволинейной, наклоненной к образующей начального конуса под некоторым углом. Из криволинейных зубьев чаще всего применяют круговой, т.к. его проще нарезать; кроме того, круговой зуб с углом наклона на малом диаметре колеса  $\beta = 0$  воспринимает меньшее осевое давление. Станки для обработки конических колес, как правило, содержат две частных кинематических структуры, одна из которых реализует способ формообразования зубчатой поверхности посредством копирования–след, а другая посредством след–обкат.

### 11.1 Понятие о производящем колесе

Обработка зубьев конических колес при профилировании обкатом основана на представлении о производящем колесе, т.е. воображаемом плоском или плосковершинном коническом колесе, с которым обкатывается в процессе обработки заготовка. Рассмотрим понятие о производящем колесе на примере обработки прямозубого колеса. Характерным для плоского колеса является угол при вершине начального конуса  $2\varphi_0 = 180^\circ$  (рисунок 11.1, *a*), благодаря чему дополнительный конус превращается в цилиндр с осью  $ZZ$  и образующей  $ab$ . При развертке цилиндра на плоскость зубья колеса образуют прямобочную зубчатую рейку. Процесс формообразования зубьев на заготовке можно представить следующим образом. Предположим, что заготовка выполнена из идеального пластичного материала. Если ее перекатывать без скольжения по стальному плоскому производящему колесу, то его зубья на поверхности заготовки будут формировать впадины. После одного оборота заготовки вокруг своей оси образуется зубчатый венец, зубья которого будут очерчены по октоидальному профилю. Он мало отличается от принятого эвольвентного и вполне удовлетворяет практическим требованиям. То же самое произойдет и в случае, если, перекатывая заготовку, вместе с ней вращать производящее колесо. Вращение заготовки и производящего колеса должны быть кинематически согласованы и происходить без скольжения по начальным конусам. В рассматриваемом случае, имея в виду плоское коническое колесо ( $2\varphi_0 = 180^\circ$ ), начальный конус нарезаемого колеса должен катиться по начальной плоскости  $xh$ .



*a* – плоское; *б* – плосковершинное

Рисунок 11.1. – Производящее колесо

Оставим на производящем колесе *1* только два зуба (рисунок 11.2). Сообщим заготовке *2* и производящему колесу *1* вращение в направлении стрелок. После того как заготовка перекатится через два зуба, реверсируем вращение и возвращаем оба колеса в исходное положение. В результате этих перемещений два зуба производящего колеса образуют на заготовке две впадины: зуб *5* – впадину *4*, а зуб *6* – впадину *3*. Таким образом, будет получен первый зуб на заготовке.

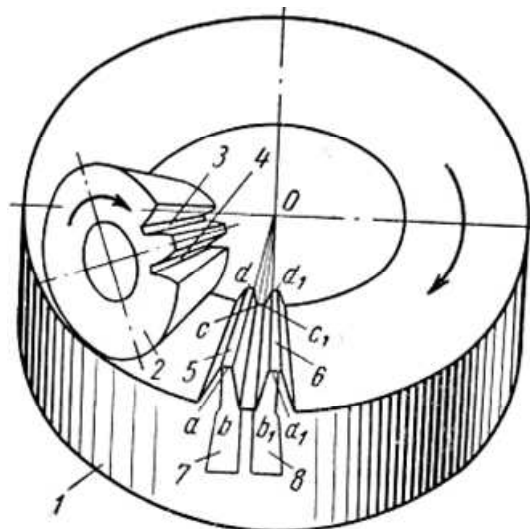


Рисунок 11.2. – Схема образования конических зубьев

Повернем заготовку в исходное положение вокруг своей оси против часовой стрелки на угол, соответствующий шагу зацепления, и повторим весь цикл предыдущих движений. Тогда зуб *5* образует на заготовке новую впадину, а зуб *6* будет входить в контакт с уже имеющейся впадиной *4*. В итоге второго цикла движений получим второй зуб на заготовке и т.д. до тех пор, пока не будут образованы все зубья. Таким образом, процесс формообразования профиля зубьев совершается в результате ряда чередующихся циклов движений. Каждый же цикл состоит:

- из обкатного движения производящего колеса и заготовки, в процессе которого зубья колеса внедряются в материал заготовки, образуя впадины;
- реверсирования движения обката в обратном направлении;
- движения деления в конце обратного хода, когда заготовка поворачивается на один зуб.

Зубья 5 и 6 производящего колеса заменяют двумя резцами 7 и 8. Резцы попеременно совершают прямолинейное поступательно-возвратное движение в радиальном направлении. Режущие кромки  $ab$  и  $a_1b_1$  в своем поступательном движении в плоскостях  $abcd$  и  $a_1d_1c_1d_1$  образуют впадину производящего колеса. Поэтому если наряду с прямолинейным перемещением сообщить резцам вращение вместе с производящим колесом вокруг точки  $O$ , то в обкатном движении резцы, врезаясь в заготовку, выстрагивают в ней впадины. Режущие кромки  $ab$  и  $a_1b_1$  в своем относительном движении огибают боковые поверхности зуба нарезаемого колеса. Толщина резцов меньше толщины зуба производящего колеса, вследствие этого впадины 3 и 4 при первом контакте с резцами не будут иметь полной ширины.

Таким образом, при формообразовании зубьев конических колес необходимо осуществлять следующие движения:

- движение скорости резания – прямолинейное поступательно-возвратное движение резцов при обработке прямозубого колеса или вращательное движение резцовой головки при обработке колеса с дуговым зубом;
- движение обката (круговой подачи), состоящее из согласованных вращательных движений заготовки и обрабатываемого колеса;
- движение деления – поворот заготовки в конце обратного хода.

При обработке впадины необходимо вершины резцов перемещать вдоль образующей  $uu$  дна впадины нарезаемого колеса, т.е. под углом к плоскости перпендикулярной к оси вращения производящего колеса (см. рисунок 11.1, *а*). Этот угол различен для разных колес. Следовательно, траекторию движения резцов необходимо настраивать по этому углу, что усложняет конструкцию резцового узла и снижает его жесткость.

В практике в целях упрощения конструкции резцового узла допускают отступление: образующую  $uu$  дна впадины совмещают с плоскостью  $xx$ , перпендикулярной к оси вращения производящего колеса, и вершины резцов перемещают в этой плоскости (см. рисунок 11.1, *б*). В связи с этим величина угла  $2\varphi_0$  будет меньше  $180^\circ$ . Из схемы следует,

$$2\varphi_0 = 180^\circ - 2\gamma,$$

где  $\gamma$  – угол ножки нарезаемого колеса.

Полученное таким образом производящее колесо называется плоско-вершинным.

Число зубьев производящего колеса определяется на основании известных зависимостей для конических колес. Можно написать

$$\frac{z}{z_n} = \frac{\sin \varphi}{\sin \varphi_0} = \frac{\sin \varphi}{\sin(90^\circ - \gamma)} = \frac{\sin \varphi}{\cos \gamma},$$

где  $z$  – число зубьев нарезаемого колеса;  
 $z_n$  – число зубьев производящего колеса.

Откуда число зубьев плосковершинного производящего колеса

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

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

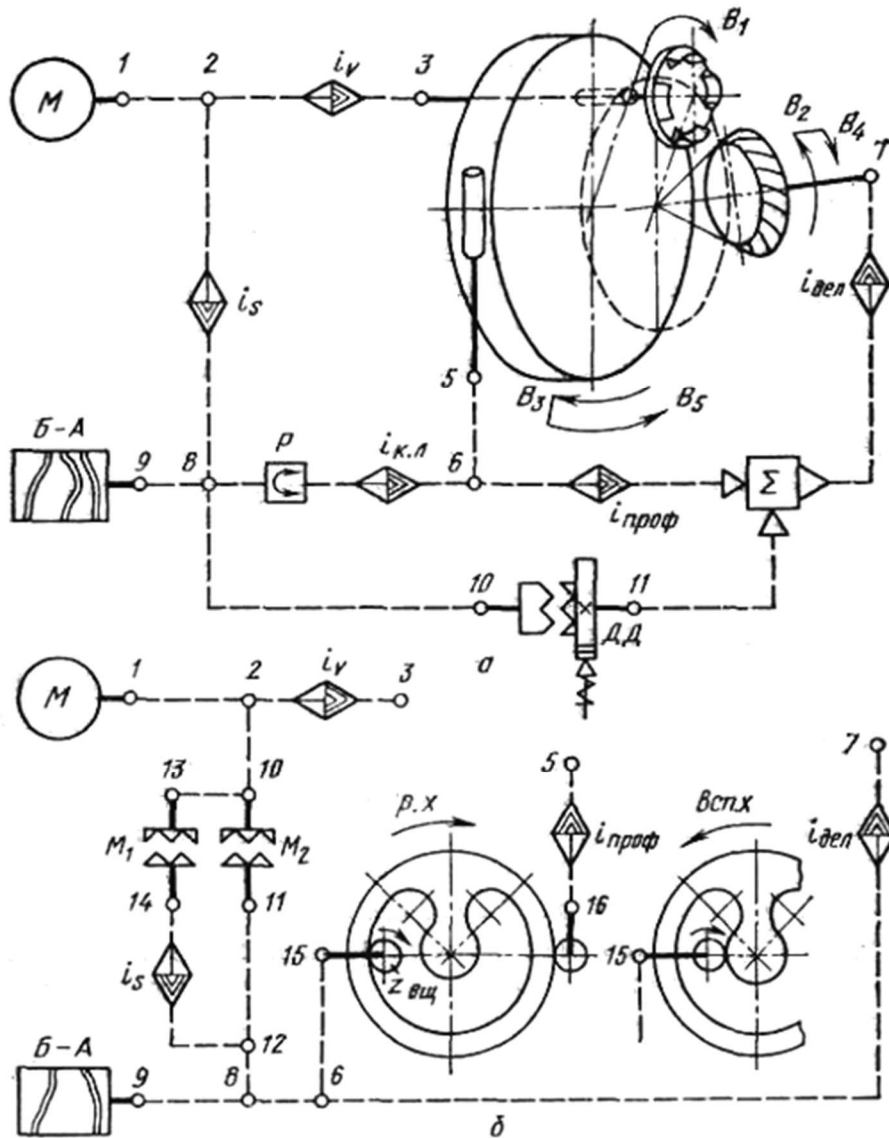
$$z_{пл} = \frac{z}{\sin \varphi}.$$

Конструктивно производящее колесо с приводом резцов или резцовой головки выполняется в виде узла, называемого люлькой.

Нарезание прямозубых конических колес осуществляется преимущественно посредством двух зубострогальных резцов, а нарезание колес с дуговым зубом – резцовыми головками, режущие зубья которых расположены на окружности. Кинематическая структура этих станков однотипна. Она содержит простую группу скорости резания  $\Phi_v(P_1)$  или  $\Phi_v(B_1)$ , обеспечивающую движение резцов или резцовой головки для получения линии зубьев по длине, сложную группу подачи  $\Phi_s(B_2B_3)$ , обеспечивающую обкатное движение заготовки и производящего колеса, для воспроизведения профиля зубьев и группу деления  $D(B_4)$ . Шпиндель заготовки является общим исполнительным органом групп  $\Phi_s$  и  $D$ . Поэтому эти группы должны иметь между собой кинематическую связь. Для этого применяют один из трех способов соединения кинематических групп: параллельный, последовательный и смешанный (параллельно-последовательный). В зависимости от способа соединения групп  $\Phi_s$  и  $D$  видоизменяются кинематическая структура станков и их настройка.

## 11.2 Типовые структурные схемы станков для обработки конических зубчатых колес

На рисунке 11.3 представлены две наиболее распространенные типовые структурные схемы зуборезных станков для нарезания конических колес.



*a* – параллельное соединении групп  $\Phi_s$  и  $\Delta$ ;  
*б* – смешанное соединение групп  $\Phi_s$  и  $\Delta$

Рисунок 11.3. – Кинематическая структура зуборезных станков для нарезания конических колес

Структура групп  $\Phi_v(\Pi_1)$  и  $\Phi_v(B_1)$  простая. Внутренняя связь или поступательная пара

*направляющие люльки* → *ползуны резцов ( $\Pi_1$ )*,

или вращательная пара

*подшипниковые опоры на люльке* → *шпиндель резцовой головки ( $B_1$ )*.

Внешняя связь: кинематическая цепь

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



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

Группа  $\Phi_v(П_1)$  настраивается по четырем параметрам: на траекторию – изменением угла между направлениями поступательно-возвратного движения резцов; на скорость – органом настройки  $i_v$ ; на путь и исходную точку – изменением плеч механизма, преобразующего вращательное движение в поступательно-возвратное движение резцов.

Группа  $\Phi_v(B_1)$  настраивается только по одному параметру: на скорость – органом настройки  $i_v$ .

Группа  $\Phi_s(B_2B_3)$  сложная. Ее внутренняя связь, воспроизводящая станочное зацепление, – кинематическая цепь

$$B_3 \leftarrow 5 \leftarrow 6 \rightarrow i_{\text{проф}} \rightarrow \Sigma \rightarrow i_{\text{дел}} \rightarrow B_2,$$

называемая цепью обката или профилирования.

Внешняя связь – кинематическая цепь

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

передающая энергию движения от электродвигателя во внутреннюю связь через звено соединения связей 6.

Группа настраивается: на траекторию – органом настройки  $i_{\text{проф}}$ ; на скорость – органом настройки  $i_s$ ; на путь – углом качания  $\Theta^0$  люльки, необходимый для полного профилирования одного зуба нарезаемого колеса, после чего люлька должна возвратиться в исходное положение для профилирования следующего зуба – органом настройки  $i_{\text{кл}}$ .

Группа деления  $D(B_4)$  простая. Ее внутренняя связь вращательная пара

$$\text{делительная бабка} \rightarrow \text{шпиндель заготовки}.$$

Внешняя связь при параллельном соединении групп  $\Phi_s$  и  $D$  (см. рисунок 11.3, а):

$$M \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow i_s \rightarrow 8 \rightarrow 10 \rightarrow DD \rightarrow 11 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_{\text{дел}} \rightarrow 7 \rightarrow B_4,$$

Внешняя связь при смешанном соединении (см. рисунок 11.3, б):

$$M \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 10 \rightarrow [(13 \rightarrow M_1 \rightarrow 14 \rightarrow i_s \rightarrow 12) \\ \text{или } (M_2 \rightarrow 11 \rightarrow 12)] \rightarrow 8 \rightarrow 6 \rightarrow i_{\text{дел}} \rightarrow 7 \rightarrow B_4.$$

Группа настраивается на путь – органом настройки  $i_{\text{дел}}$ . Управление делением – периодическое включение и отключение его – осуществляется распределительным валом  $B-A$ .

Общие принципы настройки станков анализируемого класса и вывод ФН для их органов настройки, которые выполняют в станках с механическими связями, как правило, в виде гитар сменных зубчатых колес.

Орган настройки  $i_v$ . РП при обработке конических прямозубых колес:

$$n_M \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_P \text{ дв. ходов/мин резцов.}$$

Тогда УКЦ:

$$n_P = n_M i_{01} i_v.$$

Откуда ФН:

$$i_v = n_P / (n_M i_{01}),$$

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

Выразим  $n_P$  через скорость резания  $v$ :

$$n_P = 1000v / (2L),$$

где  $L$  – параметр путь резцов в движении  $П_1$ , состоящий из длины линии зуба колеса и величин перебегов резца на входе и выходе из зоны резания.

После замены  $n_P$  окончательно получим ФН:

$$i_v = c_1 v L,$$

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

РП при обработке конических колес с дуговым зубом:

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

Тогда УКЦ:

$$n_{PG} = n_M i_{01} i_v.$$

Откуда ФН:

$$i_v = n_{PG} / (n_M i_{01}) = n_{PG} / c_2,$$

где  $c_2$  – константа, равная  $n_M i_{01}$ .

Орган настройки  $i_{проф}$ . Расчетная цепь совпадает с внутренней связью группы обката  $\Phi_s$ . Следовательно, РП:

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

УКЦ при параллельном соединении групп  $\Phi_s$  и  $D$ :

$$z_n/z = 1 i_{03} i_{проф} i_{\Sigma} i_{дел}.$$

Откуда ФН:

$$i_{проф} = z_n / (z i_{03} i_{\Sigma} i_{дел}) = z_n / (c_3 z i_{дел}),$$

где  $c_3$  – константа, равная произведению  $i_{03} i_{\Sigma}$ .

Орган настройки  $i_s$ . Все зуборезные станки рассматриваемого класса, являясь полуавтоматами, оснащены временной системой управления и, следовательно, работают в цикловом режиме. За время цикла

принимают время обработки одного зуба (впадины.). Этим же временем условно задается подача, и поэтому ее называют цикловой. Время цикла есть сумма

$$t_u = t_p + t_x,$$

где  $t_u$  – время цикла;

$t_p$  – время рабочего хода люльки (ее поворот в процессе профилирования зуба);

$t_x$  – вспомогательного хода (ее поворот в исходное положение).

Для повышения производительности стремятся, чтобы  $t_x < t_p$ . Для этого нередко в зуборезных станках во внешней связи группы  $\Phi_s$  применяют передачи или цепь передач, позволяющие получить ускоренное вращение люльки при вспомогательном ходе. Включение и отключение этих передач осуществляется с помощью распределительного вала, который за время цикла всегда совершает один оборот. В рассматриваемой структуре (см. рисунок 11.3, б) эту функцию выполняет распределительный вал  $B-A$ , управляющий муфтами  $M_1$  и  $M_2$ .

РП для структуры (см. рисунок 11.3, а) (вариант 1):

*1 об. распределительного вала  $\rightarrow (n_M/60) t_u$  об. электродвигателя.*

Если при вспомогательном ходе люльки движение к ней передается, минуя орган настройки  $i_s$ , то распределительный вал имеет две различные скорости, причем во время вспомогательного хода распределительный вал всегда вращается с постоянной скоростью. В этом случае (вариант 2) РП (см. рисунок 11.3, б) имеют иной вид

*$\delta_p^0/360^0$  об. распределительного вала  $\rightarrow (n_M/60) t_p$  об. электродвигателя,*

где  $\delta_p^0$  – угол поворота распределительного вала, соответствующий времени  $t_p$ .

Угол  $\delta_p^0$  зависит от соотношения скоростей вращения люльки при рабочем и вспомогательном ходах и определяется для каждого конкретного станка и передаточных отношений зубчатых передач механизма реверса люльки.

УКЦ по варианту 1:

$$(n_M/60)t_u = 1 i_{04} i_s.$$

Откуда ФН:

$$i_s = c_4/t_u,$$

где  $c_4 = n_M/(60 i_{04})$  – константа;

$i_{04}$  – произведение постоянных передач расчетной цепи электродвигатель–распределительный вал.

УКЦ по варианту 2:

$$(n_M/60)t_p = (\delta_p^0/360^0)i_{05}i_s.$$

Откуда ФН:

$$i_s = c_5 t_p,$$

где  $c_5 = i_{05} t_p (n_M/60) / (\delta_p^0/360^0)$  – константа.

Настройка движения  $\Phi_s$  на путь, т.е. на угол качания  $\Theta^0$  люльки, зависит от способа соединения групп  $\Phi_s$  и  $D$ . При параллельном соединении групп периодическое делительное движение суммируется через дифференциал  $\Sigma$  с движением заготовки  $B_2$  в период реверсирования движения обката  $\Phi_s$ , т.е. возврата люльки в исходное положение для профилирования следующего зуба или впадины нарезаемого колеса. При этом заготовка за время реверсирования, т.е. за  $t_x$ , как правило, поворачивается на  $1/z$  оборота.

При смешанном соединении групп реверсируется только люлька, а заготовка продолжает непрерывно вращаться в одну сторону. Причем за время возвращения люльки в исходное положение заготовка поворачивается на  $z_i/z$  оборота, где  $z_i$  – число зубьев заготовки, пропускаемых между двумя последовательными циклами делений. Это число, т.е.  $z_i$ , не должно иметь общих множителей с  $z$  заготовки.

При обоих способах соединения групп для возврата люльки в исходное положение в структуре станка необходим реверс. При параллельном соединении для реверсирования люльки и заготовки реверс располагают во внешней связи группы  $\Phi_s$  на участке 8–6. При смешанном соединении надо реверсировать только люльку, и поэтому реверс располагают во внутренней связи группы  $\Phi_s$  на участке 6–15–16–5 цепи профилирования от звена присоединения внешней связи к внутренней до люльки. В этом случае наибольшее распространение получил специальный реверс в виде составного колеса, рассмотренный в модуле, посвященном изучению механизмов станков. Вращение ведущего колеса реверса в одну сторону и постоянство его зацепления с внутренним замкнутым контуром составного колеса будет сообщать последнему вращательное движение то в одну, то в другую сторону и тем самым осуществлять реверсирование люльки. Ведущее колесо реверса обходит один раз полностью весь внутренний контур составного колеса за время цикла обработки одного зуба нарезаемого колеса.

При параллельном соединении групп  $\Phi_s$  и  $D$  настройка на путь осуществляется органом настройки  $i_{кл}$ . Для этого органа УКЦ имеет вид:

$$\delta_p^0/360^0 \text{ об. распределительного вала} \rightarrow \Theta^0/360^0 \text{ об. люльки.}$$

Угол  $\Theta^0 = \psi^0(z/z_n)$ , где  $\psi^0$  – угол поворота заготовки для полного профилирования зуба нарезаемого колеса, который выбирают по специальным номограммам в зависимости от числа нарезаемых зубьев, модуля и других параметров колеса.

Тогда УКЦ:

$$\Theta^0/360^0 = \delta_p^0/360^0(i_{06}i_{кл}).$$

Откуда ФН:

$$i_{кл} = (1/i_{06})(\Theta^0/\delta_p^0),$$

где  $i_{06}$  – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи распределительный вал–люлька.

При смешанном соединении групп путь движения обката  $\Phi_s$  настраивают посредством органов настройки  $i_{проф}$  и  $i_{дел}$ , в ФН которых фигурирует число  $z_i$ , являющееся функцией угла качания люльки и соответственно угла поворота  $\psi^0$  заготовки. Функцию  $z_i = f(\psi^0)$  определяют отдельно для каждого конкретного станка, используя для этого следующее соотношение:  $z_i = (\Theta^0/\delta_p^0) z_n$ .

Орган настройки  $i_{дел}$ . РП при параллельном соединении групп:

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

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

Тогда УКЦ:

$$1/z = ni_{07}i_{\Sigma}i_{дел}.$$

Откуда ФН:

$$i_{дел} = c_7/z,$$

где  $c_7$  – константа конкретной модели станка.

РП ( при смешанном соединении групп):

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

Тогда УКЦ:

$$z_i/z = 1 i_{08}i_{дел}.$$

Откуда ФН:

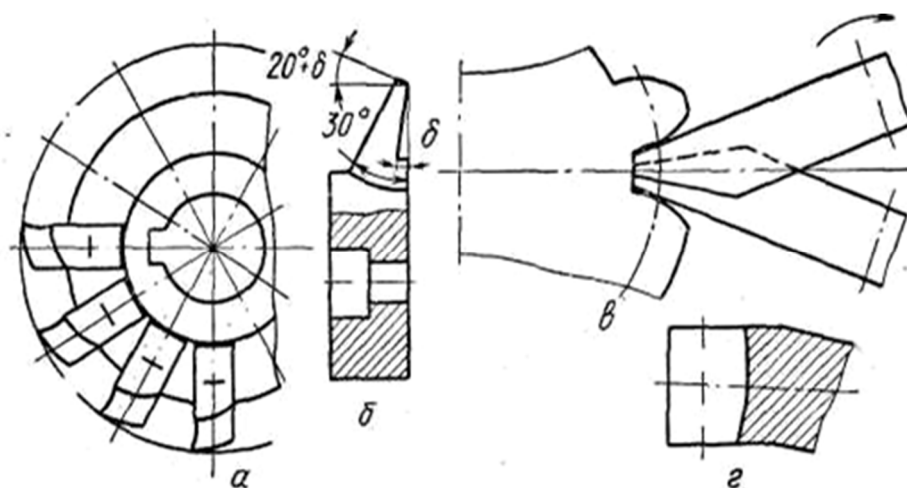
$$i_{дел} = c_8 z_i/z,$$

где  $c_8$  – константа конкретной модели станка.

Зубонарезание конических колес при профилировании обкатом используется при чистовой обработке. При незначительной переналадке рассмотренные типовые кинематические структуры зуборезных станков

позволяют также осуществлять профилирование зубьев копированием. В этом варианте зубонарезания конических колес класс воспроизведения зубчатой поверхности копирование – след. Такой вариант используется для черновой обработки. При нарезании прямозубых колес при профилировании копированием из типовой структуры исключается группа обката, вводится простая группа врезания  $Vp(\Pi_2)$  на высоту зуба. В ряде моделей станков при нарезании конических колес группа обката из кинематической структуры не исключается, но существенно, на 2–3 порядка, замедляется скорость движения обката, что при профилировании равнозначно остановке этого движения. Ниже при рассмотрении конкретных моделей станков для нарезания конических колес будет подробно рассмотрена их перестройка с одной структуры на другую.

Для нарезания прямозубых конических колес применяют также две дисковые фрезы (рисунок 11.4, *а*) большого диаметра со вставными резцами, имитирующие зуб плоского производящего колеса.



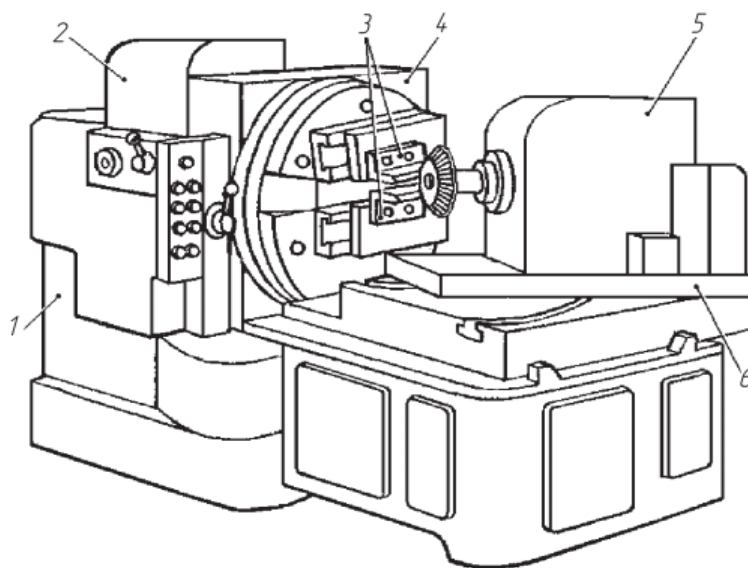
*а* – дисковая фреза со вставными резцами; *б* – вставной резец;  
*в* – взаимное расположение фрез; *г* – дно нарезаемой впадины

**Рисунок 11.4. – Схема нарезания прямозубых конических колес дисковыми фрезами**

Профиль режущей кромки резцов прямолинейный, режущая кромка профиля направлена перпендикулярно оси фрезы или расположена под углом  $\delta$  к этому направлению (см. рисунок 11.4, *б*). В первом случае зубья получаются конические, прямолинейные, во втором – бочкообразные. Обе фрезы прорезают одну впадину одновременно. Они установлены так, чтобы резцы одной из них попадали в промежутки между резцами другой и не задевали друг друга при вращении (см. рисунок 11.4, *в*). Нарезание фрезами осуществляется без подачи вдоль линии зуба, и поэтому дно впадин приобретает вогнутую форму (см. рисунок 11.4, *г*). По этой схеме

нарезают конические колеса с небольшой линией зуба по длине, например, сателлиты конических планетарных дифференциалов. Фрезерование конических прямозубых колес в 3–5 раз производительнее, чем зубострогание двумя резцами. Кинематическая структура такого станка аналогична структуре зубострогального, у которого группы обката и деления соединены параллельно. Например, станок модели 5230, работающий по описанной схеме, унифицирован с зубострогальными станками, работающими двумя резцами.

На рисунке 11.5 приведена типовая компоновка станка для обработки конических прямозубых колес.



**Рисунок 11.5. – Типовая компоновка зубострогального станка**

На станине 1 слева установлена передняя бабка 2, в которой смонтирована люлька 4 (воспроизводящее колесо). В люльке смонтирован исполнительный механизм, преобразующий вращательное движение в исполнительное поступательно-возвратное движение ползунов, несущих резцы 3. Справа на направляющих станины установлен продольный стол 6 с бабкой 5 нарезаемых зубчатых колес.

Компоновка станка для обработки конических колес с круговыми зубьями отличается от приведенной в основном только конструкцией исполнительного механизма смонтированного на люльке.

На базе рассмотренных типовых схем выпускают также станки для шлифования зубьев конических колес. Прямозубые колеса шлифуют двумя дисковыми кругами с продольной подачей их вдоль линии зуба. Конические колеса с круговыми зубьями шлифуют чашечным кругом. Кинематическая структура такого станка аналогична структуре станка, работающего резцовой головкой.

### 11.3 Зубострогальный станок для обработки прямозубых конических колес модели 5А26

Предназначен для обработки прямозубых конических зубчатых колес. Выполнен по схеме с параллельным соединением групп обката и деления. Оснащен временной системой управления. Рабочий цикл – полуавтоматический. Область применения – серийное производство.

*Техническая характеристика.* Максимальный диаметр обрабатываемого колеса 610 мм; модуль 1–8; максимальная длина линии зуба 90 мм;  $z = 10–200$ ; угол делительного конуса  $84^{\circ}18'–5^{\circ}42'$ ; максимальное передаточное отношение 10:1.

Кинематика станка (рисунок 11.6) включает две частные структуры, реализующие класс зубообработки след–обкат и копирование–след, из которых первая используется для чистовой, а вторая для черновой обработки.

Частная структура для чистовой обработки состоит из двух групп формообразования  $\Phi_1(\Pi_1)$  и  $\Phi_3(B_2B_3)$  и группы деления  $D(B_4)$ .

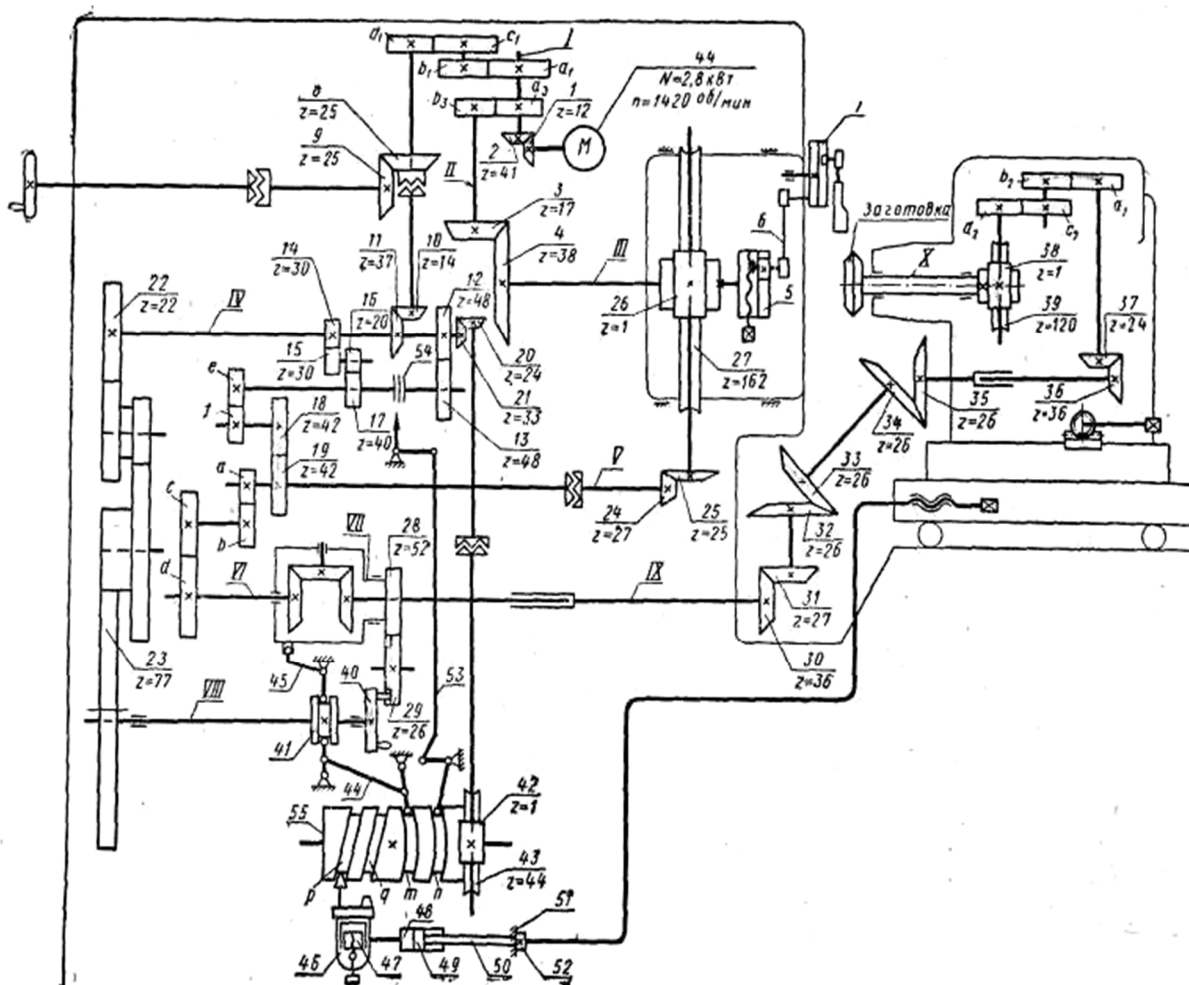


Рисунок 11.6. – Кинематическая схема зубострогального станка для обработки прямозубых конических колес модели 5А26



Цикл зубонарезания:

- заготовка быстро подводится к резцам и устанавливается на глубину предварительной (черновой) обработки (рисунок 11.7, а);
- предварительная обработка боковых поверхностей одного зуба движениями  $\Phi_v$  и  $\Phi_s$  (рисунок 11.7, б);
- реверсирование движения  $\Phi_s$  до горизонтального положения оси профиля обрабатываемого зуба и подвод заготовки на глубину окончательной (чистовой) обработки (рисунок 11.7, в);
- окончательная обработка зуба движениями  $\Phi_v$  и  $\Phi_s$  (рисунок 11.7, г);
- быстрый отвод заготовки и деление на зуб при продолжающемся движении обката;
- повторение цикла до тех пор, пока не будут обработаны все зубья.

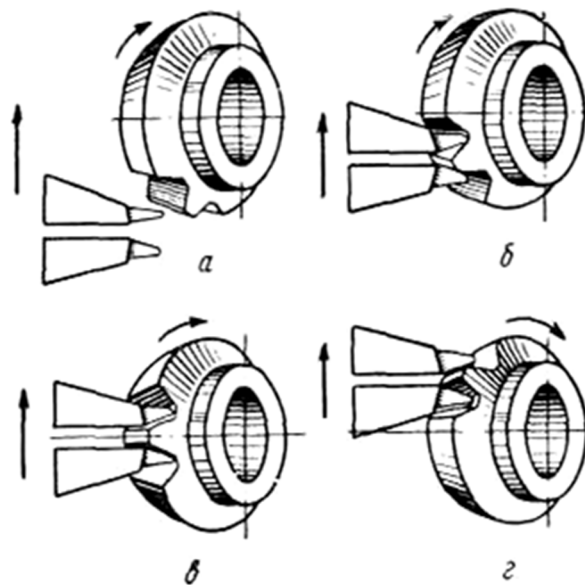


Рисунок 11.7. – Схема образования зубьев

Группа скорости резания  $\Phi_v$ . Ее внутренняя связь – это две поступательные пары:

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

Внешняя связь:

$M \rightarrow (i_v = a_3/b_3) \rightarrow$   
 $\rightarrow 1/38$  исполнительный механизм,  
 преобразующий вращательное движение  
 в поступательно-возвратное движение ползунов 1 с резцами 2 ( $\Pi_1$ ).

Последним вращающимся звеном внешней связи (рисунок 11.8) является кривошипный диск 5, расположенный в центре люльки. Этот диск посредством шатуна 6 сообщает качательное движение диску 7, в прямолинейном

пазу которого размещены сухари, соединенные посредством пальцев с ползунами 1. Ползуны расположены в направляющих, смонтированных так, чтобы резцы образовали угол  $2\delta'$  с центром вращения люльки (воображаемого производящего колеса).

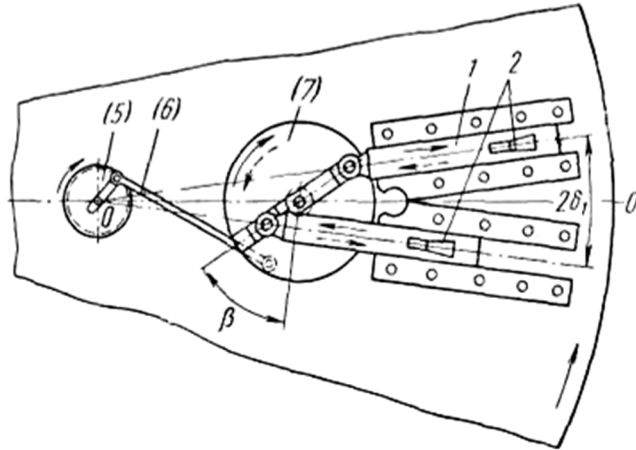


Рисунок 11.8. – Исполнительный механизм группы  $\Phi_v$

Движение  $\Phi_v$  имеет незамкнутую траекторию и настраивается на следующие параметры: траектория – установкой угла  $2\delta$ ; скорость – гитарой  $i_v$ ; путь – изменением радиуса положения пальца на кривошипном диске 5; исходное положение – изменением места крепления шатуна б к диску 7.

Группа обката  $\Phi_s$ . Внутренняя связь – кинематическая цепь, соединяющая люльку (воображаемое производящее колесо) со шпинделем заготовки:

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

Внешняя связь – кинематическая цепь

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

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

Группа деления  $D$ . Внутренняя связь – вращательная пара

$$\text{бабка изделия} \rightarrow \text{шпиндель } X.$$

Внешняя связь – кинематическая цепь

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

связывающая электродвигатель со шпинделем.

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

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

Чистовая обработка зубьев происходит в такой последовательности. Сначала устанавливают заготовку и пускают станок. Золотник гидропанели направляет масло в гидрозажим шпинделя бабки и правую полость цилиндра 48, в результате чего стол с бабкой подается к резцам. Одновременно включается движение обката. При этом движение во внутреннюю связь группы обката сообщается через гитару  $i_s$ , совершается рабочий ход, и резцы производящего колеса перемещаются из нижнего положения  $a$  в верхнее  $z$  (см. рисунок 11.7). По окончании рабочего хода золотник направляет масло в левую полость цилиндра, а рабочий профиль барабана 55, действуя рычагом 53 на муфту 54, управляющую реверсом, переключает движение обката с рабочего хода на ускоренный через зубчатую передачу 12–13 (48/48). В результате стол отходит вправо, а производящее колесо (люлька) и заготовка получают ускоренное вращение в обратном направлении. Одновременно с этим происходит процесс деления. В конце холостого хода барабан 55 переключает муфту 54 на рабочий ход, после чего стол подводится к резцам, и цикл повторяется.

Вывод ФН для органов настройки параметров исполнительных движений. Исходными данными для расчета настройки станка на обработку

прямоугольных колес являются наибольший модуль  $m$ , число зубьев нарезаемого колеса  $z$ , число зубьев производящего колеса  $z_n$ , длина линии зуба, угол зацепления.

Гитара  $i_v$ . Расчетная цепь совпадает с внешней связью группы  $\Phi_v$ , поэтому РП:

$$n_m \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_p \text{ дв. ход/мин резцов ( или мин}^{-1} \text{ кривошипного диска)}(П_1).$$

Тогда УКЦ:

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

Откуда ФН:

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

где  $c_1 = n_M i_{01}$ ;

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

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

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

Тогда УКЦ:

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

Откуда ФН:

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

где  $c_2 = i_{02} i_{\Sigma}$ ;

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

$i_{\Sigma}$  – передаточное отношение дифференциала.

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

$$L = (\pi m z_n \Theta^0)/360^0,$$

где  $L$  – длина дуги начальной окружности производящего колеса;

$\Theta^0$  – угол поворота люльки.

В станке при рабочем ходе движение подачи задается посредством гитары  $i_s$ , а при холостом ходе это движение имеет постоянную ненастраиваемую ускоренную подачу. При обсуждении типовых кинематических

структур зуборезных станков (см. рисунок 11.3) были рассмотрены возможные варианты задания РП для гитары подач, в т.ч. при различном значении подачи на рабочем и холостом ходу (вариант 2). Рассмотрим еще один вариант задания РП, являющийся аналогом варианта 2.

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

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

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

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

Тогда УКЦ:

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

Откуда ФН:

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

где  $c_3 = n_m i_{03}$ ;

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

Гитара  $i_{кл}$ . За время обработки одного зуба люлька совершает поворот на угол  $\Theta^0$  при рабочем ходе и на такой же угол при холостом ходе, т.е. проходит путь, равный  $2\Theta^0$ , что составляет  $2\Theta^0/360^0$  оборота. За этот период барабан 55 управления делает один оборот. В станке 5/8 оборота приходится на рабочий ход, 1/16 – на переключение муфты 54 реверса и 5/16 – на холостой ход. Следовательно, РП:

$$5/8 \text{ поворота барабана управления} \rightarrow \Theta^0/360^0 \text{ поворота люльки.}$$

Тогда УКЦ:

$$\Theta^0/360^0 = (5/8) i_{04} i_{кл} k.$$

Откуда ФН:

$$i_{кл} = (\Theta^0/360^0)/(5/8) i_{04} k = \Theta^0/c_4 = \Theta^0/36,$$

где  $c_4 = (5/8) i_{04} k = 36$ ;

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

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

Угол  $\Theta^0$  обычно подбирают опытным путем. Для ориентировочного его подсчета можно пользоваться формулой

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

Угол поворота люльки вверх от горизонтального положения (для угла зацепления  $\alpha = 20^0$ )

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

где  $h''$  – высота ножки зуба.

Угол  $\Theta_2$  вычисляют по специальным таблицам или номограммам. Его можно с достаточной степенью точности вычислить по выражению

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

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

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

Тогда УКЦ:

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

Откуда ФН:

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

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

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

$i_{\Sigma}$  – передаточное отношение дифференциала (водило ведущее), равное 2.

Угол  $\delta_1$  установки резцов определяют по формуле

$$\delta_1 = 57,296 \left( \frac{\pi}{4f} + \operatorname{tg} \alpha \right) \operatorname{tg} \gamma,$$

где  $\alpha$  – угол зацепления;

$\gamma$  – угол ножки зуба;

$f$  – коэффициент высоты зуба.

Обычно  $\alpha = 20^0$ , а  $f = 1,1236$ , то для этого случая  $\delta_1 = 60,884 \operatorname{tg} \gamma$ .

Частная структура для черновой обработки включает группы  $\Phi_v(P_1)$ ,  $Vp(P_5)$  и  $D(B_4)$ .

Цикл работы станка при черновом нарезании зубьев:

- быстрый подвод стола с бабкой, несущей заготовку, к резцам;
- врезание на высоту зуба при рабочей подаче стола;

- быстрый отвод стола из зоны резания;
- одинарное или двойное деление;
- повторение цикла до тех пор, пока не будут обработаны все зубья.

При одинарном делении используется два стандартных резца. При этом каждый резец выстрагивает свою часть впадины. При двойном делении используются нестандартные резцы. Каждый резец выстрагивает всю впадину.

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

Группа  $Vp(\Pi_5)$  простая. Ее внутренняя связь – поступательная пара:

*направляющие → продольный стол с бабкой.*

Внешняя связь:

$M \rightarrow 12/41 \rightarrow i_s \rightarrow 14/37 \rightarrow 24/33 \rightarrow 1/44 \rightarrow$   
 → рабочий профиль  $p$  барабана 55 → гидроцилиндр 48 → шток 50 →  
 → продольный стол ( $\Pi_5$ ).

Группа настраивается: на скорость – гитарой  $i_s$ ; на путь и исходную точку – упором 51.

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

$1 \text{ дв. ход резцов} \rightarrow s \text{ мм перемещения стола} (\Pi_5).$

Тогда УКЦ:

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

ФН:

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

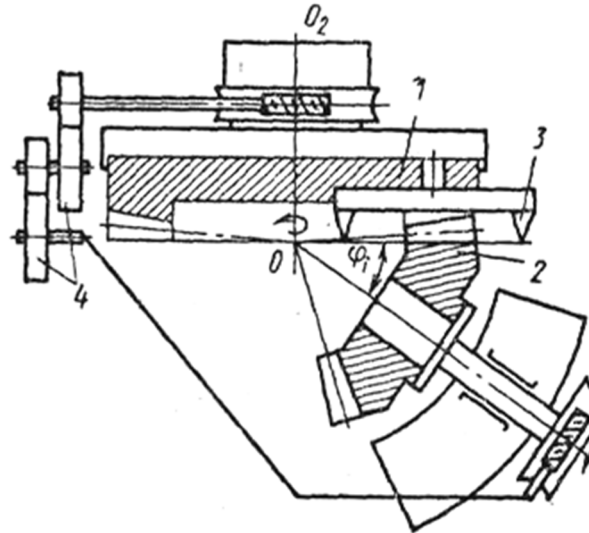
где шаг тягового вала  $t_{TB}$ , равный шагу рабочего профиля  $p$ .

На станке предусмотрена также возможность обработки бочкообразных зубьев. Для этого на люльке прямолинейные направляющие для ползунков  $I$  заменяют соответствующими криволинейными.

#### 11.4 Станки для обработки конических колес с круговыми зубьями

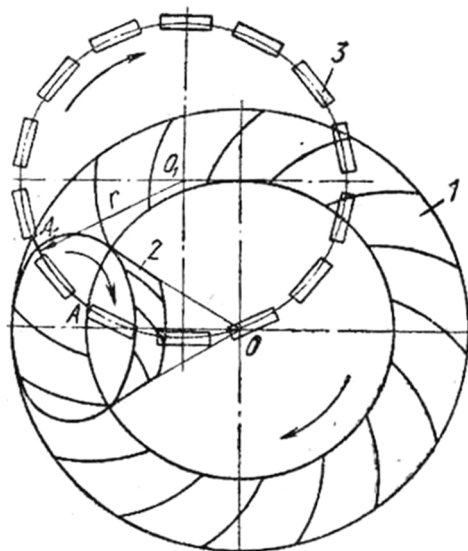
При обработке конических колес с круговыми зубьями в качестве производящего колеса принимают плоское колесо  $I$ , зубья которого направлены по дуге окружности радиуса  $r$  (рисунок 11.9). Заготовка 2 в процессе

обработки обкатывается с производящим колесом  $1$ , зубья которого воспроизводятся резцовой головкой  $3$ , вращающейся вокруг точки  $O_1$ . Профиль резцов соответствует профилю зубьев производящего колеса. Проходя участок  $AA_1$ , они имитируют один зуб производящего колеса.



**Рисунок 11.9. – Схема нарезания колес с круговыми зубьями**

Согласованность вращения люльки  $1$  (рисунок 11. 10) и заготовки  $2$  (станочное зацепление) обеспечивается сменными зубчатыми колесами  $4$ , подбираемыми в зависимости от числа зубьев нарезаемого колеса. Вершины резцов  $3$  должны передвигаться по образующей внутреннего конуса нарезаемого колеса. Поэтому колесо необходимо устанавливать под углом  $\varphi_i$  внутреннего конуса к плоскости, в которой передвигаются вершины резцов.



**Рисунок 11.10. – Схема установки заготовки при нарезании круговых зубьев**



Заготовка должна устанавливаться относительно центра станка, под которым понимается точка пересечения горизонтальной оси  $OO_2$  люльки, оси  $OO_1$  шпинделя бабки и вертикальной оси  $O$  стола. Через центр стола должна проходить плоскость, в которой передвигаются вершины резцов головки, и с центром стола должна совпадать вершина начального конуса нарезаемого колеса.

Резцовая головка (рисунок 11.11, а) выполняется в виде диска с пазами, в которые вставляются и крепятся резцы перпендикулярно торцевой плоскости диска. Резцы бывают наружные (рисунок 11.11, б) и внутренние (рисунок 11.11, в). Резцы подразделяются также на праворежущие и леворежущие, отличающиеся только расположением режущих кромок.

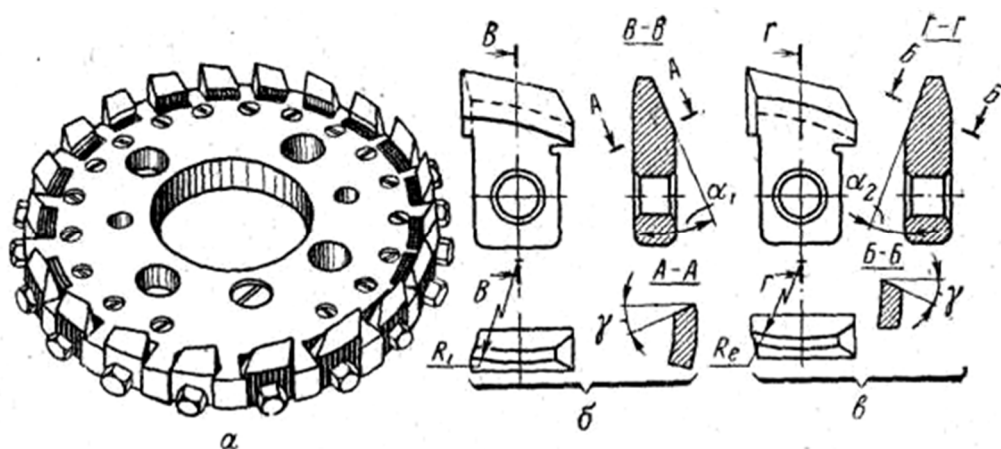


Рисунок 11.11. – Резцовая головка

Конические колеса с круговым зубом нарезают на различных модификациях зуборезных станков моделей 525, 527, 528, 5С270П, 5А284 и др.

#### 11.4.1 Зуборезный станок для обработки конических колес с круговыми зубьями модели 528

Предназначен для обработки конических (гипоидных) зубчатых колес с круговыми зубьями. Выполнен по схеме со смешанным соединением групп обката и деления. Оснащен временной системой управления. Рабочий цикл – полуавтоматический. Область применения – серийное производство.

*Техническая характеристика.* Максимальный диаметр обрабатываемого колеса 500 мм; максимальный модуль 10 мм; максимальная ширина зуба 65 мм;  $z = 4-100$ ; максимальное передаточное отношение 10:1; максимальная длина образующей начального конуса 250 мм.

Зубообработка осуществляется стандартными резцовыми головками диаметром 150–300 мм.

Кинематика станка (рисунок 11.12) состоит из двух частных структур. Первая реализует класс воспроизведения зубчатой поверхности след-обкат, вторая – копирование-след.

Частная структура класса воспроизведения конической зубчатой поверхности след-обкат включает две группы формообразования  $\Phi_v(B_1)$  и  $\Phi_s(B_2B_3)$  и группу деления  $D(B_4)$ .

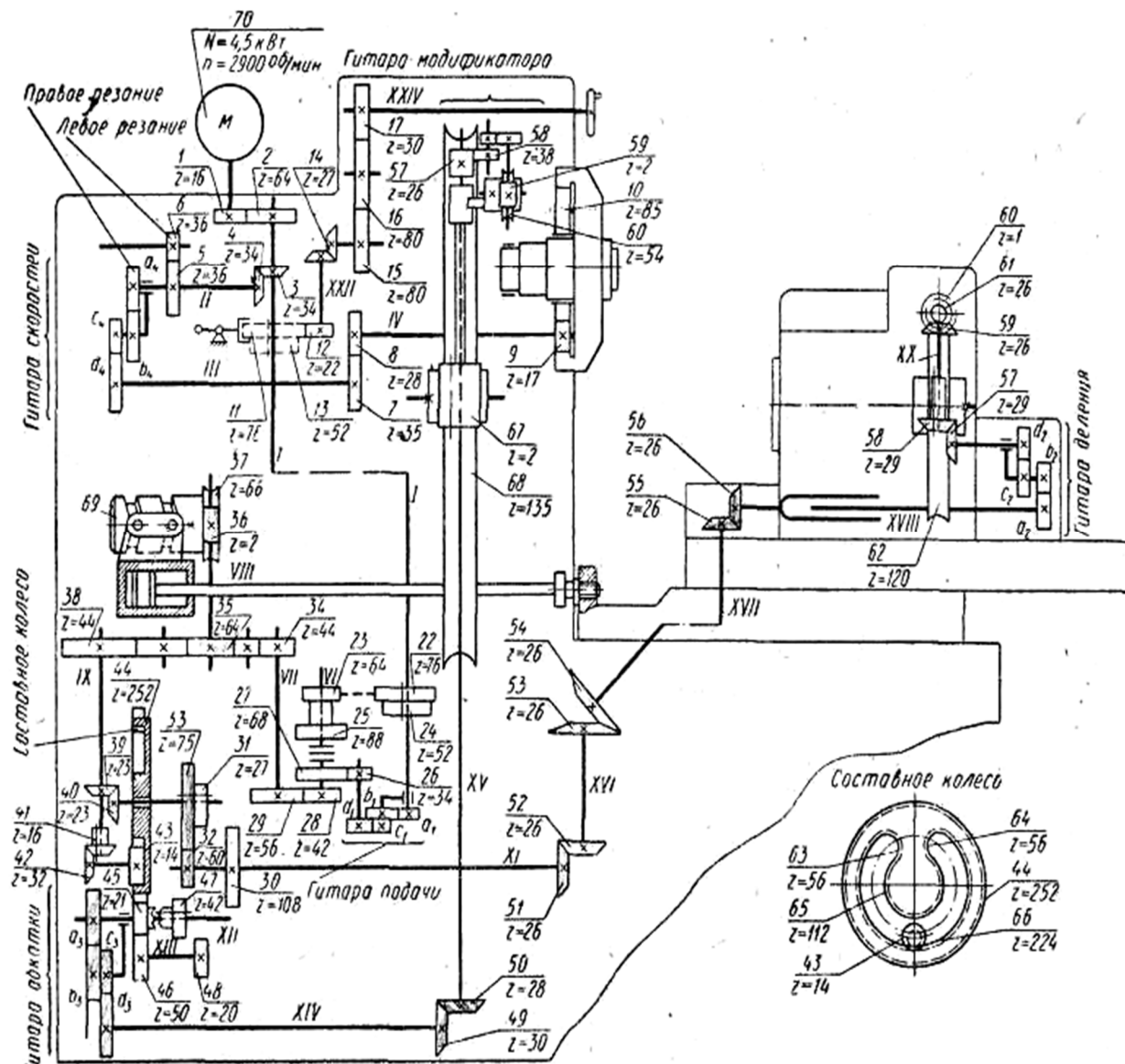


Рисунок 11.12. – Станок для нарезания конических колес с дугowymi зубьями модели 528

Цикл зубонарезания:

- подвод заготовки к резцовой головке;
- прорезка впадины, вращающейся резцовой головкой (движение резания) при согласованном вращении люльки, несущей резцовую головку, и шпинделя с заготовкой (движение обката);

– отвод заготовки от резцовой головки при продолжающемся вращении заготовки в ту же сторону, одновременно реверсирование и ускоренное обратное вращение люльки;

– подвод заготовки, реверсирование люльки и повторение цикла.

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

Группа  $\Phi_v$  простая. Ее внутренняя связь – вращательная пара:

*корпус люльки* → *шпиндель резцовой головки*.

Внешняя связь – кинематическая цепь:

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

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

Группа  $\Phi_s$  сложная. Ее внутренняя связь – кинематическая цепь, воспроизводящая станочное зацепление:

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

Внешняя связь:

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

Группа настраивается на траекторию и скорость гитарами  $i_x$  и  $i_s$ .

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

*подшпинниковые опоры бабки изделия* → *шпиндель* ( $B_4$ ).

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

Вывод ФН для органов настройки станка  $i_v, i_x, i_s, i_y$ . Исходными данными для этого являются геометрические параметры нарезаемого колеса и материал, из которого он изготовлен.

Гитара  $i_v$ . Расчетная цепь связывает электродвигатель со шпинделем резцовой головки. Следовательно, РП:

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

Тогда УКЦ:

$$n_{\text{РГ}} = n_M i_{01} i_v.$$

Откуда ФН:

$$i_v = n_{\text{РГ}} / c_{01} = n_{\text{РГ}} / 180,$$

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

Гитара  $i_x$ . Расчетная цепь совпадает с внутренней связью группы  $\Phi_s$ . Поэтому РП:

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

Тогда УКЦ:

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

Откуда ФН:

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

где  $i_{02}$  – константа расчетной цепи;

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

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

Следовательно, РП для расчетной цепи:

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

Тогда УКЦ:

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

Откуда ФН:

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

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

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

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

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

$$1 \rightarrow 60/6,7 \text{ с},$$

$$5/9 \rightarrow t_y \text{ с},$$

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

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

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

Тогда УКЦ:

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

Откуда ФН:

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

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

От числа пропускаемых зубьев  $z_i$  зависит угол качания люльки. Может оказаться, что угол качания люльки будет недостаточным или, наоборот, слишком большим. В первом случае отвод заготовки будет происходить раньше, чем окончится прорезка впадины и, таким образом, зубья не получат правильной формы. Так как станок не имеет органа настройки угла качания люльки, то изменить угол качания можно путем пересчета сменных колес гитар обката и деления, взяв другое число  $z_i$ . Если угол качания люльки недостаточен, то  $z_i$  надо увеличить, а если этот угол слишком велик, то уменьшить. При этом можно воспользоваться также табличным значением угла качания люльки на основе следующих РП:

$$\delta_p^0/360^0 \text{ поворота распределительного вала} \rightarrow \Theta^0/360^0 \text{ поворота люльки.}$$

Тогда УКЦ:

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

Откуда ФН:

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

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

Частная структура класса воспроизведения конических зубчатых поверхностей копирование – след используется при нарезании зубчатых колес с большим углом начального конуса. В этом случае угол обката (качания) люльки велик, и профилирование обкатом становится малопродуктивным. Однако, чтобы не усложнять структуру станка введением дополнительных механизмов, а использовать те же кинематические цепи, движение обката не выключается, а только замедляется так, чтобы за время цикла обработки заготовка повернулась всего на один зуб.

Цикл обработки:

- прорезка одной впадины при рабочей подаче врезания заготовки на резцовую головку и медленном движении обката;
- отвод заготовки при продолжающемся ее вращении в ту же сторону и одновременное реверсирование и вращение люльки в обратном направлении;
- подвод заготовки, реверсирование люльки, повторение цикла прорезки соседней впадины.

За время цикла прорезки впадины люлька по-прежнему совершает одно двойное качание, а заготовка, вращаясь в одном направлении, повернется за это же время относительно люльки на один зуб (впадину).

В рассматриваемой структуре кинематическая группа скорости резания  $\Phi_v$  остается такой же, как и в предшествующей структуре. Структура группы обката также остается прежней. Однако в ее внутренней связи некоторые передачи заменяются другими. Вместо передач 42/20 и 50/252 вводится понижающая передача 21/252, а вместо передачи 75/60 вводится понижающая передача 27/108. В итоге движение обката замедляется в 25 раз. При этом ФН для гитар обката и деления будут иметь следующий вид:

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

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

гитары – это кинематическая цепь, соединяющая резцовую головку со столом, несущим бабку. Следовательно, РП для расчетной цепи:

*1 об. резцовой головки → s мм перемещения стола.*

Тогда УКЦ:

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

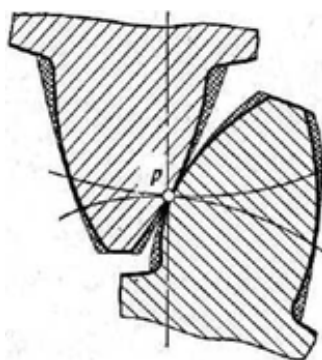
где  $t_{TB}$  – шаг рабочего паза на распределительном валу 69, управляющего гидроцилиндром подачи.

Откуда ФН:

$$[i_s = (a_1/b_1) \cdot (c_1/d_1)] = 32,3 (s_i/t_{TB}).$$

Нарезание конических колес с круговыми зубьями при профилировании обкатом характеризуется длительным циклом обработки, т.к. для устранения огранки зубьев при обработке и получения высокого класса чистоты поверхности приходится увеличивать время огибания (обката). Много времени затрачивается также на холостые ходы. Поэтому в крупносерийном производстве спирально-конических и гипоидных передач используется более производительный способ полуобкатной обработки. В полуобкатной передаче при профилировании обкаткой нарезают шестерню, имеющую небольшое число зубьев, а колесо нарезают резцовой головкой или круговой протяжкой при профилировании копированием.

На рисунке 11.13 жирными линиями очерчены профили зубьев полуобкатной передачи.



**Рисунок 11.13. – Профили зубьев полуобкатной передачи**

Для сравнения тонкими линиями показаны профили зубьев обычной передачи, нарезаемой при профилировании обкатом. Профиль зуба колеса в этом случае получается полнее. Такое утолщение профиля колеса должно соответствовать утонению профиля шестерни. Это изменение профиля шестерни называют модификацией. В рассматриваемом станке для модификации профиля шестерни используется механизм модификации, выполненный

в виде дополнительной кинематической цепи во внутренней связи группы обката, включающей суммирующий механизм с червячной передачей, в котором равномерное вращение червяка люльки суммируется с его неравномерным поступательным перемещением. Механизм модификации получает движение от колеса 57 (см. рисунок 11.12), закрепленного на валу червяка 67 люльки и сцепленного с колесом 58. Далее движение передается через гитару модификации обката  $i_m$  и червячную пару 59–60 втулке, на которой эксцентрично установлен ролик, к которому посредством гидравлики прижимается стакан, связанный с червяком люльки. При работе станка эксцентриковый ролик, совершая планетарное движение, перемещает червяк люльки в осевом направлении с переменной скоростью.

В итоге червячное колесо 68 дополнительно поворачивает люльку на угол  $\Theta^0_{доп}$ .

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

$\Theta^0$  поворота люльки  $\rightarrow \Theta^0_{доп}$  дополнительного поворота люльки.

Тогда УКЦ:

$$\Theta^0_{доп} = \Theta^0 \cdot 135/2 \cdot 26/38 \cdot i_m \cdot 2/60.$$

Откуда ФН:

$$i_m = 0,65 \cdot \Theta^0_{доп} / \Theta^0.$$

Полученное значение для  $i_m$  корректируется с учетом решения неравенства

$$i_m < 100^0 / (\Theta^0 A_m),$$

где  $A_m$  – константа, равная 2,08333.

#### **11.4.2 Зубофрезерный станок для обработки конических колес с прямыми зубьями модели 5230**

Первая базовая модель зубофрезерного станка с отдельным приводом формообразующих групп для обработки конических прямозубых колес, реализующая рассмотренный выше (см. рисунок 11.4) способ зубофрезерования двумя дисковыми фрезами со вставными резцами. Выполнен по схеме со смешанным соединением групп обката и деления. Оснащен временной системой управления. Рабочий цикл – полуавтоматический. Область применения – серийное производство.

*Техническая характеристика.* Наибольший модуль нарезаемых колес 8 мм; наибольший диаметр делительной окружности при передаточном отношении 10:1 320 мм; длина образующей начального конуса 20–150 мм; число зубьев нарезаемого колеса 10–150; угол делительного конус





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

Группа  $\Phi_v(B_1)$  простая. Ее внутренняя связь – вращательные пары:

*корпус люльки* → *шпиндели фрез.*

Внешняя связь – кинематическая цепь:

$$\begin{array}{c} 48/65 \rightarrow 65/33 \rightarrow 48/60 \rightarrow 4/28 \rightarrow \text{шпиндель 1} \rightarrow (B_1). \\ \uparrow \\ D_1 \rightarrow 13/52 \rightarrow 34/34 \rightarrow i_v \\ \downarrow \\ 48/65 \rightarrow 65/33 \rightarrow 48/60 \rightarrow 4/28 \rightarrow \text{шпиндель 2} \rightarrow (B_1). \end{array}$$

Группа настраивается на скорость резания и направление – гитарой  $i_v$  и реверсом, совмещенным с гитарой.

Группа  $\Phi_s(B_2B_3)$  сложная. Ее внутренняя связь – кинематическая цепь, воспроизводящая станочное зацепление:

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

Внешняя связь:

$$D_2 \rightarrow 16/64 \rightarrow [(i_s = (a_1/b_1)(c_1/d_1)) \rightarrow 34/68] \text{ или } [(76/64) \text{ или } (52/88)] \rightarrow \rightarrow 42/56 \rightarrow 44/44 \rightarrow \text{звено соединения связей (вал, несущий колеса 23 и 16)}.$$

Группа настраивается на траекторию и скорость гитарами  $i_x$  и  $i_s$ .

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

*подшипниковые опоры бабки* → *шпиндель заготовки* ( $B_4$ ).

Внешняя связь включает внешнюю связь группы  $\Phi_s$  и часть ее внутренней связи от звена соединения связей (вал с колесами 23 и 16) до шпинделя заготовки. Эта связь содержит гитару  $i_y$ , являющаяся органом настройки группы деления на траекторию.

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

Гитара  $i_v$ . Расчетная цепь связывает электродвигатель со шпинделями фрез. Следовательно, РП:

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

УКЦ:

$$n_{uv} = n_M i_{01} i_v.$$

Откуда ФН:

$$i_v = n_{uv} / c_{01} = n_{uv} / 120,$$

где  $c_{01} = n_M i_{01} = 120$  – константа расчетной цепи.

Гитара  $i_x$ . Расчетная цепь совпадает с внутренней связью группы  $\Phi_3$ . Поэтому РП:

$1/z_n$  поворота люльки ( $B_2$ )  $\rightarrow$   $1/z$  поворота шпинделя заготовки ( $B_3$ ).

Тогда УКЦ:

$$1/z = 1/z_n i_{02} (1/i_x) (i_y = 2z_i/z).$$

Откуда ФН:

$$i_x = i_{02} z_i / z_n = 3,5 z_i / (z_n = z / \sin \delta_1) = (7 z_i \sin \delta_1) / z,$$

где  $i_{02} = 3,5$  – произведение передаточных отношений расчетной цепи;  
 $i_y = 2z_i/z$  – ФН гитары деления, определяемая по расчетной цепи деления;  
 $\delta_1$  – половина угла делительного конуса нарезаемого колеса.

Гитара  $i_s$ . Временная система управления станка относится ко второму классу, характерная особенность которого – наличие двух круговых частот распределительного вала: настраиваемой посредством гитары зубчатых колес при рабочем ходе и ненастраиваемой, ускоренной при свободном (холостом) ходе. Поэтому расчетная цепь – это кинематическая цепь, связывающая электродвигатель  $D_2$  с распределительным валом  $B$ . За время рабочего хода двухсторонняя муфта  $M$  включена (по схеме вниз), распределительный вал поворачивается на  $4/9$  оборота. Следовательно, РП:

$(n_{D2} / 60) t_p$  об. электродвигателя  $\rightarrow$   $4/9$  об. распределительного вала.

Тогда УКЦ:

$$4/9 = [(n_{D2} = 600 \text{ или } 1000) / 60] t_p i_{03} i_s.$$

ФН:

$$i_s = c_{03} / t_p = (13 \text{ или } 22) / t_p,$$

где  $c_{03} = (4/9) [(n_{D2} = (600 \text{ или } 1000) / 60)] i_{03} = 13 \text{ или } 22$  – константа;  
 $i_{03} = 0,002$  – произведение постоянных передач расчетной цепи.

Ускоренный ход муфта  $M$  включена (по схеме вверх). Следовательно, РП:

$$n_{PB} = [n_{D2} = (600 \text{ или } 1000)] (16/64) (52/88) (42/56) (44/64) (2/66) = 3 \text{ или } 5 \text{ мин}^{-1}.$$

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

$$\begin{aligned} 1 &\rightarrow 60/3 \text{ с,} \\ 5/9 &\rightarrow t_y \text{ с,} \end{aligned}$$

определим при  $n_{д2} = 600 \text{ мин}^{-1}$  время ускоренного хода люльки  $t_y = 11,1 \text{ с}$ .

Или пользуясь пропорцией

$$\begin{aligned} 1 &\rightarrow 60/5 \text{ с,} \\ 5/9 &\rightarrow t_y \text{ с,} \end{aligned}$$

определим при  $n_{д2} = 600 \text{ мин}^{-1}$  время ускоренного хода люльки  $t_y = 6,6 \text{ с}$ .

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

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

Тогда УКЦ:

$$z_i/z = 1 \cdot (66/2) (64/60) (60/44) (23/23) (75/60) (26/26) i_y (29/29) (30/30) (1/120).$$

Откуда ФН:

$$i_0 = i_{04} z_i / z = 2 z_i / z,$$

где  $i_{04} = 1/2$  – произведение постоянных передач расчетной цепи.

От числа пропускаемых зубьев  $z_i$  зависит угол качания люльки. Может оказаться, что угол качания люльки будет недостаточным или, наоборот, слишком большим. В первом случае отвод заготовки будет происходить раньше, чем окончится прорезка впадины и, таким образом, зубья не получат правильной формы. Станок не имеет органа настройки угла качания люльки, поэтому изменить угол качания можно путем пересчета сменных колес гитар обката и деления, взяв другое число  $z_i$ . Если угол качания люльки недостаточен, то  $z_i$  надо увеличить, а если этот угол слишком велик, то уменьшить. При этом можно воспользоваться также значением угла качания люльки по следующим РП:

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

Тогда УКЦ:

$$\Theta^0/360^0 = (\delta_p^0/360^0) \cdot (66/2) \cdot (64/44) \cdot (16/32) \cdot (14/224) \cdot (252/21) \cdot i_x \cdot (30/28) \cdot (2/135).$$

Откуда ФН:

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

Угол  $\Theta^0$  качания люльки, необходимый для полного нарезания зуба на заготовке, можно определить по выражению

$$\Theta^0 = \arccos(\cos\delta_\alpha/\cos\delta_j) + 0,5\Theta_\Sigma; \Theta_\Sigma = 1200/z_n,$$

где  $\delta_\alpha$  – угол наружного конуса;

$\delta_j$  – угол внутреннего конуса.

Полученное значение  $z_i$  округляют в большую сторону до целого числа взаимно простого с числом  $z$  нарезаемых зубьев.

Частная структура класса копирование–след используется для черновой обработки. Однако, чтобы не усложнять структуру станка введением дополнительных механизмов, а использовать те же кинематические цепи, что и при обкатном зубофрезеровании, движение обката не выключается, а только существенно замедляется так, чтобы за время цикла обработки заготовка повернулась всего на один зуб (впадину).

Цикл обработки:

- прорезка одной впадины при рабочей подаче врезания заготовки на плоское колесо (люльку с фрезами) и медленном движении обката;
- отвод заготовки при продолжающемся ее вращении в ту же сторону, и одновременное реверсирование и вращение люльки в обратном направлении;
- подвод заготовки, реверсирование люльки повторение цикла прорезки соседней впадины.

За время цикла прорезки впадины люлька по-прежнему совершает одно двойное качание, а заготовка, вращаясь в одном направлении, повернется за это же время относительно люльки на один зуб (впадину).

В рассматриваемой структуре кинематическая группа скорости резания  $\Phi_v$  остается такой же, как и в предшествующей структуре. Структура группы обката также остается прежней. Однако в ее внутренней связи некоторые передачи заменяются другими. Вместо передач 42/20 и 50/252 вводится посредством муфты  $M$  и блока 75–27 понижающая передача 21/252, а вместо передачи 75/60 вводится понижающая передача 27/108. В итоге движение обката замедляется в 48 раз. Это обстоятельство при черновом нарезании зубьев позволяет пренебречь движением обката, что равнозначно прекращению этого движения. И, следовательно, движение деления можно осуществлять на один зуб. При этом РП для гитары деления будут иметь следующий вид:

*1 об. распределительного вала  $\rightarrow z$  поворота заготовки.*

Тогда УКЦ:

$$z = 1 \cdot (66/2) (64/60) (60/44) (23/23) (27/108) (26/26) i_y (29/29) (30/30) (1/120).$$

ФН:

$$i_y = 10 z.$$

Группа врезания  $Вр(П_5)$  – простая. Ее внутренняя связь – элементарная поступательная пара

*направляющие станины – бабка, несущая шпиндель заготовки.*

Внешняя связь – кинематическая цепь, связывающая электродвигатель с бабкой заготовки:

$$M \rightarrow 16/64 \rightarrow 52/52 \rightarrow 20/20 \rightarrow (i_\psi = a/b) \rightarrow 16/57 \rightarrow (i_s = 9,5/t_p) \rightarrow \\ \rightarrow 34/68 \rightarrow \rightarrow 44/64 \rightarrow 2/66 \rightarrow РВ \rightarrow \text{тяговый вал } (П_5).$$

Функцию тягового вала выполняет гидроцилиндр, управляемый блоком  $B$ . Шток гидроцилиндра соединен с бабкой заготовки. Шаг тягового вала соответствует шагу рабочего паза блока  $B$ .

Группа настраивается на скорость (подача врезания) гитарой  $i_\psi$  и на путь и исходную точку изменением длины штока тягового вала.

Гитара  $i_s$ . Врезание на высоту зуба происходит на участке кривой блока  $B$ , который при профилировании обкатом служит для быстрого подвода бабки заготовки. Угол наклона кривой на данном участке равен  $45^\circ$ . Вращение блока  $B$  замедляется посредством гитары  $i_s$ , включаемой во внешнюю связь муфтой  $M$  (на схеме вниз, см. рисунок 11.6).

Вывод ФН для гитары  $i_s$  осуществляется на основе следующих РП:

$$(n_{Д2}/60)t_{вр} \text{ об. электродвигателя} \rightarrow \Theta_{вр}^0/360^\circ \text{ об. блока } B,$$

где  $t_{вр}$  – время врезания;

$\Theta_{вр}^0 = 25^\circ$  – угол поворота РВ за время врезания.

Тогда УКЦ:

$$\Theta_{вр}^0/360^\circ = (n_{Д2}/60)t_{вр}(16/64)i_s(34/68)(42/56)(44/64)(2/66).$$

Откуда ФН при  $n_{Д2} = 1000 \text{ мин}^{-1}$ :

$$i_s = 0,64/t_{вр}.$$

В конструкции станка предусмотрены также установочные ручные настройки (тяговые валы ручной настройки на схеме не показаны): угловая установка бабки изделия; осевая установка бабки изделия; угол развода суппортов; осевое смещение инструмент; радиальная установка инструмента.

На основе рассмотренного станка позже были разработаны станки моделей 5С237, 5С267П, 5С277П, 5С267ПФ3.

## Глава 12 СТАНКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗЬБЫ

### 12.1 Общие сведения об обработке резьбы

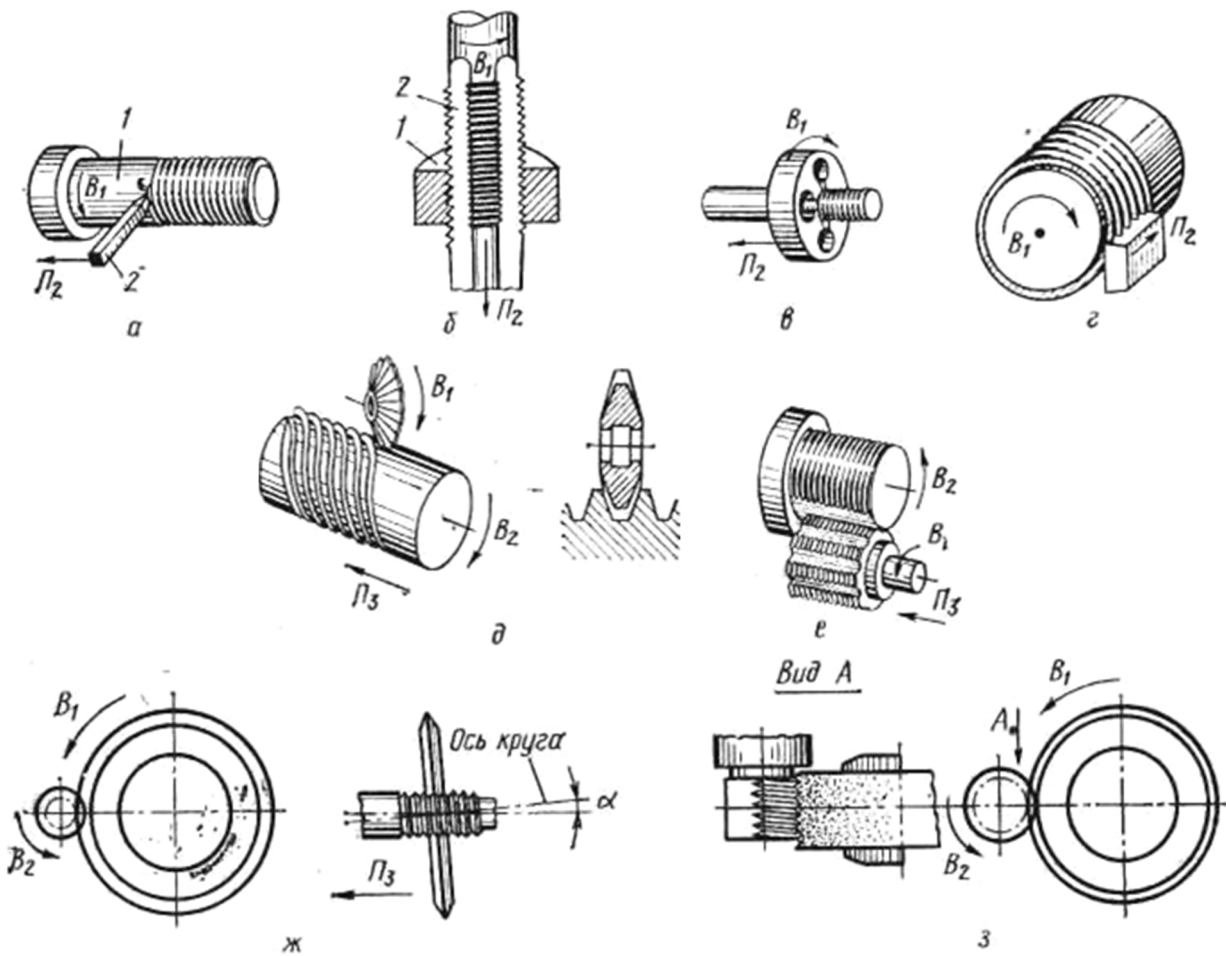
Резьбообрабатывающие станки предназначены для формообразования на заготовках винтовых поверхностей, которые широко используют в различных отраслях производства в неподвижных резьбовых соединениях, винтовых и червячных передачах, а также в большинстве режущих инструментов, применяемых при обработке винтовых поверхностей.

Резьбы (винтовые поверхности) характеризуются в продольном направлении винтовой линией и в поперечном сечении, проходящем через ось тела вращения, – профилем. Профиль может быть треугольным, прямоугольным, трапецеидальным, полукруглым и т.д.

Для нарезания винтовых поверхностей в большинстве случаев используют режущие и абразивные инструменты, форма режущей кромки или контура которых совпадает с профилем нарезаемой резьбы. Поэтому основным видом образования профиля винтовых поверхностей является копирование, осуществляемый резьбовыми резцами (рисунок 12.1, а), метчиками (рисунок 12.1, б), плашками (рисунок 12.1, в), резьбовыми гребенками (рисунок 12.1, г), дисковыми резьбовыми фрезами (рисунок 12.1, д), многониточными гребенчатыми фрезами (рисунок 12.1, е), дисковыми (рисунок 12.1, ж) и многониточными (рисунок 12.1, з) шлифовальными кругами, резьбонарезными и резьбонакатными головками, накатными кругами.

Для образования профиля у цилиндрических и глобоидных червяков при нарезании их чашечным обкатным резцом используют движение обката. В продольном направлении форма винтовых поверхностей образуется движением следа или касания в зависимости от применяемого инструмента.

В связи с тем, что наиболее распространенным видом образования профиля резьбы является копирование, не требующее движения формообразования, кинематическая структура большинства резьбообрабатывающих станков состоит только из кинематических групп, создающих движения для образования винтовой линии. При образовании винтовой линии посредством движения следа (резцом, метчиком, плашкой, резьбовой гребенкой) требуется одно сложное винтовое движение  $\Phi_v(B_1B_2)$ , а движением касания (резьбонарезной головкой, фрезой, шлифовальным кругом) – два движения: одно простое  $\Phi_v(B_1)$  – вращение инструмента, и второе сложное винтовое  $\Phi_s(B_2\Pi_3)$ . Таким образом, кинематическая структура резьбообрабатывающих станков в первом случае состоит из одной формообразующей группы, а во втором – из двух формообразующих групп.



**а** – резьбовым резцом; **б** – метчиком; **в** – плашкой; **г** – резьбовой гребенкой;  
**д** – дисковой резьбовой фрезой; **е** – многониточной гребенчатой фрезой;  
**ж** – дисковым шлифовальным кругом; **з** – многониточным шлифовальным кругом

**Рисунок 12.1. – Воспроизведение винтовых поверхностей различными режущими инструментами**

В индивидуальном производстве, например, ремонтном или экспериментальном, нарезание резьбы осуществляют резьбовыми резцами, метчиками и плашками на универсальных токарно-винторезных станках. При нарезании резцами используется частная винторезная структура этих станков, рассмотренная в главе, посвященной токарным станкам на примере понятий о кинематической группе и кинематической структуре станка. При нарезании резьбы метчиками и плашками нет необходимости в использовании винторезной цепи (внутренней связи группы  $\Phi_s(B_1B_2)$ ). В этом случае внутренняя связь из-за особой конструкции инструмента осуществляется связью винтовой кинематической пары инструмент–заготовка. Настройка на шаг нарезаемой резьбы здесь отпадает, т.к. на метчике и плашке режущие кромки расположены по винтовой линии с шагом, равным шагу нарезаемой резьбы. Это обстоятельство обеспечивает также возможность нарезания



резьбы при выполнении слесарных работ. В серийном и массовом производстве для нарезания резьбы используют резьбофрезерные и резьбошлифовальные станки, обеспечивающие более высокую производительность, чем токарно-винторезные станки.

Наиболее сложными структурами резьбообрабатывающих станков являются структуры с двумя сложными группами формообразования. Это относится к станкам, нарезающим резьбу червячной резьбовой фрезой с профилем зуба, шагом и длиной, соответствующими профилю, шагу и длине нарезаемой резьбы, а также к станкам, нарезающим многозаходные цилиндрические червяки обкатным резцом. Группа обката (скорости резания)  $\Phi_v(B_1B_2)$  воспроизводит профиль резьбы, а группа подачи  $\Phi_s(B_3П_4)$ , образующая винтовое движение, – линию резьбы по длине. Обе группы имеют общий исполнительный орган – шпиндель заготовки, а создаваемые ими сложные движения осуществляются одновременно. Поэтому внутренние связи обеих групп соединены между собой планетарным дифференциалом.

При нарезании конической резьбы резьбовым резцом, дисковой фрезой или дисковым шлифовальным кругом траектория винтового движения усложняется, т.к. вместо цилиндрической винтовой линии необходимо воспроизвести коническую винтовую линию. В соответствии с этим усложняется кинематическая группа, создающая в станке движение с такой траекторией. Такая кинематическая группа  $\Phi_v(B_1П_2П_3)$  включает не одну, а две точно настраиваемые внутренние связи.

В серийном и крупносерийном производстве наиболее распространено фрезерование резьбы в основном дисковыми (одноточными), многоточными (групповыми) и червячными фрезами, различающимися характеристическим образом, соответственно  $\{E\}_k$ ,  $\{M_\varepsilon\}_n$ ,  $\{M_\varepsilon\}_k$ . Первые – для нарезания длинной резьбы, вторые – для нарезания короткой резьбы.

## **12.2 Резьбофрезерный станок для обработки короткой резьбы модели 5М5Б62**

Предназначен для фрезерования короткой наружной и внутренней резьбы групповой (гребенчатой) фрезой. Область применения – крупносерийное производство. Рабочий цикл – полуавтоматический.

*Техническая характеристика.* Наибольший диаметр фрезеруемой резьбы, мм: наружный – 100, внутренний – 80; наибольшая длина фрезеруемой резьбы, мм – 75; наибольший шаг, в мм, фрезеруемой резьбы при длине резьбы 50 мм равен 6, при длине резьбы 75 мм – 3.

Кинематическая структура (рисунок 12.2) станка состоит из двух формообразующих групп  $\Phi_v(B_1)$  и  $\Phi_s(B_2П_3)$  и группы врезания  $Vp(П_4)$ .

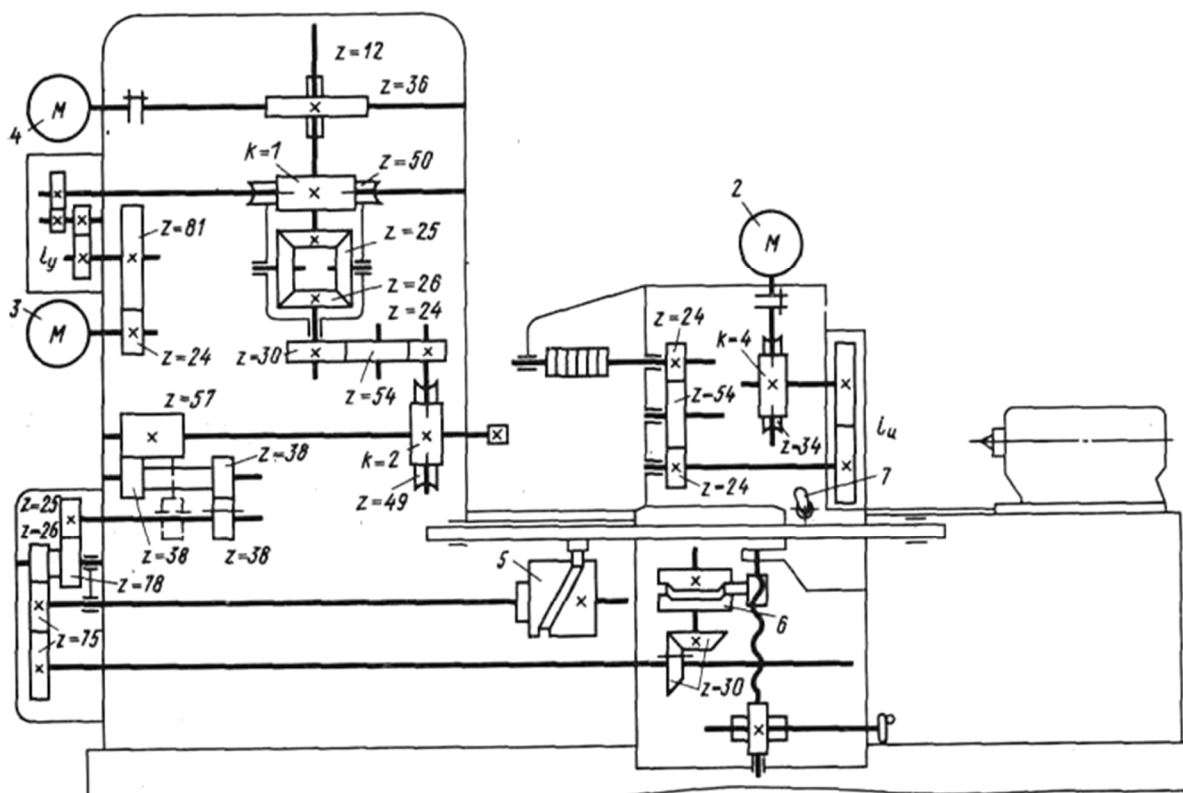
Группа скорости резания  $\Phi_v(B_1)$  – простая. Ее внутренняя связь – элементарная вращательная пара:

*подшипниковые опоры – шпиндель фрезы ( $B_1$ ).*

Внешняя связь – кинематическая цепь:

$M_2 \rightarrow 4/34 \rightarrow i_v \rightarrow 24/54 \rightarrow 54/24 \rightarrow$  шпиндель фрезы ( $B_1$ ).

Группа настраивается только на один параметр, скорость резания – двухколесной гитарой  $i_v$ .



**Рисунок 12.2. – Кинематическая схема резьбофрезерного станка модели 5M5B62**

Сложная группа  $\Phi_s(B_2\Pi_3)$  воспроизводит станочное зацепление (винтовую линию). Ее внутренняя связь:

*шпиндель заготовки ( $B_2$ )  $\rightarrow 57/38 \rightarrow$  реверс  $\rightarrow 25/78 \rightarrow 26/15$   
 $\rightarrow$  барабан 5 (тяговый вал)  $\rightarrow$  фрезерная бабка ( $\Pi_3$ ).*

Внешняя связь:

$M_3 \rightarrow 24/81 \rightarrow i_y \rightarrow 1/50 \rightarrow \Sigma \rightarrow 30/24 \rightarrow 2/49$ .

Шпиндель заготовки является звеном соединения связей.

Группа настраивается на траекторию – сменными кулачками барабана 5; на скорость – гитарой  $i_y$ ; на направление – реверсом, расположенным

во внутренней связи; на путь и исходную точку – упорами системы путевого управления.

Для ускоренного перемещения фрезерной бабки в исходное положение во внешней связи группы предусмотрена параллельная ненастраиваемая цепь

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

Группа врезания  $Vp(II_4)$  осуществляет врезание в радиальном направлении на полную глубину зубофрезерования. Ее внутренняя связь:

*поперечные направляющие станины* → *фрезерная бабка (II<sub>4</sub>)*.

Внешняя связь включает часть внешней и внутренней связи группы  $\Phi_5$  и имеет вид:

$$M_3 \rightarrow 24/81 \rightarrow i_y \rightarrow 1/50 \rightarrow \Sigma \rightarrow 30/24 \rightarrow 2/49 \rightarrow \\ \rightarrow 57/38 \rightarrow 29/26 \rightarrow 15/15 \rightarrow 30/30 \rightarrow \text{кулачок б} \rightarrow \text{фрезерная бабка (II}_4\text{)}.$$

Группа настраивается на путь врезания и на исходную точку – сменными кулачками барабана б.

Расчет настройки станка сводится к определению передаточных отношений органов настройки, расположенных в расчетных цепях вращения фрезы и вращения заготовки, а также к подбору кулачков для барабанов 5 и б. Исходными данными для расчета являются параметры нарезаемой резьбы и режимы резания.

Гитара  $i_v$ . Расчетная цепь совпадает с внешней связью группы  $\Phi_v$ . Поэтому РП:

$$n_{M2} \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя 2} \rightarrow n_\phi \text{ мин}^{-1} \text{ фрезы.}$$

Тогда УКЦ:

$$n_\phi = (n_{M2} = 1425)(4/34) i_v 24/24.$$

Откуда ФН:

$$i_v = n_\phi / 168.$$

Набор сменных зубчатых колес гитары обеспечивает 9 ступеней частот вращения фрезы в пределах от 75 до 375 мин<sup>-1</sup>.

Гитара  $i_v$ . Расчетная цепь соединяет электродвигатель  $M_3$  со шпинделем заготовки. Круговая частота заготовки определяется минутной подачей, под которой понимают путь, проходимый фрезой по заготовке в процессе обработки за 1 мин. Следовательно, РП можно представить в виде:

$$n_{M3} \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя 3} \rightarrow s_z z_\phi n_\phi / \pi D_p \text{ мм/мин,}$$

где  $s_z$  – подача на зуб фрезы, мм/зуб;

$z_\phi$  – число зубьев фрезы;

$n_\phi$  – круговая частота фрезы;

$D_p$  – средний диаметр нарезаемой резьбы, мм.

Тогда УКЦ:

$$s_z z_\phi n_\phi / \pi D_p = (n_{M3} = 1425)(24/81) i_y (1/50) (i_\Sigma = 2) (30/54) (54/24) (2/49).$$

Откуда ФН:

$$i_y = 0,37 s_z z_\phi n_\phi / D_p.$$

РП для ускоренного хода фрезерной бабки в исходное положение:

$$n_{M4} \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя } 4 \rightarrow n_6 \text{ мин}^{-1} \text{ барабана } 5.$$

Тогда УКЦ (ФН):

$$n_6 = (n_{M4} = 1425)(12/36)(i_\Sigma = 1)(30/24)(2/49)(57/38)(25/26)(78/75) = 36 \text{ мин}^{-1}.$$

Настройка на траекторию (перемещение фрезы в осевом направлении на шаг нарезаемой резьбы) осуществляется посредством барабана 5 со сменными кулачками. Кулачок через ролик перемещает тягу, связанную с фрезерной бабкой. Положение бабки относительно тяги можно регулировать рукояткой 7. Настройка расчетной цепи подачи на шаг состоит в определении характеристики кулачка. Элементом настройки является подъем  $L$  на кулачке 5, который выполняется для всех кулачков на угле поворота барабана  $\Theta = 110^\circ$ .

РП для определения подъема  $L$ :

$$1 \text{ оборот заготовки} \rightarrow t \text{ мм перемещения фрезы,}$$

где  $t$  – шаг нарезаемой резьбы.

Тогда УКЦ:

$$t = 1 (57/38) (25/78) (26/75) (360^\circ/\Theta^\circ) L.$$

Откуда

$$L = (11/6) t.$$

Перемещение фрезы в радиальном направлении на полную глубину фрезерования осуществляется от кулачка барабана 6. Кулачок имеет постоянный подъем, и настройка производится по конечному установочному перемещению фрезы посредством передачи винт–гайка, перемещающей бабку фрезы в радиальном направлении. Кулачок обеспечивает врезание с рабочей подачей в течение примерно 1/6 оборота заготовки и быстрый отвод после завершения цикла нарезания резьбы. За полный цикл обработки барабан 6 делает один оборот.

Полный цикл обработки с учетом врезания на полную глубину осуществляется за 7/6 оборота заготовки. Минимальная длина гребенчатой фрезы должна быть на 2–3 шага больше длины фрезеруемой резьбы.

Ось гребенчатой фрезы располагается параллельно оси заготовки, что приводит к некоторому искажению профиля резьбы. Величина искажения

тем больше, чем больше шаг резьбы, диаметр фрезы и чем меньше диаметр резьбы. Однако при нарезании обычной треугольной резьбы, имеющей небольшой наклон витков винтовой линии, такое искажение не является существенным. Данное явление устранено в резьбообрабатывающих станках, работающих червячными резьбовыми фрезами. Кинематическая структура таких станков более сложная.

### **12.3 Резьбошлифовальные станки**

Эту группу станков применяют при изготовлении ходовых винтов, резьбонарезного инструмента, резьбовых калибров, накатных роликов, червячных фрез в мелкосерийном и серийном производстве. Шлифование резьбы производят однопиточными и многопиточными кругами (см. рисунок 12.1, ж, з). Профиль абразивного круга соответствует профилю впадины шлифуемой резьбы. При шлифовании резьбы однопиточным кругом его ось устанавливают под углом  $\alpha$  к оси вращения заготовки, равным углу подъема винтовой линии резьбы. Шлифование однопиточным кругом обеспечивает получение резьбы высокой точности различного профиля и длины.

Шлифование многопиточными кругами целесообразно применять для резьбы относительно невысокой точности с шагом до 4 мм. Оси круга и заготовки расположены параллельно, поэтому при обработке резьбы получается некоторое искажение профиля. Для нормальной резьбы с малым углом подъема винтовой линии резьбы это искажение незначительно.

Схемы взаимодействия резьбообрабатывающих абразивных кругов с заготовками практически не отличаются от аналогичных схем взаимодействия резьбовых фрез и фрезеруемых заготовок. Поэтому формообразующая составляющая кинематической структуры резьбошлифовальных станков аналогична такой же составляющей резьбофрезерных станков.

В практике станкостроения для инструментального производства, как правило, в одном станке объединяют резьбошлифовальную и резьбозатыловую кинематические структуры.

#### **12.3.1 Кинематическая схема универсального резьбошлифовального станка модели 5822М**

Предназначен для шлифования цилиндрических и конических калибров – пробок и калибров – колец, точных винтов и червяков, затылования метчиков, модульных червячных фрез и др. В качестве инструмента можно использовать одно- и многопиточные абразивные круги.

*Техническая характеристика.* Размеры устанавливаемых деталей, мм, не более: диаметр – 200; длина – 500. Диаметр шлифуемой резьбы, мм: однопиточным кругом – от 3 до 150; многопиточным – от 10 до 120. Шаг

шлифуемой метрической резьбы, мм: однопиточным кругом – 0,25–24; многониточным – 1–4. Шаг шлифуемой дюймовой резьбы, нитки на 1 дюйм: однопиточным кругом – 28–3; многониточным – 24–6.

Частная кинематическая структура (рисунок 12.3) для шлифования резьбы дисковым кругом содержит две формообразующие группы: скорости резания  $\Phi_v(B_1)$  и винторезной подачи  $\Phi_s(B_2\Pi_3)$ .

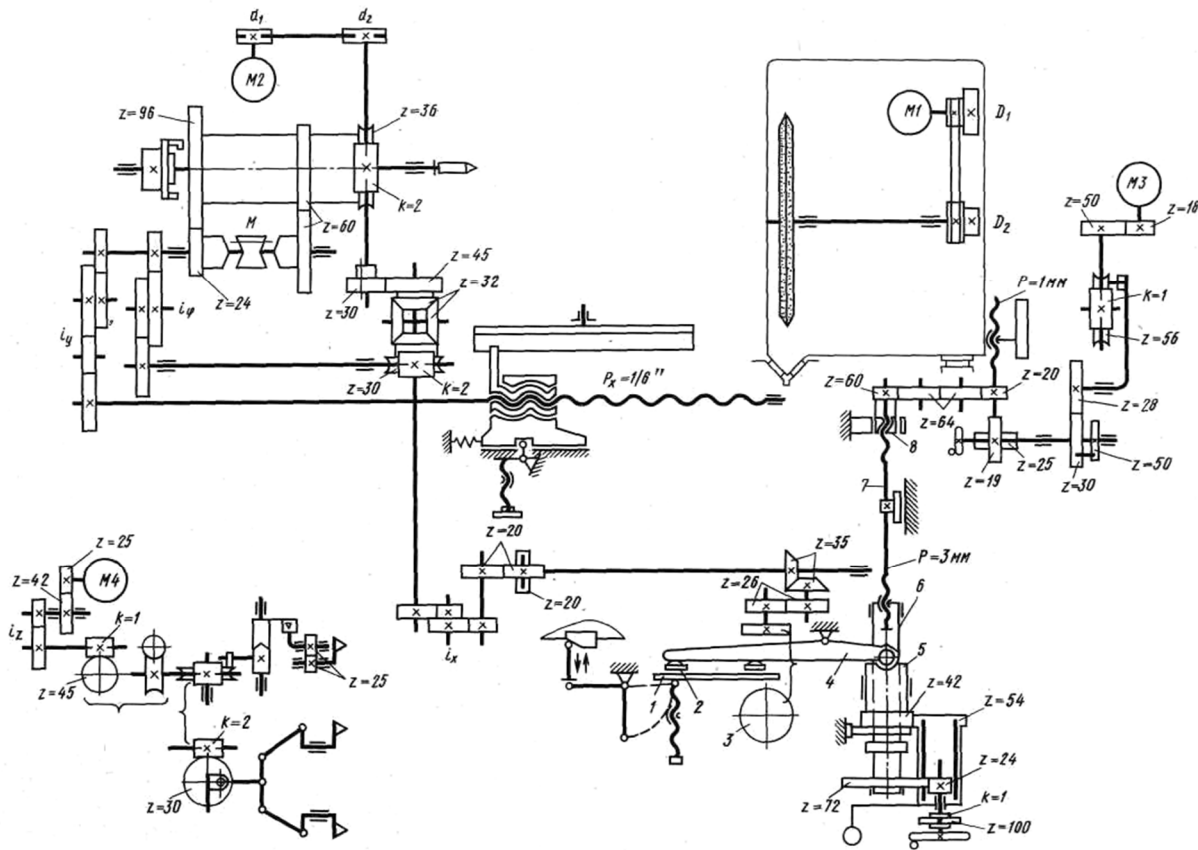


Рисунок 12.3. – Кинематическая схема резьбошлифовального станка модели 5822М

Группа  $\Phi_v$  – простая. Ее внутренняя связь – вращательная пара:

*подшипниковые опоры* → *шпиндель шлифовального круга.*

Внешняя связь:

$M_3 \rightarrow (i_v = D_1/D_2) \rightarrow$  *шпиндель шлифовального круга ( $B_1$ ).*

Группа настраивается на скорость – ступенчатыми быстросменными шкивами ( $i_v = D_1/D_2$ ).

Группа  $\Phi_s$  – сложная. Ее внутренняя связь:

*шпиндель заготовки ( $B_2$ )* → 60/60 или 96/24 →  $i_y$  → *ТВ* → *суппорт ( $\Pi_3$ ).*

Внешняя связь:

$M_2 \rightarrow d_1/d_2 \rightarrow 2/36.$

Группа настраивается: на траекторию (шаг шлифуемой резьбы) – гитарой  $i_y$ ; на скорость – изменением круговой частоты управляемого электродвигателя постоянного тока  $M_2$ ; на направление – изменением количества сменных зубчатых колес в гитаре  $i_y$  (реверсивный механизм совмещен с гитарой сменных колес). На путь и исходное положение – упорами системы управления.

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

Сменные шкивы  $i_v$ . Расчетная цепь совпадает с внешней связью группы. Поэтому РП:

$n_{M1}$  мин<sup>-1</sup> электродвигателя  $M_1 \rightarrow n_u$  мин<sup>-1</sup> шлифовального круга ( $B_1$ ).

Тогда УКЦ:

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

Откуда ФН:

$$i_v = n_u/1500.$$

Сменные шкивы обеспечивают следующие частоты вращения шлифовального круга: при наружном шлифовании – 1440; 1680; 2010; 2380; при внутреннем шлифовании – 11 800; 9 000; 6000.

Гитара  $i_y$ . Расчетная цепь совпадает с внутренней связью группы. Поэтому РП:

$l$  об. шпинделя заготовки ( $B_2$ )  $\rightarrow t$  мм перемещения суппорта ( $\Pi_3$ ).

Тогда УКЦ:

$$t = 1 \text{ (перебор } 60/60 \text{ или } 96/24) i_Y (t_{TB} = (1/6) 25,4).$$

Откуда ФН:

$$i_{y1} = 6t/25,4; \quad i_{y2} = 6t/100,16.$$

Первое значение используют при шлифовании резьбы с шагом до 8 мм, второе – с шагом более 8 мм.

Настраиваемый шаг можно в узких пределах уменьшать или увеличивать разворотом коррекционной линейки на расчетный угол. Линейка, двигаясь вместе с суппортом, поворачивает рычаг вместе с гайкой тягового вала. Гайка имеет кроме внутренней резьбы с шагом, равным шагу ходового винта, наружную резьбу с иным шагом. Поэтому при повороте гайки от коррекционной линейки происходит дополнительное смещение стола в том или ином направлении. Корпус гайки тягового вала выполнен в виде подпружиненной ползушки и смещается в продольном направлении вместе с гайкой при вращении соответствующего винта. Это необходимо для установки абразивного круга в нитку шлифуемой резьбы.

Расчетная цепь круговой подачи (вращения шпинделя детали) совпадает с внешней связью группы подачи. Круговая подача регулируется бесступенчато в диапазоне  $0,3\text{--}45 \text{ мин}^{-1}$  посредством управляемого электродвигателя  $M_2$ .

В станке предусмотрена ненастраиваемая сложная вспомогательная группа подачи салазок правящих устройств и компенсирующей подачи шлифовальной бабки с приводом от электродвигателя  $M_3$ .

УКЦ для подачи правящих механизмов включает внешнюю связь и часть внутренней связи группы:

$$s_{ПМ} = (n_{M3} = 1500) (18/50) (1/56) (20/30) (\kappa/50) (19/25) (t_{ТВ} = 1) = \kappa/10,$$

где  $s_{ПМ}$  – подача правящих механизмов;

$\kappa$  – число зубьев храпового колеса  $z = 50$ , захватываемых собачкой.

Одновременно синхронно с подачей салазок правящих механизмов осуществляется компенсирующая подача шлифовальной бабки. При этом УКЦ для компенсирующей подачи совпадает с внутренней связью группы:

$$s_{ШБ} = (s_{ПМ}/1) (20/64) (64/60) (t_{ТВ} = 3) = \kappa/10,$$

где  $s_{ШБ}$  – компенсирующая подача шлифовальной бабки.

Перемещение правящих алмазов автоматического правящего устройства осуществляется настраиваемой вспомогательной группой с приводом от электродвигателя  $M_4$  через зубчатые колеса, кулисный механизм и систему рычагов, которые сообщают алмазам рабочее поступательно-качательное движение. Для этого движения УКЦ имеет вид:

$$n_a = (n_{M4} = 1500) (25/42) i_z (1/45) (2/30),$$

где  $n_a$  – частота поступательно-качательного движения алмазов, правящих абразивный круг, двойной ход/мин.

ФН:

$$i_z = n_a/1,32.$$

Частная кинематическая структура для врезного шлифования короткой резьбы многониточным кругом, устанавливаемым вместо дискового круга, включает группу скорости резания  $\Phi_v(B_1)$ , группу винторезной подачи  $\Phi_s(B_2\Pi_3)$  и группу радиального врезания  $Vp(\Pi_4)$ .

Кинематические группы скорости резания  $\Phi_v$  и винторезной подачи  $\Phi_s$  такие же, как и в частной структуре для шлифования резьбы дисковым кругом.

Простая группа врезания  $Vp(\Pi_4)$  осуществляет врезание шлифовального круга на полную глубину зубошлифования. Внутренняя связь группы:

*поперечные направляющие суппорта* → *шлифовальная бабка* ( $\Pi_4$ ).



Внешняя связь имеет вид

$M \rightarrow d_1/d_2 \rightarrow 30/45 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_x \rightarrow 20/20 \rightarrow 35/35 \rightarrow 26/26 \rightarrow$   
 $\rightarrow$  кулачок врезания 3  $\rightarrow$  рычаг 1  $\rightarrow$  ползушка 2  $\rightarrow$  рычаг 4  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  кулак быстрого отвода 5  $\rightarrow$  корпус 6 гайки поперечной подачи  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  винт 7 поперечной подачи  $\rightarrow$  гайка 8 компенсирующей подачи  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  шлифовальная бабка ( $\Pi_4$ ).

Группа настраивается: на путь врезания – кулачком врезания 3; на исходное положение – винтом 7 поперечной подачи.

Врезное шлифование осуществляется за один оборот кулачка врезания 3. При этом кулачок обеспечивает врезание с рабочей подачей в течение части оборота шпинделя заготовки. Определим необходимое количество оборотов шпинделя заготовки за полный цикл обработки с учетом врезания на полную глубину.

РП:

$1$  об. кулачка врезания 3  $\rightarrow n$  об. шпинделя заготовки.

УКЦ (ФН):

$$n = 1 (26/26) (35/35) (20/20) (1/i_x) (i_\Sigma) (45/30) (2/36) = 2,$$

т.к.  $i_\Sigma = 2$  (водило ведущее), а на гитару  $i_x$  устанавливают две пары сменных зубчатых колес 30/90 и 30/120.

Перемещение шлифовального круга в радиальном направлении на полную глубину шлифования осуществляется от кулачка 3. Настройка производится по конечному установочному перемещению шлифовального круга посредством винта 7, перемещающего шлифовальную бабку в радиальном направлении.

Частная кинематическая структура для затылования шлифованием дисковых инструментов, например, дисковых модульных фрез состоит из формообразующих групп скорости резания  $\Phi_v(B_1)$  и деления (затылования)  $\Phi_s(B_2\Pi_3)$ .

Простая группа  $\Phi_v$  скорости резания во всех частных структурах анализируемой кинематической схемы одна и та же. Ее структура рассмотрена при анализе частной структуры для шлифования резьбы дисковым кругом.

Внутренняя связь сложной группы деления  $\Phi_s(B_2\Pi_3)$  соединяет шпиндель заготовки со шлифовальной бабкой:

$\text{шпиндель заготовки } (B_2) \rightarrow 30/45 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_x \rightarrow 20/20 \rightarrow 35/35 \rightarrow 26/26 \rightarrow$   
 $\rightarrow$  кулачок затылования 3  $\rightarrow$  рычаг 1  $\rightarrow$  ползушка 2  $\rightarrow$  рычаг 4  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  кулак быстрого отвода 5  $\rightarrow$  корпус 6 гайки поперечной подачи  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  винт 7  $\rightarrow$  гайка 8 компенсирующей подачи  $\rightarrow$  шлифовальная бабка  $\Pi_3$ .

Внешняя связь группы:

$$M_2 \rightarrow d_1/d_2 \rightarrow 2/36 \rightarrow \text{шпиндель заготовки.}$$

Группа настраивается: на траекторию – гитарой сменных колес  $i_x$  и кулачком врезания 3; на скорость – изменением круговой частоты вращения управляемого электродвигателя  $M_2$  постоянного тока; на путь и исходное положение – кулачком врезания 3 и винтом 7 поперечной подачи. При этом кулачок врезания 3 выполняет также функцию специального реверса и отсчетного звена в движении деления.

РП для гитары  $i_x$  сменных колес:

$$1 \text{ об. шпинделя} \rightarrow z/k \text{ об. кулачка затылования,}$$

где  $z$  – число зубьев затылуемой дисковой фрезы;  
 $k$  – количество рабочих профилей кулачка затылования.  
Тогда УКЦ:

$$z/k = 1 (36/2) (30/45) i_{\Sigma} i_x (20/20) (35/35) (26/26).$$

Откуда ФН:

$$i_x = z/6k.$$

Частная кинематическая структура для затылования цилиндрических фрез с прямолинейными стружечными канавками включает формообразующие группы скорости резания  $\Phi_v(B_1)$  и деления (затылования)  $\Phi_s(B_2П_3П_4)$ .

Группа деления  $\Phi_s(B_2П_3П_4)$  включает две внутренние связи:

- кинематическую цепь деления, соединяющую шпиндель заготовки со шлифовальной бабкой через кулачок затылования и совокупность рычагов и винтов;
- винторезную цепь, связывающую шпиндель заготовки с ходовым винтом (тяговым валом).

Внешняя связь группы соединяет управляемый электродвигатель  $M_2$  со звеном соединения связей, функцию которого выполняет шпиндель заготовки.

В анализируемой структуре цепь деления и внешняя связь группы совпадают с аналогичными связями, рассмотренной выше кинематической структуры для абразивного затылования дисковой модульной фрезы.

Вторая внутренняя связь (винторезная цепь):

$$\text{шпиндель заготовки } (B_2) \rightarrow (60/60) \text{ или } (96/24) \rightarrow i_y \rightarrow \text{тяговый вал } P_x (П_4).$$

РП для гитары сменных зубчатых колес  $i_y$ :

$$1 \text{ об. шпинделя } (B_2) \rightarrow P \text{ мм перемещения шлифовальной бабки } (П_4).$$

Тогда УКЦ:

$$P = 1 (60/60 \text{ или } 96/24) i_Y(t_{TB} = (1/6) 25,4).$$

ФН:

$$i_{y1} = 6P/25,4; \quad i_{y2} = 6P/100,16.$$

Первое значение используют при затыловании фрез с шагом до 8 мм, второе – более 8 мм.

При затыловании червячных модульных фрез со спиральными стружечными канавками кулачку затылования необходимо сообщить дополнительный поворот при перемещении шлифовальной бабки в продольном направлении. Такой вариант затылования выполняется частной кинематической структурой отличающейся от рассмотренной тем, что ее внутренняя связь содержит дополнительную настраиваемую кинематическую цепь, параллельную цепи деления. Эта цепь имеет вид:

$$\begin{aligned} & \text{шпиндель заготовки } (B_2) \rightarrow 60/60 \text{ или } 96/24 \rightarrow i_\phi \rightarrow \Sigma \rightarrow i_x \rightarrow 20/20 \rightarrow \\ & \rightarrow 35/35 \rightarrow 26/26 \rightarrow \text{кулачок затылования } 3 \rightarrow \text{рычаг } 1 \rightarrow \text{ползушка } 2 \rightarrow \\ & \quad \rightarrow \text{рычаг } 4 \rightarrow \text{кулак быстрого отвода } 5 \rightarrow \\ & \quad \rightarrow \text{корпус } 6 \text{ гайки поперечной подачи} \rightarrow \text{винт } 7 \rightarrow \\ & \quad \rightarrow \text{гайка } 8 \text{ компенсирующей подачи} \rightarrow \text{бабка } (П_3). \end{aligned}$$

Гитара сменных колес  $i_\phi$  является дополнительным органом настройки на траекторию в группе деления настраиваемой структуры. Для вывода ФН этой гитары можно наметить следующие две расчетные кинематические цепи:

- цепь, совпадающую с приведенной внутренней связью, т.е. цепь, соединяющую шпиндель заготовки с кулачком затылования;
- цепь, соединяющую тяговый вал (ходовой винт) с кулачком затылования.

В соответствии с общим уравнением затылования РП для первой расчетной цепи имеют вид:

$$1 \text{ об. шпинделя} \rightarrow z/k (P/T) \text{ об. кулачка затылования.}$$

Тогда УКЦ:

$$z/k (P/T) = 1 (60/60) \text{ или } (96/24) i_\phi (2/30) i_\Sigma i_x (20/20) (20/20) (35/35) (26/26),$$

где  $i_x = z/6$ ;  $i_\Sigma = 1/2$ .

Откуда ФН:

$$i_{\phi 1} = 45P/kT; \quad i_{\phi 2} = 180P/kT.$$

Для второй расчетной цепи РП имеют вид:

$P$  мм перемещения суппорта  $\rightarrow zP/kT$  дополнительного поворота кулачка.

Тогда УКЦ:

$$zP/kT = P/(P_x = (1/6)25,4) (1/i_y) i_\phi (2/30) i_\Sigma i_x (20/20) (20/20) (35/35) (26/26),$$

где  $i_x = z/6$ ;  $i_\Sigma = 1/2$ ;  $i_{y1} = 6P/25,4$ ;  $i_{y2} = 6/100,16$ .

Откуда ФН:

$$i_{\phi 1} = 45P/kT; \quad i_{\phi 2} = 180P/kT.$$

Таким образом, кинематическая структура рассмотренного станка объединяет два принципиально различных вида формообразующей обработки абразивным инструментом – шлифование резьбы и затылование режущих инструментов.

## 12.4 Резьбонакатные станки

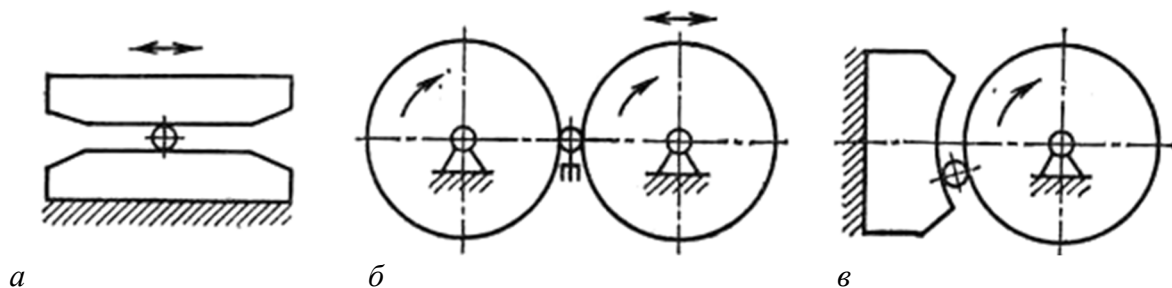
### 12.4.1 Общие сведения о накатывании резьбы

Накатывание резьбы получило широкое распространение в крупносерийном производстве. Накатанные резьбы по сравнению с нарезанными вследствие уплотнения поверхностного слоя обладают большей усталостной прочностью и долговечностью. Процесс накатывания резьбы более производительен чем резьбофрезерование, а кинематика накатных станков существенно проще кинематики резьбофрезерных станков. Накатывание наружной резьбы на деталях выполняют двумя плоскими резьбовыми плашками, резьбовыми роликами, резьбовым роликом и неподвижной сегментной плашкой. На станках-автоматах токарной группы накатывание резьбы выполняют самораскрывающимися накатными головками, содержащими три накатных ролика.

При накатывании резьбы плоскими плашками (рисунок 12.4, а), на рабочей поверхности которых выполнены развернутые витки резьбы, одна плашка совершает поступательно-возвратное движение относительно неподвижной плашки. Длина хода подвижной плашки зависит от диаметра накатываемой резьбы и устанавливается так, чтобы за один прямой ход плашки заготовка сделала один оборот, во время которого происходит формообразование резьбы.

При накатывании резьбы двумя роликами (рисунок 12.4, б), которым сообщают вращение в одинаковом направлении и одному из них принудительное перемещение в радиальном направлении. Формообразование резьбы происходит за несколько оборотов заготовки и один двойной ход подвижного в радиальном направлении ролика.

При накатывании резьбы роликом и сегментной плашкой (рисунок 12.4, в) рабочее вращательное движение получает ролик. Полное формообразование резьбы на заготовке происходит во время прокатывания заготовки между роликом и сегментной плашкой. В процессе накатывания заготовка сделает несколько оборотов вокруг своей оси.



*a* – плашками; *б* – роликами; *в* – роликом и сегментной плашкой

**Рисунок 12.4. – Основные схемы накатывания резьбы**

Наиболее производительно накатывание резьбы плашками. При накатывании роликами получают более точные резьбы. Поэтому накатывание резьбы роликами получило наиболее широкое распространение, в т.ч. в инструментальном производстве при накатывании резьбы на метчиках.

Процесс накатывания резьбы на крепежных деталях (болтах, винтах, шпильках) выполняют как на заготовках, предварительно обработанных резанием, так и на заготовках, полученных посредством холодной или горячей высадкой на соответствующих высадочных автоматах.

### 12.4.2 Универсальный резьбонакатной станок модели 6933

Предназначен для наружного накатывания метрической и дюймовой резьбы двумя накатными роликами. Область применения – крупносерийное производство. Рабочий цикл – полуавтоматический.

*Техническая характеристика.* Диаметр накатываемой резьбы – 6–30 мм; максимальная длина резьбы – 40 мм; максимальный шаг резьбы – 2,5 мм. Можно накатывать правые и левые резьбы. При накатывании резьбы деталь устанавливается на ножевой опоре между накатными роликами.

Кинематическая схема станка приведена на рисунке 12.5. Кинематическая структура станка содержит две простые кинематические группы: скорости накатывания (аналог скорости резания)  $\Phi_v(B_1)$  и радиальной подачи на высоту витка резьбы (аналог подачи врезания)  $Vp_s(P_2)$ .

Особенностью группы  $\Phi_v(B_1)$  является то, что ее исполнительным органом является накатываемая деталь. В результате внутреннюю связь группы можно представить в виде:

*ножевая опора* → *накатываемая деталь* ( $B_1$ ).

Внешняя связь:

$M \rightarrow (100/375) \rightarrow [i_v=a/b] \rightarrow (18/55) \rightarrow \text{шпиндель } 1 \rightarrow \text{ведущий ролик}$   
 $\downarrow \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \downarrow$   
 $(28/28) \rightarrow \text{шпиндель } 2 \rightarrow \text{ведомый ролик} \rightarrow \text{деталь } (B_1).$

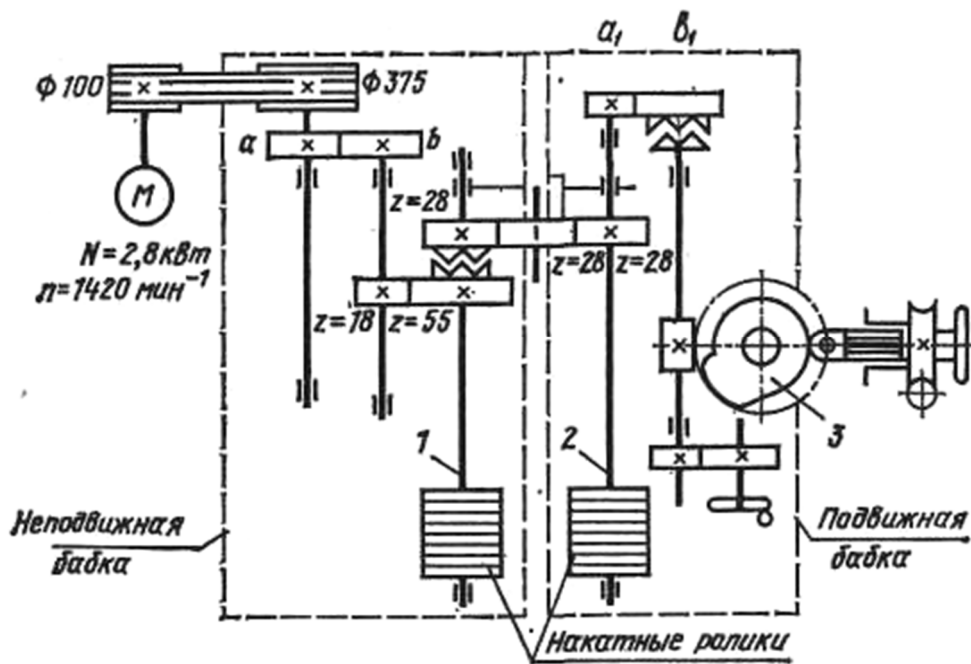


Рисунок 12.5. - Кинематическая схема резьбонакатного станка модели 6933

Группа настраивается на траекторию (шаг накатываемой резьбы) – установкой накатных роликов соответствующего шага; на скорость – двухколесной гитарой  $i_v$ ; на направление (накатывание правой или левой резьбы) – установкой накатных роликов соответствующего направления винтовой нарезки.

Группа  $Bp_s(P_2)$ . Ее внутренняя связь:

*направляющие станины станка → подвижная бабка ( $P_2$ ).*

Внешняя связь:

$M \rightarrow (100/375) \rightarrow [i_v = a/b] \rightarrow (18/55) \rightarrow (28/28) \rightarrow [i_s = a_1/b_1] \rightarrow$   
 $\rightarrow$  червячная передача  $\rightarrow$  кулачок 3  $\rightarrow$  подвижная бабка ( $P_2$ ).

Группа настраивается: на скорость – двухколесной гитарой  $i_s$ ; на путь – кулачком 3; на исходное положение – изменением положения кулачка 3 на станине.

Вывод ФН для органов настройки  $i_v$  и  $i_s$ .

Гитара  $i_v$ . Расчетная цепь совпадает с внешней связью группы. Следовательно, РП:

$n_M \text{ мин}^{-1} \text{ электродвигателя} \rightarrow n_p \text{ мин}^{-1} \text{ накатных роликов.}$

Тогда УКЦ:

$$n_p = 1420 (i_v = a/b)(100/375)(18/55).$$

Откуда ФН:

$$i_v = a/b = n_p/125.$$

Набором сменных зубчатых колес гитары можно регулировать частоту вращения роликов в пределах 39–265 мин<sup>-1</sup>.

Гитара  $i_s$ . Круговая частота вращения кулачка устанавливается в зависимости от времени накатывания резьбы, т.е. от времени цикла обработки. Скорость вращения кулачка постоянна. Следовательно, РП для гитары:

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

Тогда УКЦ:

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

Откуда ФН:

$$i_s = c_1/n_p t_{\text{ц}},$$

где  $c_1 = 60/i_{\text{чп}}$ ;

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

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

При наладке станка необходимо вершины резьбы накатных роликов сместить относительно друг друга на половину шага. Это достигается поворотом одного из шпинделей при разомкнутой кулачковой муфте, расположенной на шпинделе 1. Муфта имеет 100 зубьев, следовательно, при повороте на один зуб вершины резьбы сместятся на величину 0,01 шага резьбы.

Цикл накатывания резьбы осуществляется за один оборот кулачка  $Z$ . При накатывании резьбы деталь вывинчивается из зоны обработки с самоподачей, равной шагу резьбы.

## 12.5 Специализированный станок для нарезания червяков модели ЕЗ-10А

В крупносерийном производстве при обработке червяков используют резьбообрабатывающие станки, работающие обкатным резцом. Класс воспроизведения винтовой поверхности червяка обкат–касание. Для его реализации необходимо чашечный резец в виде зубчатого колеса с профилем зуба, форма которого является сопряженной при обкате с профилем резьбы нарезаемого червяка, катить без скольжения относительно нарезаемого червяка. На рисунке 12.6 приведена кинематическая схема станка модели ЕЗ-10А, реализующая такую схему взаимодействия нарезаемого червяка и чашечного резца. На станке нарезают одно- и многозаходные цилиндрические червяки, имеющие максимальный диаметр 100 мм, максимальную длину 300 мм и максимальный шаг витка 15 мм.

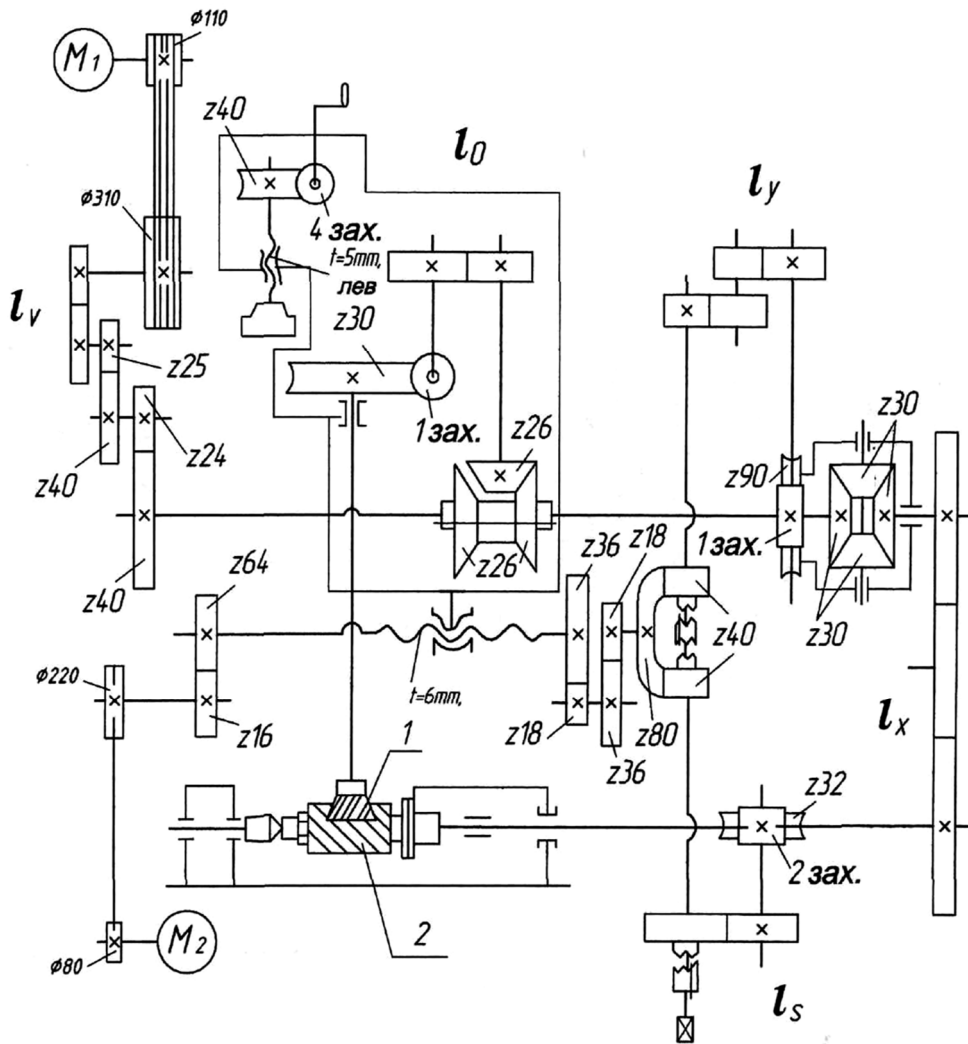


Рисунок 12.6. – Кинематическая схема станка для нарезания цилиндрических червяков модели ЕЗ – 10А

Кинематическая структура станка состоит из двух сложных групп, осуществляющих два движения формообразования: движение скорости резания (обката)  $\Phi_v(B_1B_2)$ , винтовое движение подачи  $\Phi_s(B_3\Pi_4)$ .

Группа  $\Phi_v(B_1B_2)$ . Ее внутренняя связь – кинематическая цепь, соединяющая шпindelь резца со шпинделем заготовки:

$$\text{шпindelь резца } (B_1) \leftarrow 30/1 \leftarrow i_0 \leftarrow 26/26 \rightarrow \Sigma \rightarrow i_x \rightarrow \\ \rightarrow \text{шпindelь заготовки } (B_2).$$

Внешняя связь:

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

Во внутренней связи группы расположены две гитары –  $i_x$  и  $i_0$ . Двухваловая гитара  $i_0$  имеет небольшой набор сменных колес. Трехколесная гитара  $i_x$  выполнена с переставной промежуточной осью, ввертываемой



в одно из резьбовых отверстий станины станка между ведущим и ведомым валами гитары. Такая конструкция позволяет передавать через гитару большие нагрузки при большем числе вариантов настройки, чем при использовании двухколесной гитары. Однако она не обеспечивает все возможные варианты настройки расчетной цепи обката. Поэтому во внутреннюю связь группы последовательно установлены две гитары, обеспечивающие совместно все возможные варианты настройки.

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

Группа  $\Phi_s(B_3\Pi_4)$ . Внутренняя связь – кинематическая цепь, связывающая шпиндель заготовки 2 с тяговым валом инструментального суппорта,

$$\text{шпиндель заготовки 2 (} B_3 \text{)} \leftarrow i_x \leftarrow \Sigma \leftarrow 90/1 \leftarrow i_y \leftarrow 40/80 \rightarrow 18/36 \rightarrow \\ \rightarrow 18/36 \rightarrow \text{тяговый вал} \rightarrow \text{инструментальный суппорт (} \Pi_4 \text{)}.$$

Внешняя связь:

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

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

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

Гитара  $i_x$ . Расчетная цепь совпадает с внутренней связью группы  $\Phi_v$ , воспроизводящей червячное зацепление. Поэтому РП имеют вид:

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

где  $k$  – количество заходов нарезаемого червяка;

$z$  – количество зубьев обкатного резца.

Тогда УКЦ:

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

Откуда ФН:

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

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

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

УКЦ:

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

ФН:

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

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

Гитара  $i_y$ . Расчетная цепь совпадает с внутренней связью группы. Поэтому РП для этой гитары, определяющей траекторию винтового движения:

*T* мм перемещения резца ( $P_4$ )  $\rightarrow$  1 дополнительному об. заготовки ( $B_3$ ),

где  $T$  – шаг нарезаемого червяка.

Тогда УКЦ:

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

Откуда ФН:

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

Гитара  $i_s$  РП:

*l* об. заготовки  $\rightarrow$  *s* мм продольного перемещения резца.

Тогда УКЦ:

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

Откуда ФН:

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

При наладке станка посредством электродвигателя  $M_2$  осуществляют установочные перемещения инструментального суппорта. А червячной передачей 4/40, управляемой посредством рукоятки, устанавливают исходное положение по копиру.

## **12.6 Модернизация кинематической структуры специализированного станка для обработки червяков**

В конце 50-х годов прошлого столетия была разработана двухшаговая червячная передача (дуплекс-пара), позволяющая регулировать боковой зазор посредством осевого смещения червяка. Такие передачи используют в червячных передачах, от которых требуется высокая кинематическая точность, например, в реверсируемых, отсчетных и делительных механизмах

металлорежущих станков. В дуплекс-паре [15] двухшаговый червяк с цилиндрической начальной поверхностью его витков находится в зацеплении с двухшаговым червячным колесом. В [16] предложена менее трудоемкая и более технологичная червячная передача, состоящая из двухшагового червяка и взаимодействующего с ним традиционного одношагового червячного колеса. Разношаговость червяка [17] данной передачи обусловлена заменой цилиндрической начальной поверхности его витков конической начальной поверхностью. Шаг витка такого червяка по противоположным сторонам его профиля зависит от угла расположения образующей начальной конической поверхности [18].

Рассмотрим возможные варианты модернизации кинематической структуры базового станка для нарезания двухшагового червяка с конической начальной поверхностью [19; 20]. В основу методики модернизации положен принцип кинематического воспроизведения траектории движения чашечного резца по конической начальной поверхности червяка при его обработке.

На рисунке 12.7 приведен бездифференциальный вариант модернизации структурной схемы специализированного станка.

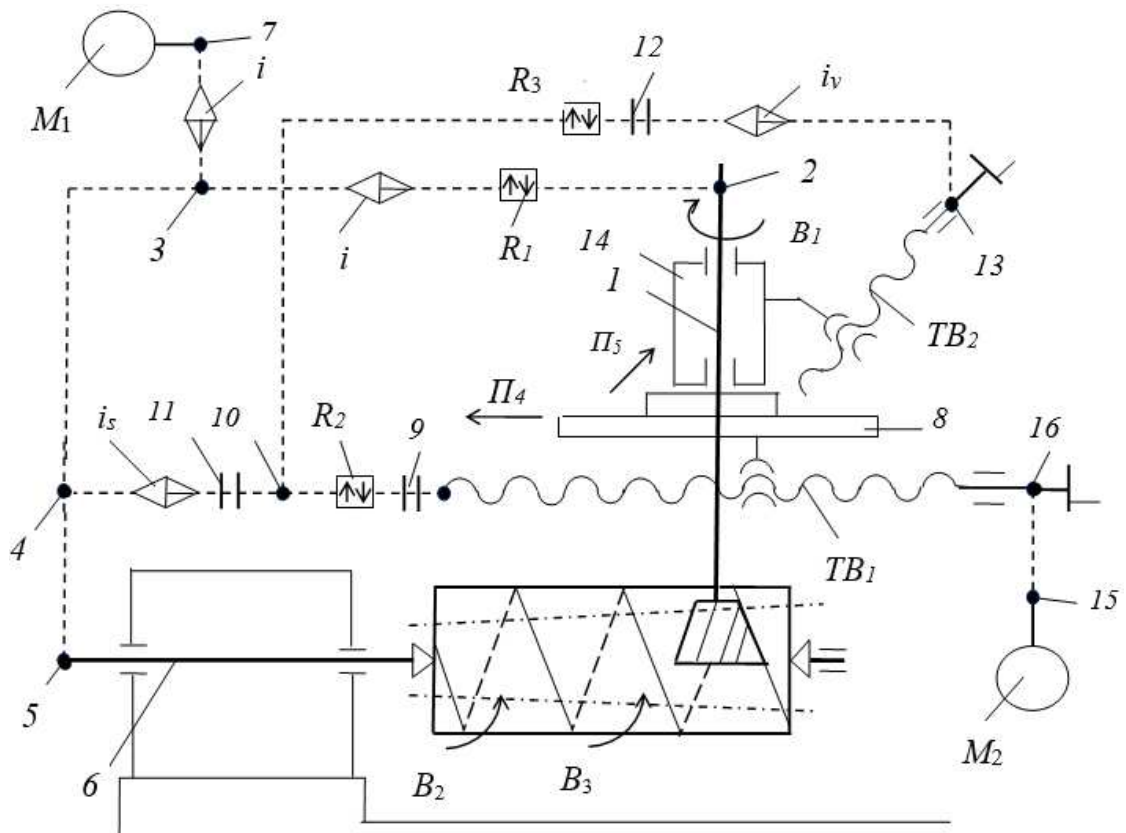


Рисунок 12.7. – Бездифференциальная структурная схема станка с механическими связями для нарезания двухшаговых червяков

Кинематическая структура станка включает двухэлементарную группу обката  $\Phi_v(B_1B_2)$  и трехэлементарную винторезную группу  $\Phi_s(B_3\Pi_4\Pi_5)$ , связанные между собой общим электродвигателем. В кинематической структуре станка не предусмотрен планетарный дифференциал для физического сложения элементарных движений  $B_2$  и  $B_3$  на шпинделе заготовки, входящем в обе формообразующие группы. Слагаемые движения имеют одинаковую скоростную характеристику, продолжительность их одинакова и создаются они одним электродвигателем. Названные условия обеспечивают математическое сложение указанных движений на общем исполнительном органе – шпинделе заготовки. В этом случае исполнительные движения можно преобразовать к следующему виду:  $\Phi_v(B_1B_2 + B_3)$  и  $\Phi_s(\Pi_4\Pi_5)$ .

Группа  $\Phi_v(B_1B_2 + B_3)$  воспроизводит зацепление червячной передачи. Ее внутренняя связь:

$$B_1 \leftarrow \text{шпиндель } 1 \text{ чашечного резца} \leftarrow 2 \leftarrow \text{реверс } R_1 \leftarrow i_x \leftarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow \\ \rightarrow \text{шпиндель } 6 \text{ заготовки} \rightarrow B_2 + B_3.$$

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow 7 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \text{ (звено соединения с внутренней связью)}.$$

Группа настраивается на траекторию и скорость (резания) органами настройки  $i_x$  и  $i_v$  соответственно, на направление реверсом  $R_1$ .

Группа  $\Phi_s(\Pi_4\Pi_5)$  осуществляет перемещение траектории движения чашечного резца по начальной конической поверхности витков червяка. Ее внутренняя связь:

$$\Pi_4 \leftarrow \text{продольный суппорт } 8 \leftarrow \text{тяговый вал } TB_1 \leftarrow \text{муфта } 9 \leftarrow R_2 \leftarrow 10 \rightarrow \\ \rightarrow R_3 \rightarrow \text{муфта } 11 \rightarrow i_y \rightarrow 12 \rightarrow \\ \rightarrow \text{тяговый вал } TB_2 \rightarrow \text{поперечный суппорт } 13 \rightarrow \Pi_5.$$

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow 7 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow i_s \rightarrow 10 \text{ (звено соединения с внутренней связью)}.$$

Группа настраивается на траекторию и скорость (подачу) органами настройки  $i_y$  и  $i_s$  соответственно, на направление реверсами  $R_1$  и  $R_2$ , на путь и исходное положение путевыми упорами электромеханической системы управления.

В структуре станка предусмотрена вспомогательная группа с отдельным электродвигателем для ускоренного перемещения суппортов. Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы  $\Phi_s$ , а внешняя связь имеет вид:

$$M_2 \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow TB_2.$$

Ручное установочное перемещение суппортов осуществляется посредством моховиков, установленных на тяговых валах.

В специализированных станках для обработки червяков с механическими связями органы настройки на траекторию обоих формообразующих движений и органы настройки на скорости резания и подачи, как правило, выполняют в виде гитар сменных зубчатых колес. Нормируемыми параметрами при обработке являются скорость резания, задаваемая по круговой частоте заготовки (движение  $B_2$ ) и продольная подача инструмента (движение  $П_4$ ).

Орган настройки  $i_x$ . При нарезании червяка за один оборот заготовки (движение  $B_2$ ) чашечный резец совершает  $k/z$  оборотов (движение  $B_1$ ) и перемещается на величину  $s$ , мм (движение  $П_4$ ). Для получения винтовой линии червяка при перемещении чашечного резца на величину  $s$  заготовка должна дополнительно повернуться на  $s/T$  оборота (движение  $B_3$ ), что соответствует дополнительному повороту чашечного резца на величину  $+(k/z) \cdot (s/T)$ . Следовательно, РП для расчетной цепи, совпадающей с внутренней связью группы обката  $\Phi_v(B_1B_2 + B_3)$ :

$$\begin{aligned} 1 \text{ оборот шпинделя заготовки } (B_2 + B_3) &\rightarrow \\ \rightarrow k/z(1 + s/T) \text{ оборота чашечного резца } (B_1), \end{aligned}$$

где  $k$  – число заходов нарезаемого червяка;

$z$  – число зубьев чашечного резца;

$s$  – подача;

$T$  – шаг винтовой линии нарезаемого червяка.

Тогда УКЦ станочного зацепления:

$$k/z(1 + s/T) = 1 \cdot c_1 \cdot i_x,$$

где  $c_1$  – произведение передаточных отношений механических передач расчетной кинематической цепи.

Откуда ФН:

$$i_x = c_1 \cdot z / k (1 + s/T).$$

Орган настройки  $i_y$ . РП для расчетной цепи, совпадающей с внутренней связью группы подачи  $\Phi_s(П_4П_5)$  имеют вид:

$$\begin{aligned} S_{np} \text{ перемещение резца в движении } П_4 &\rightarrow \\ \rightarrow S_{non} \text{ перемещение резца в движении } П_5, \end{aligned}$$

где  $S_{np}$  – нормируемая продольная подача;

$$S_{non} = S_{np} \operatorname{tg} \varepsilon;$$

$\varepsilon$  – угол наклона образующей начальной поверхности червяка.

Тогда УКЦ станочного зацепления:

$$S_{non} = S_{np} \cdot c_2 \cdot 1/P_{TB1} \cdot i_y \cdot P_{TB2}.$$

Откуда ФН:

$$i_y = (S_{non} / S_{np}) \cdot (P_{TB1} / c_2 \cdot P_{TB2}) = c_2 \cdot \text{tg } \varepsilon.$$

где  $c_3 = (P_{TB1} / c_2 \cdot P_{TB2})$  – константа модели станка;

$c_2$  – произведение передаточных отношений постоянных механических передач расчетной цепи.

Угол  $\varepsilon$  наклона образующей начальной поверхности червяка определяется по формуле [14]:

$$\varepsilon = \text{arc tg } (\Delta / 2 \text{tg } \alpha_0),$$

где  $a = \pi m / l_p$  – коэффициент приращения шага;

$a$  – коэффициент допустимого износа;

$l_p$  – дополнительная длина червяка;  $\alpha_0$  – угол зацепления.

Коэффициента допустимого износа зависит от знаменателя стандартного ряда модулей. При знаменателе ряда, равном 1,06, коэффициент  $a = 0,03$ . Дополнительная длина  $l_p$  является конструктивным признаком двухшаговых червяков. Для станочных делительных передач  $l_p = 10\text{--}15$  мм.

Орган настройки  $i_v$ . Расчетная цепь связывает электродвигатель  $M_1$  со шпинделем  $b$  заготовки. Поэтому РП:

$$\begin{aligned} n_{m1} \text{ мин}^{-1} \text{ круговая частота электродвигателя} &\rightarrow \\ &\rightarrow n_{un} \text{ мин}^{-1} \text{ круговая частота шпинделя } b. \end{aligned}$$

Тогда УКЦ:

$$n_{un} = n_{m1} \cdot c_4 \cdot i_v.$$

Откуда ФН:

$$i_v = n_{un} / n_{m1} \cdot c_4,$$

где  $c_4$  – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной кинематической цепи.

Орган настройки  $i_s$ . Расчетная цепь связывает шпиндель  $b$  заготовки с  $TB_1$  продольного суппорта  $\delta$ . Поэтому РП:

$$\begin{aligned} 1 \text{ оборот шпинделя заготовки} &\rightarrow \\ &\rightarrow s \text{ мм перемещения продольного суппорта } \delta. \end{aligned}$$

Тогда, УКЦ:

$$s = 1 \cdot c_5 \cdot i_s \cdot t_{TB1},$$

где  $c_5$  – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной кинематической цепи.

Откуда ФН:

$$i_s = s / c_5 \cdot t_{TB1}.$$

Станок работает следующим образом. После наладки органов настройки и установки обрабатываемой заготовки по линии центров станка по циклу обработки включается электродвигатель  $M_1$ . Движение от электродвигателя по внешней связи группы скорости резания через звено соединения связей 3 сообщается во внутреннюю связь этой группы. В итоге шпиндель чашечного резца получает вращательное движение  $B_1$ , а шпиндель заготовки – движение  $B_2 + B_3$ . Согласованные движения шпинделей воспроизводят профиль червяка. Одновременно при включенных муфтах 9 и 11 движение от электродвигателя по внешней связи группы подачи через звено соединения связей 10 сообщается во внутреннюю связь этой группы. В итоге продольный 8 и поперечный 13 суппорты, несущие шпиндель червячного резца, получают движения  $P_4$  и  $P_5$  соответственно. Функциональная связь этих движений обеспечивает перемещение траектории движения чашечного резца по начальной конической поверхности витков червяка. В итоге шаг витка червяка по противоположным сторонам его профиля будет соответствовать выражению:

$$P_{б,м} = \pi m \cos \alpha_0 / \cos(\alpha_0 \pm \varepsilon),$$

где  $P_{б,м}$  – соответственно больший и меньший шаги витка;

$\alpha_0$  – угол зацепления;

$\varepsilon$  – угол наклона образующей начальной поверхности.

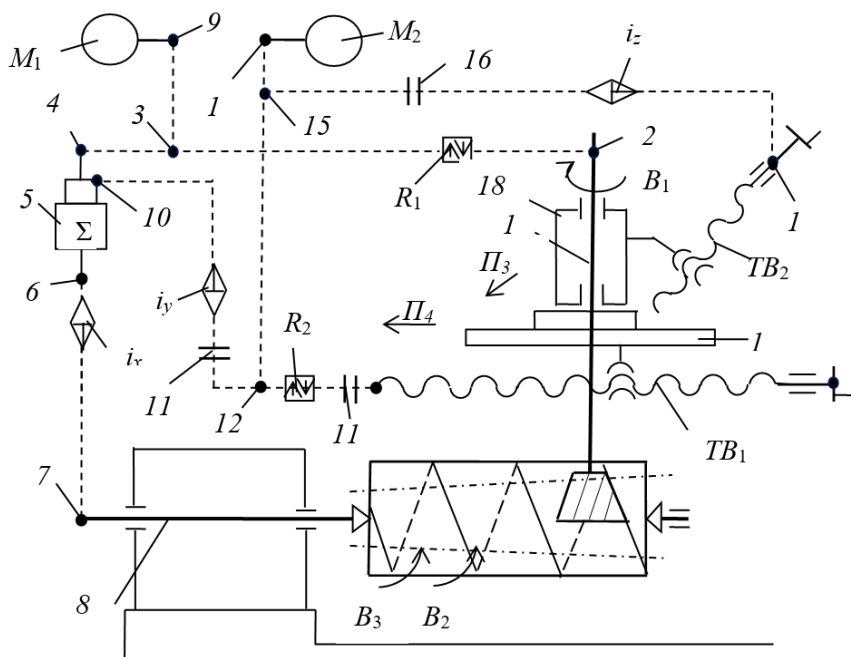
В приведенном выражении знаки «+» и «-» относятся соответственно к большему и меньшему шагам.

На станке можно обрабатывать также одношаговые червяки и глобоидные червяки. При обработке одношагового червяка посредством муфты 11 отсоединяется от привода подачи тяговый вал  $TB_2$  поперечного суппорта 13. В итоге двухэлементарная формообразующая группа подачи  $\Phi_s(P_4P_5)$  преобразуется в одноэлементарную  $\Phi_s(P_4)$ . Вывод ФН для органа настройки  $i_s$  этой группы аналогичен рассмотренному выше. При нарезании глобоидного червяка посредством муфты 9 отсоединяется от привода подачи тяговый вал  $TB_1$ . В итоге формообразующая группа скорости резания (обката) преобразуется к виду  $\Phi_v(B_1B_2)$ , а двухэлементарная группа подачи преобразуется в группу врезания  $\Phi_s(P_5)$ . Вывод ФН для органа настройки  $i_s$  этой группы осуществляется на основе следующих РП:

*1 оборот шпинделя заготовки  $\rightarrow s$  мм перемещения поперечного суппорта.*

Современная тенденция при проектировании металлорежущих станков с механическими связями – оснащение формообразующих кинематических групп индивидуальными управляемыми, например, асинхронными или синхронными электродвигателями с использованием частотных преобразователей.

На рисунке 12.8 приведен вариант модернизации структурной схемы станка для нарезания червяков чашечным резцом с отдельным приводом формообразующих групп.



**Рисунок 12.8. – Структурная схема станка с отдельным приводом формообразующих групп для нарезания червяков**

Кинематическая структура станка включает двухэлементарную группу обката  $\Phi_v (B_1 B_2)$  и трехэлементарную винторезную группу  $\Phi_s (B_3 \Pi_4 \Pi_5)$ . Внутренние связи кинематических групп соединены планетарным суммирующим механизмом (планетарным дифференциалом) 5 для физического сложения двух вращательных движений на шпинделе заготовки, являющимся исполнительным органом обеих групп.

Группа  $\Phi_v (B_1 B_2)$  воспроизводит зацепление червячной передачи. Ее внутренняя связь:

$$B_1 \leftarrow \text{шпиндель 1 чашечного резца} \leftarrow 2 \leftarrow \text{реверс } R_1 \leftarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow \\ \rightarrow i_x \rightarrow 7 \rightarrow \text{шпиндель 8 заготовки} \rightarrow B_2.$$

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow 9 \rightarrow 3 \text{ (звено соединения с внутренней связью)}.$$

Группа настраивается: на траекторию – органом настройки  $i_x$ ; на скорость (резания) – частотным преобразователем, управляющим электродвигателем  $M_1$ ; на направление – реверсом  $R_1$ .

Группа  $\Phi_s (B_3 \Pi_4 \Pi_5)$  осуществляет перемещение траектории движения чашечного резца по начальной конической поверхности витков червяка. Ее внутренняя связь содержит две структурные цепи.



Первая цепь:

$B_3 \leftarrow$  шпиндел заготовки 8  $\leftarrow 7 \leftarrow i_x \leftarrow 6 \leftarrow 5 \leftarrow 10 \leftarrow i_y \leftarrow 11 \rightarrow$   
 $\rightarrow R_2 \rightarrow 12 \rightarrow TB_1 \rightarrow$  продольный суппорт 13  $\rightarrow П_4$ .

Вторая цепь:

$П_4 \leftarrow$  продольный суппорт 13  $\leftarrow TB_1 \leftarrow 12 \leftarrow R_2 \leftarrow 11 \leftarrow$   
 $\leftarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow i_z \rightarrow 16 \rightarrow TB_2 \rightarrow$  поперечный суппорт 17  $\rightarrow П_5$ .

Внешняя связь:

$M_2 \rightarrow 18 \rightarrow 14$  (звено соединения связей для второй цепи)  $\rightarrow$   
 $\rightarrow 11$  (звено соединения связей для первой цепи).

Группа настраивается: на траекторию – органами настройки (гитары сменных зубчатых колес)  $i_y$  и  $i_z$ ; на скорость – частотным преобразователем, управляющим электродвигателем  $M_2$ ; на путь и исходное положение – по упорам системы управления.

Формулы настройки для  $i_x, i_y, i_z$  на траектории обоих формообразующих движений выводятся на основе следующих расчетных перемещений соответственно:

$I$  оборот шпинделя заготовки ( $B_2$ )  $\rightarrow k/z$  оборота чашечного резца ( $B_1$ );  
 $T$  мм перемещения чашечного резца ( $П_4$ )  $\rightarrow$   
 $\rightarrow I$  дополнительному обороту шпинделя заготовки ( $B_3$ );  
 $L$  мм перемещения чашечного резца ( $П_4$ )  $\rightarrow$   
 $\rightarrow l$  мм перемещения чашечного резца ( $П_5$ ),

где  $L$  – параметр путь (произвольное число);

$l = L \operatorname{tg} \varepsilon$ ;

$\varepsilon$  – угол наклона образующей начальной поверхности двухшагового червяка.

Последнее значение расчетных перемещений можно также выразить через значения продольной и поперечной подачи:

$S_{np}$  перемещение чашечного резца ( $П_4$ )  $\rightarrow$   
 $\rightarrow S_{non}$  перемещение чашечного резца ( $П_5$ ),

где  $S_{np}$  – нормируемая продольная подача;

$S_{non} = S_{np} \operatorname{tg} \varepsilon$ .

При обработке двухшагового червяка станок работает следующим образом. По циклу обработки последовательно включаются электродвигатели  $M_1$  и  $M_2$ . Движение от электродвигателя  $M_1$  по внешней связи группы скорости резания через звено соединения связей 3 сообщается во внутреннюю связь этой группы. В итоге шпиндель чашечного резца получает вращательное движение  $B_1$ , а шпиндель заготовки через вход 4 – выход 6

суммирующего механизма 5 движение  $B_2$ . Согласованные движения шпинделей воспроизводят профиль червяка. Одновременно при включенных муфтах 12 и 15 движение от электродвигателя  $M_2$  по внешней связи группы подачи через звенья соединения связей 11 и 14 сообщается в обе цепи внутренней связи этой группы. В итоге продольный 13 и поперечный 17 суппорты, несущие шпиндель червячного резца, получают движения  $П_4$  и  $П_5$  соответственно, а шпиндель заготовки через вход 10–выход 6 суммирующего механизма 5 движение  $B_3$ . Функциональная связь движений  $B_3$ ,  $П_4$ ,  $П_5$  обеспечивает перемещение траектории движения чашечного резца по начальной конической поверхности витков червяка. При этом посредством суммирующего механизма 5 на шпинделе заготовки физически складываются движения  $B_2$  и  $B_3$ .

При обработке одношагового червяка посредством муфты 15 отсоединяется от привода подачи тяговый вал  $ТВ_2$  поперечного суппорта 17. В итоге трехэлементарная группа подачи  $\Phi_s(B_3П_4П_5)$  преобразуется в двухэлементарную  $\Phi_s(B_3П_4)$ . При нарезании глобоидного червяка посредством муфты 12 отсоединяется от привода подачи тяговый вал  $ТВ_1$ . В итоге двухэлементарная группа подачи преобразуется в группу врезания  $\Phi_s(П_5)$ .

Данная модификация кинематической структуры станка для обработки червяков создает предпосылки оснащения ее простейшей системой ЧПУ с использованием программируемого контроллера. При этом настройка на траекторию обоих формообразующих движений, как и в схеме с механическими связями, будет осуществляться гитарами сменных зубчатых колес.

Такой вариант станка рационален в серийном производстве с установившейся номенклатурой обрабатываемых червяков. При уменьшении серийности при одновременном увеличении номенклатуры обрабатываемых деталей возрастают трудозатраты на переналадку механических органов настройки (гитар сменных зубчатых колес) на траекторию, что ведет к снижению коэффициента мобильности станка. Поэтому для достижения высокого коэффициента мобильности в единичном и мелкосерийном производстве с неустановившейся номенклатурой необходима более сложная система ЧПУ, включающая отслеживающую двухстороннюю систему синхронизации, при которой механические органы настройки на траекторию в обеих формообразующих группах заменяются электронными связями между исполнительными органами. Обязательным условием при этом является использование на каждом исполнительном органе отдельного регулируемого электродвигателя.

## Глава 13

### ШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

Шлифовальные станки предназначены в основном для чистовой обработки абразивными и алмазными инструментами (шлифовальными кругами, брусками, сегментами, шкуркой, порошками и пастами). Эти станки обеспечивают высокое качество поверхности обрабатываемых деталей. Шлифование все более широко используется и для обдирочных и получистовых работ.

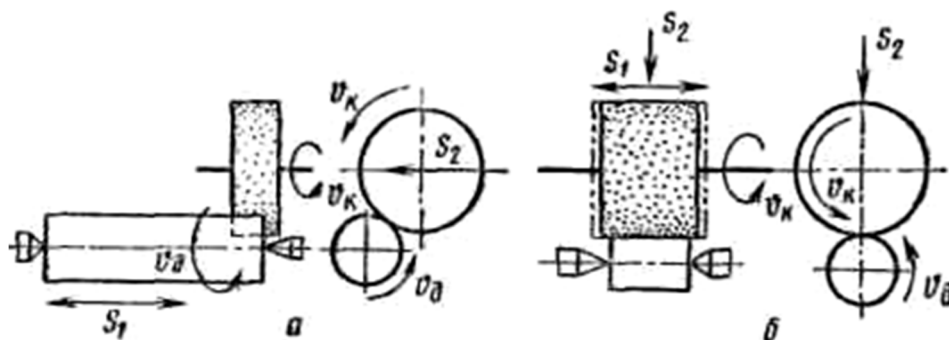
К шлифовальным станкам общего назначения, работающим шлифовальными кругами, в зависимости от формы обрабатываемой поверхности и вида шлифования относят круглошлифовальные, внутришлифовальные, плоскошлифовальные и бесцентрово-шлифовальные. К специализированным станкам относят станки для шлифования резьбы и зубьев колес, а также шлифовальные станки инструментального производства, например, универсальный станок модели 5822М, содержащий резьбошлифовальные и затылующие структуры.

#### 13.1 Круглошлифовальные станки

Круглошлифовальные станки предназначены для наружного шлифования цилиндрических, конических и торцовых поверхностей. Эти станки делятся на простые и универсальные. У простых станков возможен поворот рабочего стола на угол до  $\pm 6^\circ$  для шлифования деталей с малой конусностью. В универсальных станках предусмотрен поворот рабочего стола на больший угол и поворот шлифовальной бабки. Это позволяет шлифовать конические поверхности с большим углом при вершине, а также шлифовать внутренние поверхности.

Основными размерами, характеризующими круглошлифовальные станки, являются наибольший диаметр устанавливаемой заготовки и ее длина. Современные станки этой группы работают по полуавтоматическому и автоматическому циклам.

Обрабатывать детали на круглошлифовальных станках можно при продольном (рисунок 13.1, *а*) и врезном шлифовании (рисунок 13.1, *б*). При продольном шлифовании шлифовальному кругу сообщается движение скорости резания  $v_k$ , а детали – круговая подача  $v_d$  и продольное поступательно-возвратное перемещение (подача)  $s_1$ . В конце каждого двойного хода шлифовальному кругу сообщается поперечная подача  $s_2$  (прерывистая подача врезания).



***a* – продольное шлифование; *b* – врезное шлифование**

**Рисунок 13.1. – Схемы взаимодействия инструмента и заготовки на круглошлифовальных станках**

Врезное шлифование применяют для шлифования коротких деталей. При врезном шлифовании шлифовальному кругу сообщается движение скорости резания  $v_k$  и радиальная подача врезания  $s_2$ , а детали – круговая подача  $v_d$ . Дополнительно шлифовальному кругу или детали может сообщаться также осциллирующее (колебательное) осевое перемещение  $s_1$ .

На рисунке 13.2 приведена типовая кинематико-компоновочная структура современного круглошлифовального станка. Его структурная схема состоит из четырех простых кинематических групп с индивидуальными движителями: скорости резания  $\Phi_v(B_1)$ , круговой подачи  $\Phi_{s1}(B_2)$ , продольной подачи  $\Phi_{s2}(П_3)$ , врезания  $Vp(П_4)$ .

Группы  $\Phi_v$  и  $\Phi_{s1}$  воспроизводят методом касания образующую (окружность) цилиндрической поверхности, группа  $\Phi_{s2}$  методом следа – направляющую (линию, параллельную оси центров станка). Вспомогательная группа  $Vp$  обеспечивает движение врезания.

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

*корпус 2 шлифовальной бабки → шпиндель 3 шлифовального круга.*

Внешняя связь:

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

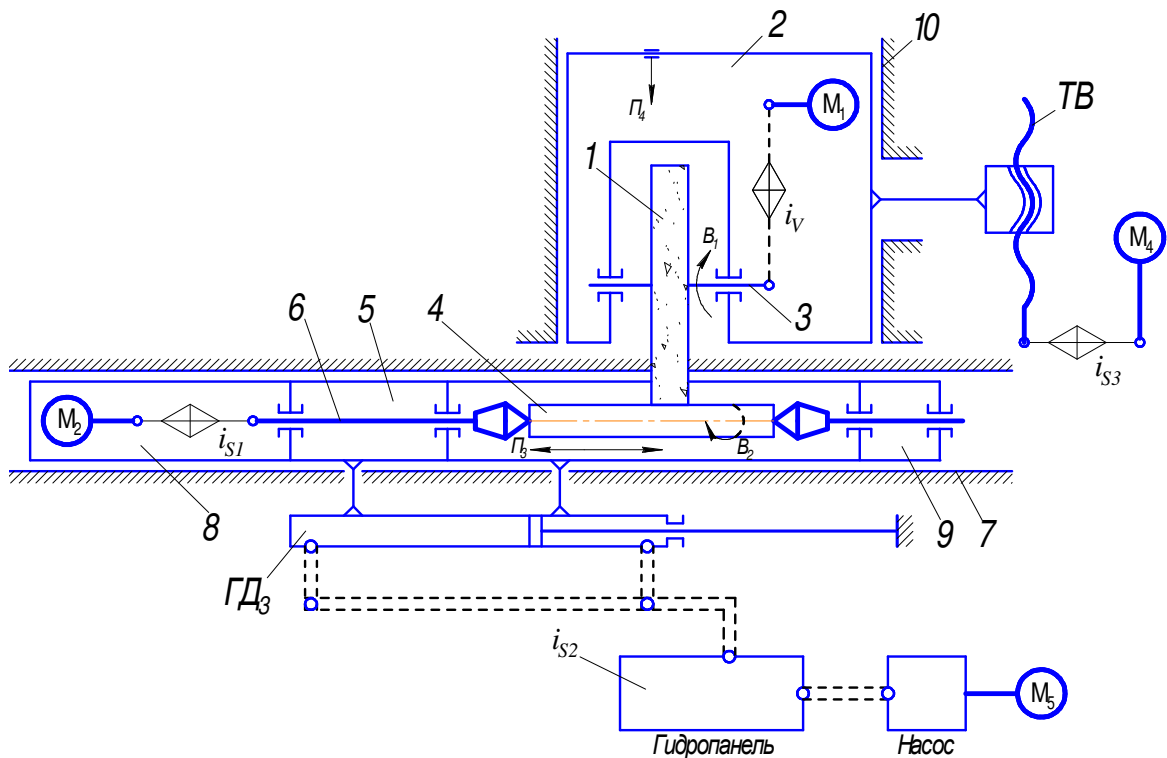
Группа настраивается на скорость (круговую частоту вращения шлифовального круга) органом настройки  $i_v$ .

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

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

Внешняя связь

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



**Рисунок 13.2. – Типовая кинематико-компоновочная структурная схема круглошлифовального станка**

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

Группа  $\Phi_{s2}(П_3)$  осуществляет продольную подачу  $П_4$  заготовки. Внутренняя связь группы:

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

Внешняя связь:

*гидродвижитель (гидроцилиндр) ГД<sub>3</sub> → продольный стол 8 (П<sub>3</sub>).*

Группа настраивается: на скорость (продольную подачу) и направление соответственно управляемым дросселем  $i_{s2}$  и реверсивным золотником, конструктивно входящими в гидропанель гидростанции, на путь и исходное положение – по упорам системы управления.

Внутренняя связь группы  $Вр(П_4)$  – элементарная поступательная пара:

*вертикальные направляющие 10 станины – шлифовальная бабка 2.*

Внешняя связь:

$M_4 \rightarrow i_{s3} \rightarrow TB \rightarrow$  *шлифовальная бабка 2 (П<sub>4</sub>).*

Группа настраивается: на скорость (подача врезания) – органом настройки  $i_{s3}$ ; на путь и исходное положение – по упорам.

В рассматриваемом станке кинематические группы соединены между собой через промежуточные или неподвижные исполнительные звенья. Так, группа  $\Phi_v(B_1)$  связана с группой  $B_p(II_4)$  через шлифовальную бабку 2 как через промежуточное исполнительное звено. Такое же соединение через промежуточные исполнительные звенья имеет группа  $\Phi_{s1}(B_2)$  с группами  $\Phi_{s2}(II_3)$  и  $B_p(II_4)$ . Группа  $\Phi_{s2}(II_3)$  с группой  $B_p(II_4)$  соединена через общее неподвижное исполнительное звено.

В ряде универсальных станков шлифовальная бабка 2 имеет два шлифовальных разнонаправленных шпинделя, расположенных параллельно в горизонтальной плоскости. При повороте шлифовальной бабки на  $180^\circ$  дополнительный шпиндель используется для внутреннего шлифования.

В современных моделях станков данного типа, как правило, используются регулируемые электро- и гидродвигатели. Поэтому особенности методики вывода ФН для органов настройки станка подробно рассматриваются при анализе кинематической схемы станка модели 3М151.

### **13.1.1 Круглошлифовальный полуавтомат для наружного шлифования модели 3М151**

Предназначен для шлифования наружных цилиндрических, конических и торцовых поверхностей. Выпускается в двух вариантах – простом и универсальном. В простом варианте возможен поворот стола на угол  $\pm 6^\circ$ , в универсальном предусмотрен поворот стола и шлифовальной бабки на больший угол. Возможно как продольное, так и врезное шлифование.

*Техническая характеристика.* Наибольшие размеры устанавливаемой детали: диаметр 200 мм; длина 700 мм. Высота центров 125 мм. Круговая частота вращения шлифовального шпинделя  $1300 \text{ мин}^{-1}$ . Круговая подача шпинделя заготовки (круговая частота)  $40\text{--}400 \text{ мин}^{-1}$  (регулируется бесступенчато); продольная подача стола  $0,05\text{--}5 \text{ м/мин}$  (регулируется бесступенчато); периодическая (дискретная) подача шлифовальной бабки  $0,001\text{--}0,05 \text{ мм/дв. ход}$ ; врезная подача  $0,01\text{--}0,2 \text{ мм/мин}$ .

Формообразующая часть частной кинематической структуры для продольного шлифования (рисунок 13.3) включает следующие группы: скорости резания (круговой частоты вращения шпинделя шлифовального круга)  $\Phi_v(B_1)$ ; круговой подачи шпинделя заготовки  $\Phi_{s1}(B_2)$ ; продольной поступательно-возвратной подачи стола  $\Phi_{s2}(II_3)$ ; прерывистой поперечной подачи врезания шлифовального круга  $B_p(II_4)$ .

Группа скорости резания  $\Phi_v(B_1)$ . Ее внутренняя связь:

*подшипниковые опоры шлифовальной бабки 5  $\rightarrow$  шпиндель круга ( $B_1$ ).*

Внешняя связь – короткая кинематическая цепь, выполненная в виде клиноременной передачи:

$M1 \rightarrow 155/170 \rightarrow$  шпindelь II шлифовального круга 4 ( $B_1$ ).

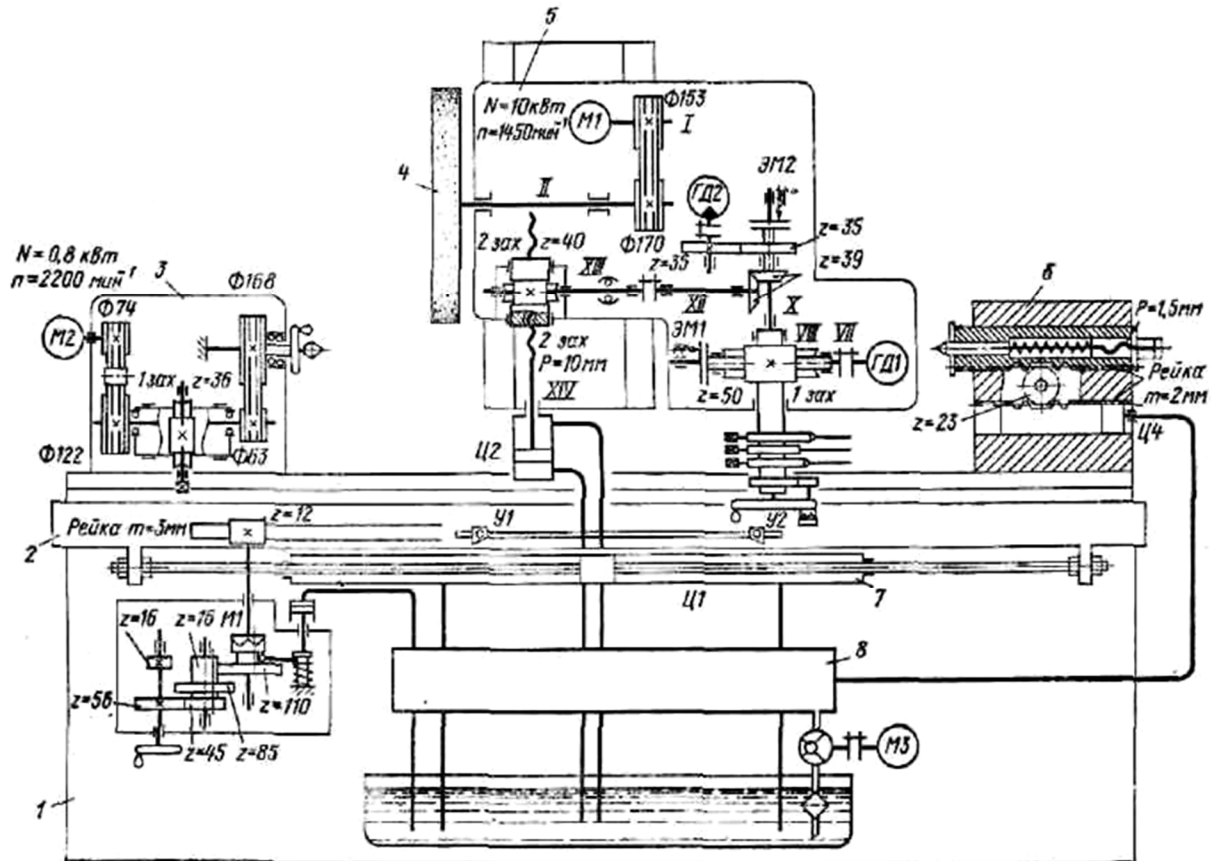


Рисунок 13.3. – Кинематическая схема круглошлифовального станка модели 3М151

Группа не содержит традиционного органа настройки на скорость резания (гитары сменных зубчатых колес, коробки скоростей или регулируемого электродвигателя). Поэтому круговая частота вращения шпинделя постоянна и равна

$$n = 1450 \cdot \frac{153}{170} = 1300 \text{ мин}^{-1}.$$

Скорость резания зависит от диаметра шлифовального круга: при наибольшем диаметре круга 600 мм скорость резания составляет  $40 \text{ с}^{-1}$ ; при наименьшем диаметре 450 мм –  $30 \text{ с}^{-1}$ .

Группа круговой подачи шпинделя заготовки  $\Phi_{s1}(B_2)$ . Ее внутренняя связь:

*подшипниковые опоры бабки изделия 3  $\rightarrow$  шпindelь изделия ( $B_2$ ).*

Внешняя связь – кинематическая цепь, состоящая из двух клиноременных передач, связывающих регулируемый электродвигатель со шпинделем изделия:

$$M_2 \rightarrow 74/122 \rightarrow 63/168 \rightarrow \text{шпиндель изделия } (B_2).$$

Группа настраивается на один параметр – скорость (круговую подачу) – изменением круговой частоты электродвигателя.

Группа продольной поступательно-возвратной подачи стола  $\Phi_{s2}(P_3)$ . Ее внутренняя связь:

*продольные направляющие станины 1 → продольный стол 2 ( $P_3$ ).*

Внешняя связь:

*электродвигатель  $M_3$ , сообщающий вращательное движение лопастному насосу → гидрпанель управления 8 → гидроцилиндр 7 двухстороннего действия, у которого противоположные концы штока закреплены на продольном столе 2 → стол 2 ( $P_3$ ).*

Группа настраивается: на скорость – регулируемые дросселями гидрпанели; на путь и исходное положение – установкой упоров  $U1$  и  $U2$  с противоположных сторон рычага (не показан), перемещающего управляющий золотник, расположенный в гидрпанели.

Группа прерывистой поперечной подачи врезания шлифовального круга  $Vp(P_4)$ . Ее внутренняя связь:

*поперечные направляющие станины 1 → шлифовальная бабка 5 ( $P_4$ ).*

Внешняя связь – кинематическая цепь:

*гидродвигатель  $ГД1$  → 1/50 (электромагнитная муфта  $ЭМ1$  периодически включена) → 39/39 → 2/40 → 10 → бабка 5 ( $P_4$ ).*

Группа настраивается: на скорость – изменением круговой частоты  $ГД1$ ; на путь, включая величину дискреты врезания, – установленными на валу  $X$  кулачками врезания, управляющими электромагнитной муфтой  $ЭМ1$  и гидродвигателем  $ГД1$ . В группе предусмотрено также ручное перемещение шлифовальной бабки посредством вращения маховика, закрепленного на валу  $X$  при включенной электромагнитной муфте  $ЭМ1$ .

Формообразующая часть частной кинематической структуры для врезного шлифования включает группы, рассмотренные в предыдущей структуре: скорости резания (круговой частоты вращения шпинделя шлифовального круга)  $\Phi_v(B_1)$  и круговой подачи шпинделя заготовки  $\Phi_{s1}(B_2)$ , а также группу поперечной подачи врезания шлифовального круга  $\Phi_{s2}(P_3)$ .

Группа поперечной подачи врезания шлифовального круга  $\Phi_{s2}(P_3)$  кинематически одинакова с группой прерывистой поперечной подачи



врезания шлифовального круга  $Vp(П_4)$ . Эти группы отличаются только принципом управления электромагнитной муфты ЭМ1. Врезное шлифование осуществляется при постоянном включении данной муфты.

В структуре станка предусмотрены две вспомогательные группы:  $Vc(П_5)$  ускоренных установочных перемещений шлифовальной бабки и  $Vc(П_6)$  ручного перемещения продольного стола, используемые в обеих частных структурах.

Группа  $Vc(П_5)$ . Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы поперечной подачи врезания, а внешняя связь имеет вид:

$$\begin{aligned} ГД2 \rightarrow 35/35 \text{ (электромагнитная муфта ЭМ2 включена)} \rightarrow \\ \rightarrow 39/39 \rightarrow 2/40 \rightarrow 10 \rightarrow \text{бабка 5 (П}_5\text{)}. \end{aligned}$$

В этой группе гидроцилиндр Ц2, связанный с ТВ (винт XIV), предназначен для постоянного выбора зазора в винтовой передаче в направлении действия радиальной силы резания.

Группа  $Vc(П_6)$ . Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы поступательно-возвратной подачи продольного стола, а внешняя связь имеет вид:

$$\begin{aligned} \text{маховик} \rightarrow 56/45 \text{ или } 16/85 \rightarrow \text{муфта М1, управляемая гидроцилиндром,} \rightarrow \\ \text{ТВ (зубчато-реечная передача, шаг } \pi t z) \rightarrow \text{продольный стол (П}_6\text{)}. \end{aligned}$$

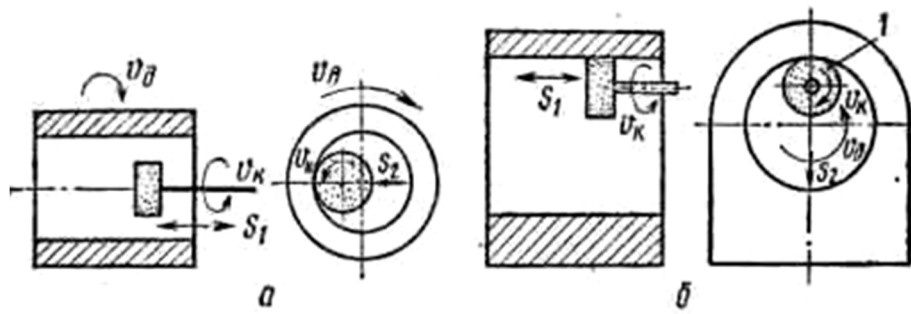
Переставная задняя бабка б имеет неподвижный центр, поджимаемый к детали пружиной. Выдвижение пиноли задней бабки осуществляется гидроцилиндром Ц4 посредством зубчато-реечной передачи.

Шлифовальный круг крепится на планшайбе фланцем через упругие прокладки. Перед установкой на шпиндель производят балансировку планшайбы с кругом посредством перемещения грузов в ее кольцевом пазу.

## 13.2 Внутришлифовальные станки

Внутришлифовальные станки предназначены для шлифования цилиндрических и конических отверстий, а также торцов заготовок. Эти станки делятся на обычные и планетарные. Движение скорости резания  $v_k$  сообщается шлифовальному кругу (рисунок 13.4). Движения подачи в станках обычного типа (рисунок 13.4, а): круговая подача  $v_\partial$  (вращение детали), продольная подача  $s_1$  (поступательно-возвратное движение детали или круга) и поперечная подача  $s_2$  (периодическое поперечное перемещение шлифовального круга).

Планетарные станки применяют для обработки крупных и несимметричных деталей. В станках этого типа (рисунок 13.4, б) используют круговую подачу  $v_\partial$  (вращение оси шлифовального круга I относительно оси шлифуемого отверстия), продольную  $s_1$  и периодическую поперечную  $s_2$  подачи.



*a* – обычное шлифование; *b* – планетарное шлифование

Рисунок 13.4. – Схемы взаимодействия инструмента и заготовки на внутришлифовальных станках

Основным размером, характеризующим внутришлифовальные станки, является наибольший диаметр шлифуемого отверстия.

Универсальные (обычные) внутришлифовальные станки имеют однотипную горизонтальную компоновку (рисунок 13.5).

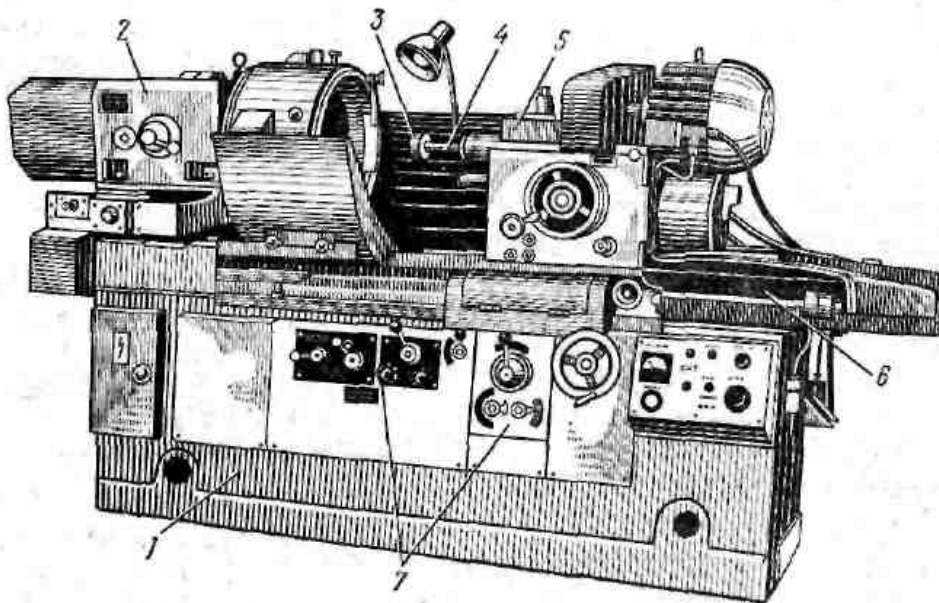


Рисунок 13.5. – Универсальный внутришлифовальный станок

На станине 1 установлена бабка изделия 2, в патроне шпинделя которой зажимают шлифуемую деталь. На продольных направляющих качения станины установлен стол 6. На поперечных направляющих стола размещена шлифовальная бабка 5, несущая шпиндель 4 со шлифовальным кругом 3. Внутри станины смонтирован гидропривод станка. На передней панели расположены органы управления 7.

### 13.2.1 Внутришлифовальный полуавтомат модели ЗК227Б

Предназначен для шлифования сквозных и глухих цилиндрических и конических отверстий и шлифования торцов.

*Техническая характеристика.* Диаметр шлифуемых отверстий 20–100 мм; наибольшая длина шлифования 125 мм; частота вращения шпинделя изделия 320–800 мин<sup>-1</sup>; частота вращения шлифовального шпинделя 9000, 12 000, 18 000, 24 000 мин<sup>-1</sup>; диапазон продольных подач 0,1–10 м/мин; диапазон поперечных подач 0,13–1,3 мм/мин.

Кинематическая структура станка (рисунок 13.6) включает формообразующие группы скорости резания  $\Phi_v(B_1)$ , круговой подачи  $\Phi_{s1}(B_2)$ , продольной подачи  $\Phi_{s2}(П_3)$  и группу поперечного врезания  $V_p(П_4)$ .

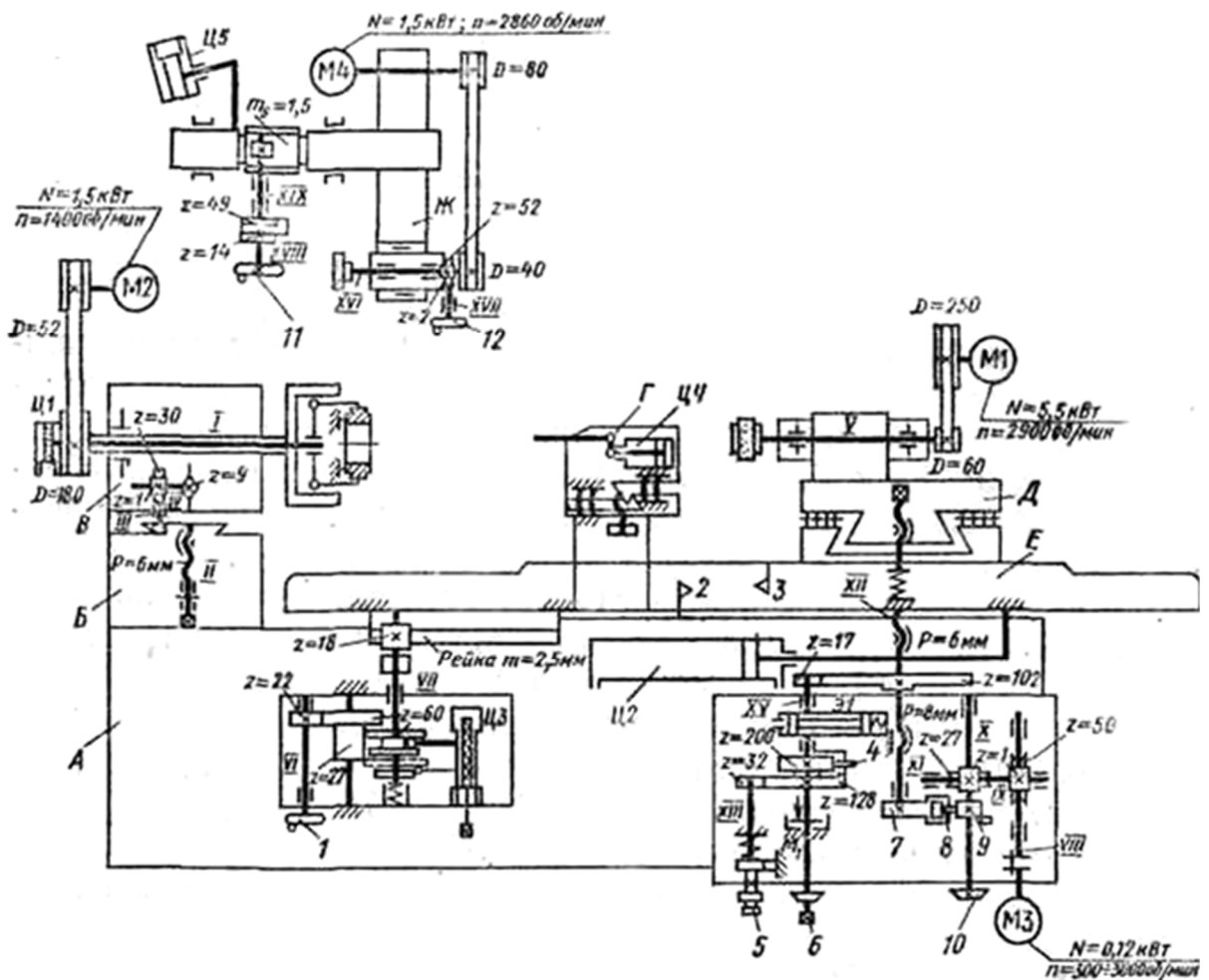


Рисунок 13.6. – Кинематическая схема внутришлифовального станка модели ЗК227Б

Группа скорости резания (круговой частоты шлифовального шпинделя)  $\Phi_v(B_1)$ . Внутренняя связь:

*подшипниковые опоры шлифовальной бабки → шпиндель V (B<sub>1</sub>).*

Внешняя связь:

*M1 → плоскоремennая передача D/D → шпиндель V (B<sub>1</sub>).*

Группа настраивается на скорость сменными шкивами. В комплект входит 4 пары сменных шкивов, обеспечивающих 4 значения круговых частот шпинделя. При диаметрах шкивов, указанных на кинематической схеме, круговая частота шпинделя равна 12 000 мин<sup>-1</sup>. При необходимости иметь иные значения круговой частоты, чем те, что указаны в технической характеристике, требуется изготовить сменные шкивы с соответствующим диаметром.

Группа круговой подачи (круговой частоты шпинделя шлифуемых деталей)  $\Phi_{s1}(B_2)$ . Внутренняя связь:

*подшипниковые опоры бабки шлифуемых деталей → шпиндель I (B<sub>2</sub>).*

Внешняя связь:

*M2 → клиноремennая передача D/D → шпиндель I (B<sub>2</sub>).*

Группа настраивается на скорость сменными шкивами. При диаметрах шкивов, указанных на кинематической схеме, круговая подача (частота вращения шпинделя) равна 400 мин<sup>-1</sup>.

Группа продольной подачи (поступательно-возвратное движение стола E)  $\Phi_{s2}(П_3)$ . Внутренняя связь:

*направляющие качения станины A → продольный стол E (П<sub>3</sub>).*

Внешняя связь:

*гидроцилиндр Ц2 → продольный стол E (звено соединения связей) (П<sub>3</sub>).*

Группа настраивается: на скорость – регулируемым дросселем гидропанели управления; на путь и исходное положение – установкой упоров на станине с противоположных сторон рычага, перемещающего управляющий золотник гидропривода.

Для тонкой продольной подачи при шлифовании внутреннего торца детали торцом внутришлифовального круга используется неподвижный 2 и подвижный 3 упоры.

В рассматриваемой группе предусмотрена также ручная продольная подача. Внешняя связь группы при ручной подаче имеет вид:

*маховик 1 → 22/60 → 22/60 → ТВ VII (зубчато-реечная передача, z = 18, m = 2,5) → продольный стол E (П<sub>3</sub>).*

Гидроплунжер Ц3 автоматически отключает ручную подачу стола при включении гидроцилиндра Ц2. При этом реечное колесо 18 выйдет из зацепления с рейкой, а плунжер Ц3 зафиксируется с помощью шариков.

Группа поперечного врезания  $Vp(П_4)$ . Внутренняя связь:  
направляющие качения стола  $E \rightarrow$  каретка  $D$  шлифовальной бабки ( $П_4$ ).

Внешняя связь:

$M_3$  (постоянного тока)  $\rightarrow 1/50 \rightarrow 1/27 \rightarrow$  кулачок  $9 \rightarrow$  ролик  $8 \rightarrow$   
 $\rightarrow$  толкатель  $7 \rightarrow ТВ XII \rightarrow$  каретка  $D$  шлифовальной бабки ( $П_4$ ).

В группе предусмотрены две дополнительные внешние связи, обеспечивающие ручное наладочное поперечное перемещение (подачу) круга и компенсацию износа шлифовального круга (подачу на правку).

Внешняя связь наладочного поперечного перемещения:

либб  $6 \rightarrow 17/102 \rightarrow ТВ XII \rightarrow$  каретка  $D$  шлифовальной бабки ( $П_4$ ).

Внешняя связь подачи на правку круга:

Золотник  $31$ , конструктивно связанный с собачкой  $4$  храпового механизма,  $\rightarrow$  храповое колесо  $200 \rightarrow 17/102 \rightarrow ТВ XII \rightarrow$   
 $\rightarrow$  каретка  $D$  шлифовальной бабки ( $П_4$ ).

Группа настраивается: на скорость и направление – бесступенчатым изменением круговой частоты электродвигателя  $M_3$  и его реверсированием; на исходное положение – лимбом  $6$ ; на путь – расположением упоров на кулачке  $9$  управления циклом шлифования. За один оборот кулачка  $9$  максимальное (суммарное) перемещение (поперечная подача) составляет  $0,65$  мм.

Установку величины компенсации износа осуществляют маховиком  $5$ , связанным муфтой  $M_1$  с колесом  $32$ . При повороте этого колеса получает вращение сектор  $128$ , с которым жестко связан храпового механизма. Сектор перекрытия зубьев поворачивается на соответствующий угол. В результате в зацеплении с собачкой  $4$  будет участвовать определенное число зубьев (от  $1$  до  $10$ ) храпового колеса, тем самым изменяется величина подачи при правке. Ее наибольшее и наименьшее значения:

$$s_1 = 1 \cdot \frac{1}{200} \cdot \frac{17}{102} \cdot 6 = 0,005 \text{ мм}; \quad s_{10} = 1 \cdot \frac{10}{200} \cdot \frac{17}{102} \cdot 6 = 0,05 \text{ мм}.$$

В станке предусмотрены простые вспомогательные группы: поворота бабки изделия  $B$  при шлифовании конических отверстий, наладочного поперечного перемещения бабки изделия  $B$  и устройство правки  $Г$  шлифовального круга.

Поворот бабки изделия  $B$  осуществляется через червячную передачу  $1/30$ . При этом получает вращение звездочка  $9$  на валу  $IV$ , находящаяся в зацеплении с цепью, закрепленной на салазках бабки. Наладочное поперечное перемещения бабки изделия  $B$  осуществляется ТВ (винт  $II$ ). Устройство

правки  $\Gamma$  шлифовального круга поворачивается в рабочее положение гидроплунжером Ц4.

Цикл работы станка зависит от расположения упоров, установленных на кулачке 9. При вращении кулачка упоры поочередно нажимают на рычаги, действующие на соответствующие микропереключатели системы управления, которые выдают команды механизмам, управляющим рабочим циклом станка. Цикл включает подвод стола в рабочую зону, быстрый подвод шлифовальной бабки первое черновое шлифование, черновое выхаживание, быстрый отвод шлифовальной бабки, первую правку круга, быстрый подвод бабки, второе черновое шлифование, черновое выхаживание, быстрый отвод бабки, вторую правку круга, быстрый подвод бабки, чистовое шлифование, чистовое выхаживание, быстрый отвод бабки и стола.

В комплектацию станка может входить торцошлифовальное приспособление, устанавливаемое на корпусе бабки изделия. Это приспособление выполнено в виде трех групп: скорости резания  $\Phi_{v1}(B_5)$ , торцевого врезания  $Vp(\Pi_6)$  и поворота хобота  $\mathcal{Ж}$  с торцевым шпинделем  $Vc(B_7)$ .

Группа скорости резания  $\Phi_{v1}(B_5)$ . Ее внутренняя связь:

*подшипниковые опоры гильзы хобота  $\mathcal{Ж}$  → торцевой шпиндель XVI ( $B_5$ ).*

Внешняя связь:

$M_4 \rightarrow 80/40 \rightarrow$  *торцевой шпиндель XVI ( $B_5$ ).*

Круговая частота шпинделя постоянна и равна  $5960 \text{ мин}^{-1}$ .

Группа торцевого врезания  $Vp(\Pi_6)$ . Ее внутренняя связь:

*корпус торцевого приспособления → хобот  $\mathcal{Ж}$  ( $\Pi_6$ ).*

Внешняя связь, обеспечивающая тонкую подачу врезания:

*Маховик 12 → 2/52 → передача винт–гайка (внутренняя резьба ступицы червячного колеса 52 - наружная резьба гильзы хобота) → хобот  $\mathcal{Ж}$  ( $\Pi_6$ ).*

Дополнительная внешняя связь, обеспечивающая наладочное перемещение торцевого круга:

*маховик 11 → 14/49 (передача внутреннего зацепления) ТВ  
(реечное колесо 1 – круглая рейка  $m_s$ ) → хобот  $\mathcal{Ж}$  ( $\Pi_6$ ).*

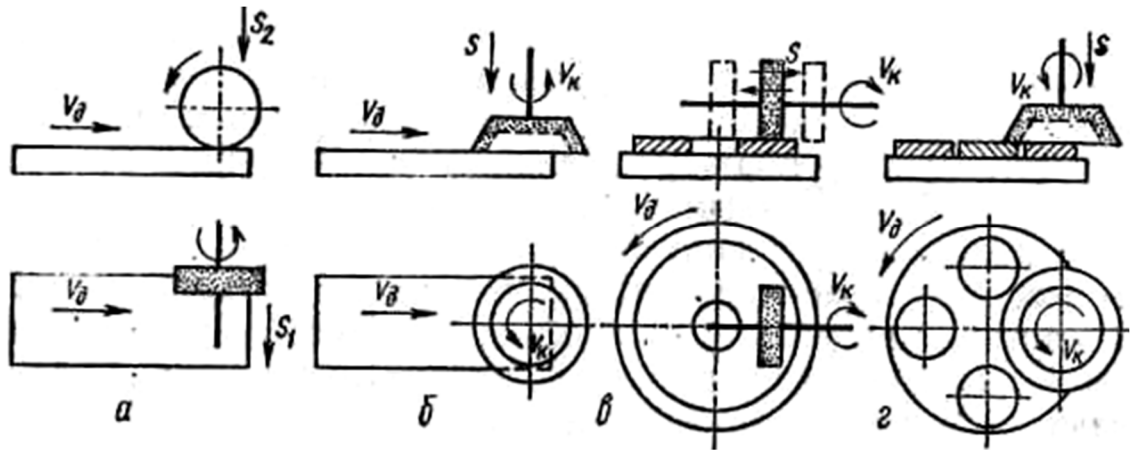
Группа поворота хобота  $Vc(B_7)$  осуществляет поворот хобота  $\mathcal{Ж}$  в рабочее положение гидроплунжером Ц5.

### 13.3 Плоскошлифовальные станки

Предназначены для шлифования плоских поверхностей деталей периферией или торцом круга. Их классифицируют: по расположению шпинделя – на горизонтальные и вертикальные; по форме стола – с круглым и прямо-

угольным столом. Основным размером, характеризующим плоскошлифовальные станки, является размер стола.

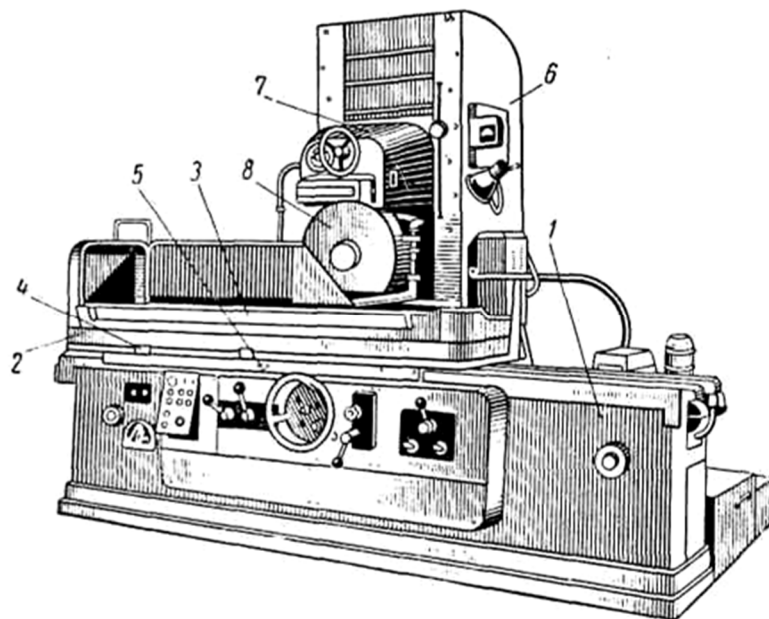
На рисунке 13.7 приведены схемы основных движений в плоскошлифовальных станках.



- a* – с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем;
- б* – с прямоугольным столом и вертикальным шпинделем;
- в* – с круглым столом и горизонтальным шпинделем;
- z* – с круглым столом и вертикальным шпинделем

**Рисунок 13.7. – Схемы взаимодействия шлифовального круга и заготовок при плоском шлифовании**

Наиболее распространены плоскошлифовальные станки с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем. Плоскошлифовальные станки общего назначения имеют однотипную компоновку (рисунок 13.8).



**Рисунок 13.8. – Плоскошлифовальный станок общего назначения**

На направляющих станины 1 установлен продольный стол 2. На его рабочей плоскости выполнены Т-образные пазы для закрепления деталей или магнитного стола 3. На боковой поверхности стола устанавливаются упоры 4, действующие при работе станка на рычаг 5 управляющего золотника. На станине установлена колонна 6. На ее вертикальных направляющих смонтированы салазки со шлифовальной бабкой 7.

### 13.3.1. Плоскошлифовальный станок модели 3Е711В

Станок с крестовым прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем. Используется в единичном, мелкосерийном и серийном производстве для обработки горизонтальных, наклонных и вертикальных поверхностей.

*Техническая характеристика.* Размеры рабочей поверхности стола 200–630 мм; круговая частота вращения круга  $2770 \text{ мин}^{-1}$ ; автоматическая, бесступенчатая продольная подача стола 2–35 м/мин; автоматическая, бесступенчатая поперечная подача 0,01–1,5 м/мин; автоматическая, бесступенчатая вертикальная подача шлифовальной бабки 0,001–0,09 м/мин.

Кинематическая структура станка (рисунок 13.9) содержит следующие формообразующие группы: скорости резания (вращение шлифовального круга)  $\Phi_v(B_1)$ ; продольной подачи стола  $\Phi_{s1}(П_2)$ ; поперечной подачи стола  $\Phi_{s2}(П_3)$ ; вертикальной подачи шлифовальной бабки  $\Phi_{s3}(П_4)$ . Группы  $\Phi_v(B_1)$ ,  $\Phi_{s2}(П_3)$ ,  $\Phi_{s3}(П_4)$  оснащены отдельными электродвигателями, а группа  $\Phi_{s3}(П_4)$  – гидроцилиндром. В общей структуре станка эти группы соединены между собой общим корпусом.

Группа скорости резания  $\Phi_v(B_1)$ . Внутренняя связь:

*многоклиновые подшипники с самоустанавливающимися вкладышами шлифовальной бабки Г → шпиндель II шлифовального круга ( $B_1$ ).*

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow$  поликлиновая ременная передача 194/105 → шпиндель II ( $B_1$ ).

При односкоростном электродвигателе  $M_1$  шпиндель имеет постоянную круговую частоту. Поэтому скорость резания однозначно связана с диаметром шлифовального круга.

Группа продольной подачи (поступательно-возвратное движение) продольного стола  $\Phi_{s1}(П_2)$ . Внутренняя связь:

*направляющие качения поперечного стола В → продольный стол Д ( $П_2$ ).*

Внешняя связь (не показана) выполнена аналогично внешней связи группы поступательно-возвратного движения продольного стола кругло-шлифовального станка модели 3М151, рассмотренного выше (см. рисунок 13.3).



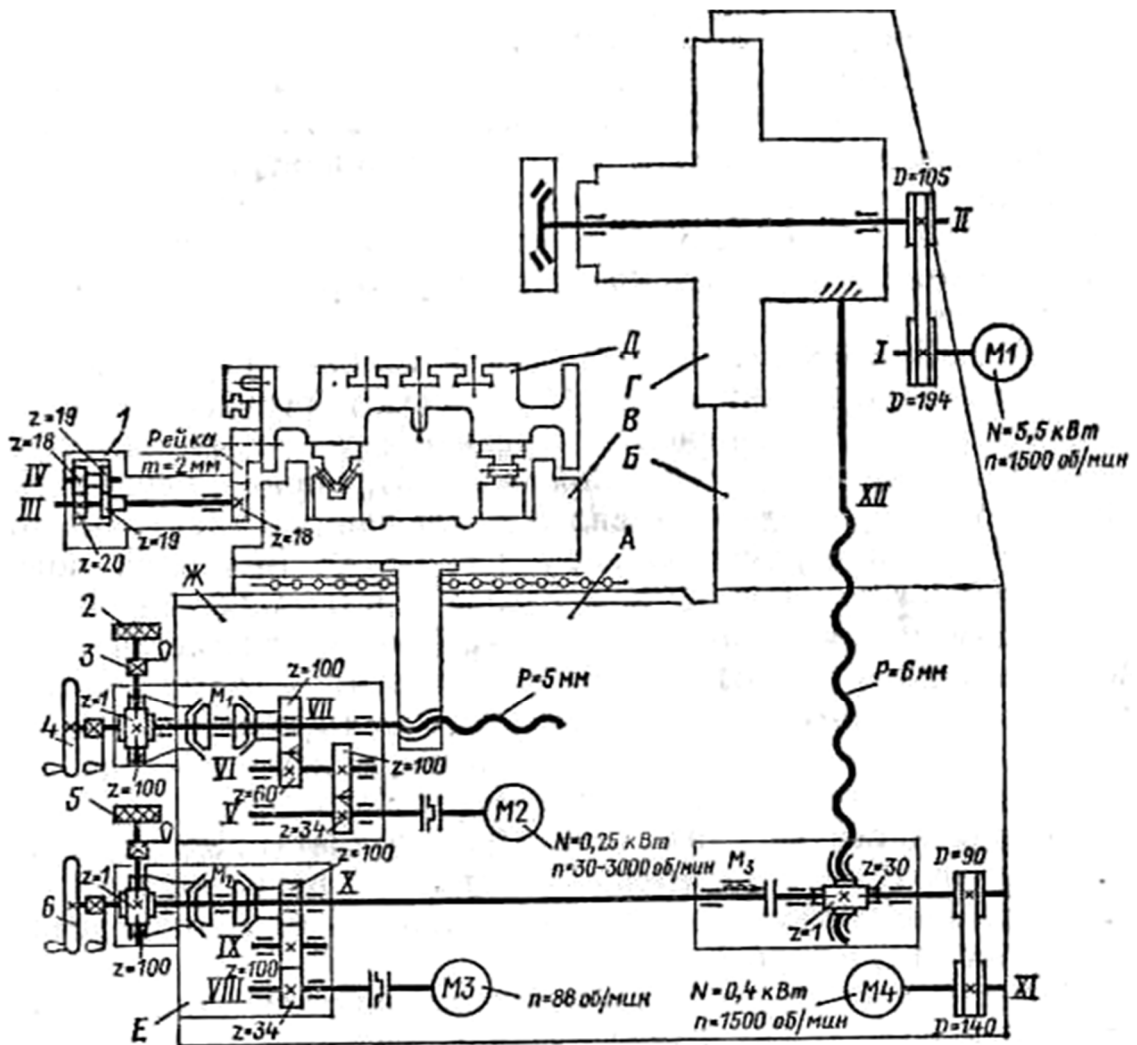


Рисунок 13.9. – Кинематическая схема плоскошлифовального станка модели 3E711В

В рассматриваемой группе предусмотрена также ручная продольная подача. Внешняя связь группы при ручной подаче имеет вид:

*маховик 1 со встроенным планетарным механизмом → ТВ III (зубчато-реечная передача,  $z = 18$ ,  $m = 2$ ) → продольный стол Д(П<sub>2</sub>).*

Сателлиты 18 и 19 планетарного механизма обкатываются вокруг неподвижного центрального колеса 19 и через другое центральное колесо 20 вращение передается реечному колесу 18. Применение планетарной передачи значительно снижает величину перемещения продольного стола за один оборот лимба.

Группа поперечной подачи стола  $\Phi_{s2}(П_3)$ . Внутренняя связь:

*направляющие качения станины А → поперечный стол В(П<sub>3</sub>).*

Внешняя связь выполнена в виде механизма Ж, встроенного в станину А, и содержит две ветви – автоматической и ручной поперечной подачи.

Автоматическая ветвь имеет вид:

$M_2 \rightarrow 34/100 \rightarrow 60/100$  (муфта  $M_1$  включена в колесо 100)  $\rightarrow$   
 $\rightarrow TB$  (передача винт VII–гайка)  $\rightarrow$  поперечный стол  $B(P_3)$ .

Ручная ветвь:

(лимб 2  $\rightarrow 1/100$ ) или (маховик 4)  $\rightarrow$  муфта  $M_1$  включена влево  $\rightarrow$   
 $\rightarrow TB$  (передача винт VII–гайка)  $\rightarrow$  поперечный стол ( $P_3$ ).

Группа настраивается: на скорость и направление – изменением круговой частоты и реверсом регулируемого электродвигателя  $M_2$  постоянного тока; на путь и исходное положение – по упорам бесконтактных путевых переключателей. Режим подачи – непрерывная или прерывистая на каждый ход стола (или двойной ход стола) – обеспечивается электроавтоматикой системы управления. Тонкую ручную подачу получают при вращении лимба 2, а грубую – при вращении маховика 4. Выбор режима ручной подачи осуществляется рукоятками 3.

Группа вертикальной подачи шлифовальной бабки  $\Phi_{33}(P_4)$ . Ее внутренняя связь:

*вертикальные направляющие стойки B  $\rightarrow$  шлифовальная бабка  $\Gamma(P_4)$ .*

Внешняя связь выполнена в виде механизма  $E$ , встроенного в станину  $A$ , и содержит две ветви – автоматической и ручной подачи.

Автоматическая ветвь имеет вид:

*шаговый электродвигатель  $M_3 \rightarrow 34/100 \rightarrow$  муфта  $M_2$  включена вправо  $\rightarrow$   
электромагнитная муфта  $M_3 \rightarrow 1/30 \rightarrow TB$  (передача винт XII–гайка)  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  шлифовальная бабка ( $P_4$ ).*

Ручная ветвь имеет вид:

*(лимб 5  $\rightarrow 1/100$ ) или (маховик 6)  $\rightarrow$  муфта  $M_2$  включена влево  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  электромагнитная муфта  $M_3 \rightarrow 1/30 \rightarrow$   
 $\rightarrow TB$  (передача винт XII–гайка)  $\rightarrow$  шлифовальная бабка ( $P_4$ ).*

Группа настраивается: на скорость и направление – изменением круговой частоты и реверсом регулируемого шагового электродвигателя  $M_3$ ; на путь и исходное положение – по упорам бесконтактных путевых переключателей. Подача шлифовальной бабки осуществляется в момент реверса продольного или поперечного стола и обеспечивается электроавтоматикой системы управления. Тонкую ручную подачу получают при вращении лимба 5, а грубую – при вращении маховика 6. Выбор режима ручной подачи осуществляется рукоятками.

В структуре станка предусмотрена также группа  $Bc(P_5)$  ускоренного установочного перемещения шлифовальной бабки. Ее внутренняя связь

совпадает с внутренней связью группы вертикальной подачи  $\Phi_{s3}(П_4)$ , а внешняя связь имеет вид:

$M_4 \rightarrow 140/90 \rightarrow 1/30$  (муфта  $M_3$  выключена)  $\rightarrow$   
 $\rightarrow TB$  (передача винт XII–гайка)  $\rightarrow$  шлифовальная бабка ( $П_4$ ).

Скорость установочных перемещений

$$s_{уст.} = 1500 \cdot \frac{140}{90} \cdot \frac{1}{30} \cdot 6 = 0,47 \text{ м/мин.}$$

В настоящее время рассмотренный станок выпускается также в модификации 3Е711ВФ1 с предварительным набором координат.

### 13.4 Бесцентрово-шлифовальные станки

#### 13.4.1 Общие сведения о бесцентровом шлифовании

В крупносерийном и массовом производстве целесообразно применение круглого бесцентрового шлифования. Такое шлифование по сравнению с обработкой в центрах и патронах имеет ряд преимуществ: снижение вспомогательного времени, связанного с установкой, выверкой и снятием детали; уменьшение припуска на шлифование в связи с тем, что базирование детали происходит по обрабатываемой поверхности и погрешности геометрической формы распределяются симметрично по диаметру. При бесцентровом шлифовании можно применять повышенные режимы резания, т.к. деталь не прогибается под действием сил резания. Возможно бесцентровое круглое шлифование (рисунок 13.10) с продольной подачей и с подачей врезания.

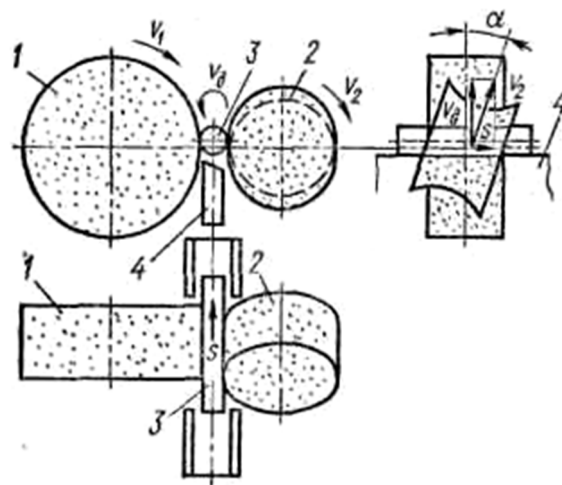


Рисунок 13.10. – Схема бесцентрового шлифования

Шлифование с продольной подачей применяют при обработке гладких цилиндрических деталей или цилиндрических участков наибольшего диаметра. Ведущий круг устанавливают под углом  $\alpha = 1,5\text{--}6,0^\circ$  при черновом и  $\alpha = 0,5\text{--}1,5^\circ$  при чистовом шлифовании. При этом скорость круговой подачи

$$v_\partial = v_2 \cdot \sin \alpha \text{ мм/мин.}$$

Продольная подача

$$s = v_2 \cdot \cos \alpha \text{ мм/мин.}$$

Для обеспечения цилиндричности ось шлифуемой детали  $Z$  должна быть выше оси центров ведущего и шлифовального кругов примерно на  $0,15\text{--}0,25$  диаметра заготовки. А для обеспечения линейного контакта кругов со шлифуемой поверхностью ведущему кругу придают форму однополостного гиперboloида.

При шлифовании скорость резания составляет обычно  $35\text{--}50$  м/с и является суммой скоростей  $v_1$  и  $v_2$ .

Шлифование с подачей врезания применяют для обработки коротких, ступенчатых или фасонных заготовок. При этом принимают угол  $\alpha = 0$  (иногда  $\alpha \leq 1$  для прижима заготовки к ножу). Поэтому заготовка только вращается, а ведущий или шлифуемый круг получает поперечную подачу в направлении, перпендикулярном оси обрабатываемой заготовки. При шлифовании цилиндрических поверхностей ведущий круг имеет цилиндрическую форму. А при шлифовании конических или фасонных поверхностей обоим кругам придают соответствующую форму рабочей поверхности.

На рисунке 13.11 приведена типовая компоновка бесцентрово-шлифовального станка.

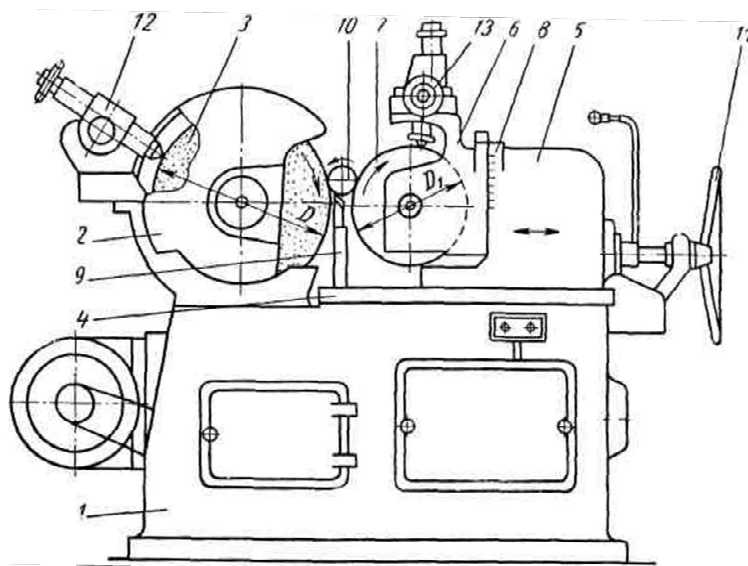


Рисунок 13.11. – Компоновка бесцентрово-шлифовального станка

На станине 1 слева установлена бабка 2, несущая шпиндель шлифовального круга 3, справа – плита 4. В продольных направляющих плиты смонтирована бабка 5 с поворотной головкой 6 и ведущим кругом 7, который можно поворачивать вокруг горизонтальной оси на требуемый угол по шкале 8. На плите 4 закреплена также направляющая 9, являющаяся опорой для шлифуемой детали. Установка бабки ведущего круга на размер шлифуемой поверхности, а также компенсация износа шлифовального круга производится перемещением плиты 4 по направляющим станины посредством маховика 11. Для периодической правки кругов предназначены специальные устройства 12 и 13.

### 13.4.2 Бесцентрово-шлифовальный станок модели 3М182

Предназначен для шлифования гладких, ступенчатых и разнообразных фасонных поверхностей типа тел вращения. Область использования – крупносерийное производство.

*Техническая характеристика.* Диаметр шлифуемых деталей 0,8–25 мм; максимальная длина при продольном шлифовании 170 мм, при врезном – 95 мм. Размеры шлифовального круга 350x100 мм, ведущего круга 250x100 мм. Круговая частота вращения ведущего круга 17–150 мин<sup>-1</sup>.

Кинематическая структура станка (рисунок 13.12) состоит из двух частных структур, соответствующих рассмотренным схемам продольного и врезного шлифования, объединенных общим корпусом.

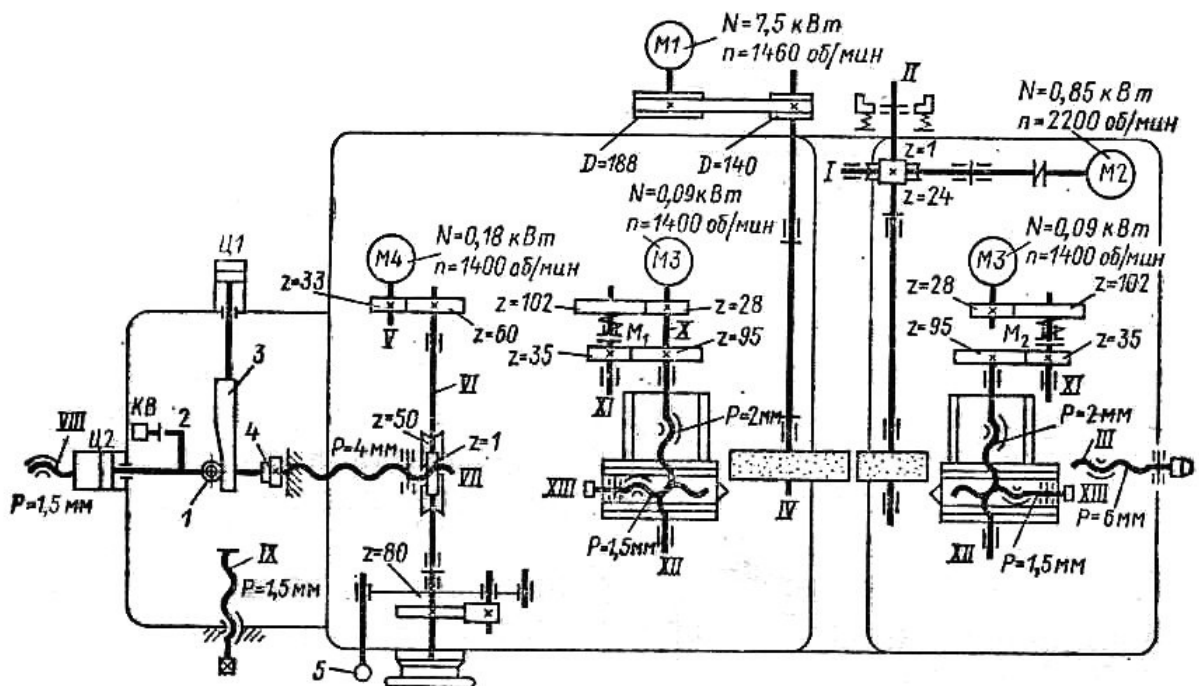


Рисунок 13.12. – Кинематическая схема бесцентрово-шлифовального станка модели 3М182

Кинематическая структура продольного шлифования включает формообразующие группы скорости резания (вращения шлифовального круга)  $\Phi_v(B_1)$ , круговой  $\Phi_{s1}(B_2)$  и продольной  $\Phi_{s2}(P_3)$  подачи.

Группа скорости резания  $\Phi_v(B_1)$ . Ее внутренняя связь:

*подшипниковые опоры бабки → шпиндель шлифовального круга IV.*

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow 188/140 \rightarrow$  *шпиндель шлифовального круга IV ( $B_1$ ).*

Шпиндель шлифовального круга установлен на гидродинамических подшипниках скольжения с тремя самоустанавливающимися вкладышами. Смазка подшипников осуществляется от отдельной насосной установки.

При постоянной круговой частоте вращения электродвигателя  $M_1$  круговая частота шпинделя шлифовального круга:

$$n_k = 1460 \cdot 188/140 = 1960 \text{ мин}^{-1}.$$

Таким образом, параметр скорость резания зависит только от диаметра шлифовального круга и, в меньшей степени, от диаметра шлифуемой поверхности.

Особенностью бесцентрового шлифования является базирование детали по обрабатываемой поверхности. Причем шлифуемая деталь является исполнительным звеном группы круговой подачи  $\Phi_{s1}(B_2)$  и группы продольной подачи  $\Phi_{s2}(P_3)$ . Формообразующие движения  $B_2$  и  $P_3$ , воспроизводимые данными группами, осуществляются одновременно (параллельно), а настраиваемый параметр «скорость» обоих движений зависит от одних и тех же характеристик: диаметра ведущего круга и угла его установки относительно оси детали. Приведенное обстоятельство является основанием формального объединения рассматриваемых групп в одну. Условно объединенную группу можно представить в виде  $\Phi_s(B_2)U(P_3)$ , где символ U обозначает объединение групп (исполнительных движений).

Внутренняя связь объединенной группы  $\Phi_s(B_2)U(P_3)$ :

*рабочие поверхности ведущего и шлифовального кругов →  
→ шлифуемая деталь ( $B_2U P_3$ ).*

Внешняя связь:

$M_2$  (регулируемый, постоянного тока)  $\rightarrow 1/24 \rightarrow$   
 $\rightarrow$  *шпиндель ведущего круга  $\rightarrow$  ведущий круг  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  *шлифуемая деталь ( $B_2U P_3$ ).**

Группа настраивается: на скорость (круговую и продольную подачи) – изменением круговой частоты электродвигателя и изменением угла установки ведущего круга; на исходное положение и путь – по упорам.

Подшипники шпинделя ведущего круга гидродинамические и смазываются маслом большей вязкости, что обеспечивает большую жесткость шпиндельного узла.

При настройке группы винт *VIII* заворачивается до отказа, в результате чего шток жестко прижимается к упору.

Кинематическая структура шлифования с врезной подачей включает группу скорости резания (вращения шлифовального круга)  $\Phi_v(B_1)$ , группу круговой подачи (вращения делали)  $\Phi_{s1}(B_2)$  и группу врезания  $Vp_s(\Pi_4)$ .

Группы скорости резания  $\Phi_v(B_1)$  и круговой подачи  $\Phi_{s1}(B_2)$  рассмотрены при обсуждении частной кинематической структуры станка при продольном шлифовании. Группа круговой подачи  $\Phi_{s1}(B_2)$  отличается от одноименной группы рассмотренной частной структуры установкой оси ведущего круга параллельно оси шлифовального круга. При этом группа  $\Phi_{s1}(B_2)$  настраивается только на один параметр – скорость (круговую подачу) – изменением круговой частоты электродвигателя *M2*.

Группа врезания  $Vp_s(\Pi_4)$ . Внутренняя связь:

*направляющие качения станины* → *шлифовальная бабка* ( $\Pi_4$ ).

Внешняя связь:

*Ц1* → *клин 3* → *TB* (*винт VII подачи врезания*) → *шлифовальная бабка* ( $\Pi_4$ ).

Группа настраивается: на скорость – углом клина и скоростью его перемещения; на исходное положение и путь – винтом *VIII* по лимбу (упору).

В данной группе предусмотрен также ускоренный подвод шлифовальной бабки с помощью цилиндра *Ц2*. Конструктивно шток этого цилиндра является продолжением винта *VII* подачи врезания. В нем выполнен паз, через который проходит клин *3*, закрепленный на штоке цилиндра *Ц1*. Клин *3* со скоростью, заданной регулируемым дросселем гидросистемы, подводит шток – винт подачи на упор *4*. Движение врезания прекращается и происходит выхаживание на упоре *4*. Время выхаживания задается посредством реле времени системы управления. По сигналу реле цилиндры *Ц1* и *Ц2* отводятся в исходное положение, и нажатием винта *2* на конечный выключатель *KB* дается команда на выталкивание детали.

В группе врезания предусмотрены также две дополнительные внешние связи: одна – для ручной толчковой (прерывистой) подачи врезания, а другая – для быстрого перемещения шлифовальной бабки. Первая связь имеет вид:

*рычаг 5* → *собачка храпового механизма* → *храповое колесо 80* → *1/50* →  
→ *TB* (*гайка – винт VII*) → *шлифовальная бабка* ( $\Pi_4$ ).

Вторая связь:

$M_4 \rightarrow 33/60 \rightarrow 1/50 \rightarrow ТВ (гайка - винт VII) \rightarrow$  шлифовальная бабка ( $П_4$ ).

Структура станка включает также две одинаковые вспомогательные группы  $Вс(П_5)$ , предназначенные для правки шлифовального и ведущего кругов. Внутренняя связь групп:

*продольные направляющие качения каретки*  $\rightarrow$  суппорт ( $П_5$ ).

Внешняя связь:

$M_3$  (регулируемый, постоянного тока)  $\rightarrow 28/102 \rightarrow 35/95 \rightarrow$   
 $\rightarrow ТВ XII \rightarrow$  суппорт ( $П_5$ ).

Группы настраиваются: на скорость и направление – изменением круговой частоты и реверсированием электродвигателя; на путь и исходное положение – упорами системы управления. Муфты  $M_1$  и  $M_2$  – предохранительные. Предусмотрена также ручная периодическая подача врезания – рукояткой винта  $XIII$ .

## 13.5 Хонинговальные станки

### 13.5.1 Общие сведения о процессе хонингования

Шероховатость поверхности существенно влияет на важнейшие эксплуатационные свойства деталей: износостойкость, усталостную прочность, потери на трение, сопротивление коррозии. Поэтому для обработки поверхностей с целью минимизации высокого класса чистоты обработки  $Ra$  применяют доводочные процессы обработки: хонингование, суперфиниширование, притирку.

*Хонингование* в основном применяется для обработки цилиндрических отверстий. Сущность процесса заключается в том, что специальный инструмент – хонинговальная головка (хон) – совершает одновременно два формообразующих движения: вращательное и поступательно-возвратное в неподвижной детали.

На рисунке 13.13 представлен простейший хон.

В его корпусе равномерно по радиусу расположены продольные пазы, в которых размещены колодки с закрепленными на них абразивными или алмазными брусками 4. Бруски получают радиальное перемещение врезания при помощи конусов 2 и 5, насаженных на стержень 3 с резьбой. При хонинговании стержень 3 после каждого двойного хода хона поворачивается и сближает конусы 2 и 5, которые посредством пальцев 1 раздвигают бруски. При хонинговании бруски хона направляются предварительно обработанной поверхностью. Хон с помощью специальных шарниров самоустанавливается в хонингуемом отверстии. Поэтому точность хонингования мало зависит от точности станка.



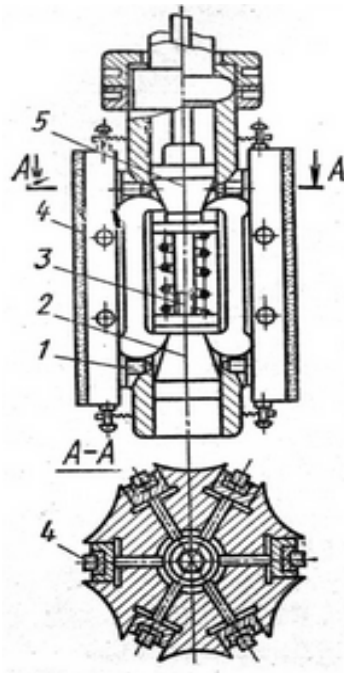


Рисунок 13.13. – Хон

Применение брусков тонкой зернистости и сложный характер их движения относительно обрабатываемой поверхности позволяет получать не только высокий класс чистоты поверхности ( $Ra = 0,16-0,04$  мкм), но и исправлять небольшие неточности формы поверхности, обеспечивая отклонение от цилиндричности 3–5 мкм. При хонинговании применяется охлаждающая жидкость – керосин или водно-мыльные эмульсии.

Выпускают хонинговальные станки универсальные и специальные в горизонтальной, вертикальной и наклонной компоновках. На них хонингуют детали диаметром 30–1000 мм и длиной до 30 м.

На рисунке 13.14 представлена типовая компоновка универсального вертикального хонинговального станка. На основании 1 закреплена колонна 2, на вертикальных направляющих которой перемещается каретка 4, несущая шпиндель станка.

Шпиндель получает вращение от электродвигателя 3 через коробку скоростей. Привод поступательно-возвратного движения каретки 4 осуществляется посредством гидропривода.

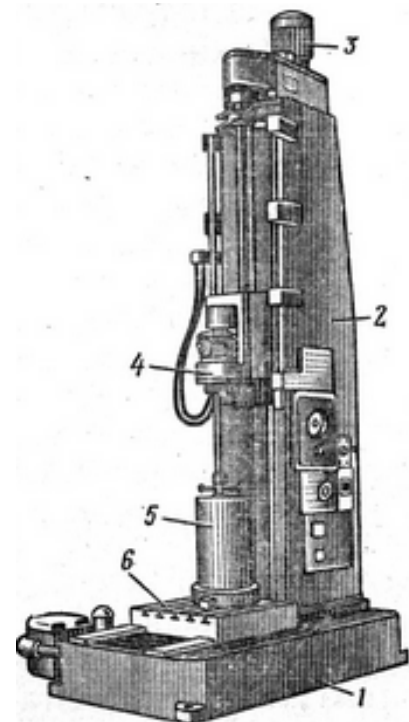


Рисунок 13.14. – Внешний вид хонинговального станка

На основании 1, установлен стол 6, несущий приспособление 5 для закрепления шевингуемых заготовок. Стол смонтирован с возможностью установочного движения в двух направлениях для совмещения осей обрабатываемого отверстия и хонинговальной головки. В колонне размещены приводы кинематических групп исполнительных механизмов станка.

### 13.5.2. Хонинговальный станок модели ЗГ833

Предназначен для обработки (хонингования) цилиндрических отверстий в условиях единичного и мелкосерийного производства.

*Техническая характеристика.* Пределы диаметров хонингуемых отверстий 67–145 мм; длина хода шпинделя 150–450 мм. Частота вращения шпинделя 155–450 мин<sup>-1</sup>. Движения радиального врезания после каждого двойного хода хона осуществляется вручную маховиком.

Кинематическая структура станка (рисунок 13.15) содержит формообразующие группы: скорости резания (вращательное движение шпинделя хона)  $\Phi_v(B_1)$  и продольной подачи (поступательно-возвратное движение шпинделя хона)  $\Phi_s(\Pi_2)$ , а также ручную группу врезания (радиальное перемещение брусков хона)  $Vp(\Pi_3)$ .

Группа скорости резания  $\Phi_v(B_1)$ . Ее внутренняя связь:

*подшипниковые опоры ползуна → шпиндель хона ( $B_1$ ).*

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow d_1/d_2 \rightarrow 45/18 \rightarrow 35/47 \rightarrow 47/19 \rightarrow$  шпиндель 8 хона ( $B_1$ ).

Группа настраивается на один параметр – скорость (резания) – сменными шкивами  $d_1/d_2$  (орган настройки  $i_v$ ).

Орган настройки  $i_v$ . Расчетная цепь совпадает с внешней связью. Поэтому РП:

$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{ш} \text{ мин}^{-1}$  шпинделя хона.

Тогда УКЦ:

$$n_{ш} = 1430 \cdot \left(i_v = \frac{d_1}{d_2}\right) \cdot \frac{18}{45} \cdot \frac{35}{47} \cdot \frac{47}{19}.$$

Откуда ФН:

$$(i_v = d_1/d_2) = n_{ш}/1000.$$

Группа продольной подачи  $\Phi_s(\Pi_2)$ . Ее внутренняя связь:

*вертикальные направляющие → ползун( $\Pi_2$ ).*

Внешняя связь:

$M_2 \rightarrow d_1/d_1 \rightarrow 18/45$  (реверс  $M_1$  или  $M_2$ )  $\rightarrow 22/53 \rightarrow$   
 $\rightarrow$  ТВ (зубчато-реечная передача,  $t = \pi 3 17$ )  $\rightarrow$  ползун ( $\Pi_2$ ).

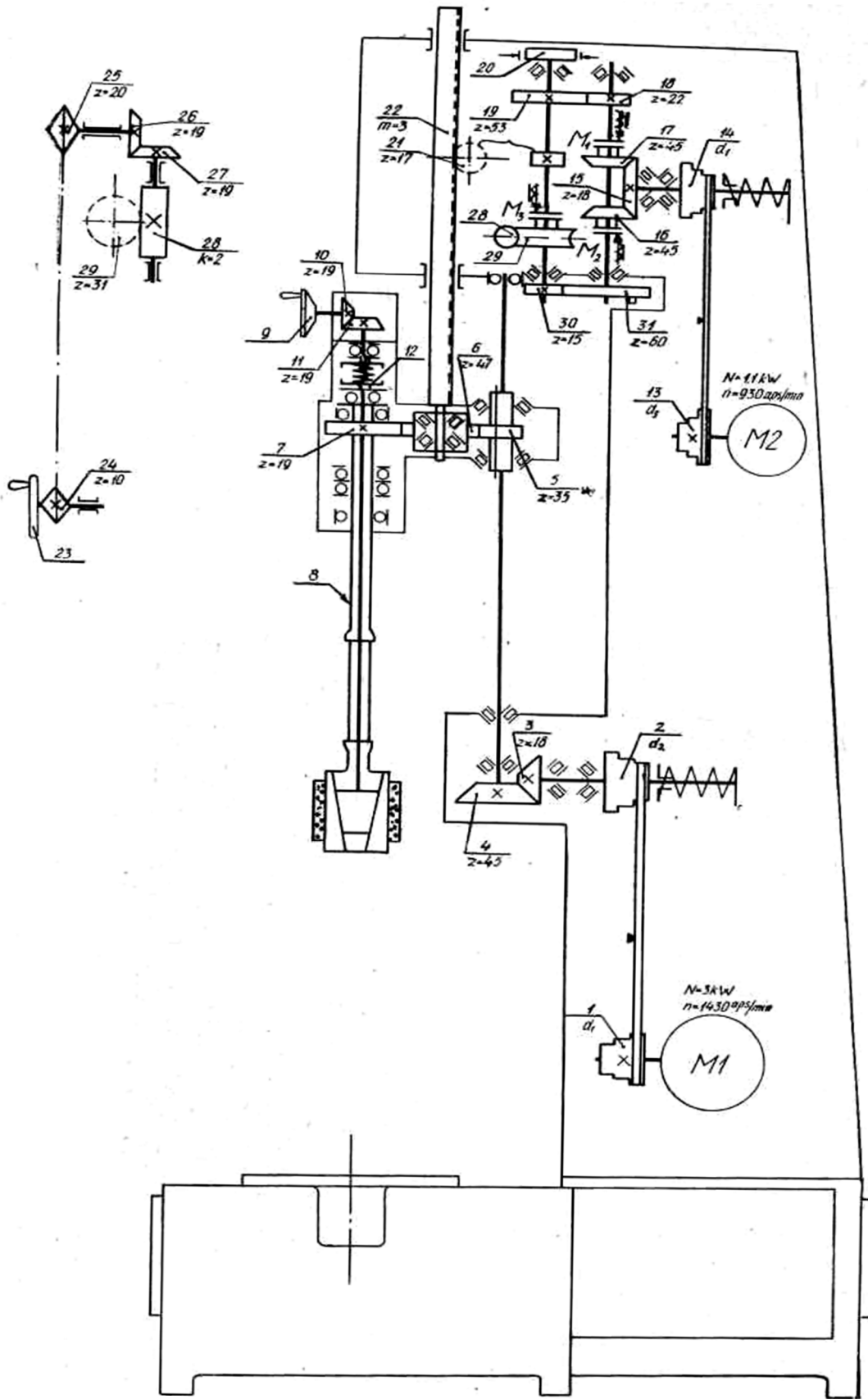


Рисунок 13.15. – Кинематическая схема хонинговального станка модели 3Г833

Группа настраивается: на скорость (продольное поступательно-возвратное движение) – сменными шкивами  $d_1/d_1$  (орган настройки  $i_s$ ); на путь и исходное положение – электромеханическими упорами, поочередно включающими электромагнитные муфты  $M_1$  и  $M_2$ .

Орган настройки  $i_s$ . Расчетная цепь совпадает с внешней связью. Поэтому РП:

$$n_{M2} \text{ мин}^{-1} \rightarrow s \text{ мм/мин ползуна.}$$

Тогда УКЦ:

$$s = 930 \cdot \left(i_s = \frac{d_1}{d_1}\right) \cdot \frac{18}{45} \cdot \frac{22}{53} \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 17.$$

Откуда ФН:

$$i_s = s/2400.$$

В группе продольной подачи предусмотрена дополнительная внешняя связь, предназначенная для ручного перемещения ползуна при наладке станка. Эта связь имеет вид:

$$\begin{aligned} & \text{маховик } 23 \rightarrow 10/20 \rightarrow 19/19 \rightarrow 2/31 \rightarrow M_3 \rightarrow \\ & \rightarrow \text{ТВ (зубчато-реечная передача, } t = \pi \cdot 3 \cdot 17) \rightarrow \text{ползун (} \Pi_2). \end{aligned}$$

Ручное перемещение ползуна возможно только при выключенных муфтах  $M_1$  и  $M_2$  реверсивного механизма и включенной муфте  $M_3$ .

Группа периодического (дискретного) радиального врезания  $Bp(\Pi_3)$ . Радиальное движение врезания после каждого двойного хода инструмента осуществляется при повороте стержня 3 хона (см. рисунок 13.13). Этот стержень соединяется посредством специального шарнира со стержнем, расположенным в ползуне коаксиально шпинделю, и является его продолжением. Поворот стержня осуществляется маховиком 9 через зубчатую передачу 19/19. Таким образом, хон выполняет функцию группы врезания. Величина врезания после каждого двойного хода задается по лимбу маховика 9, имеющего угловую градуировку. Величина дискретности врезания зависит от конструкции инструмента.

В средне- и крупносерийном производстве используют хонинговальные станки-полуавтоматы, например, модели 3М833. В этих станках внешняя связь групп продольной подачи и врезания выполнена на элементной базе станочного гидропривода.

При хонинговании скорость резания назначается по общим для резания правилам, т.е. по справочникам режимов резания. Затем определяется круговая частота вращения шпинделя хона по общеизвестной формуле

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

где  $d$  – диаметр хонинговальной головки (хона), мм.

Соотношение между скоростью резания и продольной подачей поступательно-возвратного движения определяет угол сетки шероховатости, наносимой режущими зернами на хонингуемую поверхность:

$$\operatorname{tg} \alpha = v/s,$$

где  $\alpha$  – угол сетки шероховатости поверхности;  
 $s$  – продольная подача, м/мин.

По этому выражению определяют продольную подачу. Затем определяют число двойных ходов хона как

$$n_1 = \frac{1000 \cdot v}{2 \cdot L_x}, \text{ мин}^{-1}$$

где  $n_1$  – число двойных ходов в мин;  
 $L_x = L_x = L_{нов.} + L_{бр.} + 2L_{пер.}$  – путь (длина) рабочего хода хона;  
 $L_{нов.}$  – длина хонингуемой поверхности;  
 $L_{бр.}$  – длина брусков хона;  
 $L_{пер.}$  – перебеги хона за торец хонингуемой поверхности.

Минимальная производительность хонингования обеспечивается на режимах обработки при условии  $v/s = 1$ , а минимальная шероховатость поверхности обеспечивается при условии  $v/s = 4-10$ .

Назначение припуска и качество обработки зависит от конечных требований к точности и шероховатости, а также от характера предварительной обработки. Для исключения погрешности формы хонингуемой поверхности припуск определяют по формуле

$$\delta = (\Delta_1 - \Delta_2) \kappa_1 + R_z + \kappa_2,$$

где  $\delta$  – припуск под хонингование, мм;  
 $\Delta_1$  – исходная величина отклонения от цилиндричности, мм;  
 $\Delta_2$  – отклонение от цилиндричности по чертежу, мм;  
 $\kappa_1$  – коэффициент, характеризующий возможное наложение погрешностей;  
 $R_z$  – высота неровностей поверхности до хонингования, мм;  
 $\kappa_2$  – коэффициент уменьшения шероховатости.

Для жестких деталей  $\kappa_1 = 1$ ; для нежестких деталей  $\kappa_1 = 1,5$ . При уменьшении шероховатости в 2–3 раза  $\kappa_2 = 1-1,5$ ; при уменьшении шероховатости в 4 и более раз  $\kappa_2 = 1,2-1,25$ .

### 13.6 Суперфиниширование

По характеру обработки процесс суперфиниширования близок к хонингованию с малыми припусками, но отличается от него большим количеством движений мелкозернистых брусков, более низкими скоростями

резания и меньшим давлением инструмента на обрабатываемую поверхность. Припуск при суперфинишировании минимальный от 0,002 до 0,02 мм.

Суперфиниширование используют для сверхчистой обработки (до  $Ra = 0,1$  мкм) наружных, внутренних и плоских поверхностей (рисунок 13.16). Сущность процесса заключается в том, что абразивные бруски совершают колебательное (осциллирующее) движение с большой частотой и малым ходом по поверхности детали. В результате микрогребешки на обрабатываемой поверхности срезаются и деталь получает более высокую чистоту поверхности. Процесс осуществляют при тех же охлаждающих жидкостях, что и хонингование.

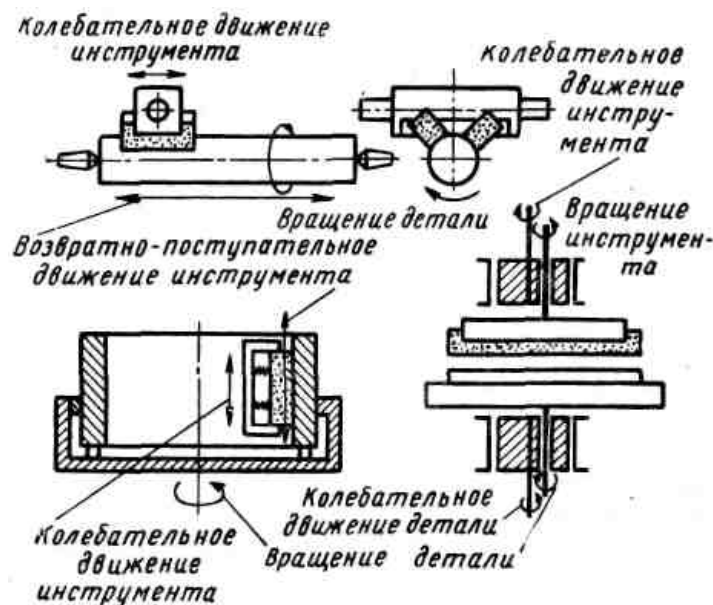


Рисунок 13.16. – Схемы движения инструмента и заготовки при суперфинишировании

На рисунке 13.17 приведена схема установки для одновременного суперфиниширования двух цилиндрических шеек вала. Установка состоит из следующих формообразующих групп:  $\Phi_v(B_1)$  скорости резания (вращение обрабатываемой детали 2),  $\Phi_{s1}(P_2)$  продольной подачи (поступательно-возвратное движение детали 2),  $\Phi_{s2}(P_3)$  осциллирующего движения детали 2 в направлении продольной подачи.

Группа  $\Phi_v(B_1)$ . Ее внутренняя связь:

*подшипниковые опоры трения скольжения корпуса 1 (аналог передней бабки токарного станка) → шпиндель 4 ( $B_1$ ).*

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow d_1/d_2 \rightarrow \text{шпиндель 4 } (B_1).$$

Группа настраивается на скорость органом настройки  $i_v = d_1/d_2$ .

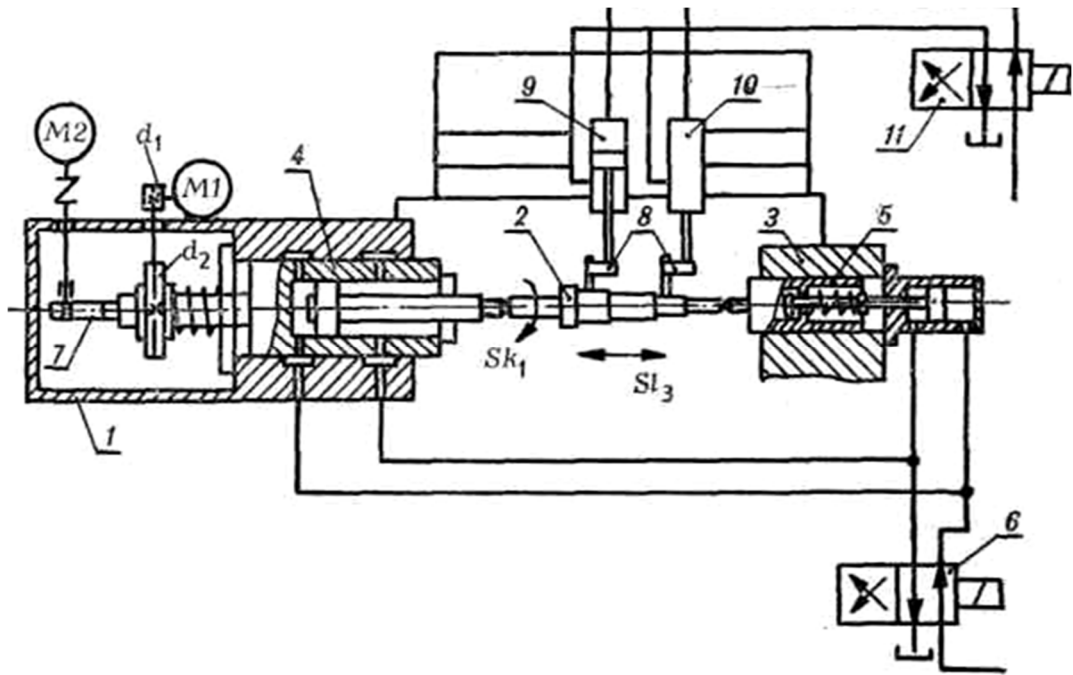


Рисунок 13.17. – Установка для суперфиниширования цилиндрических поверхностей

Шпиндель 4 конструктивно совмещен с гидроцилиндром, поршень которого несет передний центр. В корпусе задней бабки 3 смонтирована пиноль 5, несущая задний центр. Пружина, размещенная в пиноле 5, служит для постоянного силового замыкания детали 2 по линии центров при обработке. Таким образом, внутренняя связь группы  $\Phi_{s1}(II_2)$ :

*направляющие передней 1 и задней 3 бабок →  
→ шпиндель 4 U (обрабатываемая деталь 2 U пиноль 5),*

где символ U обозначает объединение шпинделя, детали, пиноли в единое целое.

Внешняя связь группы:

*гидроцилиндры шпинделя 4 и пиноли 5 →  
→ объединение шпинделя, детали, пиноли ( $II_2$ ).*

Группа настраивается: на скорость (подачу поступательно-возвратного движения) – регулируемые дросселями гидропанели; на путь и исходное положение – упорами, управляющими посредством поворотного золотника реверсивным золотником 6. Функционирование обоих гидроцилиндров осуществляется синхронно.

Группа  $\Phi_{s2}(II_3)$ . Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы  $\Phi_{s1}(II_2)$ . Внешняя имеет вид:

*$M_2$  (регулируемый) → эксцентрик 7 → шпиндель 2 ( $II_3$ ).*

Группа настраивается: на скорость (частоту осцилляции) – изменением круговой частоты электродвигателя; на путь (амплитуду осцилляции) – изменением эксцентриситета эксцентрика 7.

Усилие прижима инструментальных головок 8 осуществляется гидроцилиндрами 9 и 10, управляемыми реверсивным золотником 11.

Рассмотренная установка как и ее аналоги, по существу, является нестандартным оборудованием, создаваемым под конкретную деталь.

### 13.7 Притирка

Притирка – это доводка рабочих поверхностей деталей, выполняемая с помощью мелкозернистых абразивов, смешанных со смазкой и нанесенных на поверхность детали или инструмента, – притира, выполняемого из чугуна.

В качестве притирающего вещества используют абразивные порошки, алмазную пыль, карбид бора, карбид кремния, пасты из окиси хрома, окиси алюминия и др. Их растворяют в смазочных и связывающих веществах – бензине, керосине, минеральных и синтетических маслах. При притирке детали и инструменту сообщают несколько движений, чтобы траектории абразивных зерен не повторялись на обрабатываемой поверхности. Детали вкладывают в окна сепаратора 3, форма которых зависит от формы детали (рисунок 13.18). Сепаратор с деталями устанавливают с эксцентриситетом между притиром 1 и диском 2. Притир и диск вращаются вокруг общей оси в противоположные стороны с разными круговыми частотами. Сепаратору с осью сообщается горизонтальное поступательно-возвратное движение. В итоге возникающее сложное относительное движение обеспечивает высокое качество поверхности (до  $Ra = 0,02$  мкм).

Выпускаются притирочные станки универсального и специального назначения. В универсальных станках используют как планетарный привод, обеспечивающий вращательное движение сепаратора, так и эксцентриковый, обеспечивающий плоскопараллельное движение сепаратора. На рисунке 13.19 показана типовая компоновка универсального притирочного станка.

Базовым элементом станка является станина 1 коробчатой формы. В нижней части станины размещены кинематические группы приводов нижнего доводочного диска 2 и сепаратора 3. На верхней части стойки на подшипниках качения смонтирована поворотная консоль 4. В передней части консоли расположена пиноль 5, несущая шпиндель 6 верхнего доводочного диска 7, и пульт управления. В верхней части пиноли установлен динамометр 8, предназначенный для контроля усилия прижима доводочного круга. В стойке смонтирован дозатор периодической (0,4–2 мин) подачи в зону притирки абразивной суспензии. Для удобства эксплуатации станина, стойка и консоль снабжены крышками.



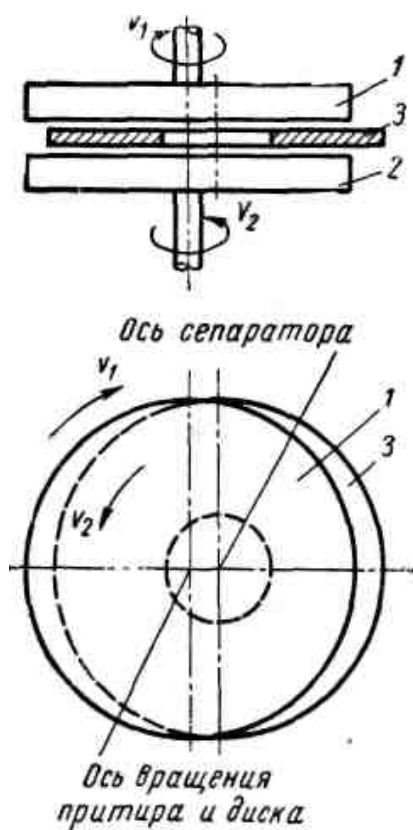


Рисунок 13.18. – Схема движений при притирке

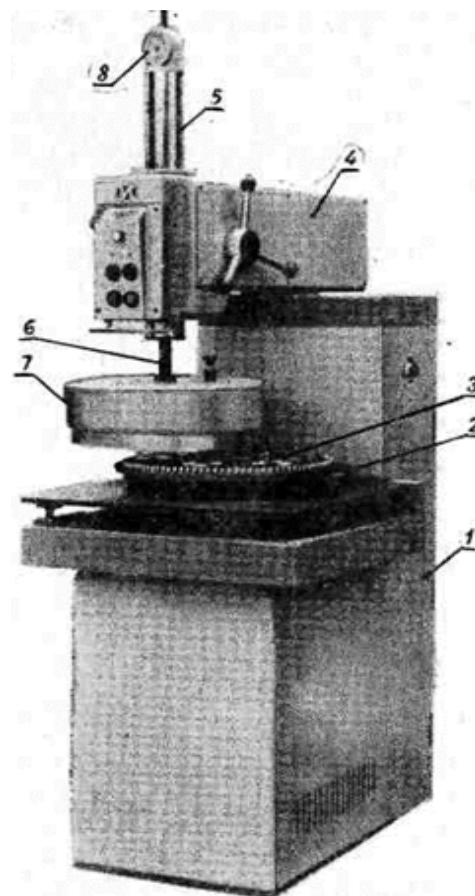


Рисунок 13.19. – Универсальный притирочный станок

### 13.7.1 Вертикальный притирочный станок модели ЗБ814

Предназначен для доводки деталей из стали, чугуна, бронзы, керамики, пластмасс и т.п. Доводку можно выполнять как с эксцентриковым, так и с планетарным приводом сепаратора.

*Техническая характеристика.* Диаметр притира (доводочного диска) 450 мм. Наибольшие размеры притираемых деталей: круглых – 115 мм; квадратных – 80 мм; цилиндрических – 50 мм. Усилие прижима верхнего притира 0–1600 Н. Точность обработки 0,0005–0,001 мм; шероховатость доведенной поверхности 0,02–0,08 мкм.

Кинематическая структура станка (рисунок 13.20) содержит следующие формообразующие кинематические группы: скорости резания (вращение нижнего притира)  $\Phi_v(B_1)$ ; вращения сепаратора  $\Phi_{s1}(B_2)$ , плоскопараллельного движения сепаратора  $\Phi_{s2}(П_3)$ . Все группы связаны между собой общим электродвигателем и частью кинематических передач. А группы подач  $\Phi_{s1}$  и  $\Phi_{s2}$  имеют общий исполнительный орган – сепаратор.

Группа скорости резания (главное движение)  $\Phi_v(B_1)$ . Ее внутренняя связь:

подшипниковые опоры станины →  
→ шпиндель VI планшайбы нижнего притира ( $B_1$ ).

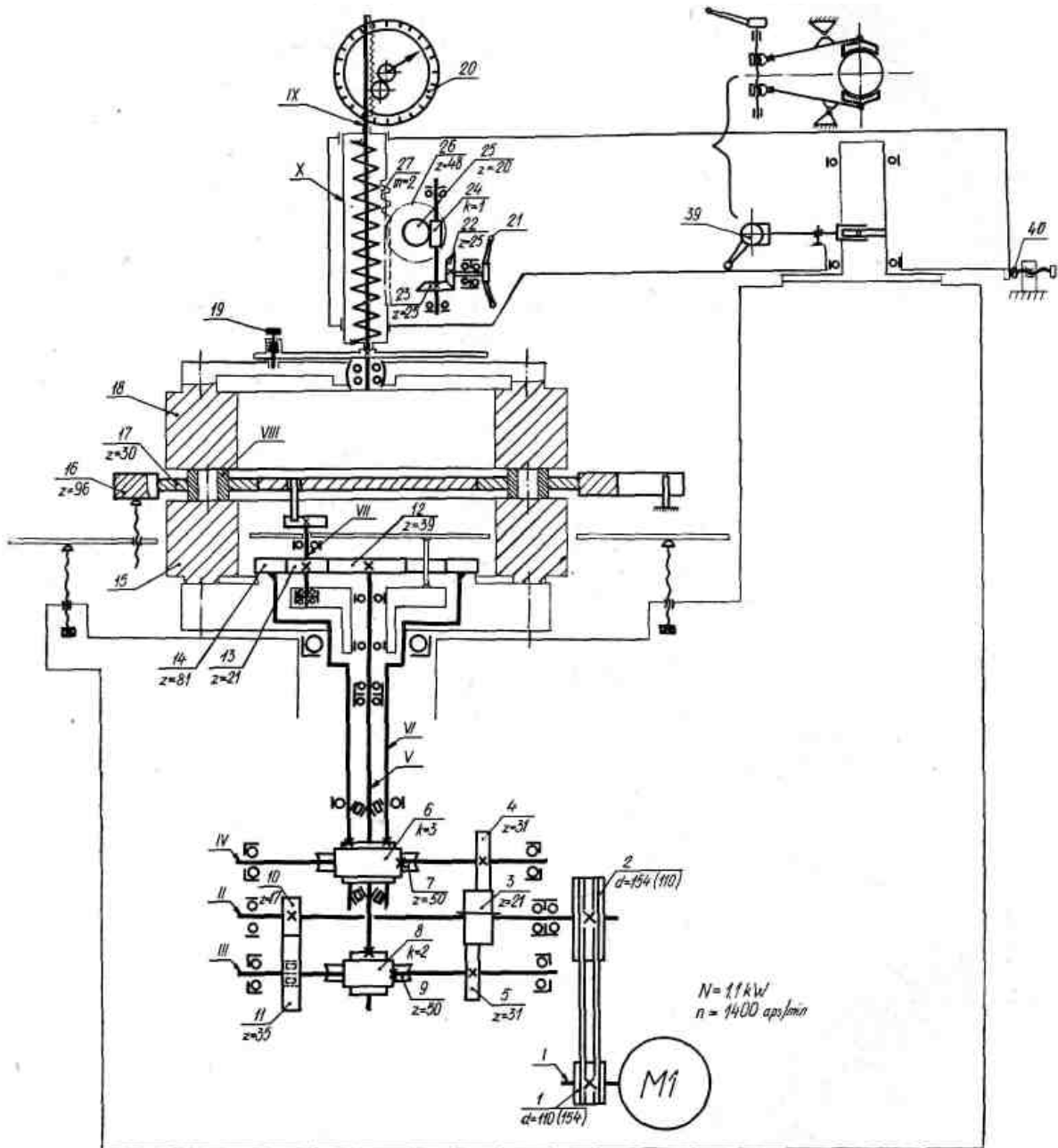


Рисунок 13.20. – Кинематическая схема универсального притирочного станка модели 3Б814

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow$  клиноременная передача 110/154  $\rightarrow$  21/31  $\rightarrow$  3/50  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  шпиндель VI планшайбы нижнего притира ( $B_1$ ).

Таким образом, планшайба имеет следующие два значения частоты вращения:

$$n_1 = 1430 \cdot \frac{110}{154} \cdot \frac{21}{31} \cdot \frac{3}{50} = 41,5 \text{ мин}^{-1}, \quad n_2 = 1430 \cdot \frac{154}{110} \cdot \frac{21}{31} \cdot \frac{3}{50} = 81 \text{ мин}^{-1}.$$

Группа вращения сепаратора  $\Phi_{s1}(B_2)$ . Ее внутренняя связь:

*рабочие поверхности нижнего 15 и верхнего 18 притиров  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  сепаратор притираемых деталей VIII ( $B_2$ ).*

Кинематической структурой предусмотрены три варианта внешних связи, объединенных общим электродвигателем  $M_1$  и общей клиноременной передачей, имеющей два значения передаточного отношения. Каждая внешняя связь обеспечивает два значения круговой частоты сепаратора.

Первая внешняя связь (вал IV отключен посредством смещения колеса 3 влево) имеет вид:

*$M_1 \rightarrow$  клиноременная передача (110/154 или 154/110)  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  21/31  $\rightarrow$  2/50  $\rightarrow$  вал V  $\rightarrow i_{1\Sigma} \rightarrow$  вал VII  $\rightarrow$  сепаратор ( $B_2$ ).*

Вторая внешняя связь (вал III отключен посредством смещения колеса 3 вправо):

*$M_1 \rightarrow$  клиноременная передача (110/154 или 154/110)  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  21/31  $\rightarrow$  3/50  $\rightarrow$  шпиндель VI  $\rightarrow i_{2\Sigma} \rightarrow$  вал VII  $\rightarrow$  сепаратор ( $B_2$ ).*

Третья внешняя связь (валы III и IV включены посредством смещения колеса 3 в среднее положение):

*$M_1 \rightarrow$  клиноременная передача (110/154 или 154/110)  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  [(21/31  $\rightarrow$  2/50  $\rightarrow$  вал V  $\rightarrow i_{1\Sigma}$ ) – (21/31  $\rightarrow$  3/50  $\rightarrow$  шпиндель VI  $\rightarrow i_{2\Sigma}$ )]  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  вал VII  $\rightarrow$  сепаратор ( $B_2$ ).*

На валу VII, смонтированном на торце водила планетарного механизма, устанавливается сменный эксцентрик, палец которого сопрягается с отверстием центрального колеса сепаратора. Диапазон эксцентриситетов сменных эксцентриков равен 0–20 мм. В результате при нулевом эксцентриситете сепаратору сообщается вращательное движение, а при ином значении – плоскопараллельное движение с амплитудой, равной значению эксцентриситета.

Рассмотренные варианты внешних связей и расчетные цепи для вывода ФН совпадают. Следовательно, РП имеют вид:

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_c \text{ мин}^{-1}(B_2).$$

УКЦ для первого варианта внешней связи:

$$n_c = 1430 \cdot \left( \frac{110}{154} \text{ или } \frac{154}{110} \right) \cdot \frac{21}{31} \cdot \frac{2}{50} \cdot \left( i_{1\Sigma} = \frac{39}{39+81} \right).$$

Откуда

$$n_{c1} = 9 \text{ мин}^{-1}; n_{c2} = 18 \text{ мин}^{-1}.$$

УКЦ для второго варианта внешней связи:

$$n_c = 1430 \cdot \left( \frac{110}{154} \text{ или } \frac{154}{110} \right) \cdot \frac{21}{31} \cdot \frac{3}{50} \cdot \left( i_{1\Sigma} = \frac{81}{39+81} \right).$$

Откуда

$$n_{c3} = 28 \text{ мин}^{-1}; n_{c4} = 54 \text{ мин}^{-1}.$$

Вычитая из значений  $n_{c3}$  и  $n_{c4}$  значения  $n_{c1}$  и  $n_{c2}$  соответственно, получим еще два значения частоты вращения сепаратора по третьему варианту внешней связи:

$$n_{c5} = 17 \text{ мин}^{-1}; n_{c6} = 36 \text{ мин}^{-1}.$$

Для обеспечения усилия прижима в структуре станка предусмотрена ненастраиваемая, вспомогательная группа  $Vc(P_3)$ . Ее внутренняя связь:

*направляющие консоли* → *пиноль X (P<sub>3</sub>)*.

Внешняя связь:

*маховик 21* → *25/45* → *1/20* → (*ТВ, шаг π т z*) → *пиноль X (P<sub>3</sub>)*.

В пиноле  $X$  размещена зубчатая штанга  $IX$  динамометра  $20$ , посредством которого устанавливают усилие прижима притираемых деталей к верхнему  $15$  и нижнему  $18$  притирам.

## Глава 14

### СТАНКИ СТРОГАЛЬНО-ПРОТЯЖНОЙ ГРУППЫ

К данной группе относят станки, имеющие прямолинейное движение резания независимо от того, каким инструментом они работают: резцами (строгальные и долбежные станки) или протяжками и прошивками (протяжные станки). В строгальных и долбежных станках движение подачи осуществляется резцом или заготовкой. Эти станки предназначены для обработки линейчатых поверхностей, описанных прямой, перемещающейся по направляющей. Относительное перемещение заготовки и инструмента по направляющей обеспечивается движением подачи, а по образующей – движением резания. В протяжных станках движение подачи заложено в конструкцию протяжки, в которой каждый последующий режущий зуб выступает над предыдущим.

#### 14.1 Строгальные станки

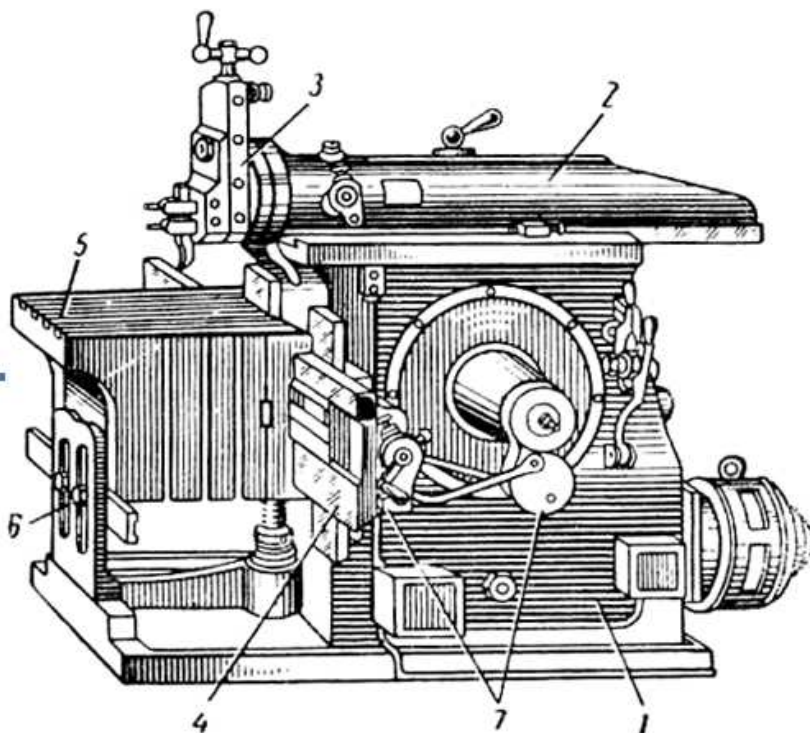
Различают поперечно-строгальные, продольно-строгальные и долбежные станки. Движение резания в поперечно- и продольно-строгальных станках всегда горизонтальное, в долбежных – всегда вертикальное.

Поперечно-строгальные и долбежные станки применяют в единичном и серийном производстве для обработки небольших по размерам заготовок. Продольно-строгальные станки используют в серийном производстве для обработки крупногабаритных деталей, например, станин металлорежущих станков, или для одновременного строгания нескольких заготовок среднего размера. На этих станках возможно одновременное строгание несколькими резцами с разных суппортов.

На рисунке 14.1 показан общий вид поперечно-строгального станка. В верхних направляющих станины 1 смонтирован ползун 2, совершающий при строгании поступательно-возвратное движение резания. На левом конце ползуна установлен суппорт 3, состоящий из поворотного диска и салазок, периодически получающих вертикальную подачу от передачи винт-гайка при ручном повороте винта посредством маховика. На салазках смонтирована резцовая каретка с откидной планкой и резцедержателем. На вертикальных направляющих станины находится поперечина 4, на которой в горизонтальной плоскости перемещается стол 5 (движение подачи). На верхнюю плоскость стола 5 помещают заготовки или тиски и закрепляют их с помощью болтов, устанавливаемых в Т-образные пазы стола.

Характерным размером поперечно-строгальных станков является длина хода ползуна, которая составляет 200–2400 мм. Поступательно-

возвратное движение ползуна осуществляется посредством кулисного механизма, являющегося конечным звеном внешней связи группы скорости резания. А в станках с длиной хода 700–1000 мм это движение гидрофицировано.



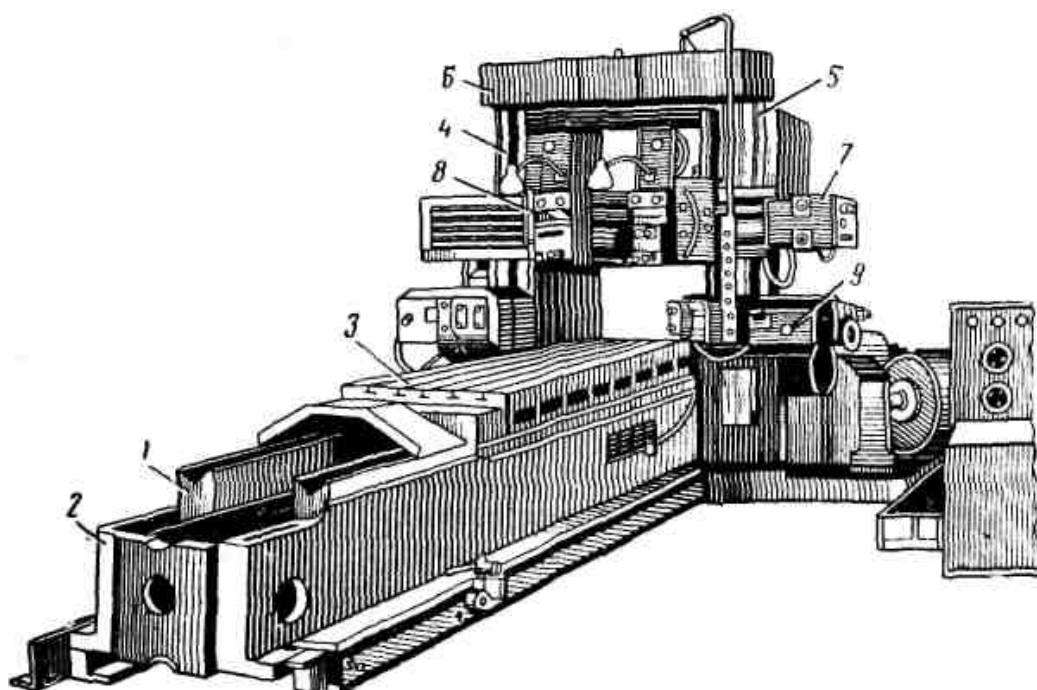
**Рисунок 14.1. – Поперечно-строгальный станок**

Плоскости обрабатывают следующим образом. Стол 5 вместе с поперечиной устанавливают на определенной высоте в зависимости от вертикального размера заготовки. Для большей жесткости стол дополнительно закрепляют в стойке 6. Процесс строгания происходит при движении ползуна влево. По окончании рабочего хода ползун возвращается вправо, совершая ускоренный холостой ход, в конце которого механизм 7 осуществляет периодическую подачу стола вдоль направляющих поперечины. При отрезных операциях или при обработке вертикальных плоскостей периодическую подачу сообщают вручную суппорту 3.

Размерной характеристикой продольно-строгальных станков являются наибольшие размеры обрабатываемых деталей (ширина  $\times$  длина  $\times$  высота). Выпускают станки от 630 $\times$ 2000 $\times$ 550 до 5000 $\times$ 12500 $\times$ 4500 мм. У этих станков подвижной частью является стол с закрепленной на нем заготовкой. Различают одностоечные и двухстоечные станки.

В двухстоечном продольно-строгальном станке (рисунок 14.2) на направляющих 1 станины 2 размещен стол 3, на котором закрепляют обрабатываемые заготовки. На двух стойках 4 и 5, скрепленных для жесткости

балкой 6, установлена траверса, несущая два суппорта 8. В направляющих правого портала может иметь вертикальные перемещение боковой суппорт. В коробке 10 расположен привод группы скорости резания, а в коробках 7 и 9 – приводы групп подач вертикальных и бокового суппортов. При строгании стол совершает поступательно-возвратное движение скорости резания. В конце рабочего хода осуществляется периодическая поперечная подача верхних суппортов 8 в горизонтальном, а боковых суппортов 9 – в вертикальном направлении. Таким образом, резцы, установленные в резцедержателях суппортов 8, обрабатывают горизонтальные плоскости, а резцы, установленные в резцедержателях суппортов 9, – боковые поверхности.



**Рисунок 14.2. – Продольно-строгальный станок**

Строгание отличается от фрезерования существенно меньшей производительностью и качеством обработки. Поэтому строгальные станки в настоящее время практически не выпускаются.

## **14.2 Долбежные станки**

Предназначены для наружного и внутреннего долбления плоских и фасонных поверхностей, вырезов, канавок, а также долбления с поднутрением до  $10^\circ$ . Характерными размерами долбежных станков являются ход ползуна (100–1600 мм) и диаметр стола (240–1600 мм).

На рисунке 14.3 приведена типовая компоновка долбежного станка. В станине 1 долбежного станка расположены механизмы кинематических групп станка. По вертикальным направляющим станины перемещается

ползун 2, несущий резцедержатель 3. При движении ползуна вниз осуществляется рабочий ход, а при его движении вверх – холостой ход. Обрабатываемые детали устанавливают на столе 4, перемещающемся по горизонтальным направляющим 5.

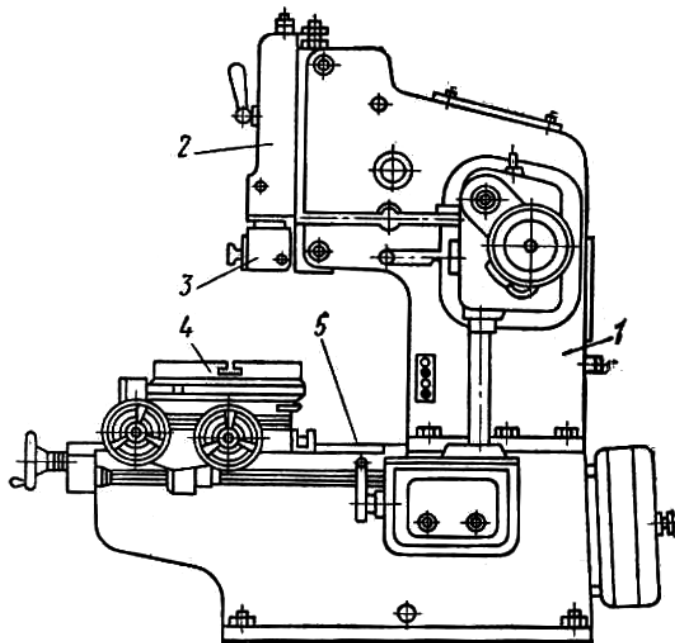


Рисунок 14.3. – Типовая компоновка долбежных станков

В современных конструкциях долбежных станков предусмотрено также поперечное и вращательное движение стола.

#### 14.2.1 Долбежный станок модели 7Д430

Предназначен для выполнения всех видов работ характерных для долбежных станков.

*Техническая характеристика.* Наибольший ход долбяка 320 мм; диаметр рабочей поверхности стола 630 мм; диапазон скоростей долбяка 3–38 м/мин; диапазон подач стола за двойной ход долбяка: продольных и поперечных 0,1–2,5 мм; круговых 0,1–1,4 мм.

Кинематическая структура станка (рисунок 14.4) содержит следующие формообразующие группы: скорости резания  $\Phi_v(P_1)$ , продольной подачи  $\Phi_{s1}(P_2)$ , поперечной подачи  $\Phi_{s2}(P_3)$ , круговой подачи  $\Phi_{s3}(B_4)$ .

Группа скорости резания  $\Phi_v(P_1)$  воспроизводит поступательно-возвратное движение ползуна  $B$ , несущего долбяка. Ее внутренняя связь:

*вертикальные направляющие станины  $\Gamma \rightarrow$  ползун  $B$  долбяка ( $P_1$ ).*

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow$  *сдвоенный лопастной насос  $\rightarrow$  гидрпанель  $D \rightarrow$   
 $\rightarrow$  гидроцилиндр  $Ц1 \rightarrow$  ползун  $B$  долбяка ( $P_1$ ).*



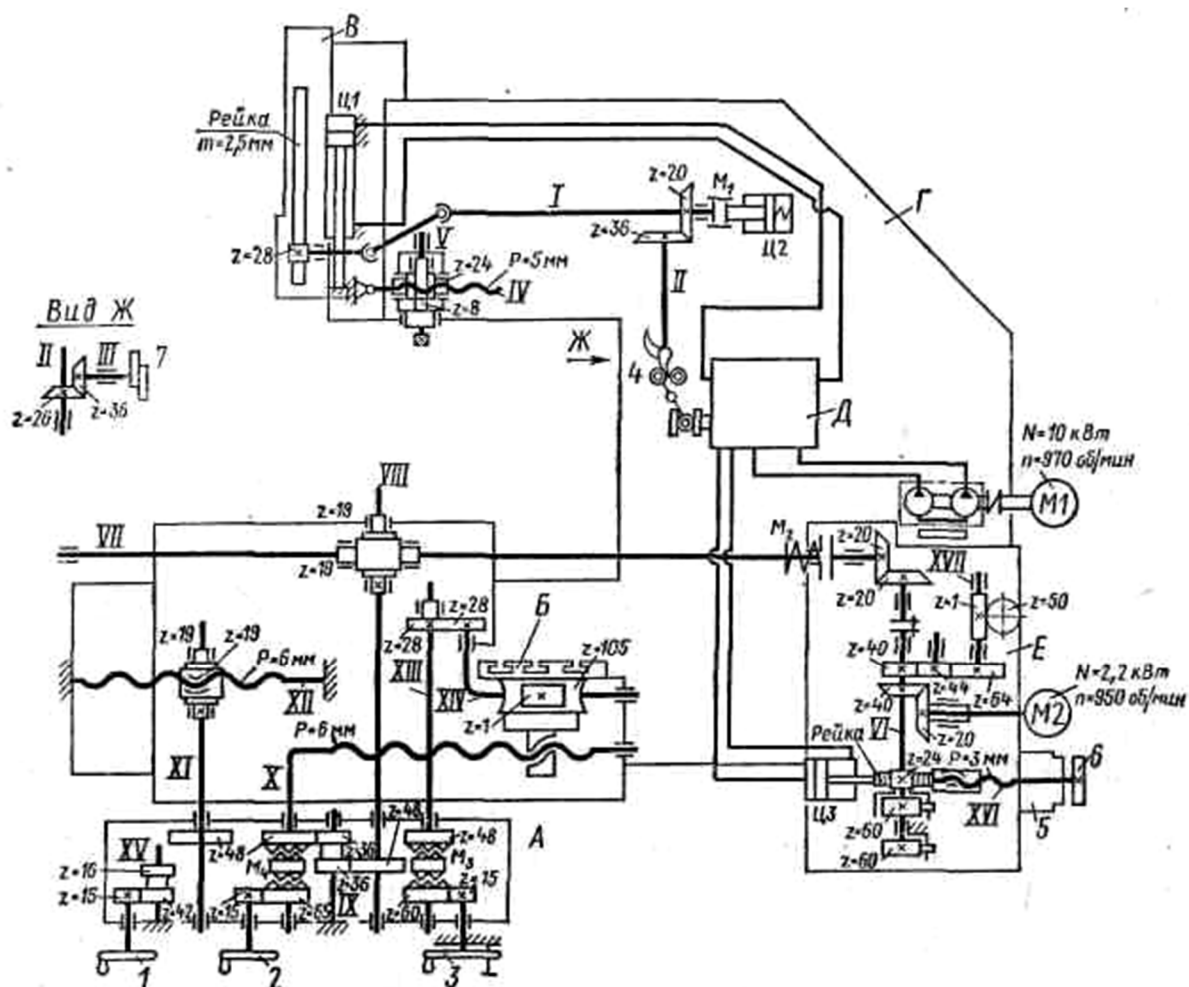


Рисунок 14.4. – Кинематическая схема долбежного станка модели 7Д430

Для обеспечения реверсирования ползуна в конце каждого хода в группе предусмотрена обратная связь, переключающая гидрораспределитель управления гидропанели Д, выполненная в виде кинематической цепи:

*рейка (m = 2,5 мм) → 28 → 20/36 → вал II → 26/36 → вал III (вид Ж) → кулачки 7 → рычаг 4 управления гидрораспределителем.*

Группа настраивается: на скорость – ступенчато дросселем гидросистемы управления, на путь и исходное положение – положением кулачков 7 на валу III. Причем угол между кулачками, задающий путь, определяется по формуле

$$\alpha = (L/\pi \cdot 28 \cdot 2,5) \cdot 20/36 \cdot 26/36 \cdot 360^\circ = 0,505^\circ L,$$

где  $L$  – длина хода долбняка.

Группа работает следующим образом. При поступлении масла в верхнюю полость цилиндра Ц1 ползун перемещается вниз (рабочий ход) вместе с рейкой, которая по цепи обратной связи вращает кулачки 7. В конце рабочего

хода кулачок, управляющий параметром «путь», нажимает на рычаг 4, переключая гидрораспределитель управления. Тогда масло будет поступать в нижнюю полость цилиндра Ц1, поднимая ползун вверх. При этом вал III будет вращаться в обратную сторону, и кулачок, управляющий параметром «исходное положение», нажимая на рычаг 4, вновь переключит гидрораспределитель управления на рабочий ход, и цикл повторится.

Дополнительный гидроцилиндр Ц2 в рассматриваемой группе осуществляет торможение ползуна. Одна зубчатая полумуфта  $M_1$  вращается вместе с валом I, другая – удерживается от вращения штоком гидроцилиндра. При остановке станка пружина смещает поршень влево и соединяет обе полумуфты, тем самым предотвращая самопроизвольное опускание ползуна под действием собственной массы.

В резцедержателе долбяка (не показан) расположен механизм автоматического отвода долбяка при ходе ползуна вверх.

Группа продольной подачи  $\Phi_{s1}(II_2)$  обеспечивает прерывистую (дискретную) продольную подачу стола. Ее внутренняя связь:

*продольные направляющие станины → продольная каретка стола Б ( $II_2$ ).*

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow$  *сдвоенный лопастной насос* → *гидропанель Д* → Ц3 → *рейка/24* → *колесо 60 храпового механизма* → 20/20 →  $M_2$  → 19/19 → 48/36 → 36/48 → 48/48 → 19/19 → ТВ XII → *продольная каретка стола Б ( $II_2$ ).*

Другой храповик, также расположенный на валу VI, противодействует вращению этого вала в обратную сторону во время зарядки механизма.

Группа настраивается: на скорость (продольную подачу) – количеством зубьев храпового колеса 60, захватываемых собачкой храпового механизма; на исходное положение – маховиком 1 (колесо 48 на валу XI смещено вниз по схеме и зацеплено с колесом 16 вала XV). Путь (величина подачи) зависит от хода поршня цилиндра Ц3 и устанавливается маховиком 6 через винт-гайку XVI. Отсчет этого параметра осуществляется по лимбу 5.

Во внешней связи группы предусмотрена дополнительная кинематическая цепь для ускоренных перемещений стола. Ее структура имеет вид:

$M_2 \rightarrow 20/40 \rightarrow$  *далее по основной цепи внешней связи до исполнительного органа (продольной каретки стола).*

Группа поперечной подачи  $\Phi_{s2}(II_3)$  обеспечивает прерывистую (дискретную) поперечную подачу стола. Ее внутренняя связь:

*направляющие продольной каретки → поперечная каретка стола Б ( $II_3$ ).*

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow \text{сдвоенный лопастной насос} \rightarrow \text{гидропанель } D \rightarrow ЦЗ \rightarrow \text{рейка/24} \rightarrow$   
 $\rightarrow \text{колесо } 60 \text{ храпового механизма} \rightarrow 20/20 \rightarrow M_2 \rightarrow 19/19 \rightarrow 48/36 \rightarrow$   
 $36/48 \rightarrow M_4 \rightarrow ТВ X \rightarrow \text{поперечная каретка стола } Б (П_3).$

Группа настраивается: на скорость (поперечную подачу) – количеством зубьев храпового колеса 60, захватываемых собачкой храпового механизма; на исходное положение – маховиком 2 (муфта  $M_4$  включена вниз по схеме). Путь (величина подачи) зависит от хода поршня цилиндра ЦЗ и устанавливается также, как и при продольной подаче.

Во внешней связи группы предусмотрена дополнительная кинематическая цепь для ускоренных перемещений стола. Ее структура имеет вид:

$M_2 \rightarrow 20/40 \rightarrow \text{далее по основной цепи внешней связи}$   
 $\text{до исполнительного органа (поперечной каретки стола)}.$

Группа круговой подачи  $\Phi_{33}(B_4)$ . Ее внутренняя связь:

$\text{подшипниковые опоры поперечной каретки} \rightarrow \text{стол } Б (B_4).$

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow \text{сдвоенный лопастной насос} \rightarrow \text{гидропанель } D \rightarrow ЦЗ \rightarrow$   
 $\text{рейка/24} \rightarrow \text{колесо } 60 \text{ храпового механизма} \rightarrow 20/20 \rightarrow M_2 \rightarrow$   
 $\rightarrow 19/19 \rightarrow 48/48 \rightarrow M_3 \rightarrow 28/28 \rightarrow 1/105 \rightarrow \text{стол } Б (B_4).$

Группа настраивается: на скорость (круговую подачу) – количеством зубьев храпового колеса 60, захватываемых собачкой храпового механизма; на исходное положение – маховиком 3 (муфта  $M_3$  включена вниз по схеме). Путь (величина подачи) зависит от хода поршня цилиндра ЦЗ и устанавливается также, как при продольной и поперечной подачах.

Во внешней связи группы предусмотрена дополнительная кинематическая цепь для ускоренных перемещений стола. Ее структура имеет вид

$M_2 \rightarrow 20/40 \rightarrow \text{далее по основной цепи внешней связи}$   
 $\text{до исполнительного органа (стола } Б).$

Данную группу можно рассматривать также, как простую группу деления с ручным управлением.

Кинематические группы, составляющие общую структуру станка, соединены общим источником энергии и гидропанелью  $D$ . А группы подачи имеют общий участок внешних связей от источника энергии до вала VII. При этом коробка  $E$  является общим органом настройки на подачу и величину подачи, а коробка  $A$  – общим органом настройки исходного положения и коммутатором подач.

УКЦ для продольной, поперечной и круговой подач соответственно:

$s_{np} = a/60 \cdot 20/20 \cdot 19/19 \cdot 48/36 \cdot 36/48 \cdot 48/48 \cdot 19/19 \cdot (P_{ТВ} = 6)$ ,  
мм/дв. ход;

$s_{non} = a/60 \cdot 20/20 \cdot 19/19 \cdot 48/36 \cdot 36/48 \cdot (P_{ТВ} = 6)$ , мм/дв. ход;

$s_{кр} = a/60 \cdot 20/20 \cdot 19/19 \cdot 48/36 \cdot 36/48 \cdot 28/28 \cdot 1/105 \cdot 360^0$ , °/дв. ход,

где  $a$  – количество зубьев храпового колеса  $60$ , захватываемых собачкой храпового механизма.

Откуда ФН по приведенным УКЦ:

$$a = 10 \cdot (s_{np}, \text{ или } s_{non}, \text{ или } s_{кр}).$$

### 14.3 Протяжные станки

Протяжные станки предназначены для обработки как внутренних, так и наружных поверхностей различной формы в условиях крупносерийного и массового производства. Эти станки имеют большую производительность, обеспечивают высокую точность обработки и при этом просты по конструкции и в работе. Различают протяжные станки по степени универсальности – общего назначения и специальные, а по направлению и характеру движения резания - горизонтальные и вертикальные. В машиностроении наибольшее распространение получили горизонтальные станки общего назначения.

Характерные параметры протяжных станков: наибольшая тяговая сила 6,3–1470 кН; максимальная длина хода протяжки 400–3200 мм.

На рисунке 14.5 показана протяжная операция.

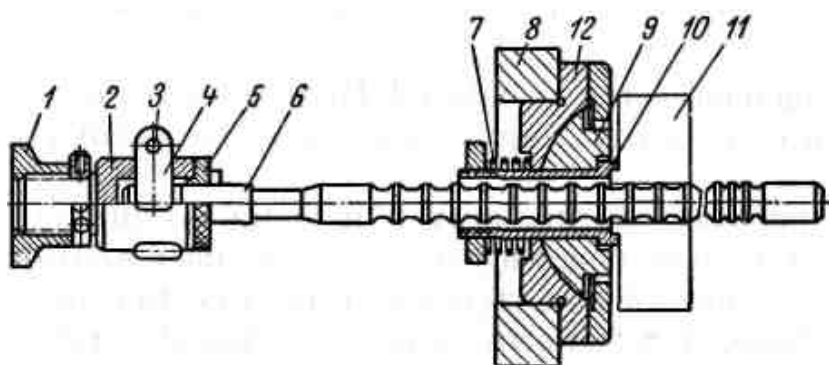


Рисунок 14.5. – Схема протяжной операции

Хвостовик  $6$  протяжки пропускают через отверстие заготовки  $11$  и втулку  $10$  опорного приспособления, а затем закрепляют в патроне, состоящем из корпуса  $2$  и сменной втулки  $5$ , с внутренним диаметром, соответствующим диаметру хвостовика. Протяжку закрепляют с помощью клина  $4$ , фиксируемого поперечным штифтом  $3$ . Хвостовик патрона ввернут в муфту  $1$

штока силового цилиндра протяжного станка. Заготовка 11 левым торцом упирается во втулку 10, которая вставлена в подвижную опору 9 приспособления и прижимается к ней с помощью силовой пружины 7. Подвижная опора своей выпуклой шаровой поверхностью контактирует с плитой 12, смонтированной в корпусе 8 станины станка. Когда шток силового цилиндра вместе с патроном и протяжкой перемещается влево при неподвижном суппорте, происходит обработка отверстия. Его форма может быть круглой, шлицевой, в виде шпоночного паза и др.

Известны и другие конструкции приспособлений для установки деталей и закрепления протяжек.

Типовая компоновка современного горизонтально-протяжного станка показана на рисунке 14.6. В полой части станины 1 коробчатой формы смонтированы основные агрегаты гидравлического привода. Слева расположен силовой цилиндр 2. Шток его поршня связан с рабочими салазками, которые, перемещаясь в направляющих вдоль оси станка, служат дополнительной опорой. На конце штока насажена втулка с патроном для закрепления протяжки 3, правый конец которой поддерживается люнетом 4. Приспособление для установки заготовки и сама деталь упираются в неподвижный корпус 5 станины.

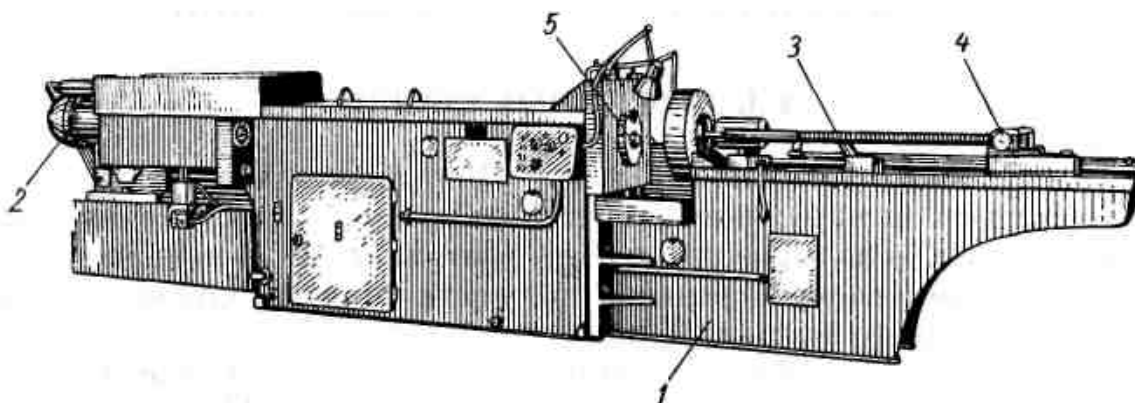


Рисунок 14.6. – Типовая компоновка горизонтально-протяжного станка

### 14.3.1 Горизонтально-протяжной станок модели 7Б510

Предназначен, преимущественно, для протягивания отверстий различного профиля в крупносерийном производстве.

*Техническая характеристика.* Максимальная тяговая сила 100 кН; диапазон скоростей резания 1,5–9 м/мин; скорость обратного хода 25 м/мин.

Станок работает по полному и неполному циклам. При полном цикле осуществляются подвод протяжки, замедленный рабочий ход, настроенный рабочий ход, замедленный рабочий ход при работе калибрующих зубьев, стоп, замедленный ход в обратном направлении и отвод протяжки. При неполном цикле подвод и отвод протяжки отсутствуют.

Кинематическо-гидравлическая структура станка (рисунке 14.7) состоит из формообразующей группы скорости резания  $\Phi_v(P_1)$ , воспроизводящей направляющую обрабатываемой поверхности, и вспомогательной группы  $\Phi_s(P_2)$ , предназначенной для подвода и отвода протяжки (движение позиционирования).

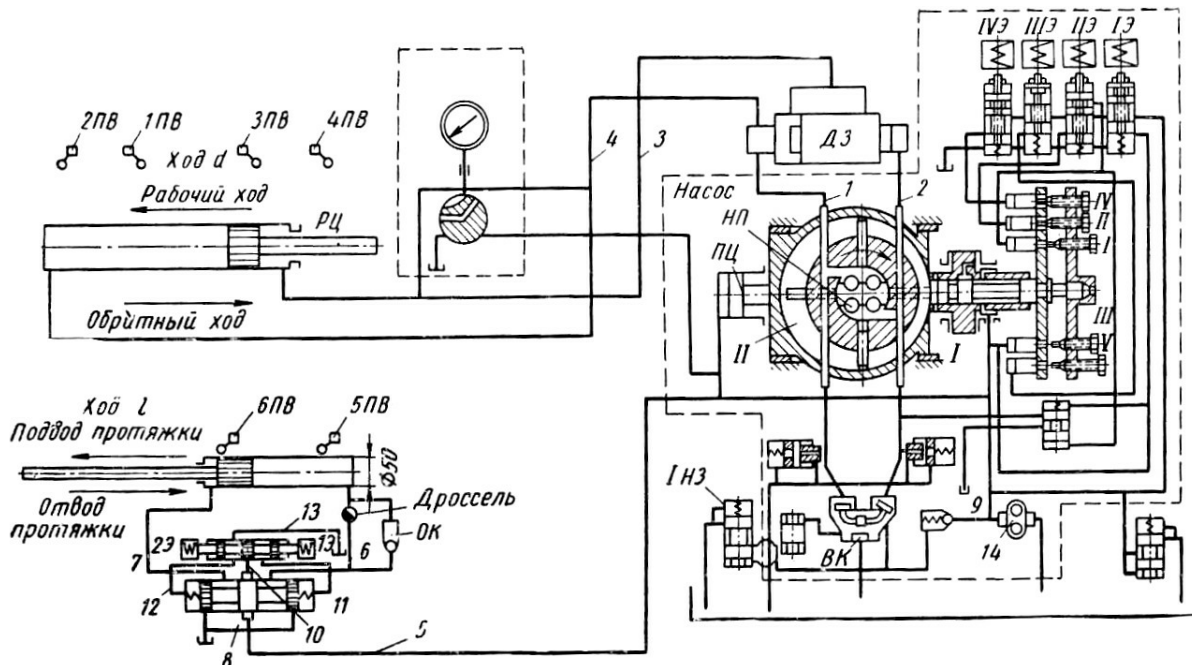


Рисунок 14.7. – Гидравлическая схема протяжного станка модели 7Б510

Группа  $\Phi_v(P_1)$ . Ее внутренняя связь:

*направляющие станины → рабочие салазки ( $P_1$ ).*

Внешняя связь содержит гидравлические агрегаты и трубопроводы:

*электродвигатель (не показан) → регулируемый радиально-поршневой насос НП → дифференциальный золотник ДЗ → трубопроводы → рабочий цилиндр РЦ → рабочие салазки ( $P_1$ ).*

Группа настраивается: на скорость – изменением производительности насоса *НП*; на исходное положение и путь – кулачками, воздействующими на конечные выключатели системы управления.

Группа  $\Phi_s(P_2)$ . Ее внутренняя связь:

*направляющие станины → вспомогательные салазки ( $P_2$ ).*

Внешняя связь:

*электродвигатель (не показан) → шестеренный насос 14, конструктивно совмещенный с насосом НП → вспомогательные салазки ( $P_2$ ).*

Группа настраивается на исходное положение и путь кулачками, воздействующими на конечные выключатели системы управления.

Станок оснащен путевой, электрогидравлической системой управления циклом обработки. Радиально-поршневой насос *НП* высокого давления (на схеме показан условно) осуществляет рабочий и обратный ходы рабочих салазок. Вспомогательный гидропривод, служащий для отвода и подвода вспомогательных салазок (протяжки), состоит из шестеренного насоса *14*, встроенного в поршневой насос *НП*, и вспомогательного цилиндра. От насоса *14* масло подается в подпорный цилиндр *ПЦ*, затем в центральный гидрораспределитель и далее к механизму управления, в котором расположены четыре гидрораспределителя, управляемых электромагнитами *IЭ*, *IIЭ*, *IIIЭ*, *IVЭ*. В диске механизма управления установлено пять винтов. Эти винты регулируют подачу насоса *НП* посредством смещения его статора. При подаче давления под поршни, расположенные оппозитно винтам *I*, *II*, *III*, *IV*, *V*, они штоками упрутся в эти винты и ограничат перемещение диска механизма управления и соответственно гидрораспределителя, соединенного с поршнем подпорного цилиндра *ПЦ*.

Рассмотрим работу гидравлической схемы станка для полного цикла. В исходном положении рабочие салазки находятся в крайнем правом положении. Протяжка – в отведенном положении.

Нажатием кнопки «Пуск» на пульте управления включается вспомогательный (шестеренный) насос *14*. При этом все четыре электромагнита *IЭ*, *IIЭ*, *IIIЭ*, *IVЭ* выключены и поршневой насос главного гидропривода *НП* не качает масло.

*Подвод протяжки* осуществляется нажатием соответствующей кнопки на пульте управления. При этом включается электромагнит *IЭ*. Вспомогательный золотник *13* передвигается влево и соединяет трубопроводы *10* и *11*. Масло от шестеренного насоса *14* по трубопроводу *5*, через расточку в корпусе золотника, трубопроводы *10–11* поступает под правый торец основного золотника *8* и перемещает его в крайнее левое положение, соединяя трубопроводы *5* и *6*. Масло поступает в бесштоковую полость вспомогательного цилиндра и перемещает вспомогательные салазки с протяжкой. В конце подвода протяжки срабатывает путевой выключатель *6ПВ*, который выключает электромагнит *IЭ* и включает электромагнит *IIЭ*. Масло пойдет под поршень подпорного цилиндра и сместит статор насоса *НП* влево. Одновременно протяжка левым концом попадет в патрон, закрепленный на штоке рабочего цилиндра *РЦ*.

*Замедленный рабочий ход* осуществляется смещением ротора насоса *НП* вправо в положение, отрегулированное винтом *III*. Полость *I* насоса становится нагнетательной, полость *II* – всасывающей.

Масло по трубопроводу *2* поступает под правый торец дифференциального золотника *Д2* и смещает его влево до упора. Трубопровод *2* сообщается

с трубопроводом 3, и масло поступает в штоковую полость рабочего цилиндра *РЦ* и смещает его влево до упора. Происходит замедленный рабочий ход протяжки. Масло, вытесняемое из бесштоковой полости, по трубопроводу 4–1 поступает во всасывающую полость *II* поршневого насоса. Излишки масла, обусловленные разностью площадей штоковой и бесштоковой полостей рабочего цилиндра, сливаются через напорный золотник *1НЗ*, который поддерживает постоянный подпор в обратной полости цилиндра.

*Рабочий (настроенный) ход.* При нажатии кулачка на путевой выключатель *3ПВ* срабатывает электромагнит *IIIЭ*. Происходит дальнейшее смещение ротора насоса *НП*, увеличиваются производительность насоса и скорость перемещения рабочих салазок.

При входе первых калибрующих зубьев протяжки в заготовку кулачок салазок нажимает на путевой выключатель *IIIВ*, который выключит *IIIЭ*. Начнется замедленный рабочий ход вследствие уменьшения производительности насоса *НП*, т.к. эксцентриситет ротора насоса уменьшается.

В конце рабочего хода при срабатывании путевого выключателя *2ПВ* отключится электромагнит *IЭ*, произойдет останов рабочих салазок.

*Обратный ход* осуществляется при включении электромагнита *IIЭ*. Ротор насоса смещается влево, трубопровод 1 становится нагнетательным, а трубопровод 2 – всасывающим.

Масло по трубопроводу 1 поступает под левый торец дифференциального золотника *ДЗ* и перемещает его в крайнее правое положение. Трубопровод 1 соединяется с трубопроводами 3 и 4, и обе полости рабочего цилиндра сообщаются таким образом с линией нагнетания насоса. Ввиду неодинаковых площадей, находящихся под давлением, поршень цилиндра перемещается вправо до тех пор, пока путевой переключатель *3ПВ* не включит электромагнит *IVЭ*. Из-за уменьшения подачи насоса начнется замедленный ход.

В конце рабочего хода срабатывает путевой переключатель *4ПВ*, выключающий электромагниты *IIЭ* и *IVЭ*. Рабочие салазки остановятся, левый конец протяжки освободится, а правый зажмется в патроне.

*Отвод протяжки.* Путевой выключатель *4ПВ* включает электромагнит *2Э*, и золотник, управляемый этим, займет крайнее правое положение и соединит трубопроводы 10 и 12. Масло от шестеренного насоса по трубопроводу 5 через расточку в корпусе золотника, трубопроводы 10 и 12 поступает под левый торец основного золотника 8 и перемещает его в крайнее правое положение, соединяя трубопроводы 5 и 7. По этим трубопроводам масло поступает в штоковую полость вспомогательного цилиндра и перемещает протяжку до тех пор, пока конечный выключатель *5ПВ* не выключит электромагнит *2Э*. Произойдет останов вспомогательных салазок с протяжкой.



## Глава 15

# ТОКАРНЫЕ АВТОМАТЫ И ПОЛУАВТОМАТЫ

### 15.1 Общие сведения об автоматизации металлорежущих станков

Высокая универсальность и мобильность станков с ручным управлением обусловила их широкое использование в индивидуальном и мелкосерийном производстве, где относительно низкая производительность не имеет существенного значения. Увеличение масштабов производства, потребность в изготовлении определенного количества одних и тех же деталей привело к созданию автоматических систем управления станками, в которых носителем управляющей программы является не человек, а вполне определенный объект, встраиваемый в станки. Это обстоятельство стало объективной причиной появления, прежде всего в токарной группе универсальных автоматов и полуавтоматов, особенностью которых является высокая цикловая производительность и высокая степень автоматизации. Конструктивно система управления в этой группе станков выполнена в виде распределительного вала, встроенного в кинематическую структуру станков. Носителями программы в такой системе управления служат профильные кулачки.

Станок-автомат – это самоуправляющаяся технологическая машина, которая осуществляет все рабочие и вспомогательные движения цикла обработки, включая установку заготовки и снятие изделия после обработки. Станок-полуавтомат – это технологическая машина, работающая по автоматическому рабочему циклу, для повторения которого требуется вмешательство рабочего. Вмешательство рабочего, как правило, ограничивается установкой заготовок и снятия их после обработки.

Прообразом таких механических систем управления можно считать механические копировальные системы управления, предложенные изобретателем А.К. Нартовым в начале XVIII столетия в токарно-копировальных станках (рисунок 15.1).

В этих системах при обработке детали 1 плоский копир 5 (кулачок) через щуп 4 (толкатель) управляет перемещением поперечного суппорта 3 с режущим инструментом и обеспечивает необходимую рабочую подачу  $s_{нон}$  при перемещении продольного суппорта 2 с подачей  $s_{пр}$ . Такие системы конструктивно просты и надежны, но при их работе возникают большие потери на холостые ходы, обусловленные необходимостью возврата в исходное положение при повторении цикла обработки, а также имеет место повышенный износ копира из-за действия на него силы резания. В данных системах происходит управление работой только одного инструмента.

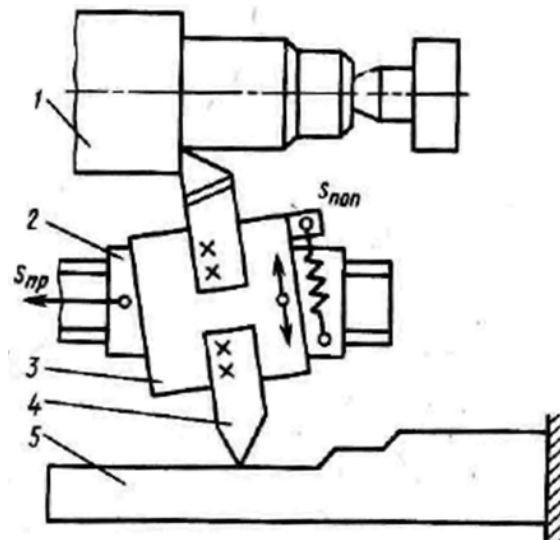


Рисунок 15.1. – Схема механической копировальной системы

Если взять плоские копиры и обернуть их на цилиндры или изготовить в виде дисковых кулачков, установленных на один общий распределительный вал (РВ), то при его вращении получается система управления большим количеством различных рабочих органов с надежной синхронизацией всех движений цикла обработки заданной детали. Полученная таким образом система управления позволяет посредством построения циклограмм заранее рассчитать рабочий цикл любой сложности, обеспечив строгое выполнение заданного процесса обработки, соответствующего, как правило, одному обороту РВ за определенный отрезок времени

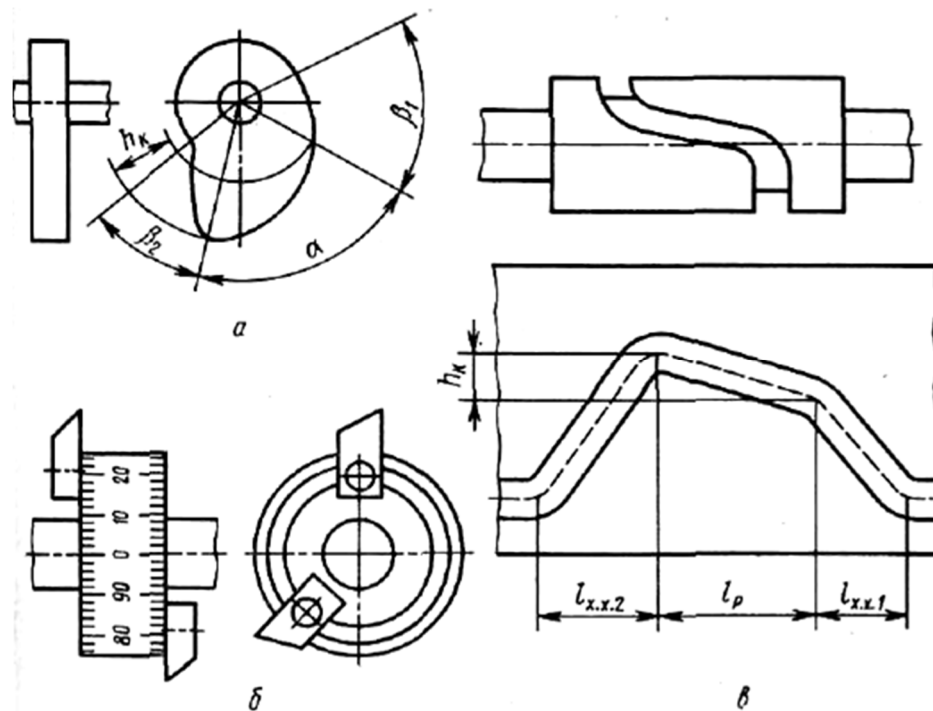
$$T = t_p + t_{x.x},$$

где  $T$  – время заданного цикла обработки детали;  
 $t_p$  – время рабочих ходов в цикле обработки;  
 $t_{x.x}$  – время холостых ходов в цикле обработки.

В такой системе управления РВ обеспечивает порядок осуществления технологических переходов и цикличность процесса обработки в целом.

Программа управления, составленная в числовом виде и записанная в карте наладки, фиксируется на программноносителе, которыми являются кулачок для одного исполнительного механизма и система кулачков (профильных и командных), установленных и закрепленных в соответствии с циклограммой на РВ автомата (рисунок 15.2).

Величины перемещений (параметр «путь») рабочих органов задаются подъемом  $h_k$  на кулачке, а их длительность на холостых ходах – углами  $\beta_1$  (или величиной  $l_{x.x1}$ ) при подводе и  $\beta_2$  (или величиной  $l_{x.x2}$ ) при отводе рабочего органа. Длительность перемещений на рабочем ходе задается углом  $\alpha$  (или величиной  $l_p$ ).



*a* – дисковый профильный кулачок; *b* – командный кулачок;  
*v* – барабанный кулачок и его развертка

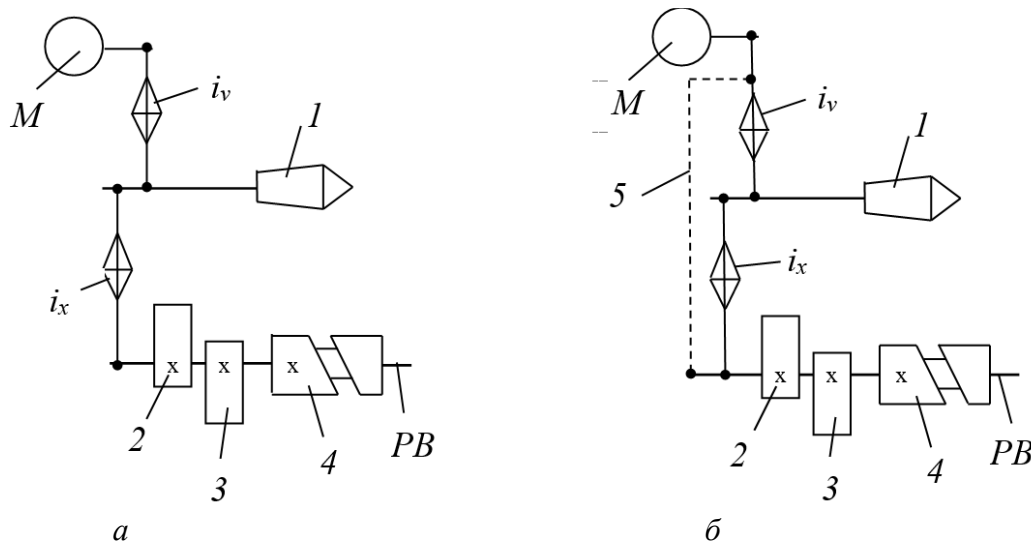
**Рисунок 15.2. – Кулачки временной системы управления**

Временные системы управления с РВ особенно широко применяются в универсальных и специальных автоматах и полуавтоматах для изготовления относительно несложных деталей в крупносерийном и в ряде случаев серийном производстве. В этой группе автоматизированных станков система управления встраивается непосредственно в кинематическую структуру станка. В ряде технологических машин иного назначения, например, сборочных машинах, такая система управления конструктивно выполняется в виде автономного командоаппарата с собственным источником энергии вращения РВ. В этом случае командоаппарат передает информацию управления исполнительным органам посредством каналов связи, например, гидравлических, шариковых.

## 15.2 Классификация временных систем управления

По некоторым конструктивным особенностям, связанным со сложностью изготавливаемых деталей, качеству и производительности, временные системы управления (СУ) автоматизированных станков классифицируют по принципу выполнения холостых ходов на три группы.

*Группа 1 временных СУ.* К этой группе относятся системы, у которых привод вращения шпинделя *1* станка и РВ с кулачками-программоносителями *2, 3, 4* и т.д. осуществляется от электродвигателя *M* соответственно через гитары сменных зубчатых колес  $i_v$  и  $i_x$  (рисунок 15.3, *a*).



*a* – Группа I; *б* – Группа II

**Рисунок 15.3. – Принципиальные схемы автоматов с временной СУ**

Особенность этих СУ – частота вращения РВ для каждой настройки гитары сменных колес  $i_x$  постоянна в течение всего времени цикла  $T$  обработки детали. Поэтому при изменении времени рабочих ходов пропорционально изменяется и время холостых ходов. Другая особенность состоит в том, что кулачки, выполняющие холостые ходы, для определенного круга работ являются постоянными, требующими определенного постоянного угла поворота РВ ( $\beta_1 = \text{const}$ ) для осуществления холостых ходов. В то же время кулачки, выполняющие рабочие ходы, в зависимости от характера работ в каждом отдельном случае требуют различных углов поворота РВ.

Время холостых ходов

$$t_{x.x1} = \frac{\beta_1}{2\pi} T,$$

где  $\beta_1$  – угол холостых ходов (без учета совмещенных холостых ходов).

Производительность автоматов с СУ группы I

$$Q_1 = \frac{1}{T} = K \left(1 - \frac{\beta_1}{2\pi}\right) = K\eta_1,$$

где  $K = \frac{1}{t_p}$  – технологическая производительность;

$\eta_1 = 1 - \frac{\beta_1}{2\pi}$  – коэффициент производительности автоматов с СУ

группы I.

Анализ зависимостей  $t_{x.x1} = f(T)$  и  $Q_1 = f(K)$  показывает, что при  $\beta_1 = \text{const}$  и при переменном  $K$  (или  $T$ ) время  $t_{x.x1}$  будет переменным. Поэтому

при обработке относительно сложных деталей с большим временем  $t_p$  (имеем  $T_{\max}$  и  $K_{\min}$ )  $t_{x.x1}$  время будет также большим, хотя из условий работы механизмов холостых ходов оно может быть существенно меньше. В итоге производительность автоматов оказывается низкой.

При обработке простых деталей ( $T_{\min}$  и  $K_{\max}$ ) производительность автомата получается большой, но необходимо учитывать, что время на холостые ходы может получиться меньше того, которое допускается прочностью механизмов холостых ходов.

Расчетные перемещения для вывода формулы настройки для гитары сменных колес  $i_x$  СУ группы  $I$  имеют вид:

$$\frac{n_m}{60} t_u \text{ об.электродвигателя} \rightarrow 1 \text{ обороту РВ,}$$

где  $n_m$  – круговая частота вращения электродвигателя,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$t_u$  – время цикла обработки одной детали, с.

Системы управления группы  $I$  применяют в металлорежущих автоматах для обработки простых по количеству технологических переходов деталей. Например, в автоматах продольного точения моделей 1И10П, в автоматах фирм «Tornos» и «Bechler» (Швейцария), «Strohm» (ФРГ), а также в большинстве технологических машин других отраслей (пищевых, текстильных, полиграфических).

*Группа II временных СУ.* Особенностью этой группы СУ (см. рисунок 15.3, б) является то, что РВ в течение цикла  $T$  имеет две скорости вращения – рабочую и ускоренную. Рабочее вращение РВ при выполнении рабочих ходов осуществляется через гитару сменных зубчатых колес  $i_x$ , позволяющую менять частоту вращения РВ при обработке различных деталей. Ускоренное вращение РВ при выполнении холостых ходов осуществляется по ненастраиваемой кинематической цепи 5. Причем частоту ускоренного вращения РВ на холостых ходах выбирают из условий прочности механизмов холостого хода.

Время холостых ходов

$$t_{x.x11} = \frac{\beta_{11}}{2\pi n_{x.x}} = \text{const,}$$

где  $\beta_{11}$  – угол холостого хода.

Например, в многошпиндельном токарном автомате модели 1Б240-6 угол  $\beta_{11} = 215^\circ$  и  $t_{x.x11} = 2$  с.

Таким образом, изменение времени рабочих ходов в СУ группы  $II$  не влияет на время холостых ходов. В некоторых многошпиндельных автоматах лимитирующим механизмом с точки зрения холостых ходов является механизм подачи пруткового материала. Поэтому скорость вращения РВ на холостых ходах может изменяться и настраиваться в зависимости от требуемой величины подачи материала.

Цикловая производительность автоматов с СУ группы *II* определяется по выражению

$$Q_{II} = \frac{1}{T} = K \frac{1}{1 + Kt_{x.x1}} K\eta_{II},$$

где  $\eta_{II} = \frac{1}{1 + Kt_{x.x1}}$  – коэффициент производительности автоматов с СУ группы *II*.

Величина коэффициента  $\eta_{II}$  является переменной, зависимой от технологической производительности *K*.

Все холостые ходы в данной системе управления выполняются при максимальной скорости вращения РВ. Поэтому наиболее эффективно их применение при обработке сложных деталей и деталей из труднообрабатываемых материалов.

Расчетные перемещения для вывода формулы настройки для гитары сменных колес  $i_x$  СУ группы *II* имеют вид:

$$\frac{n_m}{60} t_p \text{ об. электродвигателя} \rightarrow \frac{\alpha_p^0}{360} \text{ поворота РВ,}$$

где  $n_m$  – круговая частота вращения электродвигателя, мин<sup>-1</sup>;

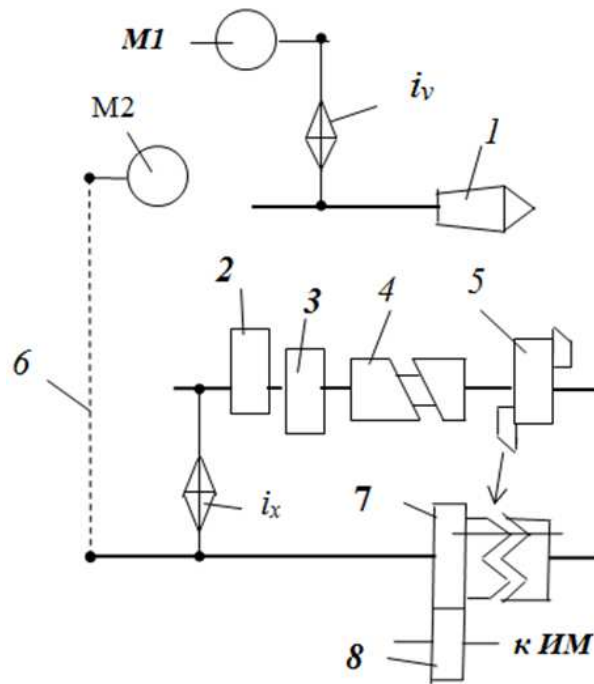
$\alpha_p^0$  – суммарный угол (длительность) рабочих перемещений.

Как правило, угол  $\alpha_p^0$  в различных моделях станков составляет 160–200°.

Этими системами управления оснащают полуавтоматы со смешанным соединением групп обката и деления для нарезания конических колес, некоторые одношпиндельные автоматы и полуавтоматы и практически все многошпиндельные автоматы последовательного действия. Например, полуавтоматы для нарезания конических зубчатых колес 5П23БП и 528, многошпиндельные токарные автоматы моделей 1Б240-6, 1Б265-6, 1Б290 и автоматы фирм «Gildemeister» и «Pitler (ФРГ).

*Группа III временных СУ.* Эти системы (рисунок 15.4) представляют собой сочетание систем управления групп *I* и *II*. В этих системах РВ, несущий профильные и командные кулачки 2, 3, 4, 5 и т.д. вращается, как в системах группы *I*, с одной скоростью, устанавливаемой посредством гитары сменных колес  $i_x$ , при выполнении всех рабочих и части холостых ходов (подвод и отвод поперечных суппортов). Для этих холостых ходов по аналогии с системами группы *I* имеем

$$\beta_1 = \text{const}, t_{x.x1} = \frac{\beta_1}{2\pi} T.$$



**Рисунок 15.4. – Схема автомата с временной СУ группы III**

Остальные холостые ходы (подача и зажим прутка, поворот револьверной головки, переключение частоты и направления вращения шпинделя и др.) осуществляются с помощью вспомогательного вала (ВВ), вращение которому сообщается с максимально возможной постоянной для данного автомата частотой от электродвигателя *M2* по ненастраиваемой цепи 6. По аналогии с системами группы *II* для этих холостых ходов  $t_{x.x11} = \text{const}$ . Выполнение холостых ходов с помощью ВВ управляется командными кулачками, установленными на РВ. Например, командный кулачок 5 по циклу обработки посредством передаточного механизма (рычага) включает кулачковую муфту. В результате движение от ВВ посредством зубчатой передачи 7-8 сообщается соответствующему исполнительному механизму (ИМ), осуществляющему вспомогательное движение.

Общее время холостых ходов для автоматов с системами управления группы *III*

$$t_{x.x111} = t_{x.x1} + t_{x.x11}.$$

Тогда

$$T = t_p + t_{x.x1} + t_{x.x11}. \quad (2.1)$$

Подставляя в выражение (2.1) соответствующие значения  $T$ ,  $t_{x.x1}$ ,  $t_{x.x11}$ , найдем производительность автомата, оснащенного СУ группы *III*:

$$Q_{111} = K \left(1 - \frac{\beta_1}{2\pi}\right) + \frac{1}{1 + K t_{x.x11}} = K \eta_1 \eta_{11}.$$

Анализ формулы производительности показывает, что САУ группы III занимают промежуточное положение между системами групп I и II, и поэтому рекомендуется их применять для обработки деталей средней сложности при средних значениях времени цикла  $T_{cp}$  и технологической производительности  $K_{cp}$ .

Расчетные перемещения для вывода формулы настройки для гитары сменных колес  $i_x$  СУ группы III аналогичны расчетным перемещениям СУ группы I и, следовательно, имеют вид:

$$\frac{n_m}{60} t_{ц} \text{ об. электродвигателя} \rightarrow 1 \text{ об. РВ,}$$

где  $n_m$  – круговая частота вращения электродвигателя,  $\text{мин}^{-1}$ ;  
 $t_{ц}$  – время цикла обработки одной детали, с.

Системами управления группы III оснащены токарно-револьверные автоматы, например, моделей 1E140, 1E165, автоматы фирм «Index» и «Traub» (ФРГ) фирмы «Tagex» (Швейцария).

### 15.3 Классификация станков-автоматов и полуавтоматов

Токарные автоматы и полуавтоматы подразделяют по назначению, числу и расположению шпинделей, виду заготовки, виду работы, принципу действия и способу управления рабочим циклом. По назначению их делят на универсальные, предназначенные для обработки разных деталей, и специальные - для обработки только определенной детали. По числу шпинделей автоматы и полуавтоматы подразделяют на одношпиндельные и многошпиндельные. По расположению шпинделей автоматы и полуавтоматы подразделяют на горизонтальные и вертикальные. Иногда встречаются станки с наклонным расположением шпинделей. По виду заготовки станки делят на прутковые, бунтовые и патронные. Для прутковых автоматов заготовками являются прутки, для бунтовых – проволока, свернутая в бунт, для патронных – штучные заготовки. Вид заготовки определяет вращение шпинделя или инструмента. Наибольшее распространение имеют токарные автоматы и полуавтоматы с вращающимся шпинделем. При обработке штучных заготовок автоматы оснащаются магазинами или загрузочными устройствами с автооператорами. Несимметричные и громоздкие детали, а также детали из проволоки, свернутой в бунт, обрабатывают вращающимся инструментом.

По виду работы [21] автоматы и полуавтоматы подразделяют на фасонно-отрезные (движение подачи фасонного или отрезного резца происходит в поперечном направлении к оси изделия), продольно-фасонные (движение подачи в продольном и поперечном направлениях), револьверные



(движение подачи револьверной головки в продольном направлении), многолезцовые и копировальные (рисунок 15.5).

По принципу действия многошпиндельные станки различают параллельного, последовательного, параллельно-последовательного и непрерывного действия. При параллельной обработке одинаковые переходы выполняют одновременно на всех позициях до получения одновременно всех деталей в готовом виде. При последовательной обработке каждую деталь на шпинделе, переходя из одной позиции в другую, подвергают различным операциям различными инструментами. При параллельно-последовательной обработке в одном автомате организуют два и более потока деталей. Непрерывное действие характеризуется загрузкой, обработкой и съемом детали при непрерывном вращении шпинделя.

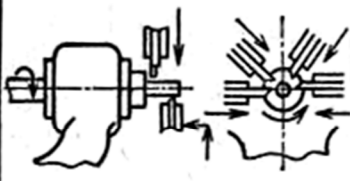
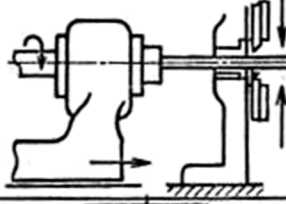
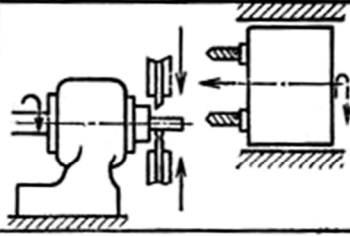
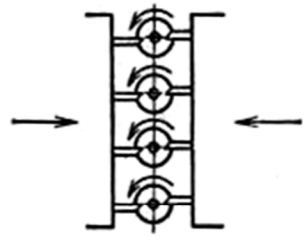
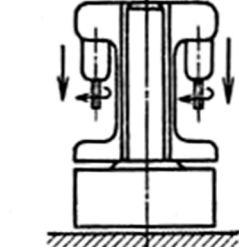
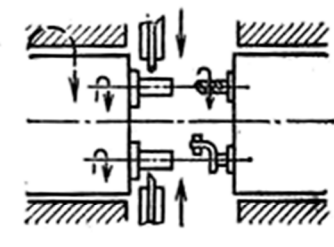
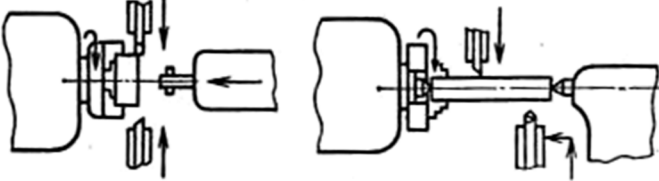
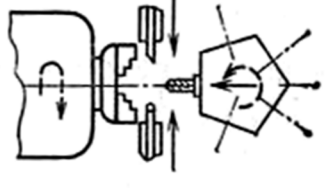
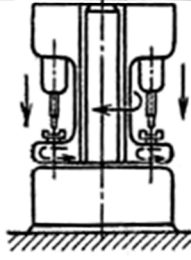
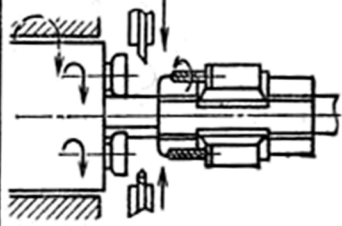
Тип станка		Вид работы		
		Фасонно-отрезные	Продольно-фасонные	Последовательные револьверные
Автоматы	Одношпиндельные			
	Многошпиндельные			
Полуавтоматы	Одношпиндельные	<i>Многолезцовые</i> 		
	Многошпиндельные			

Рисунок 15.5. – Классификация автоматов и полуавтоматов

По способу управления рабочим циклом автоматы и полуавтоматы подразделяют на три группы. К каждой из групп относят автоматы и полуавтоматы, в кинематическую структуру которых встроена соответственно временная система управления одной из трех групп, рассмотренных выше.

#### **15.4 Одношпиндельный токарно-револьверный автомат модели 1E140**

Типичный представитель гаммы высокопроизводительных одношпиндельных прутковых автоматов, оснащенных временной СУ группы III. Применяется для обработки деталей сложной формы из круглого, квадратного или шестигранного калиброванного прутка. Автомат имеет револьверную головку с шестью гнездами для державок инструментов, четыре поперечных суппорта и командоаппарат для автоматического изменения частот вращения шпинделя.

*Техническая характеристика.* Наибольший диаметр обрабатываемого прутка 40 мм; наибольший диаметр нарезаемой наружной резьбы по стали М24, по латуни – М32; наибольшая длина подачи прутка 105 мм; наибольший ход суппорта 100 мм; наименьшее и наибольшее расстояние от торца шпинделя до револьверной головки 75 и 210 мм; пределы частот вращения шпинделя: при левом вращении 80–2500 мин<sup>-1</sup>, при правом – 40–315 мин<sup>-1</sup>; число ступеней частот вращения шпинделя 12, из них три автоматически переключаемых; время переключения частоты вращения шпинделя 0,25 с и направления вращения шпинделя 0,5 с; время поворота револьверной головки 0,5 с; время обработки одной детали 11,6–363 с.

Пруток пропускают через направляющую трубу и закрепляют в шпинделе станка цанговым патроном. Инструменты устанавливают в револьверной головке и на поперечных суппортах. Инструментами револьверной головки протачивают наружные поверхности, обрабатывают отверстия и нарезают резьбу, инструментами поперечных суппортов обрабатывают фасонные и конусные поверхности, подрезают торцы, снимают фаски и отрезают готовые детали.

Кинематическая структура автомата (рисунок 15.6) содержит группу скорости резания  $\Phi_{v1}(B_1)$ , группу сверлильного приспособления  $\Phi_{v2}(B_2)$ , группу подач  $\Phi_s(P_i)$ , выполняющую также функцию системы временного управления.

Группа скорости резания  $\Phi_{v1}$ . Ее внутренняя связь:

*опоры шпиндельной бабки → шпиндель V обрабатываемого прутка ( $B_1$ ).*

Внешняя связь – кинематическая цепь

$$M_1 \rightarrow i_v \rightarrow 212/170 \rightarrow \text{шпиндель } V (B_1).$$

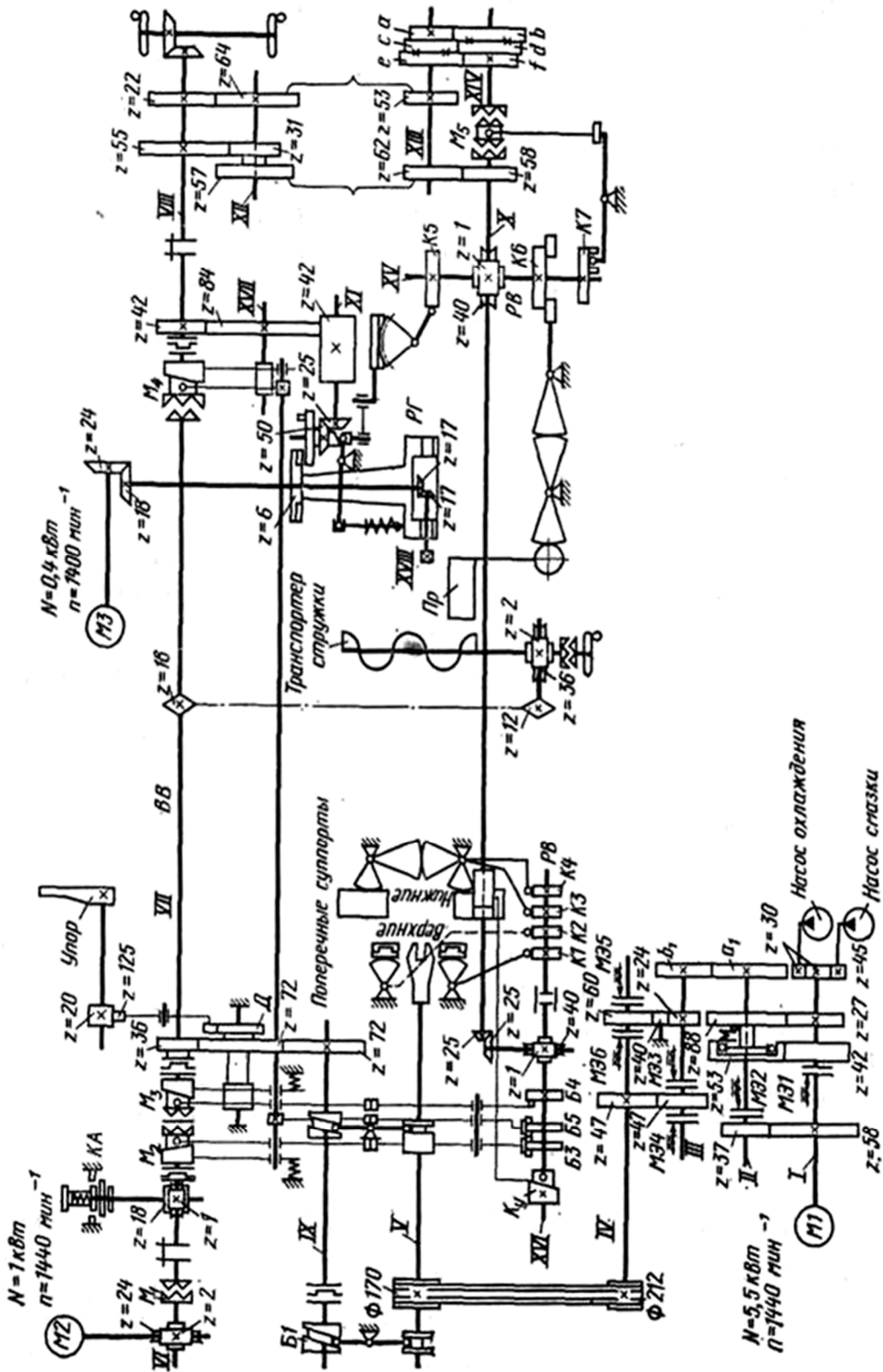


Рисунок 15.6. – Кинематическая схема автомата модели 1E140

Группа настраивается: на скорость –автоматической коробкой скоростей  $i_v$ , включающей гитару сменных колес; на направление – реверсом, совмещенным с коробкой скоростей. Коробка скоростей  $i_v$  обеспечивает автоматическое переключение трех скоростей через шестерни 58/37, 42/53, 27/68 с вала  $I$  на вал  $II$  через электромагнитные муфты  $MЭ1$  и  $MЭ2$  при работе обгонной муфты  $M_0$  и реверс выходного вала  $IV$  через шестерни 47/47 и 24/40 · 40/60 посредством электромагнитных муфт  $MЭ3, MЭ4, MЭ5, MЭ6$ . Гитара сменных зубчатых колес  $a_1/b_1$  служит для расширения диапазона регулирования частот вращения шпинделя.

Группа сверлильного приспособления  $\Phi_{v2}$  размещается в одном из гнезд револьверной головки  $РГ$ . Внутренняя связь группы:

*корпус РГ → сверлильный шпиндель ( $B_2$ ).*

Внешняя связь – короткая кинематическая цепь

$M_3 \rightarrow 24/18 \rightarrow 17/17 \rightarrow$  *сверлильный шпиндель ( $B_2$ ).*

Сверлильный шпиндель имеет постоянную круговую частоту вращения около 1900 мин<sup>-1</sup>. Направление его вращения противоположно к вращению шпинделя автомата и обеспечивает высокие скорости резания при сверлении отверстий малого диаметра.

Группа подач  $\Phi_s(P_i)$  наряду с движениями рабочих подач поперечных и продольного суппортов выполняет также функцию системы временного управления циклом обработки, включающую управление рабочими и вспомогательными движениями и их последовательностью. Таким образом, эта группа является также временной СУ, рассматриваемого автомата. Внутренние связи группы – элементарные поступательные пары:

*направляющие станины станка → поперечные и продольный суппорты ( $P_i$ ).*

Внешняя связь:

$M2 \rightarrow 2/24 \rightarrow M_1 \rightarrow$  *вспомогательный вал ( $ВВ$ )  $V11 \rightarrow 22/64 \rightarrow 64/53 \rightarrow$   
 $\rightarrow (i_u = a/b(c/d, e/f)) \rightarrow 1/40 \rightarrow$  *распределительный вал ( $PВ$ )  $XV \rightarrow K5 (ТВ) \rightarrow$   
 $\rightarrow$  *продольный суппорт ( $P_{прод}$ ) и  $25/25 \rightarrow$   
 $\rightarrow$  *распределительный вал ( $PВ$ )  $XVI \rightarrow$   
 $\rightarrow K1-K4 (ТВ) \rightarrow$  *поперечные суппорты ( $P_{non 1-4}$ ).*****

Группа настраивается на путь, скорость и исходное положение суппортов жесткими программоносителями - кулачками  $K1-K5$ , установленными на поперечном  $XV$  и продольном  $XVI$  распределительных валах. Гитара сменных зубчатых колес  $i_u$  используется для задания времени цикла обработки. Во внешней связи предусмотрена также цепь ускоренного вращения  $PВ$  от  $ВВ$

через зубчатые передачи  $\frac{55}{31} \cdot \frac{57}{62} \cdot \frac{62}{58} \cdot \frac{1}{40}$  при включении цепи ускоренного хода муфтой  $M_5$ .

РП для гитары сменных зубчатых колес  $i_u$ :

$$\frac{n_m}{60} \cdot t_p \text{ об. электродвигателя } M_2 \rightarrow \frac{\alpha_p^0}{360^0} \text{ об. } PB,$$

где  $t_p$  – время рабочих ходов, с;

$\alpha_p^0 = 200^0$  – угол поворота  $PB$  за время рабочих ходов, по паспорту автомата.

Тогда УКЦ:

$$\frac{\alpha_p^0 = 200^0}{360^0} = \frac{n_m = 1440}{60} \cdot t_p \cdot \frac{22}{64} \cdot \frac{64}{53} \cdot i_u \cdot \frac{1}{40} \cdot \left(\frac{25}{25}\right).$$

Откуда ФН:

$$i_u = \frac{22}{100} \cdot t_u.$$

Рабочие и холостые хода в группе  $\Phi_s$  при включенной муфте  $M_1$  осуществляет электродвигатель  $M_2$ , передающий движение  $BBVII$  и далее по внешней связи  $PB XV$  и  $XVI$ . Включение и выключение муфты  $M_1$  производят вручную.

Круговая частота вращения  $BB$  составляет  $1440 \cdot 2/24 = 120 \text{ мин}^{-1}$ .

Круговая частота ускоренного вращения  $PB$  составляет

$$120 (55/31) (57/62) (62/58) (1/40) = 5 \text{ мин}^{-1}.$$

На  $BB$  установлены однооборотная муфта  $M_2$  и самовыключающиеся после двух оборотов зубчатые муфты  $M_3$  и  $M_4$ . Муфта  $M_2$  включает периодически командоаппарат  $KA$ , получающий вращение от  $BB$  через червячную передачу  $1/18$ . При включении муфты  $M_3$  вращение через зубчатые колеса  $(36/72) \cdot (72/72)$  передается валу  $XIII$ , на котором установлены цилиндрические кулачки  $B1$  и  $B2$ , управляющие механизмами подачи и зажима прутка, смонтированными на шпинделе  $V$ . С учетом передаточного отношения от  $BBVII$  за два оборота муфты  $M_3$  вал  $IX$  сделает один оборот. Частота вращения вала  $IX$  постоянна и равна  $120 (36/72) (72/72) = 60 \text{ мин}^{-1}$ , а время подачи и зажима прутка за один оборот вала  $IX$  равно 1 с. Через зубчатые колеса  $36/72$  движение передается на кулачок  $D$ , управляющий через зубчатый сектор  $z = 125$  и колесо  $z = 20$  качающимся упором для прутка. При включении муфты  $M_4$  вращение передается на мальтийский механизм поворота револьверной головки через зубчатые колеса  $42/84$  на широкое колесо

$z = 42$ . С этого колеса через коническую передачу 25/50 движение передается поводку мальтийского креста, установленного на одной оси с револьверной головкой (РГ).

Торцовой кулачок на конической шестерне 50 выводит фиксатор из РГ. За два оборота муфты  $M_4$  поводок совершает один оборот. Мальтийский крест имеет шесть пазов и за один оборот поводка поворачивается на  $60^\circ$ .

На поперечном РВХV установлен дисковый кулачок  $K_5$  подачи продольного (револьверного) суппорта, кулачок  $K_6$  привода приемника ПР деталей и кулачок  $K_7$  переключения кулачковой муфты  $M_5$ . На продольном РВХVI установлены кулачковые барабаны  $B_3, B_4, B_5$  включения зубчатых муфт  $M_2, M_3, M_4$  и дисковые кулачки  $K_1, K_2, K_3, K_4$  подачи поперечных суппортов, цилиндрический кулак  $K_y$  подачи вспомогательного продольного суппорта.

Настройка автомата включает разработку технологии изготовления детали на автомате, составление расчетно-технологической карты наладки, выбор инструментов и нормальной специальной оснастки. Процесс изготовления детали включает перечисление переходов, режимов резания и длин перемещений инструментов, режущего, вспомогательного и измерительного инструмента. Эти данные сводят в объединенную операционно-наладочную карту автомата (рисунок 15.7). Обязательно указывают вспомогательные переходы: 1 – подача прутка до упора; 2, 4, 7 и 11 – переключение револьверной головки; 13 – переключение направления и частоты вращения шпинделя. Переключение частоты вращения шпинделя совмещено с переключением револьверной головки и в карте наладки не учитывается. Время вспомогательных переходов для автомата постоянно. Подача материала и поворот головки осуществляется за 1 с, переключение направления вращения шпинделя – за 0,5 с, переключение скорости вращения шпинделя – за 0,25 с.

Наладку инструментов по принятому процессу и порядок чередования переходов производят с учетом наладочных и базовых размеров РГ и шпинделя. По паспорту автомата наименьшее и наибольшее расстояние от торца шпинделя до РГ (без оправки инструмента) равно 64 и 180 мм. При наладке перехода 3 принято, что резцовая оправка занимает 58 мм, а минимальное расстояние между шпинделем и головкой 85 мм, следовательно, в исходном положении резца для обточки длины 25 мм расстояние от торца шпинделя до РГ равно  $85 + 25 = 110$  мм, т. е. укладывается в размеры настройки.

Длина рабочих ходов инструментов

$$L = L_p + L_n + L_{nep},$$

где  $L_p$  – длина рабочего хода по чертежу, мм;

$L_n$  – длина подвода инструментов, мм;

$L_{nep}$  – длина перебега инструмента, мм.

Эскиз детали	Наименование операции	Автоматная	Вид обработки	Скорость резания, м/мин	Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	Коэффициент прибедеия	Кружачковый диск					
							от	до				
	Автомат	1E140	Обточка	90	800	1						
	Материал	Сталь	Нарезание резьбы	5,5	80	10						
	Заготовка	36x2500 8-9 качества ГОСТ 7417-75	Срез плашки	Фаски, отрезка	—	200	4					
								40	400	2		
	Марка	A12 ГОСТ 1414-75	Рабочее число оборотов шпинделя				2586					
	Охлаждение	Сульфурезол	Холостное число оборотов				860					
Число оборотов шпинделя для изготовления одной детали						3446						
Эскиз обработки по переходам	п/п	Наименование переходов	Рабочий ход, мм	Подход, мм/об	Обороты шпинделя на данный переход	Скорость резания	Рабочее число ходов	Кружачковый диск				
								Сотые		Радиус		
								от	до	от	до	
	1	Подача прутка до упора					2	0	2	113	113	
	2	Переключение револьверной головки					2	2	4	112	112	
	3	Обточка $\phi 28$	27	0,08	350	350	10	4	14	113	140	
	4	Переключение револьверной головки					4	14	18	118	118	
	5	Обточка фаски $1,5 \times 45^\circ$ и зацентровка	7	0,09	80	160	5	18	23	120	127	
	6	Пауза					0,5	23	23,5	127	127	
	7	Переключение револьверной головки					5	23,5	28,5	102	102	
	8	Обточка $\phi 21,86_{-0,14}$ и сверление	27	0,068	400	400	11,5	28,5	40	104	131	
	9	Пауза					0,5	40	40,5	131	131	
	10	Медленный отход	27	0,08	350	350	10,5	40,5	51	131	104	
	11	Переключение револьверной головки и шпинделя					4,5	51	55,5	83	83	
	12	Нарезание резьбы M22x2,5	22,5	2,5	9	90	3	55,5	58,5	84,5	103	
	13	Переключение частоты и направления вращения шпинделя	22,5	2,5	9	36	1	58,5	59,5	103	84,5	
	14	Обточка канавки	3,5	0,03	(120)	(240)	(7)	(0,5)	(68)	(75)	78,5	82
	15	Передний суппорт					(0,5)	(75)	(75,5)	82	82	
	16	Отход резца					(0,5)	(75,5)		82	55	
	17	Обточка фаски $1 \times 45^\circ$	2	0,03	(68)	(136)	(4)	(0,5)	(66)	(70)	78	80
	18	Пауза					(0,5)	(70)	(70,5)	80	80	
	19	Отход резца					(0,5)	(70,5)		80	55	
20	Верхний суппорт						62	97	77,5	95	95	
21	Отход резца	18	0,03	600	1200	35	3	97	100	95	95	
				Итого:				2586	76	24		

Рисунок 15.7. – Операционно-технологическая карта обработки штуцера

Так, в переходе 3 для рабочего хода инструмента принято  $L = L_p + L_n = 25 + 2 = 27$  мм. Для наладки станка рекомендуются следующие средние значения установочных размеров  $L_n$  и  $L_{пер}$ : резец проходной – 1,5 мм; резец фасонный – 0,5 мм; резец отрезной – 0,5 мм; сверло, зенкер, развертка 1 – 2 мм; метчик, плашка – 2 мм.

Размер диаметра обработки (обточки, расточки) устанавливают регулировкой инструмента на размер по чертежу.

Расчет и назначение подач и скоростей резания производят по условиям обработки согласно нормативам резания. Так, для перехода 3 принято  $s = 0,08$  мм/об,  $v = 80$  м/мин, а для перехода 12  $s = 2,5$  мм/об (шаг нарезаемой резьбы),  $v = 5,5$  м/мин.

Переходы выполняют с различной скоростью резания, и время одного оборота шпинделя для различных переходов неодинаково, поэтому нельзя его складывать без приведения к общему расчетному числу оборотов.

Коэффициент приведения

$$k = n_0/n,$$

где  $n_0$  – наибольшая частота вращения шпинделя;

$n$  – частота вращения на данном переходе.

Поэтому

$$k_1 = 800/800 = 1, k_2 = 800/400 = 2, k_3 = 800/200 = 4, k_4 = 800/80 = 10.$$

Так, для 5, 14, 17, 20 переходов расчетные обороты шпинделя  $n_{pi} = n_i k_2$ ,  $n_{p5} = n_5 k_2 = 80 \cdot 2 = 160$ ,  $n_{p17} = 68 \cdot 2 = 136$ ,  $n_{p20} = 600 \cdot 2 = 1200$ ,  $n_{p14} = 120 \cdot 2 = 240$ .

Рассчитанные аналогичным способом с учетом коэффициентов приведения числа оборотов других переходов вносят в таблицу. В карте настройки в скобках указаны числа оборотов для совмещенных операций, не учитываемых в расчете времени цикла работы станка. Расчетное число оборотов шпинделя, необходимых для совершения всех рабочих переходов, составит сумма чисел расчетных оборотов (без скобок),  $\sum n_p = 2586$  об.

По условиям наладки цикл работы должен совершиться за один полный оборот кулачков, выполняющих холостые и рабочие ходы переходов. В графе «сотые доли» имеются две колонки - сотые доли для рабочих и холостых ходов. Сотые доли холостых ходов выбирают по данным паспорта автомата. Так, для 1-го перехода – 2 сотых диска кулачка; для 4,7, 11 переходов – 2–5 сотых, для 9, 21 переходов – соответственно 0,5 и 3 сотых.

Общая сумма сотых долей холостых ходов соответствует 24 лучам из общего числа 100 лучей полного оборота  $PB$ . Поэтому число расчетных оборотов для выполнения холостых ходов

$$\sum n_x = \sum n_p \cdot 24/76 = 2586 \cdot 24/76 = 816.$$



Продолжительность цикла работы складывается из суммы времен переходов, которые можно подсчитать по числу оборотов шпинделя для выполнения каждого перехода. Для этой цели в графе *Обороты шпинделя* предусмотрены две колонки: обороты шпинделя на данный переход и обороты шпинделя для расчета. Обороты шпинделя на данный переход (ход)  $n_{ход} = L/s$ , где  $L$  – длина перемещения инструмента, мм;  $s$  – подача, мм/об.

Так, для перехода 3 число оборотов на переход  $n_{ход} = 27/0,08 = 338$  об. Учитывая время выстоя резца в конце перехода для зачистки, принято  $n_{ход} = 350$  об. Рассчитанные числа оборотов переходов занесены в графу *Обороты на данный переход*.

Числа оборотов шпинделя для расчета вычисляются с учетом режимов работы на каждом переходе. Так, на станке установлено четыре режима чисел оборотов шпинделя: 5, 14, 17, 20 переходы – 400; 3, 8, 10 переходы – 800; 12, 13 переходы –  $200 \text{ мин}^{-1}$ . Эти обороты подсчитаны по соответствующим режимам и согласованы с числами оборотов шпинделя. Из перечисленных чисел оборотов шпинделя наиболее быстроходным является  $800 \text{ мин}^{-1}$ . Оно взято за основное расчетное число.

Пересчет чисел оборотов каждого перехода в число оборотов для расчета производят с помощью коэффициентов приведения  $k$ . Общее число расчетных оборотов шпинделя для полного цикла работы:

$$\sum n = n_p + n_x = 2586 + 816 = 3402.$$

Продолжительность цикла работы

$$t_{ц} = (n_p + n_x)/n_0 = 3402/800 = 4,25 \text{ мин} = 255 \text{ с}.$$

По паспортным данным подбирают необходимые сменные колеса для настройки гитары  $i_{ц}$  по расчетному циклу работы. Циклу  $t_{ц} = 258 \text{ с}$  соответствуют сменные колеса  $a = 20$ ,  $b = 80$ ,  $c = 60$ ,  $d = 71$ .

Число сотых долей для рабочих ходов  $a_i = n_{pi}/n_l$ , где  $n_l$  – число расчетных оборотов на одну сотую,

$$n_l = \sum n/100 = 3402/100 = 34,02 \text{ об/луч}.$$

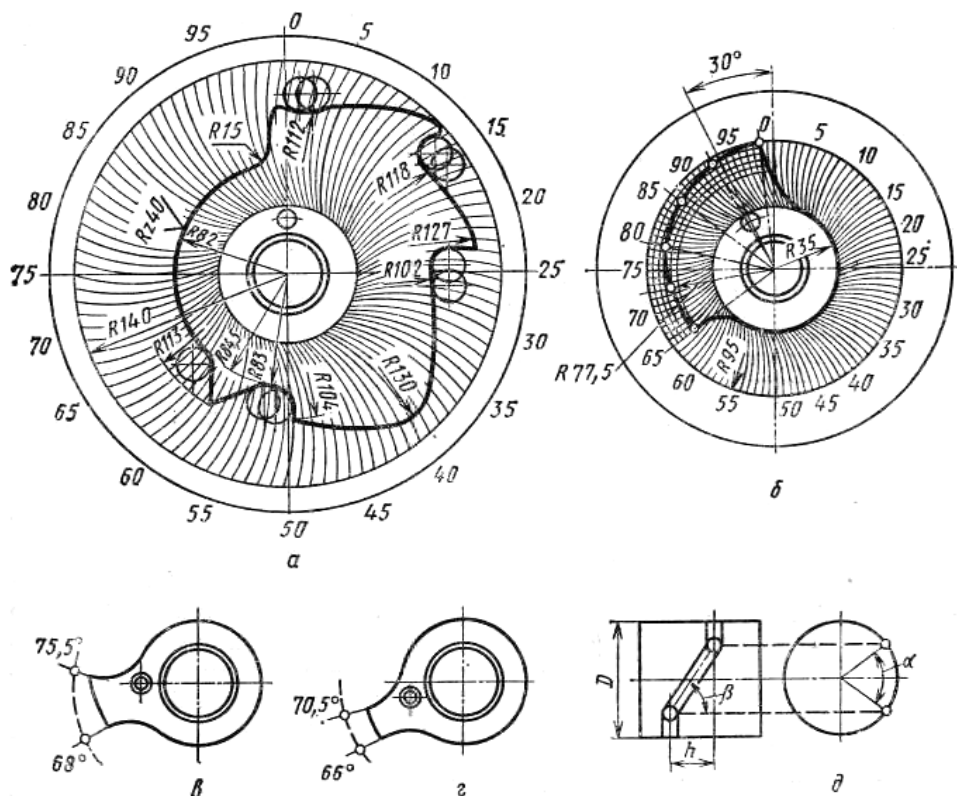
Для 3-го перехода число сотых

$$a_3 = n_{p3}/n_l = 350/34,02 = 10.$$

Рассчитанное число лучей для переходов вносим в карту. Общее число лучей рабочих и холостых ходов должно равняться сумме  $\sum a_i = 100$ . Радиусы кулачков диска определяют из конструктивных условий, исходя из размеров роликов, рычагов, соотношения плеч рычагов и размеров дисков кулачков.

Профили кулачков вычерчивают на бланках, разделенных на 100 частей прямыми или кривыми лучами (рисунок 15.8, а, б). Радиусы криволинейных лучей равны длине рычага качания. На бланки наносят соответственно с картой настройки участки сектора кривых рабочих и холостых ходов. На каждом участке определяют максимальные и минимальные радиусы зоны расположения кривой и на этом участке строят для рабочих движений архимедову спираль, а для холостых ходов кривые вычерчивают по шаблону.

Кривые барабанов можно рассчитать по рисунку 15.8, д. Задано:  $a$  – число лучей поворота барабана;  $L$  – перемещение исполнительного механизма при соотношении рычагов 1:1;  $D$  – диаметр барабана. Величины  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $l$  определяются следующим образом: угол сектора кривой барабана  $\alpha = 3,6^\circ a$ , где  $3,6^\circ$  – цена одного луча. Длина дуги по барабану  $l = \pi Da/360^\circ$ . Необходимый угол подъема кривой барабана  $\beta = \text{arctg } h/l$ .



**а** – продольного суппорта; поперечных суппортов: **б** – вертикального; **в** – переднего; **г** – заднего; **д** – вспомогательного вала

**Рисунок 15.8. – Кулачки токарно-револьверного автомата**

Наладка автомата заключается в снятии с *PВ* кулачков револьверной головки и поперечных суппортов, смене державок инструмента. Затем производят смену зубчатых колес в коробке скоростей и в приводе *PВ*.

Устанавливают новые кулачки револьверной головки и поперечных суппортов, размещают резцы, начиная с отрезного резца, регулируют длину подачи прутка и хода инструментов.

Производительность автомата при рассмотренной настройке

$$Q = 3600/258 \approx 13 \text{ дет./ч.}$$

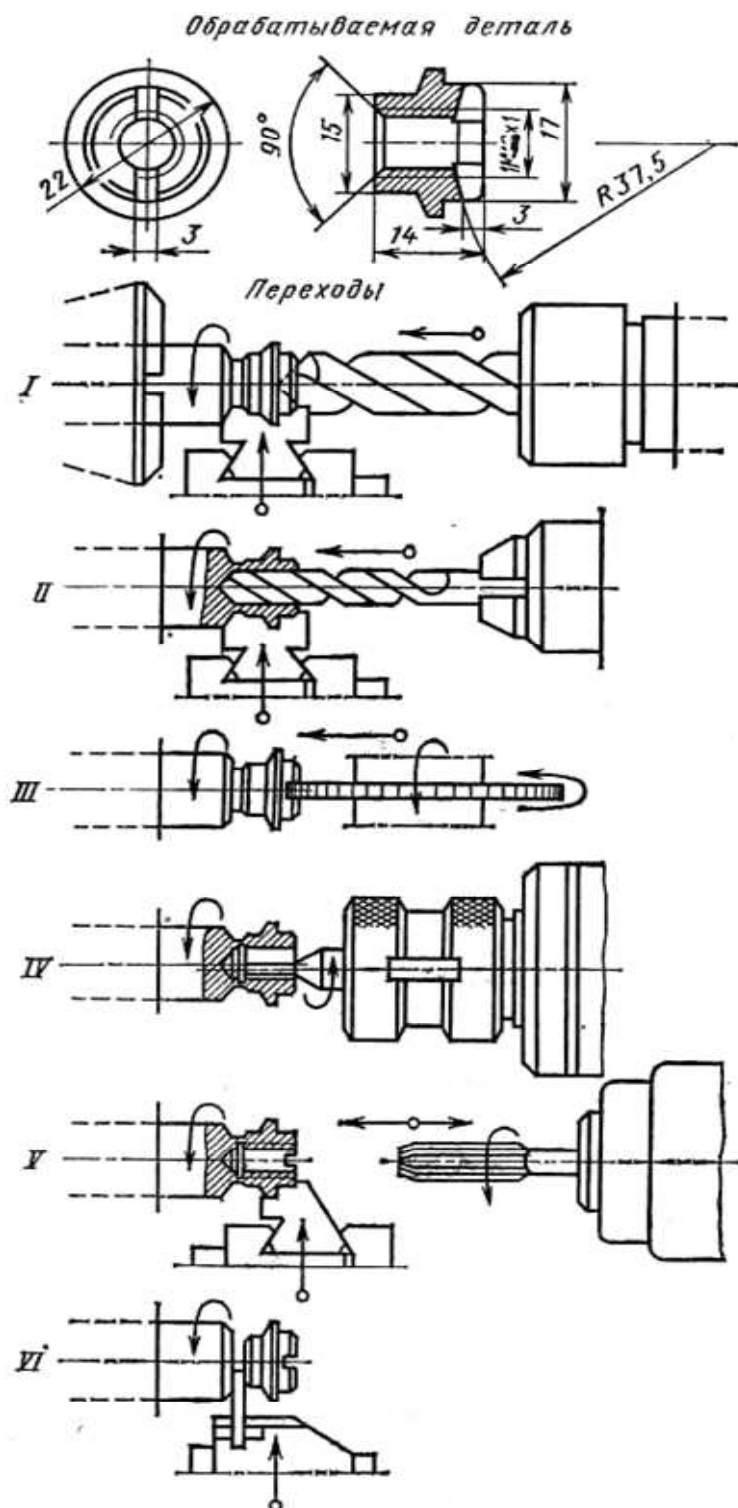
### **15.5 Многошпиндельный прутковый автомат модели 1Б240-6**

Гамма горизонтальных многошпиндельных автоматов с временной СУ построена на базе шестишпиндельных моделей, принятых за основные. Подобие основных узлов и механизмов, высокая унификация обеспечивают высокое качество изготовления, стабильную точность и высокую надежность станков. На многошпиндельных автоматах выполняют центрование, черновую, чистовую и фасонную обточки, подрезку, снятие фасок, проточку канавок, сверление, зенкерование, развертывание, нарезание наружных и внутренних резьб, фрезерование шлицев, отрезку. Кроме того, можно выполнять операции без снятия стружки: накатку рифлений, клеймение цифр и марок, накатку резьбы, раскатку и обкатку поверхностей (рисунок 15.9).

Направление вращения шпинделей в многошпиндельных автоматах не меняется при обработке. Поэтому нарезание резьб метчиками и плашками производят при отставании инструмента, а свинчивание – посредством обгона вращающейся детали. Для фрезерования шлицев используют специальное приспособление, обеспечивающее помимо вращения фрезы синхронное с рабочим шпинделем вращение фрезерной головки (рисунок 15.9, поз. III).

Горизонтальные многошпиндельные автоматы характеризуются последовательным принципом действия, когда операции по обработке детали равномерно распределяются по всем позициям I–VI. При большом числе шпинделей на шестишпиндельных и, особенно, на восьмишпиндельных автоматах применяется параллельно-последовательный принцип действия, когда одна или две детали с базированием по отверстию и наружной поверхности на станках с двойной индексацией проходят одновременно последовательную обработку.

Автомат 1Б240-6 (рисунок 15.10) является базовой моделью многошпиндельных автоматов. При использовании постоянных кулачков автомат имеет регулируемый ход продольного и поперечных суппортов, что упрощает и ускоряет наладку. Автомат предназначен для изготовления деталей из прутков круглого и многогранного сечения.



**Рисунок 15.9. – Последовательность переходов при обработке гайки на шестишпиндельном автомате**



*Техническая характеристика.* Наибольший диаметр прутка 40 мм; наибольшая длина подачи прутка 180 мм; частоты вращения шпинделей 154–2120 мин<sup>-1</sup>; число скоростей – 24; наибольший рабочий ход продольного суппорта 166 мм, поперечных верхних суппортов – 65 мм, средних и нижних – 40 мм; время холостого хода 2,7 с; время обработки одной детали – 288 с.

Каждая позиция шпинделей обслуживается продольным и поперечным суппортами. Две верхние позиции могут оснащаться дополнительными устройствами, имеющими независимую подачу. В пяти позициях продольного суппорта могут быть установлены приспособления для сверл, разверток, резбовых плашек и метчиков. На первой шпиндельной позиции используется откидной упор для выдвигания прутка на размер обработки.

Кинематическая группа скорости резания  $\Phi_v(B_1)$  простая. Ее внутренняя связь – вращательные пары:

*корпус шпиндельного блока* → *шпиндели заготовок* ( $B_1$ ).

Внешняя связь – кинематическая цепь главного движения:

$M_1 \rightarrow 124/317 \rightarrow i_v \rightarrow (55/37 \text{ или } 25/67) 45/45 \rightarrow 49/38 \rightarrow \text{шпиндели } (B_1)$ .

Группа настраивается только на один параметр – скорость (резания) двухколесной гитарой зубчатых колес  $i_v = A/B$ .

Для этой гитары расчетная цепь совпадает с внешней связью группы. Поэтому РП имеют вид:

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{ш} \text{ мин}^{-1}$$

Тогда УКЦ:

$$n_{ш} = 1450 \frac{124}{317} (\eta = 0,96) (i_v = \frac{A}{B}) (\frac{55}{37} \text{ или } \frac{25}{67}) \frac{45}{45} \frac{49}{38}.$$

Откуда ФН при зацеплении 55/37 и 25/67 соответственно:

$$i_{v1} = n_{ш}/1047; \quad i_{v2} = n_{ш}/263.$$

Блок зубчатых колес 37–67 используют для быстрого переключения частоты вращения шпинделей. Для точной настройки частот вращения шпинделей служит комплект из 12 пар сменных зубчатых колес  $A, B$ .

При нарезании резьбы метчиками и плашками вращательное движение инструментальному шпинделю, установленному на продольном суппорте, сообщается от вала  $V$  посредством двухколесных гитар  $c/d$  и  $ef$ . Процессом нарезания резьбы управляет плоский кулачок барабана  $13$ , установленного на  $PB$ , посредством переключения муфты  $M_2$ . При нарезании резьбы движение инструментальному шпинделю сообщается через гитару  $c/d$ , а при свинчивании – через гитару  $ef$ .

РП для обеих гитар имеют вид:

$$n_{ш} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_u \text{ мин}^{-1},$$

где  $n_u$  – круговая частота вращения инструмента.

Тогда УКЦ:

$$n_u = 38/49 \cdot M_2 \cdot c/d \text{ или } e/f.$$

Откуда ФН:

$$c/d = e/f = 6,1 n_u.$$

При нарезании резьбы

$$n_u = n_{ш} - n_v,$$

где  $n_v = 1000 v/\pi D$ ,  $v$  – скорость резания, м/мин;

$D$  – средний диаметр резьбы.

При свинчивании (вывинчивании) инструмента

$$n_u = n_{ш} + n_c,$$

где  $n_c = (2-3) n_v$ .

Быстросверлильный шпиндель устанавливается на продольном суппорте и соединяется с валом 21. Направление вращения этого шпинделя противоположно направлению вращения шпинделей заготовок.

Вращательное движение быстросверлильному шпинделю сообщается от электродвигателя  $M_1$  по внешней связи группы скорости резания до центрального вала  $V$  и далее через передачи 42/20, сменное колесо  $k$  и вал 21.

Группа подачи  $\Phi_s(\Pi_2)$  выполняет также функцию системы временного управления циклом обработки, включающую управление рабочими и вспомогательными движениями исполнительных органов станка и последовательностью выполнения этих движений.

Внутренняя связь группы:

*направляющие станины* → *поперечные и продольный суппорт* ( $\Pi_2$ ).

Внешняя связь – кинематическая цепь, соединяющая электродвигатель  $M_1$  с  $PB$  (вал  $X$ ), выполняющем в приводе подач функцию  $TB$ :

$M_1 \rightarrow 124/317 \rightarrow i_v \rightarrow (55/37 \text{ или } 25/67) 45/45 \rightarrow 25/25 \rightarrow i_{\text{ц}} = a/b \rightarrow$   
 $\rightarrow 3/22 \rightarrow 43/43 \rightarrow 1/42 \rightarrow PB \rightarrow \text{кулачки } (TB) 9,10 \rightarrow \text{рычаги} \rightarrow$   
 $\rightarrow \text{поперечные суппорты } (\Pi_{2\text{non}}) \text{ и барабан } (TB) 13$   
 $\rightarrow \text{продольный суппорт } (\Pi_{2\text{прод}}).$

Группа настраивается на путь, скорость и исходное положение суппортов жесткими программоносителями, функцию которых выполняют кулачки 9, 10 и барабан 13. Гитара  $i_{\text{ц}}$  используется для задания времени обработки.

РП для гитары  $i_u$ :

$$\frac{n_{ш}}{60} \cdot t_p \text{ об. шпинделей} \rightarrow \frac{\alpha_p^0}{360^0} \text{ об. } PB,$$

Тогда УКЦ:

$$\frac{\alpha_p^0}{360^0} = \frac{n_{ш}}{60} \cdot t_p \cdot \frac{38}{49} \cdot \frac{25}{25} \cdot \left(i_u = \frac{a}{b}\right) \cdot \frac{3}{22} \cdot \frac{43}{43} \cdot \frac{1}{42}.$$

Откуда ФН:

$$i_u = \frac{\alpha_p \cdot 60 \cdot 49 \cdot 22}{360 \cdot n_{ш} \cdot t_p \cdot 3} = \frac{60 \alpha_p}{n_{ш} t_p}.$$

Ускоренное вращение для вспомогательных движений  $PB$  получает от вала  $II$  при включении фрикционной муфты  $M_1$  от кулачкового барабана  $13$ . Обгонная муфта  $M_o$  на валу  $VIII$  разъединяет цепь рабочей подачи от цепи ускоренного вращения. Ускоренный ход  $PB$  (УКЦ)

$$n_{x.x} = 1450 \frac{124}{317} \eta \frac{30}{30} \frac{43}{43} \frac{1}{42} = 13 \text{ мин}^{-1}.$$

При переключении вращения  $PB$  с быстрого хода на медленный включается тормоз  $T$  на валу  $VIII$ , управляемый от  $PB$  синхронно с муфтой  $M_1$ .

Поперечные суппорты приводятся в движение рычажной системой от дисковых кулачков  $9$  и  $10$ , установленных на  $PB$ . Диапазон рабочих ходов суппортов при четырех сменных кулачках обеспечивается регулируемыми рычагами. Изменение плеч рычага обеспечивается переставной тягой.

Продольный суппорт предназначен для установки резцедержавок с инструментами и приспособлений для сверлильных и резбонарезных работ. В поперечном сечении продольный суппорт имеет шестигранную (по числу рабочих позиций) форму с направляющими для приспособлений типа «ласточкин хвост». Продольный суппорт скользит по трубе, охватывающей центральный вал, и имеет призматические направляющие в траверсе  $11$ , с которой он соединен вертикальным кронштейном  $28$ . Продольный суппорт имеет быстрый подвод на длине  $120$  мм, медленный рабочий ход, регулируемый в пределах  $20$ – $80$  мм, и быстрый отвод. Такой цикл движения осуществляет двухреечный механизм, размещенный в каретке  $18$  с шестерней  $z = 18$ ,  $m = 4$  мм. Рейки  $17$  и  $29$  находятся с обеих сторон и при вращении реечной шестерни получают противоположное движение. Каретка связана с барабаном  $13$  на  $PB$ , рейка  $17$  тягой  $16$  и рычагом  $15$  – с барабаном  $14$ , а рейка  $29$  – с кронштейном  $28$  продольного суппорта  $22$ . При вращении  $PB$  первой в движение приводится каретка от кулака барабана  $13$ . Рычаг, а с ним и рейка  $17$  стоят неподвижно, т.к. на барабане  $14$  в данный момент проходит постоянный



участок. По неподвижной рейке 17 обкатывается реечная шестерня, двигаясь вместе с кареткой, и выдвигает рейку 29. На рейке 29 суммируются два движения: от хода каретки и от вращения реечной шестерни. Продольный суппорт получает ход в 2 раза больше хода каретки. Происходит быстрый подвод суппорта к рабочим шпинделям. Затем на равномерном участке кулачка барабана 13 каретка останавливается по упору. Второй кулак барабана 14 медленно поворачивает рычаг 15, который через тягу 16 перемещает рейку 17. Реечная шестерня поворачивается уже вокруг неподвижной оси, медленно перемещает рейку 29, а с ней и суппорт. Изменяя место закрепления тяги 16 на рычаге 15, получают разный ход суппорта при постоянном радиусе кулачка.

Шпиндельный блок является основным узлом автомата и определяет точность обработки. Шпиндельный блок включает барабан, группу шпинделей, механизмы подъема, поворота и фиксации барабана (рисунок 15.11). В барабане 1 расточены цилиндрические гнезда под опоры шпинделей 2. На барабане установлен венец зубчатого колеса 3, служащий для поворота шпиндельного блока. В корпусе барабана размещены фиксирующие замки 5 для рычагов фиксации би запираания 14.

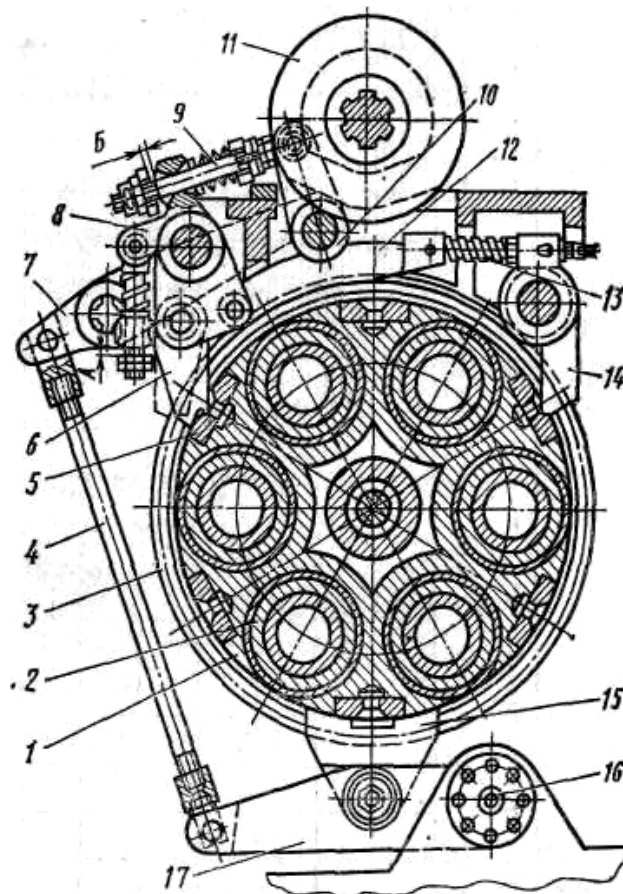


Рисунок 15.11. – Шпиндельный блок

Периодический поворот блока и его фиксация осуществляется ненастраиваемой группой деления  $D(B_4)$ .

Внутренняя связь группы деления:

*корпус* → *шпиндельный блок* ( $B_4$ ).

Внешняя связь этой группы:

$M_1 \rightarrow 124/317 \rightarrow i_v \rightarrow (55/37 \text{ или } 25/67) 45/45 \rightarrow 25/25 \rightarrow i_{\text{ш}} = a/b \rightarrow 3/22 \rightarrow$   
 $\rightarrow 43/43 \rightarrow 1/42 \rightarrow PB \rightarrow \text{поводок } 7 \rightarrow \text{мальтийский крест } 6 \rightarrow 64/48 \rightarrow$   
 $\rightarrow \text{вал XIII} \rightarrow 62/124 \rightarrow \text{шпиндельный блок}$   
*и барабан с трубами для прутковых заготовок.*

Параметр путь, т.е. поворотшпиндельного блока на угловой шаг, равный  $1/6$ , обеспечивается четырехпазовым мальтийский крестом. Поворот блока осуществляется на поддерживающей колодке. Перед поворотом производится расфиксация и подъем барабана на  $0,3-0,4$  мм от опорной поверхности. От кулака  $11 PB$  приводится в движение рычаг  $10$ , который через тягу  $9$  выбирает зазор  $B$  и поворачивает промежуточный рычаг  $8$ . Последний выводит из гнезда замка  $5$  фиксирующий рычаг  $6$ , а через тягу  $12$  и регулировочный стержень  $13$  – запирающий рычаг  $14$  из противоположного относительно вертикальной оси гнезда. Затем от другого кулака  $PB$  через рычаг  $7$  и тягу  $4$  поворачивается качающийся на оси  $16$  рычаг  $17$  с опорной колодкой  $15$ , поднимая шпиндельный блок. После поворота блок опускается на поверхность и фиксируется рычагами  $6$  и  $14$ .

*Особенности настройки и наладки многошпиндельных автоматов.* Одновременная обработка деталей накладывает особые условия на разрабатываемый технологический процесс, заключающийся в необходимости выдерживать равную продолжительность обработки на позициях и выбирать режимы обработки (главным образом скорость резания) с учетом постоянства частоты вращения шпинделей.

Наличие приспособлений  $26$  (см. рисунок 15.10) с независимым вращением от вала  $VII$  со сменными шестернями  $c, d$  и  $e, f$ , вала  $21$  и независимой подачей от кулаков  $12 PB$  через рычажную систему  $27$  инструментальных шпинделей, устанавливаемых на продольном суппорте  $22$ , позволяет для сверления, зенкерования, развертывания, нарезания резьбы устанавливать наиболее выгодные режимы обработки.

При разработке процесса длины рабочих ходов выбирают так, чтобы при заданных режимах время обработки было одинаковым. Выявляется лимитирующая операция, на которой длинный проход невозможно разделить на два из-за удорожания оснастки и потери, точности обработки. На других позициях, исходя из времени лимитирующей операции, режимы следует понизить до выравнивания времен. Необходимо стремиться к минимальному числу инструмента.



Последовательность обработки деталей строят так, чтобы на позициях *I, II, III* выполняли черновые, а на позициях *IV, V, VI* – чистовые операции. Такое построение обеспечивает наиболее рациональный сход стружки в корыто с нижних позиций, а минимальный сход стружки с верхних суппортов, попадая в зону черновой обработки, не оказывает существенного влияния на стружкообразование. Отвод стружки из корыта станины *I* производят шнеком *2*, привод которого осуществляется от электродвигателя *M<sub>3</sub>* через червячную передачу 1/50, цепную передачу 10/20 и коническую 20/40.

Из рисунков 15.9 и 15.12 видно, что суппорты вступают в работу одновременно при угле 210° поворота *PB* и заканчивают работу при угле 360°.

При наладке автомата используется привод наладочного вращения *PB* от электродвигателя *M<sub>2</sub>*. При наладке посредством муфты *M<sub>3</sub>* рабочий привод *PB* отключают, и при включении электродвигателя *M<sub>2</sub>* образуется кинематическая цепь наладочного вращения *PB*:

$$n_{PB} = (n_{M2} = 950) \frac{18}{55} \frac{22}{43} \frac{43}{43} \frac{1}{42} = 4 \text{ мин}^{-1}.$$

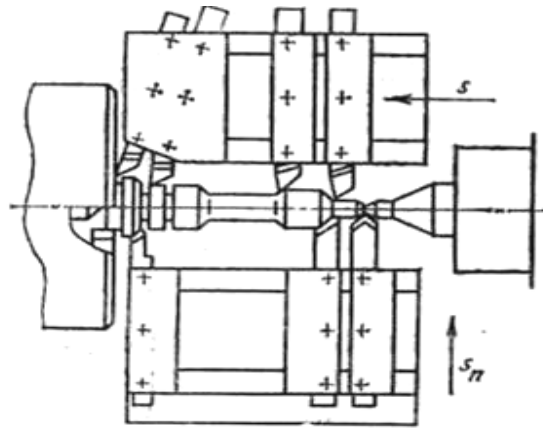
Охлаждение инструмента в зоне обработки осуществляют подачей СОЖ с помощью лопастного насоса *20*, приводимого в действие цепной передачей 20/15 от вала *II*. Соосно лопастному насосу на одном и том же валу установлен шестеренный насос смазки.

До недавнего времени преобразование числовой информации чертежа детали в аналоговый вид (кривые кулачков) требовало трудоемкого процесса изготовления полученных физических аналогов (профильных кулачков-программонесителей). В настоящее время эта задача с существенно меньшими трудозатратами решается посредством использования полуавтоматов фрезерной группы, оснащенных контурными системами ЧПУ.

### **15.6 Токарный многорезцовый полуавтомат модели 1Н713**

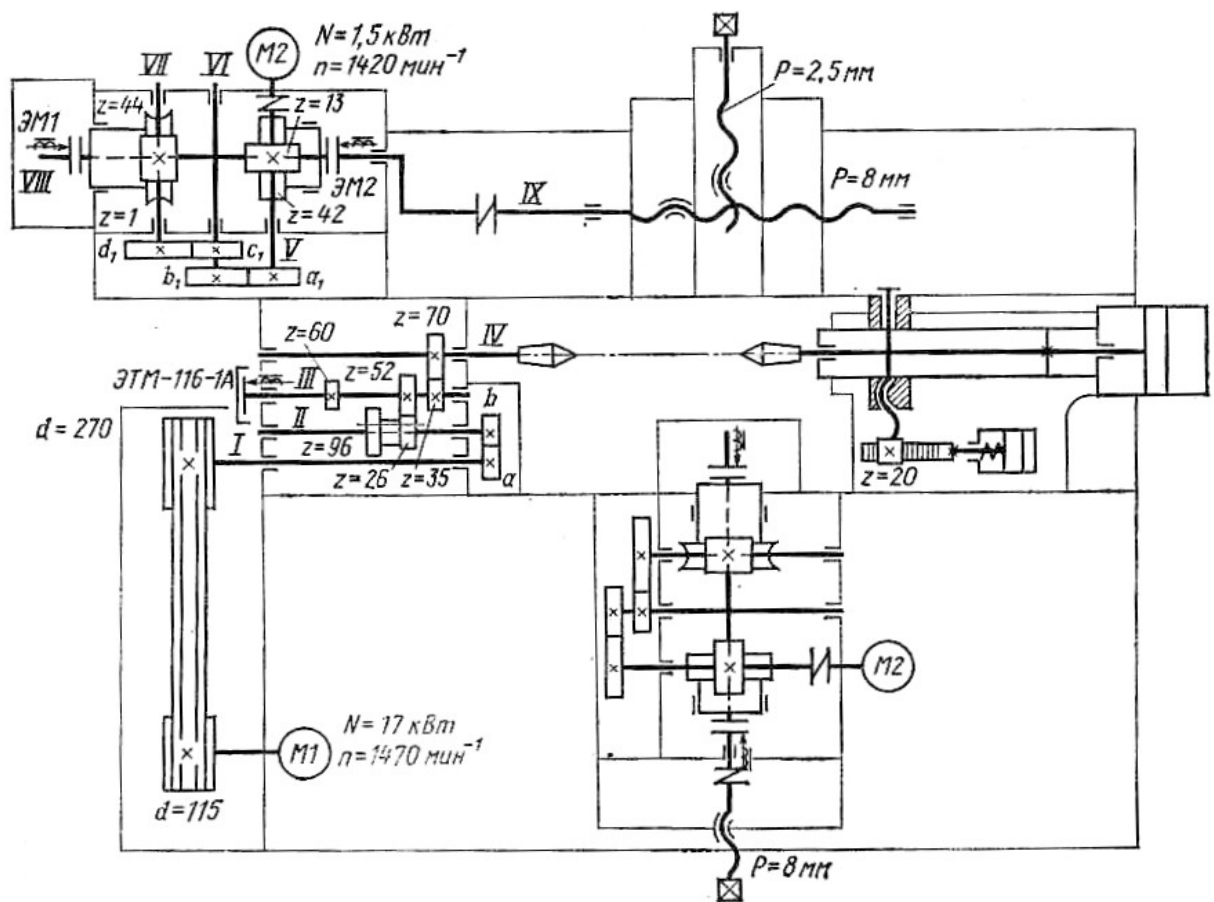
Одним из путей повышения производительности станков токарной группы является применение многорезцовой обработки. В основу такой обработки положен принцип совмещения нескольких рабочих переходов, осуществляемых различными инструментами в один переход с использованием многорезцовых наладок (рисунок 15.13).

В этом случае каждый резец обрабатывает свой участок наружной поверхности заготовки. Этот принцип используется при конструировании многорезцовых токарных полуавтоматов с путевой системой управления. На станках этого типа обрабатывают многоступенчатые детали с канавками, фасками и галтелями. В качестве заготовок используют поковки, отливки и прокат. Обработку осуществляют, как правило, в центрах.



**Рисунок 15.13. – Схема обработки с использованием многолезвой наладки**

Типовым представителем токарных многолезцовых станков является полуавтомат модели 1Н713 (рисунок 15.14), предназначенный для обработки многоступенчатых валов, втулок, фланцев и колец в патроне или в центрах при помощи многолезцовой наладки.



**Рисунок 15.14. – Кинематическая схема многолезцового полуавтомата модели 1Н713**

*Техническая характеристика.* Наибольший диаметр устанавливаемой детали над станиной – 400 мм, над суппортом – 250 мм; наибольшая длина детали – 710 мм.

Область применения – серийное и крупносерийное производство.

Кинематическая группа скорости резания  $\Phi_v(B_1)$ . Ее внутренняя связь:

*передняя бабка* → *шпиндель* ( $B_1$ ).

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow 115/270 \rightarrow i_v = a/b \rightarrow 26/52$  или  $96/60 \rightarrow 35/70 \rightarrow$  *шпиндель*  $IV(B_1)$ .

Группа настраивается только на один параметр – скорость резания гитарой сменных зубчатых колес  $i_v$ . При выключении шпинделя в конце обработки осуществляется торможение электромагнитной тормозной муфтой ЭТМ-116-1А.

РП для гитары  $i_v$ :

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

Тогда УКЦ:

$$n = 1470 \frac{115}{270} \frac{a}{b} \frac{26}{52} \left( \text{или} \frac{96}{60} \right) \frac{30}{75}.$$

Откуда ФН:

$$i_{v1} = n/126; \quad i_{v2} = n/404.$$

Набор сменных зубчатых колес обеспечивает 14 ступеней частот вращения шпинделя в диапазоне 63 - 1250  $\text{мин}^{-1}$ .

Кинематические группы продольной подачи  $\Phi_{s1}(П_2)$  и поперечной подачи  $\Phi_{s2}(П_3)$  конструктивно одинаковы и оснащены унифицированными коробками подач.

Внутренняя связь:

*направляющие* (*прод.* или *попер.*) → *соответствующий суппорт* ( $П$ ).

Внешняя связь (муфта ЭМ1 включена, а муфта ЭМ2 выключена):

$$M_2 \rightarrow i_s = (a_1/b_1) (c_1/d_1) \rightarrow 1/44 \rightarrow (P = 8).$$

Группа настраивается: на скорость – гитарой  $i_s$ ; на путь и исходное положение – упорами путевой системы управления.

РП для обеих групп:

$$n_{M2} \text{ мин}^{-1} \rightarrow s \text{ мм/мин} (П).$$

Тогда УКЦ (муфта ЭМ1 включена):

$$s = (n_{M2} = 1420) (i_s = (a_1/b_1) (c_1/d_1)) 1/44 (P = 8).$$

Откуда ФН:

$$i_s = s/258.$$

Набор сменных зубчатых колес для обеих групп подач обеспечивает 13 ступеней продольных и поперечных подач в диапазоне 25–400 мм/мин.

Ускоренное перемещение суппортов осуществляется при включенной муфте ЭМ2 (ЭМ1 выключена) от электродвигателя  $M_2$  через зубчатые колеса с винтовыми зубьями 13/42 и ходовой винт с шагом  $P = 8$  мм. Скорость быстрых перемещений суппортов 3500 мм/мин.

Смещение задней бабки в поперечном направлении при обточке конусов и перемещение пиноли при зажиме детали осуществляют от пневмоцилиндров. Автоматическим циклом работы полуавтомата управляет командоаппарат, содержащий путевые микропереключатели, на которые воздействуют переставные упоры, установленные на суппортах.

## Глава 16

# СТАНКИ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

### 16.1 Особенности числового программного управления

В предшествующих разделах представлены два основных способа преобразования информации чертежа при изготовлении деталей на станках:

- с участием человека в человеко-машинной системе при использовании универсального станочного оборудования; характерен для единичного и мелкосерийного производства;
- с использованием в станках-автоматах аналоговых программносителей, например, кулачков и копиров; характерен для крупносерийного и массового производства с устойчивым видом продукции.

Развитие технической кибернетики, электроники, вычислительной техники, внедрение в производство ЭВМ привели к разработке и широкому применению в станкостроении систем ЧПУ металлорежущими станками, обладающих преимуществами аналоговых СУ и лишенными их недостатков.

Способ преобразования информации чертежа при использовании станка с ЧПУ приведен на рисунке 16.1.

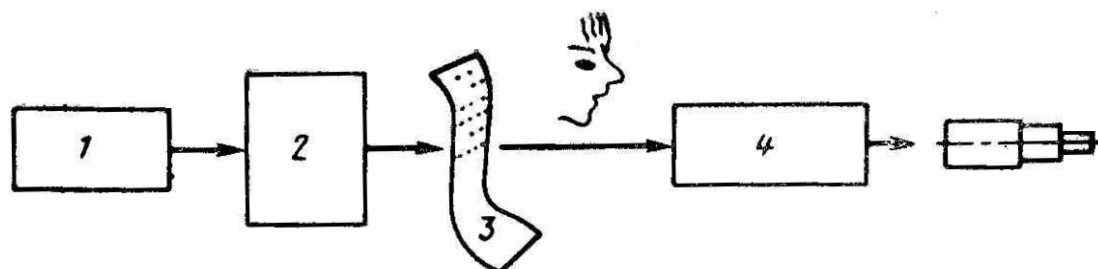


Рисунок 16.1. – Схема преобразования информации в системе ЧПУ

Информация чертежа 1 преобразуется технологом-программистом в текстовую или табличную формы 2, где посредством символов (букв, цифр, знаков) определяется программа (алгоритм) обработки детали. Затем эта информация может быть записана на программноноситель 3 или введена в ЭВМ. Далее от программноносителя (перфоленты, магнитной ленты, диска, флешки и т.д.) или непосредственно от ЭВМ сигналы, поступающие на станок 4, будут определять обработку запрограммированной детали. Следовательно, обеспечивается работа станка без создания аналоговой модели программы и без непосредственного участия в системе управления станком человека. Система управления при таком способе подготовки управляющей программы обладает большой мобильностью; достаточно изменить несколько символов в тексте, чтобы произвести обработку детали с иными размерами.



Подобная система управления универсальна, а подготовка управляющей программы для нее может быть максимально автоматизирована.

Таким образом, станки с ЧПУ – это такое оборудование, у которого в СУ вводится информация в виде символов, характеризующих перемещение исполнительных органов станка, определяющих траекторию движения заготовки (детали) или инструмента, а также весь цикл его работы. Данное определение можно отнести не только к станкам для обработки резанием, но и к технологическому оборудованию для сварки, раскроя материала, автоматического измерения деталей и промышленным роботам, у которых функцию инструмента выполняет рука-манипулятор.

Предпочтительная область использования станков с ЧПУ – многономенклатурное производство при небольших партиях деталей с неустойчивым видом продукции.

## 16.2 Классификация систем ЧПУ по технологическому признаку

По технологическому признаку системы ЧПУ 1 (рисунок 16.2) разделяют на позиционные (координатные) 2 и контурные 5.

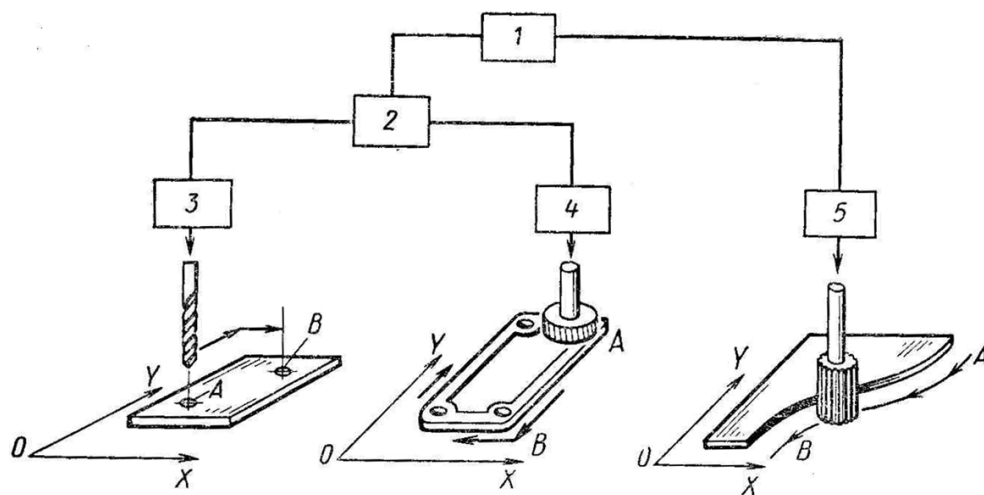


Рисунок 16.2. – Классификация систем ЧПУ по технологическому признаку

В свою очередь среди позиционных систем управления различают:

– системы с управлением положением отдельных точек 3, когда обработка осуществляется после позиционирования инструмента или заготовки в зону обработки. Цикл работы станка предусматривает позиционирование и фиксацию исполнительного органа станка в точке с заданными программой координатами и последующую обработку. В этих системах нет необходимости функционально связывать перемещения исполнительных органов; если они происходят одновременно, то делается это лишь для

сокращения времени позиционирования. Область использования таких систем – станки сверлильно-расточной группы;

– системы с управлением перемещениями вдоль отрезков прямых 4, параллельных направляющим исполнительных органов. В этом случае обработка осуществляется в процессе перемещения от одной позиции к другой, копируя при этом формообразующем движении направляющие соответствующего исполнительного органа. При этом, как правило, исполнительные органы работают поочередно, обходя контур обработки по прямоугольному циклу, и лишь изредка имеет место одновременное движение по двум координатам при обработке поверхности, расположенной под углом примерно  $45^\circ$  к системе координат станка. Область использования таких систем управления – некоторые упрощенные типы токарных и фрезерных станков.

Контурные системы управления обеспечивают формообразующую обработку деталей сложной (фасонной) формы. В этих системах программируется как величина, так и закон перемещения исполнительных органов. Такой характер перемещения обеспечивается посредством функциональной связи между перемещениями исполнительных органов по двум и более координатам. Область использования контурных систем – автоматизированные станки токарной, фрезерной, шлифовальной и других групп для обработки фасонных поверхностей.

В современных многоинструментальных станках (обрабатывающих центрах) принято использовать оба типа рассмотренных систем управления, а выбор той или иной системы по циклу обработки обеспечивается в соответствующем кадре функциональной командой, например, типа G00 в коде ISO-7 bit при программировании обработки.

Абсолютное большинство систем ЧПУ имеет замкнутую структуру. Исключение составляют шагово-импульсные системы, у которых обычно используется только один поток информации. В развитых системах управления, используемых в многоинструментальных станках, предусмотрены также коррекция размеров инструмента, стандартные циклы и возможность программирования и использования подпрограмм, которые можно рассматривать как частные стандартные циклы.

### **16.3 Общая структура систем ЧПУ**

Собственно любая система ЧПУ может быть разделена на вычислительно-логическое устройство (ВЛУ) и автоматическую систему управления электроприводами (АСУ ЭП).

По структуре, функциям и объему информации ВЛУ все системы ЧПУ можно разделить на три основные группы:

- системы NC (Numericalcontrol), выполненные аппаратно, обеспечивающие управление работой станка по программе, заданной в алфавитно-цифровом коде;
- системы CNC (Computernumericalcontrol), содержащие в своей структуре мини-ЭВМ или процессор для выполнения основных функций управления;
- системы DNC (Directnumericalcontrol), управляющие группой станков или гибкой производственной системой от общей ЭВМ, осуществляющей хранение программ и распределение их по запросам от устройств управления отдельных станков; при этом отдельные станки могут быть оснащены устройствами типа NC и CNC.

Системы NC имеют жесткую структуру с определенными заданными функциями управления, и перестройка алгоритмов управления либо невозможна, либо может быть произведена на стадии изготовления.

Системы CNC имеют гибкую структуру с возможностью программирования алгоритмов работы, имеют большой объем памяти, позволяющий хранить управляющую программу. Наличие каналов связи в таких системах позволяют подключать большое число внешних устройств.

Информация, содержащаяся в программе, состоит из двух видов:

- информации, задающей траекторию движений исполнительных органов и обрабатываемой АСУ ЭП;
- информации, формирующей технологические команды.

*Система типа NC.* В ВЛУ типа NC (рисунок 16.3) числовая программа с программноносителя после каждого ее кадра посредством блока воспроизведения программы (БВП) через блок ввода (БВ), в котором производится усиление и формирование сигналов, поступает в блок декодирования (БД). В этом блоке происходит расшифровка кодовых сигналов, в результате чего программная информация в соответствии с ее назначением поступает либо в устройство управления (УУ), обеспечивающее функционирование и взаимодействие блоков ВЛУ, либо через промежуточную память (ПП) – интерполятор (И) и в блок технологических команд (БТК). Интерполятор преобразует числовую информацию, поступающую на него в том или ином виде, в унитарный код (последовательность импульсов) отдельно по каждой координате с соблюдением заданной функциональной зависимости между ними. БТК служит для управления режимами включения и отключения механизмов и исполнительных органов. На пульте управления собственно устройством программного управления (ПУУ) осуществляется задание режимов работы, индикации пути и скорости, задаваемых программой; туда же поступает информация от исполнительных органов. Коррекция программы для учета размера и износа инструмента, для ограничения

динамических контурных ошибок, для компенсации изменения нагрузки и т.д. осуществляется в блоке коррекции программы (БКП).

Следовательно, в системах NC необходимые функции ЧПУ осуществляются отдельными электронными блоками. Причем обработка информации в различных блоках может выполняться параллельно. Введение в систему управления новых функций реализуется только с помощью дополнительных блоков.

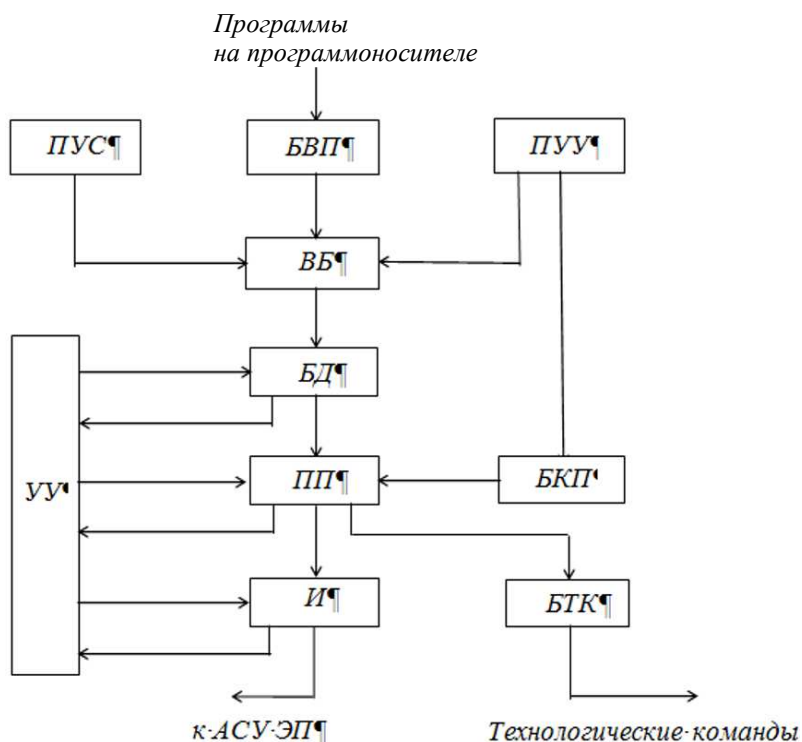
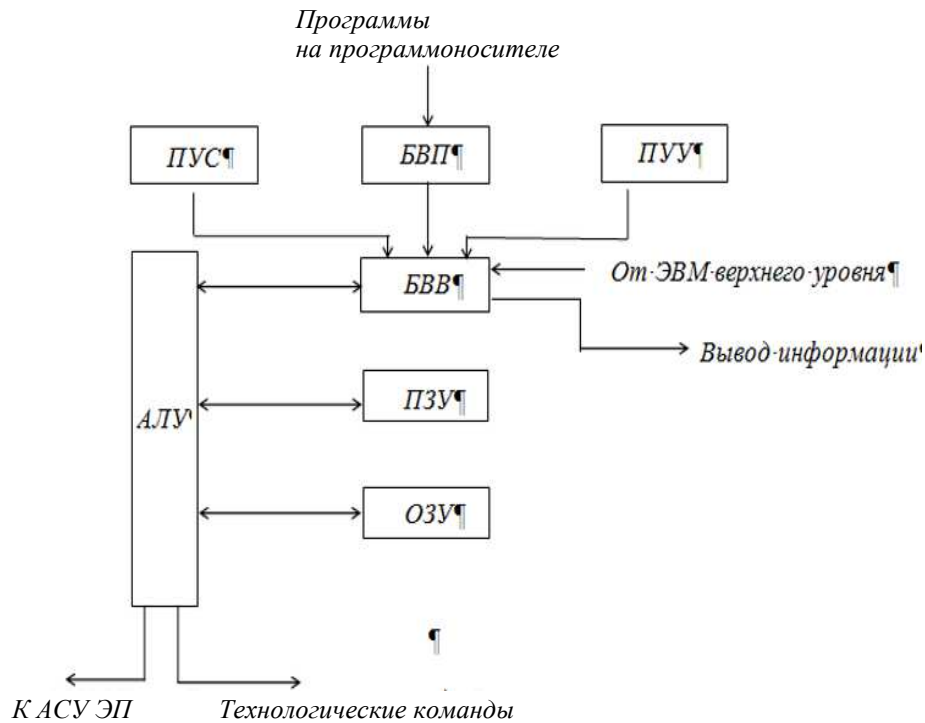


Рисунок 16.3. – Блок-схема системы ЧПУ типа NC

*Система типа CNC.* Этот тип системы характеризуется тем, что основные алгоритмы работы задаются программно или программно-аппаратно и могут изменяться в зависимости от цели применения устройства управления.

В этих системах (рисунок 16.4) реализация алгоритма работы ВЛУ обеспечивается арифметико-логическим устройством (АЛУ). Поэтому многие операции выполняются последовательно. Программа вводится в АЛУ через блок воспроизведения программы (БВП) и блок ввода-вывода (БВВ). В постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ) хранятся постоянные части программы и необходимые константы. ПЗУ используется для декодирования информации, интерполяции и т.д. В оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) заносятся управляющие программы. В нем также хранятся текущие значения параметров, информация для коррекции траекторий движений и т.д. Реализация всех функций ЧПУ в системе CNC посредством

затруднена, т.к. в этом случае требуется очень высокое быстродействие вычислительных средств. Таким образом, с помощью АЛУ выполняются функции устройства управления блоками, декодирования, хранения информации и интерполяция. Блоки ПУС и ПУУ выполняют те же функции, что и в системе типа NC.



**Рисунок 16.4. – Блок-схема системы ЧПУ типа CNC**

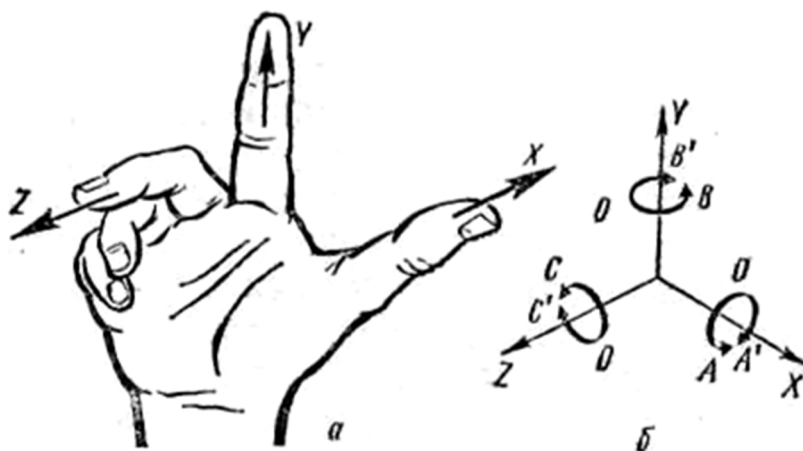
Применение микропроцессоров и микро-ЭВМ обеспечило качественное улучшение структуры систем ЧПУ. Появилась возможность построить систему ЧПУ по принципу малой вычислительной машины с полужестким или гибким заданием алгоритмов работы, памятью на одну или несколько программ, стандартными периферийными устройствами вычислительной техники (печатающим устройством, дисплеем и т.д.), каналами связи с более мощной ЭВМ верхнего уровня.

Появилась также возможность выполнения принципиально новых функций: редактирования программы; коррекция систематических погрешностей; изменение алгоритма работы применительно к станкам различных групп и т.д. Значительное уменьшение габаритов системы ЧПУ позволяет располагать ее непосредственно на станке. Встроенная система типа CNC позволяет выполнить программирование изготовления относительно простых деталей на станке с использованием диалога с дисплеем, программа вводится непосредственно в память системы ЧПУ и проверяется при обработке пробной детали.

Многоцелевые станки, как правило, оснащаются устройствами ЧПУ, включающими оба типа систем, т.е. NC и CNC.

Основной функцией системы ЧПУ является отображение геометрической информации чертежа в совокупность таких формообразующих движений станка, которые материализуют чертеж в конечном изделии. Формообразующие движения воспроизводятся следящими приводами подачи станка, которые расположены так, что они соответствуют координатной системе станка, в которой и осуществляется в процессе обработки управляемое относительное движение инструмента и заготовки.

Станки с ЧПУ во всех странах имеют одинаковые значения направлений перемещений и их символику. Стандартом ISO R841 принято за положительное направление перемещения исполнительного органа станка считать то, при котором инструмент или заготовка отходят друг от друга. Исходной осью (ось  $Z$ ) является ось рабочего шпинделя. Если эта ось поворотная, ее положение выбирают перпендикулярно плоскости крепления детали. Положительное направление оси  $Z$  – от устройства крепления детали к инструменту, тогда оси  $X$  и  $Y$  будут располагаться, как это показано по правилу правой руки на рисунке 16.5.



*a* – правосторонняя система координат; *b* – первичные оси

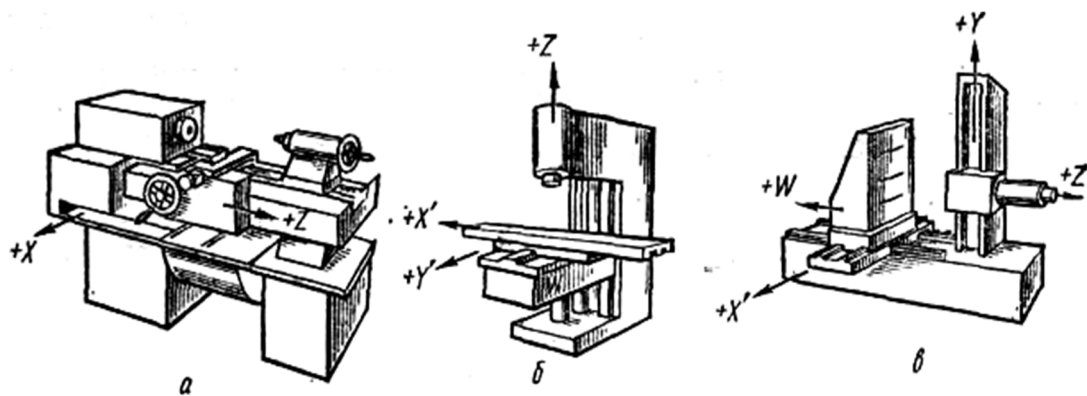
**Рисунок 16.5. – Расположение осей координат на станках с ЧПУ**

На рисунке 16.6 приведены примеры расположения осей на токарном, вертикально-сверлильном и горизонтально-расточном станках с ЧПУ.

Оси  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  называются первичными; они расположены ближе к шпинделю. Вторичные оси  $U$ ,  $V$ ,  $W$  параллельны первичным, третичные обозначают буквами  $P$ ,  $Q$ ,  $R$ . Углы поворота вокруг осей обозначаются  $A$ ,  $B$ ,  $C$  (соответственно для поворота вокруг осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ), дополнительные углы поворота – буквами  $D$  и  $E$ .

Положительным направлением считается вращение по часовой стрелке при взгляде вдоль положительного направления соответствующей оси. При перемещении детали, а не инструмента, положительные значения изменяют направление; их обозначают буквами  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z'$  и т. д.

Для обработки на станке с ЧПУ геометрическую информацию чертежа дополняют информацией, отражающей все необходимые для данной операции технологические переходы: маршрут (выбор исходной точки инструмента и технологических баз заготовки, порядок и направление обхода заготовки инструментом), сведения о числе проходов и применяемых инструментах, данные о режимах резания и др.



*a* – токарный станок; *б* – вертикально-фрезерный станок;  
*в* – горизонтально-расточной станок

**Рисунок 16.6. – Примеры расположения осей координат на станках с ЧПУ**

Для управления станком производится кодирование этой (исходной) информации и представления ее с помощью символов. Для кодирования информации, как правило, используют международный семиразрядный буквенно-цифровой код ISO-7 bit (рисунок 16.7).

Основу кода составляет двоичная система счисления, четыре разряда которой используют для кодирования каждого разряда десятичных чисел, т.е. для кодирования числовой (размерной) информации применена двоично-десятичная система счисления.

Для кодирования знаков и заглавных букв латинского алфавита, а также для кодирования признаков всех составляющих частей кода используют семь двоичных разрядов (7 bit). Для проверки правильности информации каждая строка программноносителя (кодированная комбинация) контролируется по модулю два, т.е. на четность числа единиц, например, пробивок на перфоленте.

Для контроля четности используется восьмая дорожка программноносителя.

Контроль четности										Дорожка 7			
Задание признака										Дорожка 6			
										Дорожка 5			
										nil	SP	0	P
												1	A Q
												2	B R
												3	C S
												4	D T
										%		5	E U
												6	F V
												7	G W
										BS (BШ)	(	8	H X
										HT (ГТ)	)	9	I Y
										LF (ЛС)	* :		J Z
											+		K
													L
										GR (BK)	-		M
													N
											/	0	DEL (36)
8	7/64	6/32	5/16	4/8	с/д	3/4	2/2	1/1	Символ				
Номер дорожки и вес разряда													

Рисунок 16.7. – Структура кода ISO-7 bit

В рассматриваемом коде даны следующие рекомендации по применению букв, сокращенных слов и знаков (даны не полностью):

A, B, C – вращение вокруг осей X, Y, Z или осей, параллельных им;

F – подача (100 значений подачи);

G – адрес режима работы системы ЧПУ (100 команд);

I, J, K – начальные координаты соответственно по осям X, Y, Z дуг окружности относительно ее центра;

L – коррекция;

M – вспомогательные команды (100 команд);

N – номер блока информации, фразы, кадра (1000 номеров);



P, Q, R – дополнительное указание по перемещению (третичному) или ускоренный ход параллельно оси X, Y, Z или произвольно;

S – частота вращения главного движения (скорость) (100 скоростей);

T – инструмент (100 номеров);

U, V, W – дополнительное указание по перемещению (вторичному) параллельно оси X, Y, Z произвольно;

X, Y, Z – перемещение по оси X, Y или Z;

-, + – направления перемещения;

LF (ПС) – конец фразы (кадра, блока);

% – начало программы;

DEL – забой (строка не читается).

Некоторые возможные режимы работы, задаваемые адресом G:

G00 – позиционирование;

G01 – линейная интерполяция;

G02 – круговая интерполяция по часовой стрелке;

G13–G16 – выбор осей координат;

G81–G89 – постоянные циклы с 1 по 9.

Некоторые вспомогательные команды, задаваемые адресом M:

M00 – запрограммированный стоп;

M01 – останов с подтверждением;

M02 – конец программы;

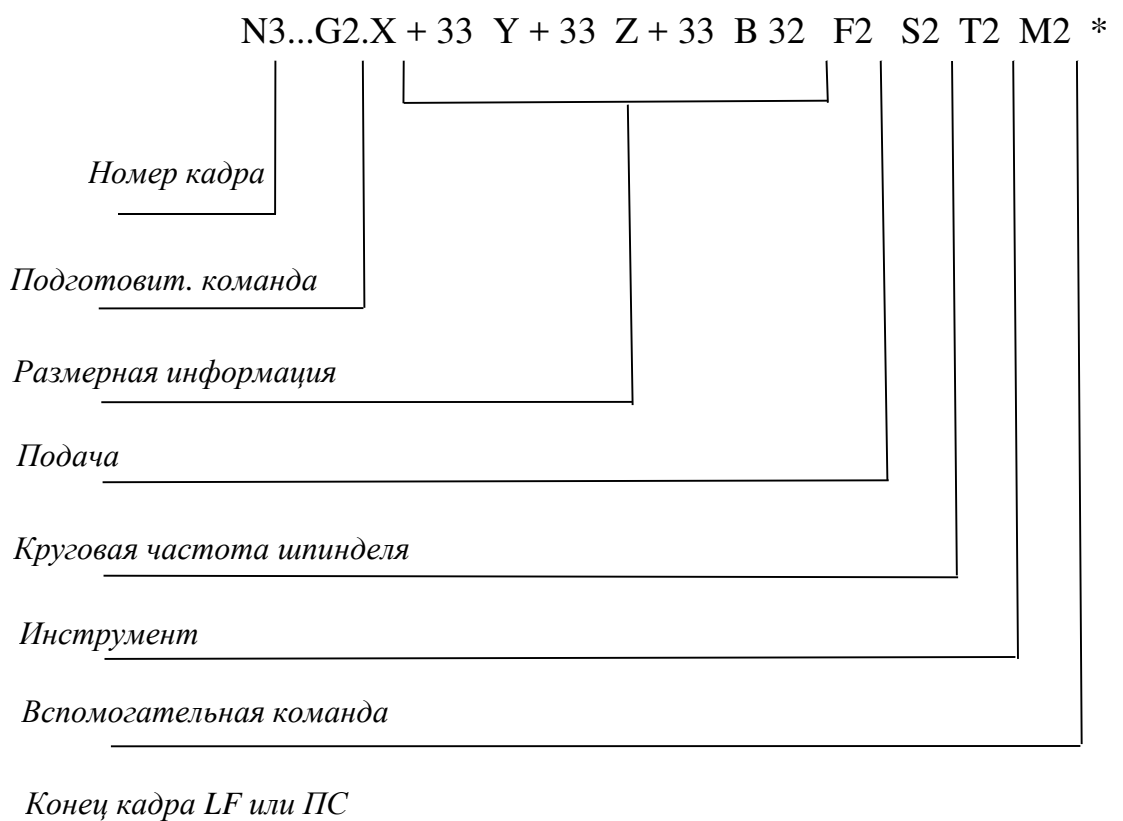
M03 – вращение шпинделя по часовой стрелке;

M06 – команда на замену инструмента.

Информация (кодируется) программируется кадрами. Полное обозначение формата кадра определяет слова и их длину, которые требуются системе ЧПУ для записи необходимой информации. Каждый кадр состоит из слов «номер кадра», слов основной информации и служебного символа «конец кадра», выполняющего функцию разделителя. Слова записываются в порядке, указанном на рисунке 16.8 и внутри кадра не должны повторяться.

Размерная информация задается после символов координаты и направления перемещения (+ или -) двумя цифрами, определяющими количество десятичных разрядов до и после запятой.

Слова «подача» (символ F) и «круговая частота вращения шпинделя» (символ S) выражают задание режимов обработки. Кодом предусмотрено кодирования режимов обработки посредством арифметической либо геометрической прогрессии. На практике предпочтение отдается второму варианту. По этому варианту F и S выражаются кодом из двух цифр, представляющим  $\log_{1,12}F$  и  $\log_{1,12}S$ , а все подачи и круговые частоты выбираются из ряда, представляющего целые степени числа 1,12. При этом 00 соответствует «остановке», 99 – соответственно «быстрому ходу» и «наибольшей круговой частоте», а числа от 1,12 до 75 000 ( $1,12^{99}$ ) охватывают весь возможный диапазон используемых величин подач и круговых частот вращения.



**Рисунок 16.8. – Структура кадра**

Физическим программносителем традиционным для первого этапа развития систем ЧПУ является перфолента, у которой форма, размеры и расположение кодовых и синхронизирующих отверстий определены стандартом (рисунок 16.9). Перфолента шириной 25,4 мм (1 дюйм) включает следующие элементы кодового набора: строка 1, шаг перфорации 2, кодовые отверстия 3, базовую кромку 4, синхронизирующие (транспортные) отверстия 5, синхронизирующую (транспортную, ведущую) дорожку 6, рабочие дорожки  $\delta_1 - \delta_7$ , дорожку контроля на четность  $p$ .

Кодовая комбинация записывается в строке, ее расположение задано синхронизирующим отверстием, которое служит для определения момента считывания кодовой комбинации. Нумерация кодовых дорожек ведется от базовой кромки.

В качестве физического программносителя используется также магнитная лента. Ранее этот программноситель использовался в основном для хранения и ввода информации в декодированном виде (в унитарном коде) в системах контурного управления без встроенного интерполятора. Однако магнитную ленту можно применять и для записи кодированной программы. Такая возможность особенно необходима при использовании ЭВМ в связи с тем, что существенно ускоряется ввод и вывод информации по сравнению с перфорируемыми программносителями. Магнитная лента позволяет

получать высокую плотность записи информации, достигающую до 40 импульсов на миллиметр.

На современном этапе развития устройств ЧПУ предпочтение отдается магнитным дискам, флешкам, вытесняющим в первую очередь перфоленту. Тем не менее, перфолента из-за своей наглядности, вероятно, еще какое-то время будет использоваться в практике, главным образом, при изучении кодов для программирования технологических операций.

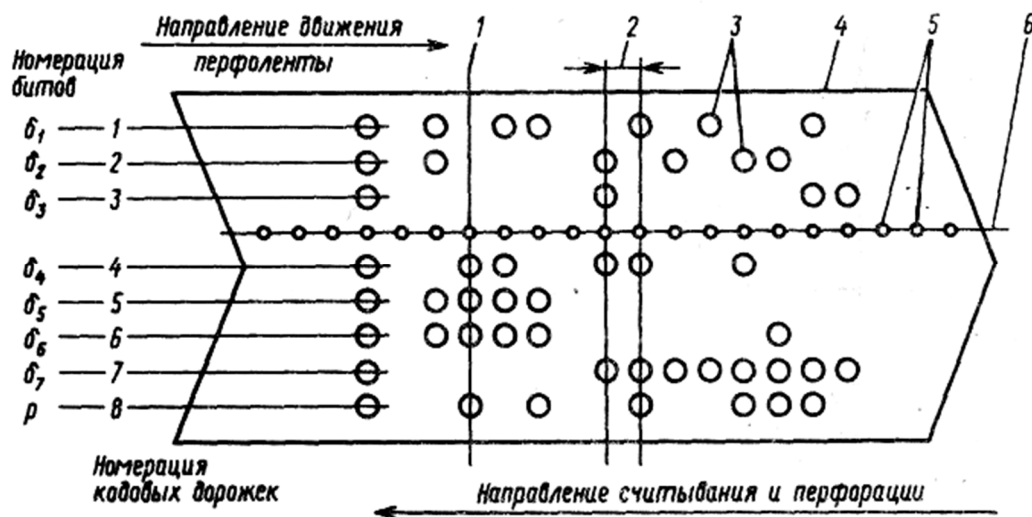
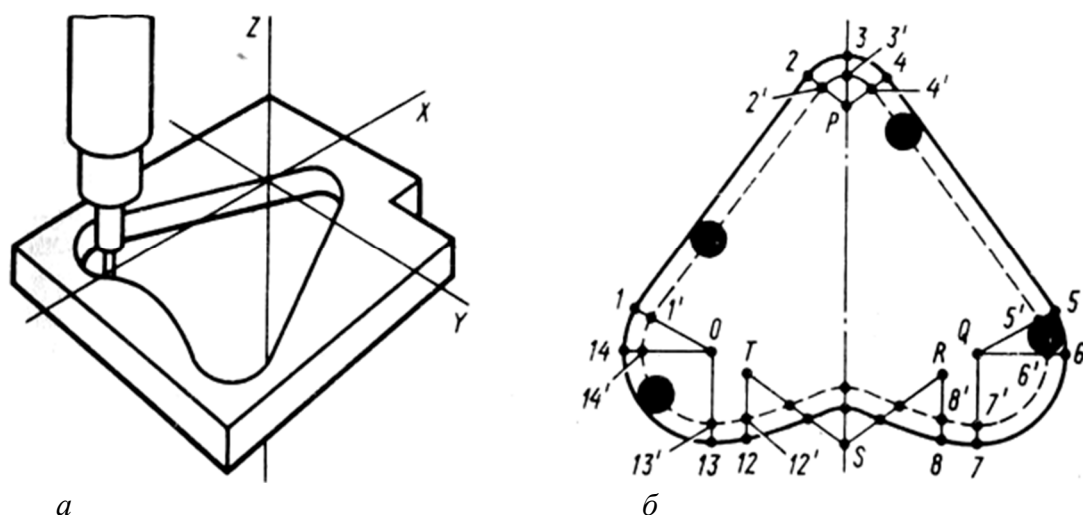


Рисунок 16.9. – Перфолента – физический программноноситель станочного оборудования с ЧПУ

Оценим [22] состав и объем информации, перерабатываемой устройством ЧПУ, на примере контурной обработки плоской детали (рисунок 16.10).

Для этого рассмотрим обработку плоского фасонного окна концевой фрезой на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ в прямоугольной системе координат (рисунок 16.10, а). Совместным движением подач стола и салазок вдоль осей  $X$  и  $Y$  необходимо обеспечить сложное формообразующее движение заготовки и инструмента (рисунок 16.10, б). При этом после выбора направления обхода окна придется запрограммировать неотнормированное движение по контуру, заданному чертежом детали (траектория 1, 2, ..., 14, 1), а движение вдоль эквидистанты заданного контура, отстоящей от него на радиус фрезы (траектория 1', 2', ..., 14', 1'). Разделим траекторию 1', 2', ..., 14', 1' на элементарные участки (прямые линии и дуги окружности). Таких участков будет десять: 1' 2' – 2' 3' 4' – 4' 5' – 5' 6' 7' – 7' 8' – 8' 9' – 9' 10' 11' – 11' 12' – 12' 13' – 13' 14' 1' (обозначения точек 9' 10' 11' опущены, т.к. их расположение на рисунке 16.10, б очевидно). Точки 1', 2', 4', 5', 7', 8', 9', 11', 12', 13', размещенные на стыке элементарных участков, будем называть *опорными*.



***a* – обработка фасонного окна концевой фрезой;  
*б* – траектория сложного формообразующего движения заготовки и инструмента**

**Рисунок 16.10. – Контурная обработка плоской детали**

Теперь общую стратегию управления можно представить в следующем виде. Комбинацией установочных перемещений посредством стола, салазок и шпиндельной бабки совместим ось фрезы с начальной опорной точкой  $1'$  в плоскости обработки. Цикл автоматического управления по программе начнем именно с этой опорной точки, например, по часовой стрелке. Управляющую программу составим из отдельных кадров, каждый из которых содержит описание, привязанное к очередному элементарному участку. Поскольку в данном примере рассматриваем только геометрическую задачу, в описании элементарного участка сделаем акцент на геометрической информации. Первый кадр будет содержать в кодированном виде следующие данные: имя кадра в виде его номера, признак движения по прямой, значение перемещений вдоль осей  $X$  и  $Y$  при движении от опорной точки  $1'$  к опорной точке  $2'$ , скорость подачи на первом элементарном участке.

Отработка первого кадра начнется с момента его активизации, когда он станет *рабочим*. Отработка состоит в расчетах промежуточных относительных положений инструмента и заготовки от опорной точки  $1'$  до опорной точки  $2'$ , а также в управлении движением в соответствии с расчетами. В результате движения по программе первого кадра ось фрезы окажется совмещенной с опорной точкой  $2'$ , открывающей второй элементарный участок.

Его кодированное описание составляет содержание второго кадра управляющей программы; имя кадра, признак движения по окружности, местные координаты точки  $2'$  относительно центра  $P$ , что создает определенность в задании окружности приращением перемещений по осям  $X$  и  $Y$  при движении от опорной точки  $2'$  к опорной точке  $3'$ , скорость подачи на

втором элементарном участке. Обработка второго кадра управляющей программы завершится совмещением оси фрезы с опорной точкой 3'.

Последовательная активизация кадров управляющей программы, последовательная обработка содержащейся в них информации, сопровождающаяся выдачей оперативных команд на исполнительные приводы станка, приводит к последовательному обходу запрограммированного контура от одной опорной точки к следующей. Во избежание приостановки подачи на стыке двух элементарных участков, т.е. в момент активизации очередного кадра, этот очередной кадр должен быть заранее подготовлен к оперативным расчетам и обработке. В таком подготовленном виде кадр называют *буферным*.

Укрупненный алгоритм работы системы ЧПУ в автоматическом цикле показан на рисунке 6.11.

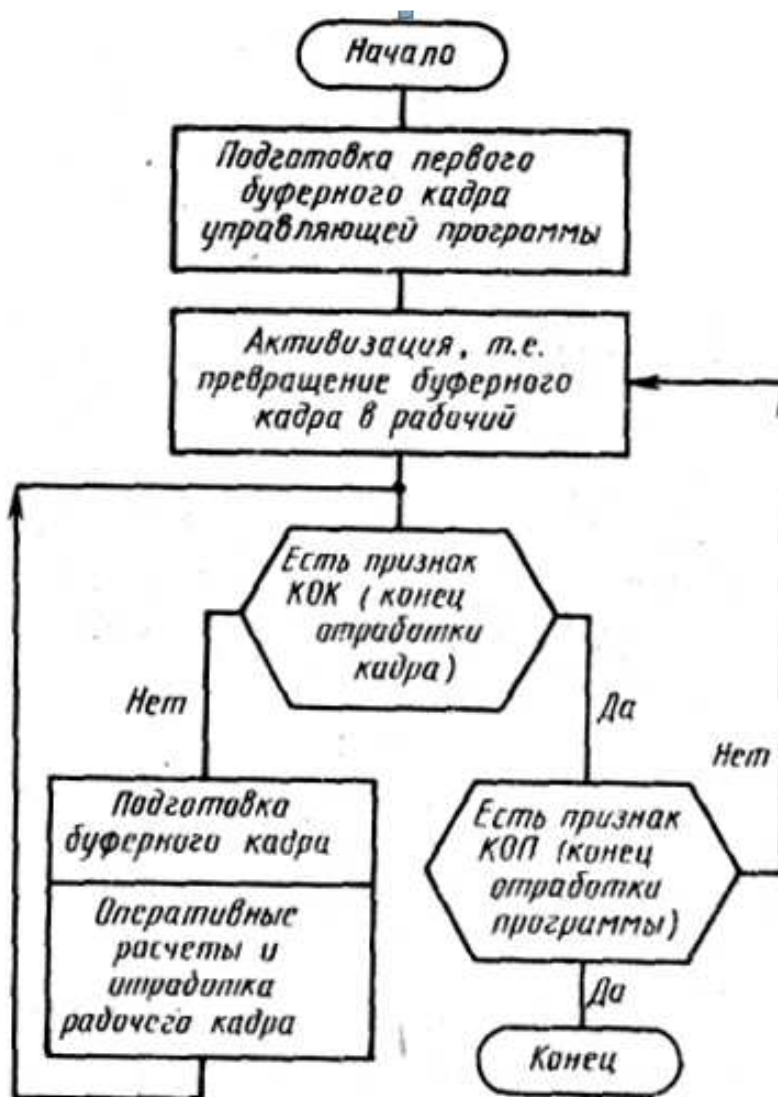
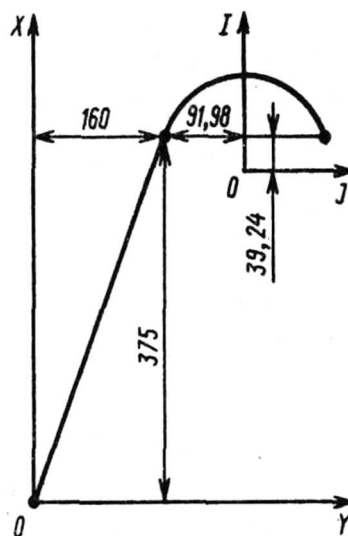


Рисунок 6.11. – Алгоритм работы СЧПУ

Основным содержанием переработки информации в автоматическом цикле является подготовка буферного кадра, отработка рабочего кадра. Подготовка буферного кадра состоит в преобразовании информации из того вида, в котором она представлена на физическом программноносителе или в памяти устройства ЧПУ, в тот вид, который наиболее удобен для выполнения расчетов, связанных с обработкой рабочего кадра.

Представим описание геометрии рассмотренных начальных элементарных участков 1'2' и 2'3'4' (см. рисунок 16.10, б). С этой целью зададимся конкретными численными значениями параметров общей траектории (рисунок 16.12).



**Рисунок 16.12. – Описание геометрии начальных элементарных участков (см. рисунок 16.10)**

Кодированное описание элементарных участков в виде управляющей программы имеет вид:

N001 G01 X375000 Y160000 F09 LF

N002 G02 I 039240 J – 091980 X000000 Y183960 LF

Кадр открывается символом N, означающим номер кадра, а завершается символом LF, который выполняет функцию разделителя «конец кадра». Основное содержание кадра составляет последовательность слов.

Слова G01 и G02 называют подготовительными функциями. Они указывают соответственно на движение по прямой линии в первом кадре и по дуге окружности во втором (соответственно линейная и круговая интерполяция). Слова с адресами X, Y есть размерные перемещения, представляющие собой относительные кодовые приращения по соответствующим координатным осям, заданные шестью символами, определяющими количество десятичных разрядов до и после запятой. Слова с адресами I, J указывают положение начальной точки дуги относительно ее центра в местной системе координат. Для всех слов с геометрической информацией знак

«+» опущен и подразумевается по умолчанию. Слово с адресом F определяет скорость подачи в мм/мин, а отсутствие подобного же слова во втором кадре свидетельствует о том, что подача не меняется.

Любой кадр управляющей программы в конце концов становится буферным, а затем и рабочим. Информация рабочего кадра носит обобщенный характер; она укрупнено описывает геометрическую задачу, т.е. ту траекторию, которую необходимо воспроизвести. Однако эта информация ничего не говорит о способах решения геометрической задачи, т.е. о том, какими должны быть команды, оперативно выдаваемые на следящие приводы подачи. Вычислительные процедуры устройства ЧПУ, обеспечивающие переход от укрупненного описания заданного перемещения к оперативным командам в функции времени для исполнительных приводов, называют *интерполяцией*.

Интерполяция осуществляется над целыми числами, каждая единица которых соответствует наименьшему перемещению или углу поворота рабочего органа станка, контролируемым в процессе управления. Такое соответствие трактуют как *дискретность перемещения*. Поскольку контроль перемещения на станке вдоль каждой координатной оси выполняет датчик обратной связи по положению следящего привода подачи, постольку и дискретность перемещения определяется ценой деления шкалы этого датчика.

Пусть, например, дискретность перемещения некоторой СЧПУ составляет 1 мкм. Это означает, что цена деления шкалы датчика обратной связи по положению следящего привода подачи равна 1 мкм. Следовательно, заданное в некотором кадре перемещение, подготовленное для интерполяции, должно быть представлено целым числом микрометров. В общем случае заданное перемещение на уровне рабочего кадра представлено целым числом дискрет. Таким образом, под дискретой можно понимать и управляющую команду, поступающую на вход следящего привода подачи. Следящий привод подачи отработывает каждую дискрету соответственно ее цене, т.е. в виде некоторого элементарного перемещения.

Вернемся к рассмотренному примеру. В первом кадре задано перемещение по прямой: X375000Y160000. При дискретности перемещения 1 мкм это эквивалентно интерполируемому перемещению по X на 375 000 дискрет за некоторое время и по Y на 160 000 дискрет за то же время. Исходя из заданной в кадре скорости подачи, несложно рассчитать время полной отработки кадра.

До сих пор геометрическая задача рассматривалась на примере контурной обработки фасонного профиля. Покажем, что содержание геометрической задачи сохраняется и в случае, когда, взаимосвязь координатных перемещений отсутствует, т.е. при позиционном управлении. Для этого рассмотрим позиционную обработку на токарном станке с ЧПУ при последовательном использовании следящих приводов подачи в декартовой (прямоугольной) формообразующей системе координат.

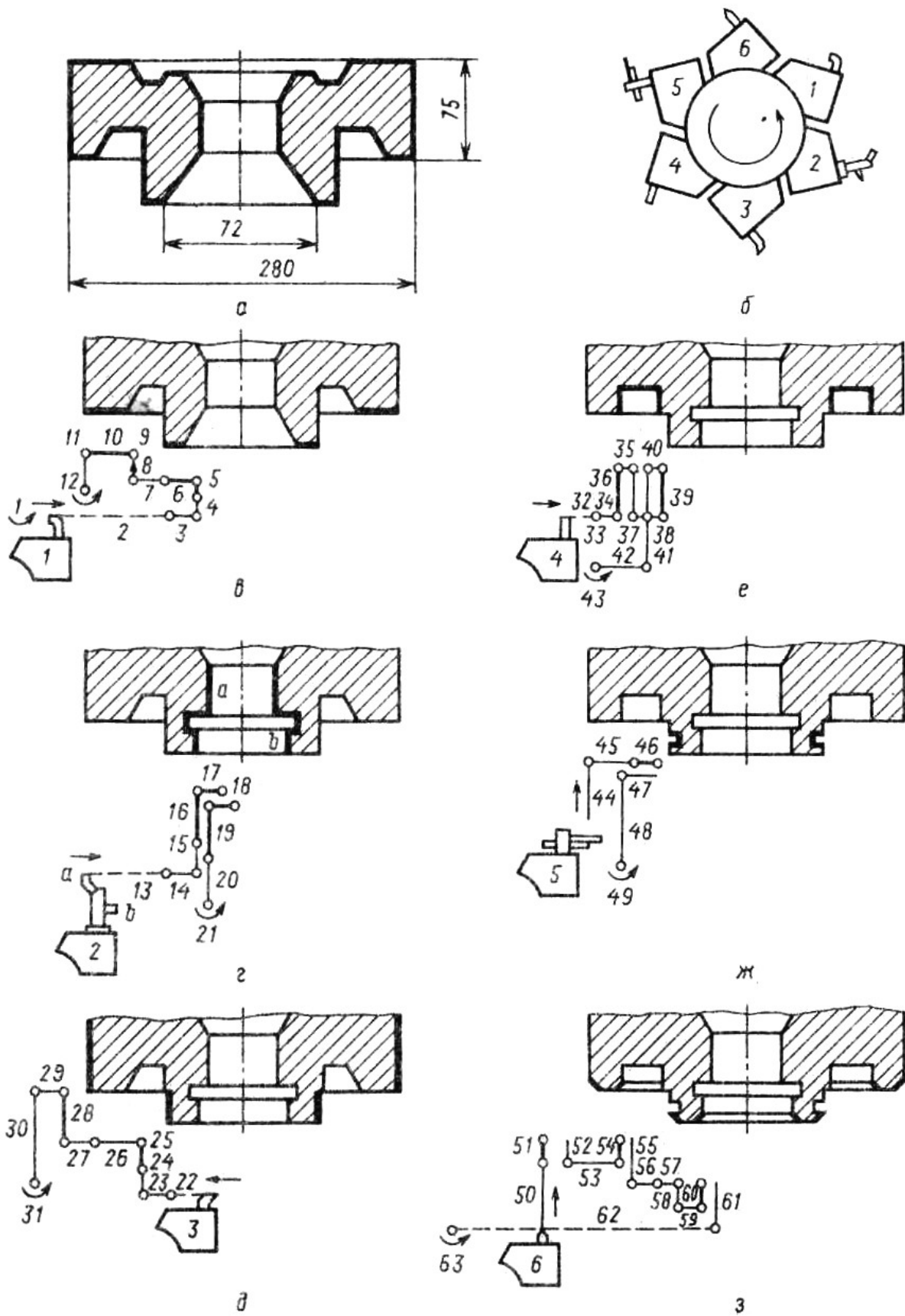


Рисунок 16.13. – Многоинструментальная обработка на токарном станке с ЧПУ



Пусть необходимо обработать шкив *a* шестью последовательно сменяемыми инструментами 1–6, закрепленными в револьверной головке (см. рисунок 16.13, б). Управляющая программа будет иметь в своем составе шесть блоков, содержащих группу кадров, предусматривающих использование в рамках группы какого-то одного инструмента. Каждый блок открывается кадром, в котором закодировано перемещение нужного инструмента в начальное перед очередным переходом положение. Далее следуют кадры, в каждом из которых закодировано перемещение между соседними опорными точками, обозначенными (см. рисунок 16.13, в–з) последовательными числами.

Опорные точки расставляют, во-первых, в тех местах, где происходит смена управляемых координат, и, во-вторых, там, где принудительно изменяется скорость подачи. Отработка блока, по существу задающего подцикл автоматического управления, завершается выводом револьверной головки в исходное положение, в котором происходит смена инструмента.

Специфика прямоугольной обработки не меняет в устройстве ЧПУ по сравнению с контурной обработкой формального содержания процесса переработки управляющей информации: ввод, вычисления, связанные с определением промежуточных между опорными точками положений инструмента, выдача оперативных управляющих команд следящим приводам подачи станка.

Рассмотрим обработку корпуса штуцера [21] (рисунок 16.14) на производственном токарном станке с ЧПУ модели 16К20Ф3С5.

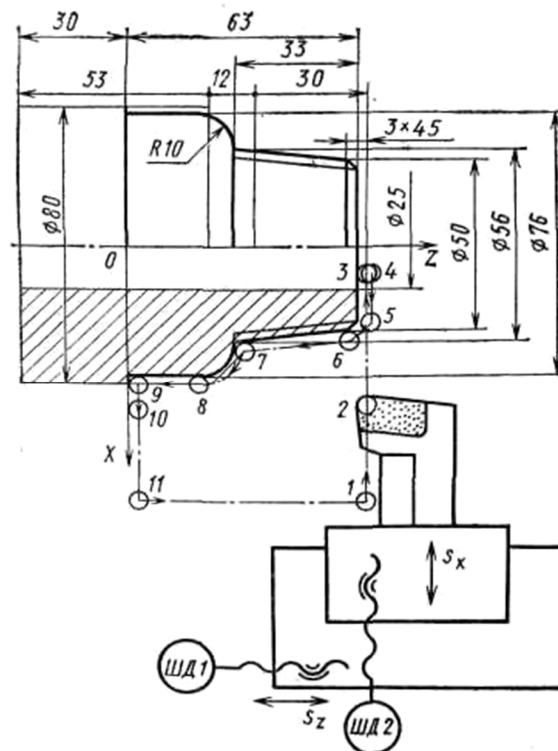


Рисунок 16.14. – Схема расчетных перемещений суппорта

Система ЧПУ управляет перемещениями суппорта по двум координатам X, Z, автоматическим переключением частот вращения шпинделя, индексацией шестипозиционной револьверной головки и других технологических команд.

При составлении управляющей программы указывают: резец подрезной с радиусом режущей кромки, равным 1 мм, материал режущей части из твердого сплава, скорость резания 100–120 м/мин ( $n = 500 \text{ мин}^{-1}$ ), подачу 0,15–0,2 мм/об.

Координаты характерных точек 1–4, ..., 7–11 определяют простым суммированием значений координат точек на чертеже детали и радиуса режущей кромки, а точек 5 и 6 – расчетных треугольников. Координаты исходной точки положения резца определяют по наладке станка, которая зависит от положения револьверной головки, вылета резца и длины патрона. Распечатка управляющей программы приведена на рисунке 16.15.

№ точки	X <sub>p</sub>	Z <sub>p</sub>	X	Z	Содержание кадра	Значение кадра
	200	300	—	—	%	.
					N001S28T101M04	
1	200	64	0	-236	N002G00Z-023600	
2	31	64	-169	0	N003G00X-033800M08	
3	10	64	-21	0	N004G001X-004200F000120	
4	10	65	0	+1	N005G01Z+000100F000200	
5	21,42	65	+11,42	0	N006G01X+002284F001200	Отход по X
6	25,96	60,46	+4,54	4,54	N007G01X+000908Z-000454F000080	Точение фаски
7	29	31	+3,04	29,46	N008G01X+000608Z-002946F000060	Точение конуса
7	29	31	0	0	N009G04X+000200	Пауза 0,2 с
8	39	20	+10	-11	N010G02X+002000Z-001100I+000200K+001100F000080	Точение радиуса
9	39	1	0	-19	N011G01Z-001900F000060	Точение по Z
9	39	1	0	0	N012G04X+000200	Пауза 0,2 с
10	43	1	+4	0	N013G01X+000800F000080	Точение по X
11	200	1	+157	0	N014G00X+031400M09	Отход к исходной точке
11	200	1	0	0	N015S00T001M05	Вывод коррекции
И. Т.	200	300	0	+299	N016G00Z+029900	Отход к исходной точке
					N017M02	Конец программы

Рисунок 16.15. – Программа для обработки штуцера в коде ISO-7bit

В современных токарных станках с ЧПУ нарезание резьбы резцом осуществляется посредством винтовой интерполяции. Для этого в одном кадре программируется круговая интерполяция на плоскости интерполяции и линейное перемещение, перпендикулярное к этой плоскости.

## 16.4 Поколения станков с ЧПУ

Классифицировать станки с ЧПУ целесообразно по поколениям. Поколение – это понятие, которое не обязательно делит станочное оборудование на морально устаревшее и современное. Каждое из поколений станков может иметь право на существование исходя из экономической целесообразности. И относительно недорогой токарный или фрезерный станок с ЧПУ на базе универсального и сложные, дорогие токарные станки с адаптивными системами управления, фрезерно-расточные многоцелевые с автоматической сменой инструмента имеют сегодня применение. Все многообразие станков с ЧПУ можно объединить в три развивающиеся поколения. Рассмотрим особенности станков с ЧПУ каждого поколения.

*Станки первого поколения* включают универсальные станки со встроенной системой ЧПУ. Примерами станков этого поколения могут служить токарный станок модели 16К20Ф3, вертикально-фрезерный станок модели 6Р13Ф3, сверлильный станок модели 2Р135РФ2.

Особенностью станка с ЧПУ первого поколения является широкое использование основных базовых деталей (станин, кареток, колонн) и их компоновок из традиционных станков серийных моделей с механическими связями и ручным управлением. При их преобразовании в станки с ЧПУ осуществляется переход в приводной части к шариковым винтовым парам повышенной жесткости и точности, вводятся измерительные устройства средств обратной связи, управление работой станка осуществляется от универсального недорогого пульта ЧПУ. К числу достоинств станков первого поколения следует отнести их относительную дешевизну и простоту. Недостатками этих станков являются обычно относительно невысокая точность, ограниченные технологические возможности вследствие работы одним инструментом (на токарных станках иногда несколькими инструментами в пределах возможностей обычных револьверных головок) и сравнительно невысокая производительность в результате небольших скоростей вспомогательных перемещений, ограниченной жесткости, невысоких допускаемых рабочих усилий, значительного подготовительного и заключительного времени.

*Станки второго поколения* представляют собой конструкции, специально разработанные для ЧПУ. Они характеризуются специальной конструкцией основных базовых узлов и их компоновок. Примером такого станочного оборудования могут служить фрезерный станок модели ФП-7, токарные станки моделей 1Р723РФ3, S45.

Станки второго поколения имеют повышенную жесткость всех элементов. Элементы привода встраиваются в базовые детали так, что последние обеспечивают их надежное укрытие от попадания стружки и долговечность работы. Скорости холостых перемещений повышены до 5–10 м/мин,

возможно осуществление автоматической смены инструмента, применение адаптивного управления с автоматическим выбором целесообразного количества переходов и оптимизацией режимов резания. Все это создает возможность осуществления на станках второго поколения высокопроизводительной и высокоточной обработки деталей по числовой программе. В токарных станках небольших габаритов часто применяется станина с наклонными направляющими. Большинство из них имеет одну или две резцовые или револьверные головки: одну для наружного обтачивания, а другую для внутреннего, оснащаются многоинструментальным магазином. Компонировка станка наряду с повышенной жесткостью обеспечивает обычно самоотвод стружки в автономное транспортное устройство, размещенное в нижней части станка.

Преимуществами станков второго поколения является их точность и производительность, недостатками – отсутствие комплексности обработки деталей, значительное подготовительное и заключительное время в результате ручной установки заготовки и снятия детали.

*Станки третьего поколения.* Характеризуются возможностью обеспечения комплексной обработки, обеспечением расширенных технологических возможностей и разветвленным транспортом. В конструкциях станков третьего поколения проявляются перспективы дальнейшего развития оборудования с ЧПУ. К третьему поколению можно отнести многоцелевой станок модели ИР320ПМФ4.

Расширение технологических возможностей на станках третьего поколения по сравнению с многооперационными станками второго поколения достигается за счет увеличения количества управляемых по программе координат до пяти–шести посредством введения поворота обрабатываемой детали вокруг вертикальной и горизонтальной оси. В результате станочное оборудование этого поколения обеспечивает комплексную обработку самых сложных корпусных деталей, включая точное растачивание внутренних поверхностей фасонной формы, сверление и растачивание отверстий под произвольными углами в пространстве и т.п. Система управления станком имеет выход на ЭВМ более высокого порядка. Кроме того, такие станки оснащаются транспортным устройством, позволяющим автоматически по программе подавать спутник с заготовкой с запасной позиции (загрузки, выгрузки) на рабочую позицию, и наоборот. Специальное устройство осуществляет автоматизированную загрузку–выгрузку инструментов в магазине от внешнего накопителя. В результате такие станки, как правило, приспособлены для встраивания в автоматизированные производственные системы.

В современных моделях станков с ЧПУ составление управляющей программы осуществляется оператором с помощью клавиатуры микро-ЭВМ,

а редактирование программы – в режиме диалога с графическим дисплеем. Ввиду того, что программа составляется заранее, то благодаря быстрой смене программносителя станок с ЧПУ переналаживается в короткое время на обработку другой детали.

Основные преимущества станков с ЧПУ следующие: простота модификации технологического процесса путем внесения корректирующих команд на программноситель или в запоминающее устройство микро-ЭВМ; оптимальные режимы обработки с использованием максимальных возможностей станка; исключение предварительных ручных разметочных и пригоночных работ; повышение точности и идентичности деталей; повышение производительности труда за счет сокращения вспомогательного и машинного времени обработки; сокращение числа перестановок деталей при обработке и сроков подготовки производства.

Функции станочника упрощаются и сводятся к установке и съему детали, контролю за циклом обработки, смене инструмента. Благодаря автоматическому позиционированию устраняются ошибки оператора при установке координат. Коэффициент использования станков с ЧПУ выше, чем универсальных, благодаря сокращению времени наладки, смены инструментов, контроля и повышению процента машинного времени в цикле работы станка (до 75%).

#### **16.4.1 Токарный патронно-центровой станок модели 16К20Ф3**

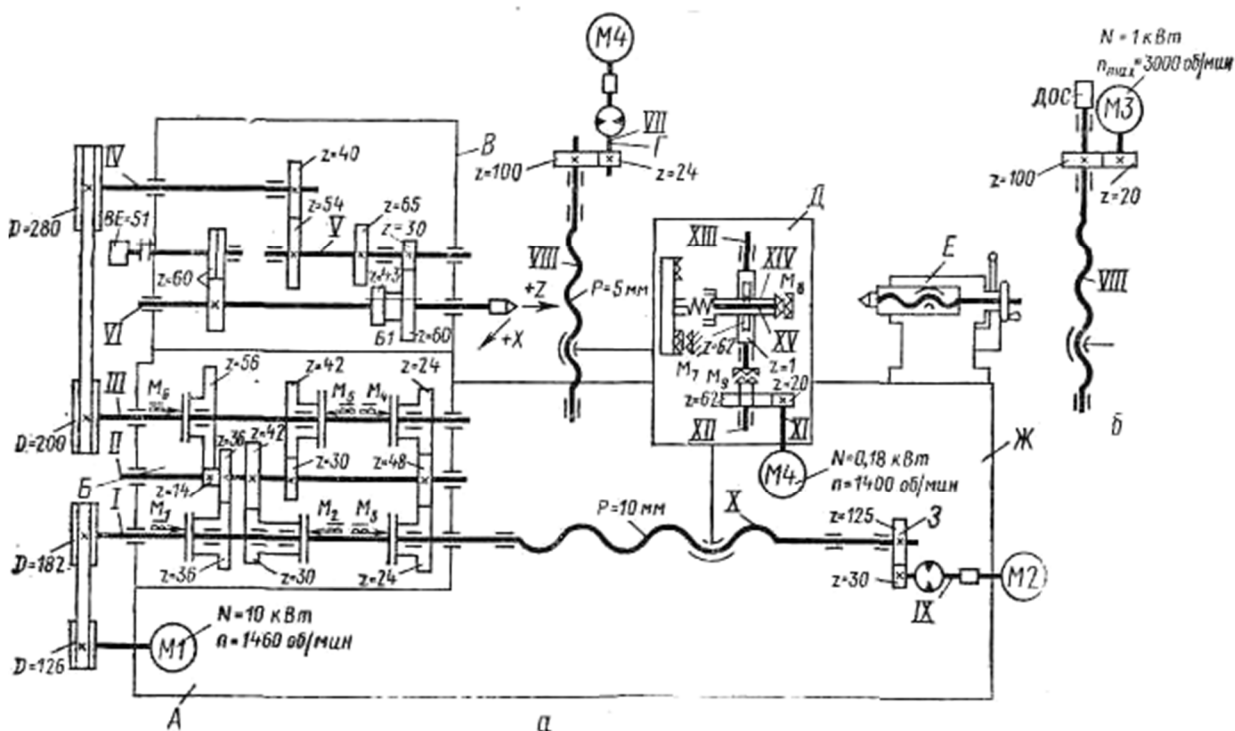
Станок предназначен для токарной обработки наружных и внутренних поверхностей деталей типа тел вращения со ступенчатым и криволинейным профилями за один или несколько рабочих ходов в замкнутом полуавтоматическом цикле. В зависимости от возможностей системы ЧПУ на станке можно нарезать различные резьбы. Станок имеет традиционную для токарных станков компоновку. Он имеет максимально возможную унификацию узлов с токарно-винторезным станком модели 16К20, на базе которого выпускается.

*Техническая характеристика.* Наибольший диаметр обрабатываемой детали над станиной 400 мм, над суппортом 220 мм; диаметр прутка, проходящего через отверстие шпинделя, 50 мм; число инструментов – 6; число частот вращения шпинделя – 12 (из них 9 по программе); пределы частот вращения шпинделя 35–1600 мин<sup>-1</sup>; число подач – бесступенчатое регулирование; пределы рабочих подач: продольных 3–700 мм/мин, поперечных – 3–500 мм/мин; скорость быстрых перемещений: продольных – 4800 мм/мин, поперечных – 2400 мм/мин; дискретность перемещений: продольных 0,01 мм, поперечных – 0,005 мм.

Станок оснащен контурными устройствами ЧПУ. Модификации станка в зависимости от комплектации с устройством ЧПУ имеют разные индексы. Например, станок модели 16К20Ф3С1 работает с устройством

«Контур 2ПТ», станок 16К20Ф3С2 – с устройством фирмы Alkatel, станок 16Е20Ф3С5 – с устройством H221М. Устройство ЧПУ обеспечивает движение формообразования, изменение значений подач и частот вращения шпинделя, индексацию резцовой головки и в большинстве случаев нарезание резьбы по программе. Число управляемых координат равно двум, из них одновременно управляемых две.

Кинематическая структура станка (рисунок 16.16) содержит традиционные для токарно-винторезных станков с механическими связями простые группы формообразования: скорости резания  $\Phi_v(B_1)$ , продольной  $\Phi_{s1}(П_2)$  и поперечной  $\Phi_{s2}(П_3)$  подач. В зависимости от модификации кинематическая структура включает также сложные гибридные группы [4]: для нарезания резьбы  $\Phi_v(B_1П_2)$  и для обработки сложнопрофильных поверхностей  $\Phi_s(П_2П_3)$ .



**а** – с шаговыми электродвигателями приводов подач;  
**б** – с электродвигателями постоянного тока приводов подач

**Рисунок 16.16.** – Кинематическая схема токарного станка модели 16К20Ф3

Независимо от модификации кинематика станка содержит вспомогательную группу  $Bc(B_4)$  поворота шестипозиционной револьверной головки с горизонтальной осью вращения.

Группа  $\Phi_v(B_1)$  скорости резания. Ее внутренняя связь:

*подшипниковые опоры передней бабки → шпиндель VI ( $B_1$ ).*

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow 126/182 \rightarrow АКС \rightarrow 200/280 \rightarrow 40/54 \rightarrow \\ \rightarrow Б1 (30/60 \text{ или } 65/43) \rightarrow \text{шпиндель } VI(B_1).$$

Автоматическая коробка скоростей (АКС) обеспечивает девять переключаемых в цикле частот вращения шпинделя вследствие включения электромагнитных муфт. Вал *II* имеет три значения частоты вращения при переключении муфт:  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  (соответственно передачи 36/36, или 30/42, или 24/48); вал *III* вращается уже с девятью различными частотами; при включении муфты  $M_4$  работает передача 48/24, муфты  $M_5$  – передача 30/42, муфты  $M_6$  – передача 14/56. Одновременное включение муфт  $M_4$  и  $M_6$  осуществляется торможение шпинделя. В шпиндельной бабке вручную переключается блок *Б1*, что обеспечивает получение двух диапазонов частот вращения шпинделя (35–560 и 100–1600 мин<sup>-1</sup>). Практически шпиндель имеет 12 частот вращения.

УКЦ для минимальной частоты вращения шпинделя:

$$n_{\min} = 1460 \cdot \frac{126}{182} \cdot 0,985 \cdot \frac{24}{48} \cdot \frac{14}{56} \cdot \frac{200}{280} \cdot 0,985 \cdot \frac{40}{54} \cdot \frac{30}{60} = 35 \text{ мин}^{-1}.$$

Группы продольной  $\Phi_{s1}(II_2)$  и поперечной  $\Phi_{s2}(III_3)$  подач могут иметь два исполнения: с гидравлическим шаговым приводом (см. рисунок 16.12, *а*) и с электродвигателем постоянного тока (см. рисунок 16.12, *б*). В первом случае применяют электрогидравлические шаговые двигатели ШД5-Д1 с гидроусилителем Э32Г18-23 для продольной подачи и гидроусилителем Э32Г18-22 для поперечной подачи. Тяговые валы обеих групп: шариковый винт *X* продольной подачи и шариковый винт *VIII* поперечной подачи, получают вращение через беззазорные передачи соответственно 30/125 и 24/100.

Минимальная продольная подача (цена импульса):

$$s_{\text{прод min}} = (1/240) (30/125) 10 = 0,01 \text{ мм},$$

где 1/240 – минимальная доля оборота выходного вала гидроусилителя при шаге на выходном валу шагового двигателя 1,5°.

Минимальная поперечная подача (цена импульса):

$$s_{\text{поп min}} = (1/240) (24/100) 5 = 0,005 \text{ мм}.$$

В случае применения двигателей постоянного тока на шариковые ходовые винты устанавливают измерительные преобразователи, выполняющие в системе управления функцию датчиков обратной связи.

Суппорт и каретка имеют традиционное устройство, но их размеры увеличены по высоте для повышения жесткости и возможности установки тягового вала (шарикового винтового механизма) поперечной подачи.

В винторезной модификации станка установлен датчик (измерительный преобразователь ВЕ-51) резбонарезания, связанный со шпинделем беззазорной зубчатой передачей 60/60. Наличие датчика является признаком гибридной структуры группы  $\Phi_v(B_1\Pi_2)$ , выполненной по схеме задающая (ведущая) координата – ведомая координата.

Данная группа воспроизводит направляющую винтовую линию нарезаемой резьбы. При этом профиль резьбы воспроизводится копированием характеристического образа профильного резца на винтовую линию.

Внутренняя связь группы:

$B_1$  шпиндель  $VI \rightarrow 60/60 \rightarrow$  электронный вал  $\rightarrow M_3 \rightarrow 20/100 \rightarrow$   
 $\rightarrow TB111 \rightarrow$  продольный суппорт  $B_2$ .

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow 126/182 \rightarrow АКС \rightarrow 200/280 \rightarrow 40/54 \rightarrow$   
 $\rightarrow B1 (30/60 \text{ или } 65/43) \rightarrow$  шпиндель  $VI$ .

Группа настраивается на траекторию делителем частоты, входящем в электронный вал, на скорость АКС и блоком  $B1$ .

Структура электронного вала и ее возможные модификации рассмотрены ниже по литературным и патентным источникам.

Гибридная группа подачи  $\Phi_s(\Pi_2\Pi_3)$  воспроизводит направляющую (геометрическую сумму движения продольного и поперечного суппортов по координатам  $X$  и  $Z$ ) сложнопрофильной поверхности. Внутренняя связь группы:

$\Pi_2$  продольный суппорт  $\leftarrow 1/P = 10 \leftarrow 125/30 \leftarrow M_2 \leftarrow$   
 $\leftarrow$  электронный вал  $\rightarrow$   
 $\rightarrow M_4 \rightarrow 24/100 \rightarrow P = 5 \rightarrow$  поперечный суппорт  $\Pi_3$ .

Внешняя связь: по существу ее функцию выполняет электронный вал, содержащий линейно-круговой интерполятор.

Группа настраивается на траекторию интерполятором, аппроксимирующим направляющую посредством математического аппарата оценочной функции, и скорость, задаваемую программой.

Вспомогательная группа  $Bc(B_4)$  обеспечивает поворот инструментальной шестипозиционной револьверной головки с горизонтальной осью вращения. Эта группа выполнена в виде неподвижного блока, установленного на поперечном суппорте. На рисунке 16.17 представлена ее более подробная схема.

Внутренняя связь группы  $Bc(B_4)$ :

опоры блока  $\rightarrow$  револьверная головка  $I (B_4)$ .

Внешняя связь группы:

$M \rightarrow 20/62 \rightarrow 1/38 \rightarrow$  револьверная головка  $(B_4)$ .



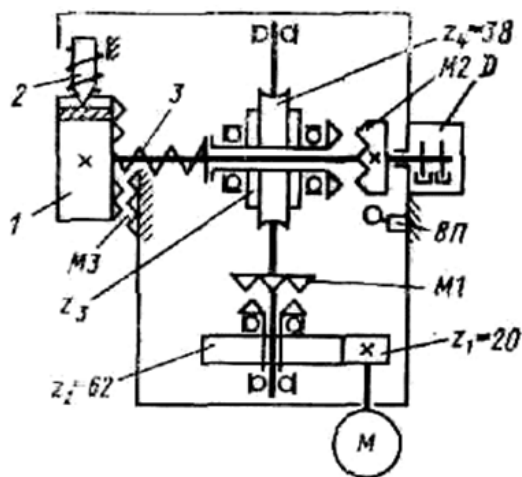


Рисунок 16.17. – Блоксхема револьверной головки

Управление поворотом револьверной головки осуществляется по программе посредством кулачковых муфт  $M_3$ ,  $M_2$ ,  $M_1$  и конечных выключателей. В головке можно установить шесть резцов-вставок или три инструментальных блока, которые настраивают на размер вне станка в специальных оптических приспособлениях. Установку инструмента на определенный размер осуществляют регулировочными винтами в двух плоскостях.

При поступлении от устройства ЧПУ команды  $M06$  на смену инструмента включается асинхронный электродвигатель  $M_4$  ( $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ ). Для снижения пускового момента он соединен с механизмом револьверной головки зубчатой передачей 20/62 и однозубой муфтой  $M_1$ , которая включается после того, как ротор совершит три оборота (разгон до номинальной скорости). После включения муфты  $M_1$  начинает вращаться однозаходный червяк  $z_3$ . При вращении червячного колеса  $z_4$  по часовой стрелке включается муфта обгона  $M_2$ . Пружина 3 приподнимает револьверную головку 1 и выводит ее из зацепления с неподвижной полумуфтой  $M_3$ . При сцеплении муфты  $M_2$  начинается поворот револьверной головки, положение которой контролируется бесконтактным датчиком  $D$ , выполненном на базе герконового реле. Когда головка повернется в заданное программой (команды  $T01-T06$ ) положение, схема управления осуществляет реверсирование электродвигателя. При этом происходит точное позиционирование головки по упору 2 на периферии диска головки, а при дальнейшем повороте двигателя – выключение обгонной муфты  $M_2$ , которое вызывает осевое смещение ее подвижной части и сжатие пружины 3. Револьверная головка опускается и фиксируется зубчатой муфтой  $M_3$ . Выключение электродвигателя происходит автоматически с помощью реле тока. Окончание цикла поворота револьверной головки определяется срабатыванием конечного микровыключателя  $ВП$ , который формирует сигнал исполнения команды  $T$ .

Гидрооборудование станка состоит из гидростанции с контрольно-регулирующей аппаратурой, двух гидроусилителей крутящих моментов и магистральных трубопроводов.

При модернизации станка целесообразно электрогидравлические и высокомоментные постоянного тока двигатели заменить синхронными электродвигателями с частотным регулированием их круговой частоты посредством частотных преобразователей.

#### **16.4.2 Гибридная мехатронная структура резьбонарезного станка по схеме задающая–ведомая координаты**

Выше, при анализе кинематической структуры токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3, было отмечено, что его частная резьбонарезная структура  $\Phi_v(B_1P_2)$  содержит во внутренней связи электронный вал. При этом под электронным валом понимается функциональная связь элементарных движений  $B_1$  и  $P_2$ , осуществляемая посредством электронной схемы синхронизации выполненной из типовых интегральных схем. Вариант такого решения представлен на рисунке 16.18. В этом варианте используется синхронная следящая система, выполненная по схеме задающая – ведомая координаты [23]. Ведущей координатой является шпиндель 3 заготовки, ведомой – продольный суппорт 5, несущий резьбовой инструмент.

Внутренняя связь данной структурной схемы:

$$B_1 \leftarrow 3 \leftarrow 7 \rightarrow \text{синхронная следящая система} \rightarrow M_2 \rightarrow ТВ \rightarrow 5 \rightarrow P_2.$$

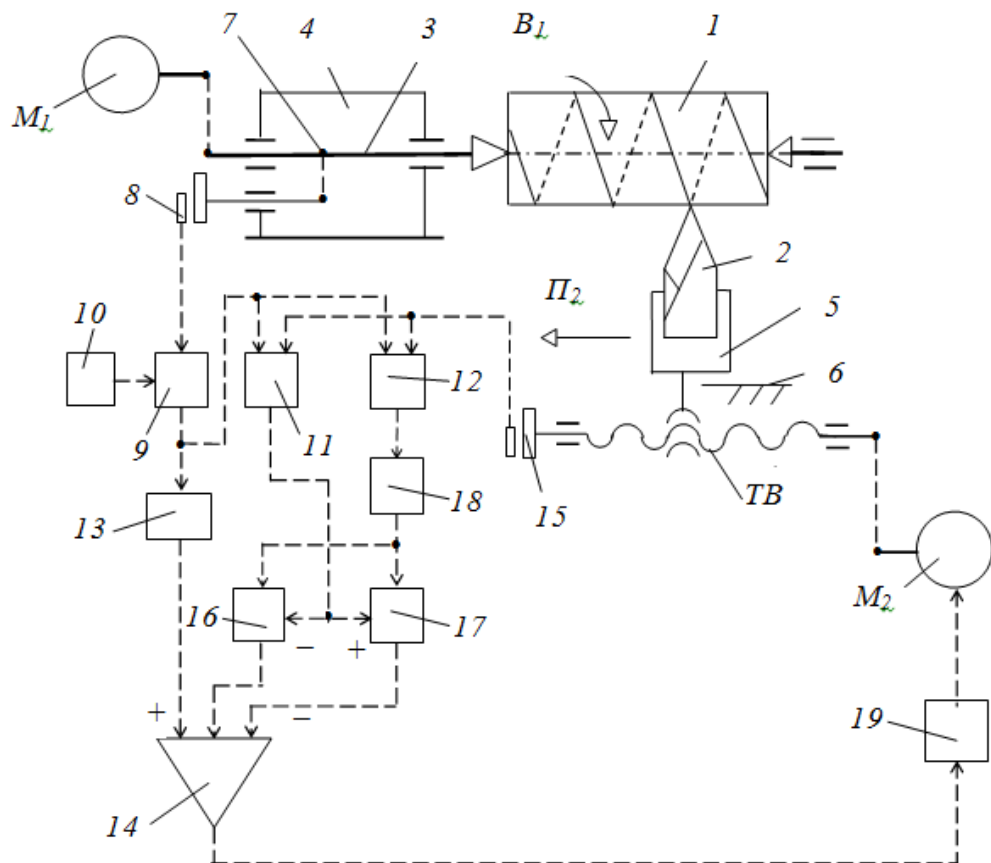
Внешняя связь схемы:

$$M_1 \rightarrow \text{звено соединения связей } 7.$$

В качестве электродвигателя  $M_1$  ведущей координаты станка 16К20Ф3 используется асинхронный электродвигатель. Электродвигатель  $M_2$  ведомой координаты – высокомоментная машина постоянного тока. В соответствии с современной тенденцией целесообразна ее замена синхронным электродвигателем переменного тока.

Схема синхронизации содержит импульсный измерительный преобразователь 8, кинематически связанный посредством передачи 7 со шпинделем 3. Выход этого преобразователя соединен с входом управляемого делителя частоты, выполненного в виде счетчика импульсов 9 и блока задания коэффициента деления 10. Выход счетчика 9 делителя частоты соединен с первыми входами знакового 11 и фазового 12 дискриминаторов и с входом импульсно-аналогового преобразователя 13. Выход этого преобразователя соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 14. Вторые входы знакового 11 и фазового 12 дискриминаторов соединены с выходом импульсного измерительного преобразователя 15, установленного на тяговом валу ТВ. Выход знакового дискриминатора 11 соединен

с управляющими входами аналоговых ключей 16, управляемого отрицательным потенциалом, и 17, управляемого положительным потенциалом. Выход фазового дискриминатора 12 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 18, соединенного своим выходом с ключами 16 и 17. Выход ключа 16, управляемого отрицательным потенциалом, соединен со вторым входом сложения параллельного сумматора 14, а выход ключа 17, управляемого положительным потенциалом – с входом вычитания этого сумматора.



**Рисунок 16.18. – Структура резбонарезного станка с электронной системой синхронизации исполнительных органов по схеме задающая–ведомая координаты**

Импульсный измерительный преобразователь 8 выполняет функцию задатчика управляющего сигнала для электродвигателя  $M_2$  ведомой координаты – каретки 5. Делитель частоты (счетчик 9 – блок установки коэффициента деления 10) является аналогом органа настройки  $i_x$  (гитары сменных зубчатых колес для настройки на траекторию (винтовую линию) в структурной схеме станка с механическими связями.

Коэффициент деления определяется по формуле, аналогичной формуле для определения передаточного отношения механического органа настройки на траекторию:

$$k_x = P / (i_0 P_{TB}),$$

где  $k_x$  – коэффициент деления;  
 $P$  – шаг нарезаемой резьбы;  
 $i_0$  – передаточное отношение передачи, связывающей электродвигатель  $M_2$  с тяговым валом;  
 $P_{ТВ}$  – шаг тягового вала.

Круговая частота (параметр настройки скорость) ведущей координаты устанавливается посредством задания величины напряжения при использовании электродвигателя постоянного тока или посредством задания частоты переменного тока при использовании электродвигателя переменного тока.

Станок работает следующим образом. При включении управляемого электродвигателя  $M_1$  ведущая координата – шпиндель  $3$  – получает движение  $V_1$  с круговой частотой, соответствующей скорости резания. Вращательное движение шпинделя непрерывно преобразуется в импульсном измерительном преобразователе  $8$  в высокочастотный импульсный сигнал, пропорциональный круговой частоте движения  $V_1$ . Этот сигнал поступает в счетчик  $9$  делителя частоты, где происходит его деление в соответствии с заданным на блоке  $10$  коэффициентом деления. Импульсный сигнал с выхода делителя частоты преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе  $13$  в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала, и с его выхода поступает на первый вход сложения параллельного сумматора  $14$ . С выхода этого сумматора задающий сигнал через усилитель мощности  $19$  поступает на управляемый электродвигатель  $M_2$ , который посредством тягового вала  $ТВ$  сообщает движение  $\Pi_2$  ведомой координате – продольному суппорту  $5$ , несущему режущий инструмент. В результате такого прохождения сигнала от ведущей координаты к ведомой координате обеспечивается воспроизведение винтовой поверхности (резьбы) сложным двухэлементарным движением  $\Phi_v(V_1\Pi_2)$ .

Синхронно осуществляется коррекция задающего сигнала, действующего на выходе параллельного сумматора  $14$ , обеспечивающая устранение девиации механики ведомой координаты. На первых входах знакового  $11$  и параллельного  $12$  дискриминаторов постоянно действует задающий импульсный сигнал с выхода счетчика  $9$  делителя частоты. На вторые входы обоих дискриминаторов непрерывно с импульсного измерительного преобразовательного  $15$  поступает импульсный сигнал – аналог скорости движения  $\Pi_2$  суппорта  $5$ . В результате сравнения сигналов на выходе знакового дискриминатора образуется отрицательный потенциал при отставании ведомой координаты от заданного значения и положительный потенциал при его опережении. Этот потенциал поступает на управляющие входы ключей  $16$  и  $17$ . Одновременно на выходе фазового дискриминатора  $12$  образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в аналоговую форму в импульсно-аналоговом преобразователе  $18$

поступает на аналоговые входы ключей 16 и 17. Этот сигнал поступает на параллельный сумматор 14 через один из ключей в зависимости от знака управляющего воздействия. При отставании ведомой координаты сигнал абсолютной погрешности поступает через ключ 16, управляемый отрицательным потенциалом, на второй вход сложения параллельного сумматора 14, а при опережении этот сигнал поступает через ключ 17, управляемый положительным потенциалом, на вход вычитания этого сумматора. В итоге в параллельном сумматоре 14 происходит в зависимости от знака погрешности увеличение или уменьшение управляющего сигнала ведомой координаты, т.е. происходит его непрерывная, двухсторонняя коррекция относительно номинального значения.

Особенность данной схемы – расположение электродвигателя  $M_2$  во внутренней связи гибридной мехатронной технической системе. Ведомая координата – продольный суппорт режущего инструмента – «отслеживает» движение ведущей координаты – шпинделя заготовки, и, следовательно, девиацию механики этой координаты. Устранение этого недостатка в станке 16К20Ф3 не предусмотрено.

Названный недостаток можно устранить, используя более сложную систему синхронизации [24], выполненную по схеме равнозначных координат.

### 16.4.3 Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ модели 6P13Ф3

Станок предназначен для выполнения фрезерования, сверления и зенкерования деталей в условиях единичного и серийного производства. Применение ЧПУ в приводах подач по трем независимым координатам позволяет обрабатывать на станке детали сложного профиля типа штампов, пресс-форм, кулачков концевыми, торцовыми, угловыми, сферическими и фасонными фрезами, сверлами, зенкерами. Станок унифицирован с вертикально-фрезерным станком модели 6M13, на базе которого он выпускается.

*Техническая характеристика.* Размеры рабочей поверхности стола 400×600 мм; число частот вращения шпинделя – 18; пределы частот вращения шпинделя 40–2000 мин<sup>-1</sup>; число подач – бесступенчатое регулирование; пределы рабочих подач по осям  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z$  3–1200 мм/мин, скорость быстрого перемещения по осям координат 2400 мм/мин. Число управляемых координат (всего/одновременно) – 3/3. Дискретность отсчета равна 0,01 мм.

Кинематическая структура станка (рисунок 16.19) содержит традиционные для вертикально-фрезерных станков кинематические группы скорости резания  $\Phi_v(B_1)$ , вертикальной подачи  $\Phi_{s1}(П_2)$ , поперечной подачи,  $\Phi_{s2}(П_3)$ , продольной подачи  $\Phi_{s3}(П_4)$ , оснащенные отдельными электродвигателями.



Группа  $\Phi_{s1}(П_2)$  вертикальной подачи (координата  $Z$ ). Ее внутренняя связь:

*направляющие блока  $B \rightarrow$  ползун  $\Gamma$  шпиндельной головки ( $П_2$ ).*

Внешняя связь:

$M_2 \rightarrow 25/25 \rightarrow ТВ$  (винт-гайка качения)  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  *ползун шпиндельной головки ( $П_2$ ).*

Группа настраивается на скорость - изменением круговой частоты шагового электродвигателя; на путь, исходное положение и направление – программноносителем. Квадратом на валу  $X$  через коническую передачу 14/28 при наладке станка можно перемещать ползун вручную.

Группа  $\Phi_{s2}(П_3)$  поперечной подачи (координата  $Y'$ ). Ее внутренняя связь:

*направляющие консоли  $\mathcal{Ж} \rightarrow$  поперечные салазки ( $П_3$ ).*

Внешняя связь:

$M_3 \rightarrow$  *беззазорный редуктор (27/45  $\rightarrow$  26/52)  $\rightarrow$*   
 $\rightarrow$  *ТВ (винт-гайка качения)  $\rightarrow$  поперечные салазки ( $П_3$ ).*

Группа настраивается: на скорость – изменением круговой частоты шагового электродвигателя; на путь, исходное положение и направление – программноносителем. Квадратом на валу  $XII$  через передачу 26/52 перемещают при наладке поперечные салазки вручную.

Группа  $\Phi_{s3}(П_4)$  продольной подачи (координата  $X'$ ). Ее внутренняя связь:

*направляющие поперечных салазок  $\rightarrow$  продольные салазки ( $П_4$ ).*

Внешняя связь:

$M_4 \rightarrow$  *беззазорный редуктор (25/34  $\rightarrow$  24/35)  $\rightarrow$*   
 $\rightarrow$  *ТВ (винт-гайка качения)  $\rightarrow$  продольные салазки ( $П_4$ ).*

Группа настраивается: на скорость – изменением круговой частоты шагового электродвигателя; на путь, исходное положение и направление – программноносителем. Квадратом на валу  $XXI$  перемещают при наладке продольные салазки вручную.

Электродвигатель  $M_1$  – асинхронный. Электродвигатели  $M_2, M_3, M_4$  – шаговые типа ШД5-Д1 с гидроусилителем крутящих моментов Э32Г18-24.

Величины передач внешних связей групп  $\Phi_{s1}, \Phi_{s2}, \Phi_{s3}$  подобраны так, что при подаче на шаговые электродвигатели одного импульса исполнительные органы указанных групп переместятся на 0,01 мм.

Вспомогательная группа  $Bc(P_5)$  обеспечивает установочные вертикальные перемещения консоли  $Ж$ . Ее внутренняя связь:

*вертикальные направляющие станины  $A \rightarrow$  консоль  $Ж (P_5)$ .*

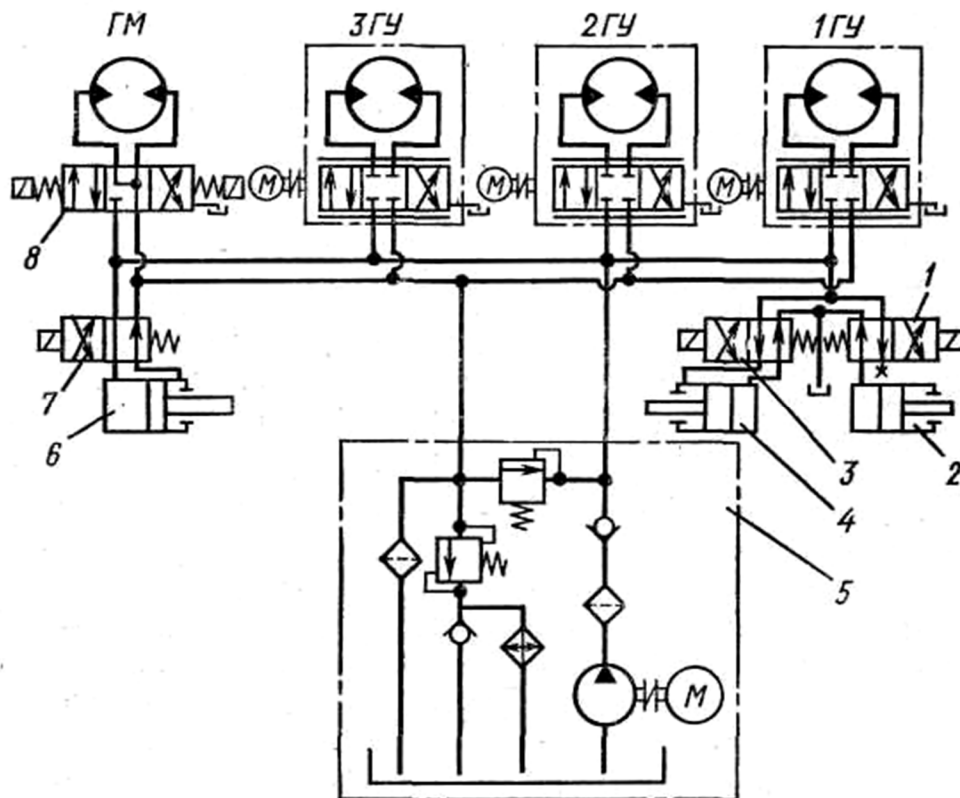
Внешняя связь:

*Гидромотор  $M_5 \rightarrow 27/54 \rightarrow 39/65 \rightarrow ТВ \rightarrow$  консоль  $Ж(P_5)$ .*

Посредством квадрата на валу  $XX$  можно перемещать консоль вручную при наладке станка.

Гидросистема осуществляет перемещение исполнительных органов станка по соответствующим координатам, установочное вертикальное перемещение консоли, зажим ползуна шпиндельной головки, отжим инструмента.

Питание гидросистемы (рисунок 16.20) осуществляется от гидростанции 5. Масло по трубопроводам поступает в гидрораспределители гидравлических усилителей моментов  $1ГУ, 2ГУ, 3ГУ$ .



**Рисунок 16.20. – Принципиальная гидравлическая схема станка**

Отжим инструмента осуществляется при включенном гидрораспределителе  $1$ , расположенном на шпиндельной головке станка, гидроцилиндром  $2$ , размещенном в ползуне. Зажим ползуна происходит при включении гидрораспределителя  $3$ , управляющего гидроцилиндром  $4$ , расположенном



в шпиндельной головке. Зажим консоли осуществляется гидроцилиндром 6, управляемым гидрораспределителем 7; при обесточенном гидрораспределителе 7 консоль зажата. Установочное перемещение консоли происходит при одновременном включении гидрораспределителей 7 и 8, управляющих гидромотором ГМ.

Станок оснащен универсальной СЧПУ. При сверлении, зенкеровании отверстий станок работает в режиме управления положением отдельных точек, когда обработка осуществляется после позиционирования заготовки в зону обработки. Такой режим принято называть координатным. Этот режим характерен для сверлильно-расточных станков.

При выполнении традиционных фрезерных работ с управлением перемещениями вдоль отрезков прямых параллельных, направляющим исполнительных органов (суппортов), обработка осуществляется в процессе перемещения от одной позиции к другой. При этом, как правило, исполнительные органы работают поочередно, обходя контур обработки по прямоугольному циклу. Такой режим принято называть позиционным.

При обработке деталей сложного профиля типа штампов, пресс-форм, кулачков простые группы подач преобразуются в сложные гибридные (мехатронные) типа  $\Phi_s(P_2P_3)$  и  $\Phi_s(P_2P_3)$ . В этих группах функциональная связь между движениями по двум и трем координатам обеспечивается электронными валами системы ЧПУ. Аппроксимация сложных профилей осуществляется интерполяторами электронных валов.

При модернизации станка целесообразна замена шаговых двигателей с гидроусилителями крутящих моментов групп подач синхронными электродвигателями переменного тока.

#### **16.4.4 Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточной полуавтомат модели 243ВМФ2**

Относится к многооперационным вертикальным станкам с ЧПУ второго поколения. Предназначен для комплексной обработки деталей небольших и средних размеров при подходе инструмента с одной стороны. Класс точности станка В. Обеспечивает точность расстояний между осями обработанных отверстий 0,016 мм; точность диаметра отверстий 0,01 мм.

*Техническая характеристика.* Наибольший диаметр сверления – 25 мм, наибольший диаметр растачивания – 160 мм; размеры рабочей поверхности стола 320×560 мм; число инструментов в магазине – 30; число частот вращения шпинделя – 21; пределы частот вращения шпинделя – 40–2500 мин<sup>-1</sup>; число ступеней подач – 30; пределы подач по координатам X', Y', Z – 3,15–2500 мм/мин; скорость быстрого перемещения по управляемым осям – 3000 мм/мин.

Станок оснащен устройством ЧПУ типа «Размер 2М». Точность позиционирования 0,02 мм. Число управляемых координат (всего/одновременно) 3/2. Система ЧПУ позволяет ввести 35 коррекций по длине и 5 коррекций по радиусу.

Кинематическая схема станка (рисунок 16.21) включает ряд традиционных формообразующих и вспомогательных групп.

Группа скорости резания  $\Phi_v(B_1)$ . Ее внутренняя связь:

*подшипниковые опоры гильзы вертикальной стойки* → шпиндель ( $B_1$ ).

Внешняя связь:

*$M_1$  → двухременной вариатор  $Vp$  → трехступенчатая коробка скоростей → зубчатременная передача 31/31 → шпиндель ( $B_1$ ).*

Группа настраивается на скорость трехступенчатой коробкой скоростей и двухременным вариатором. При отклонении скорости (круговой частоты шпинделя) от заданной тахогенератор  $TГ$  на валу  $III$  включает электродвигатель  $M_2$ , который через зубчатые передачи 17/49, 25/49 и винт  $XIII$  смещает ось подвижных дисков вариатора, что изменяет его передаточное отношение. Вариатор обеспечивает регулирование круговой частоты в диапазоне 1:4.

Переключение скоростей осуществляется перемещением блока  $B1$  и муфты  $M_1$ . При включении муфты  $M_1$  от электромагнита  $\mathcal{E}I$  постоянного тока получают верхний диапазон частот вращения шпинделя, т.к. движение с вала  $III$  на вал  $V$  передается через зубчатременную передачу 30/30. Два нижних диапазона получают при переключении блока  $B1$  двумя электромагнитами (на схеме не показаны). Внутри каждого диапазона скорость изменяется вариатором.

Шпиндель станка 8 (рисунок 16.22) размещен в гильзе 7 на высокоточных подшипниках. Зажим инструмента происходит пакетом тарельчатых пружин 3, действующих на инструмент с помощью шомпола 1, соединенного с байонетным замком 2. Усилие пружин регулируется гайкой 4. Зуб планки 5, взаимодействуя с зубчатым колесом 6, закрепленным на шомполе 1, препятствует случайному провороту байонета. Крутящий момент от шпинделя к инструменту передается поводками, расположенными на торце шпинделя.

Вспомогательная группа  $Bc(B_2)$  привода вращения шомпола (рисунок 16.22, а) предназначена для размыкания и замыкания байонетного замка шомпола с инструментом в крайнем верхнем положении гильзы, а также для вращения инструмента в случае несовпадения ведущих шпонок инструмента и шпинделя во время автоматической смены инструмента. Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы  $\Phi_v(B_1)$ .



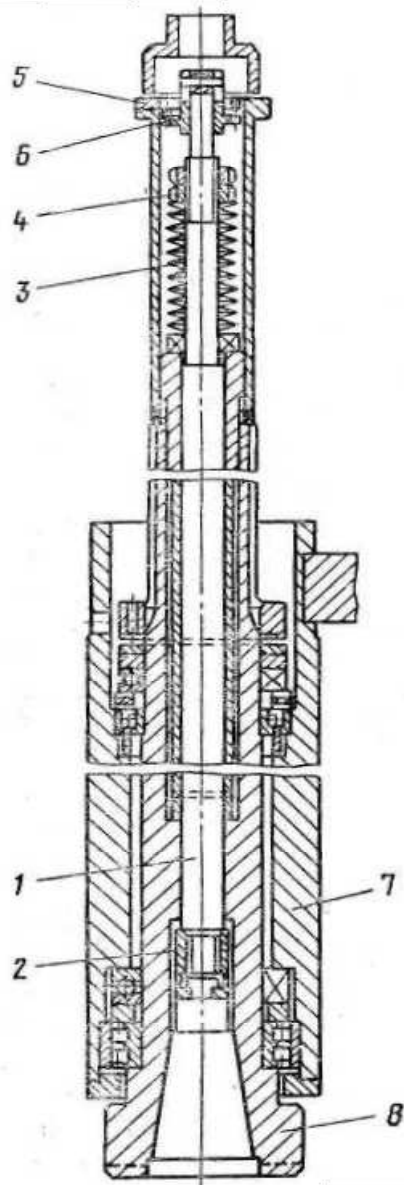


Рисунок 16.22. – Шпиндельный узел

Внешняя связь:

$M_3 \rightarrow 1/30 \rightarrow \text{муфта } M_2 \rightarrow \text{шомпол } (B_2)$ .

Двигатель  $M_3$  включается по команде микропереключателя, расположенного на инструментальном магазине, только в положении автооператора (рука для смены инструментов) под шпинделем.

Группа  $\Phi_{s1}(П_3)$  подач шпинделя и группа  $Bc(П_4)$  установочного перемещения шпиндельной головки (координата  $Z$ ) оснащены общим электродвигателем постоянного тока  $M_4$  типа МИ22ФТ и имеют общую внутреннюю связь:

*вертикальные направляющие стойки  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  ползун шпиндельной головки  $(П_3), (П_4)$ .*

Внешняя связь группы  $\Phi_{s1}(П_3)$ :

$M_4 \rightarrow 20/40 \rightarrow 16/48 \rightarrow 48/40 \rightarrow 40/48 \rightarrow ТВ XVII$  (винт-гайка качения)  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  ползунишпиндельной головки ( $П_3$ ).

Параметр скорость регулируется изменением круговой частоты ротора электродвигателя. Для обеспечения самоторможения пары винт-гайка качения при отжиме инструмента служит тормоз, установленный на винте.

Внешняя связь группы  $Vc(П_4)$ :

$M_4 \rightarrow 20/40 \rightarrow 16/48 \rightarrow$  шлицевой вал  $XVI$ -штулка  $XIX \rightarrow$  муфта  $M_4 \rightarrow$   
 $\rightarrow 1/34 \rightarrow ТВ$  (зубчато-реечная передача)  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  ползун шпиндельной головки ( $П_4$ ).

Муфта  $M_4$  включается от механизма зажима головки. Муфта  $M_5$  является предохранительной. Гильза и шпиндельная головка перемещаются синхронно. При отключении муфты  $M_4$  шпиндельная головка останавливается, а шпиндель продолжает перемещаться. Шпиндельная головка и гильза уравновешены противовесами.

На валу  $XVII$  установлен фотоэлектрический датчик  $D$ , который служит для отсчета перемещений гильзы и шпиндельной головки. Скорость быстрого перемещения гильзы шпинделя определяется из выражения

$$v = 3000 \cdot \frac{20}{40} \cdot \frac{16}{48} \cdot \frac{48}{40} \cdot \frac{40}{48} \cdot 6 \cdot 0,001 = 3 \text{ м/мин,}$$

где 0,001 – величина перемещения за один управляющий импульс.

Группы  $\Phi_{s2}(П_5)$  продольной подачи стола и  $\Phi_{s3}(П_6)$  поперечной подачи салазок выполнены одинаково и оснащены электродвигателями постоянного тока соответственно  $M_5$  и  $M_6$  типа МИ22ФТ. При выполнении сверлильно-расточных переходов и вспомогательных перемещений по программе эти группы выполняют функцию групп позиционирования. Их внутренние связи соответственно:

*направляющие поперечных салазок  $\rightarrow$  продольный стол ( $П_5$ );*  
*направляющие основания станины  $\rightarrow$  поперечные салазки ( $П_6$ ).*

Внешняя связь группы  $\Phi_{s2}$ :

$M_5 \rightarrow$  зубчато-ременная передача  $23/49 \rightarrow 35/56 \rightarrow 27/47 \rightarrow$   
 $\rightarrow$  червячно-реечная передача  $\rightarrow$  продольный стол ( $П_5$ ).

Внешняя связь группы  $\Phi_{s3}$ :

$M_6 \rightarrow$  зубчато-ременная передача  $23/49 \rightarrow 36/61 \rightarrow 17/47 \rightarrow$   
 $\rightarrow$  червячно-реечная передача  $\rightarrow$  поперечные салазки ( $П_6$ ).

Обе группы настраиваются на скорость, путь, исходное положение и направление по программе. Измерительные винты отсчетно-измерительных систем кинематически связаны с приводными червяками соответственно через колесо  $z = 22$  на валу *XXX* и  $z = 30$  на *XXIV*.

Принцип действия отсчетно-измерительной системы станка рассмотрим на примере отсчетной системы стола (см. рисунок 16.21, б). Винт-якорь *XXXIII* индуктивного датчика *ИД* связан с перемещением исполнительного органа через червячно-реечную передачу, вал *XXX*, конические передачи  $22/22$ , планетарный дифференциал, передачу  $108/106$ . Возникающий при перемещении сигнал рассогласования воспринимается блоком управления *БУ*, дающим команды электродвигателю *M7* типа РД-09. Двигатель, уменьшая сигнал рассогласования, доворачивает винт-якорь *XXXIII* через передачу  $34/68$ , планетарный дифференциал и передачу  $108/106$ . Вследствие такой обратной связи винт-якорь вращается синхронно движению исполнительного органа. Отсчет угла поворота винт-якоря производится круговым фотоэлектрическим датчиком *ФД* (импульсным измерительным преобразователем). Возникающий в фоторезисторах электрический сигнал преобразуется электронным устройством *ЭУ* в импульсы, воспринимаемые счетчиком импульсов *СИ*. Шаг импульсов соответствует  $0,001$  мм перемещения исполнительного органа (дискретность отсчета). Счетчик импульсов формирует в числовом виде полную информацию о величине перемещения исполнительного органа и управляет электродвигателем *M5* привода подач стола.

Зажим шпиндельной головки, стола, салазок и гильзы осуществляется автоматически по программе от асинхронных электродвигателей через ряд зубчатых передач.

Механизм автоматической смены инструмента состоит из инструментального магазина на 30 инструментов и автооператора с приводом. Механизм выполнен в виде отдельного узла (см. рисунок 16.21, в), расположенного на стойке станка.

Цикл смены инструмента (рисунок 16. 23):

- магазин подает инструмент в позицию загрузки-выгрузки (во время обработки);
- рука поворачивается, захватывает инструмент, выносит его из магазина и устанавливает в положение, когда оси шпинделя и инструмента параллельны;
- гильза и шпиндельная головка перемещаются в крайнее верхнее положение, контролируемое микропереключателями, шомпол отжимает инструмент, но он остается пока в байонетном зажиме;
- рука захватывает отработавший инструмент, в этот момент начинает вращаться шомпол (вращение шомпола рассмотрено выше), инструмент

выпадает из замка и рука движением вниз извлекает инструмент из шпинделя;

– рука поворачивается на  $180^\circ$  и вставляет очередной инструмент в шпиндель;

– рука совершает все движения в обратной последовательности, вставляя отработанный инструмент в свое гнездо.

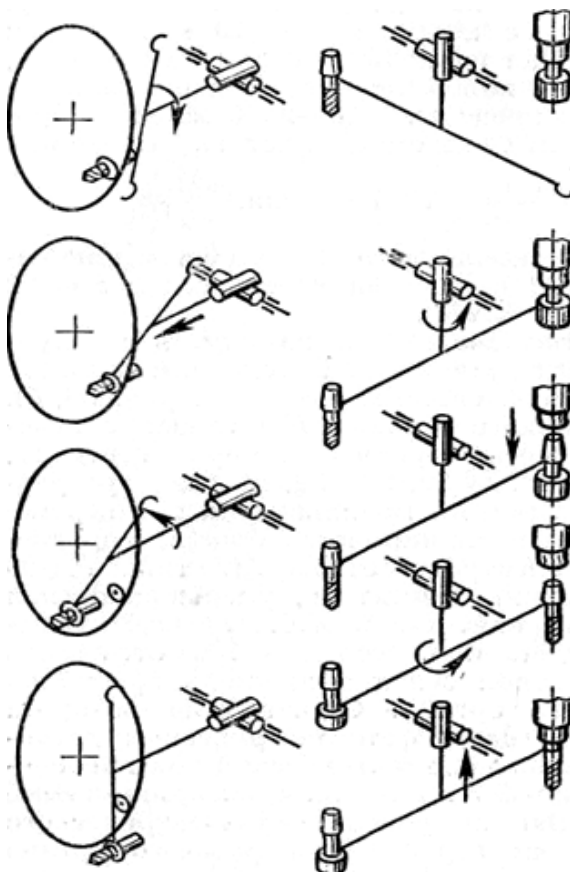


Рисунок 16.23. – Схема работы автооператора

Одновременно происходит зажим очередного инструмента в шпинделе.

Поскольку шомпол вращается, то зуб инструмента западает в байонет, а ведущие выступы шпинделя – в пазы инструмента. Инструмент фиксируется в шпинделе, а шомпол замыкает байонетный замок и останавливается. Время смены инструмента составляет около 5 с.

Магазин выполнен в виде барабана со втулками, в которые устанавливают инструмент. Втулки предохраняют хвостовики оправок от пыли и грязи. Оправки крепят в магазине с помощью пружин. С барабаном кинематически связаны три кодовых диска, лепестки которых проходят сквозь прорези бесконтактных конечных выключателей, закрепленных на корпусе. Выходные сигналы выключателей, закодированные в двоично-десятичном коде, обеспечивают выбор позиции барабана.

Вращение магазина (см. рисунок 16.21, в) осуществляется группой  $Bc(B_7)$ . Внешняя связь группы:

$$M_8 \rightarrow 1/34 \rightarrow \text{винт-вал XXXVII} \rightarrow 51/34 \rightarrow 2/30 \rightarrow 50/165 \rightarrow \\ \rightarrow \text{вал XL, на котором расположен магазин (B}_7).$$

Магазин за один оборот винта-вала поворачивается на один шаг, т.е. на  $1/30$  оборота.

При получении команды на поиск инструмента начинает вращаться червячное колесо  $z = 24$  с внутренней резьбой. При этом винт-вал XXXVII перемещается вдоль своей оси влево или вправо в зависимости от направления вращения до тех пор, пока фиксатор  $I$  не выйдет из продольного паза кулачка  $K1$ . В этот момент торцовые выступы на червячном колесе входят в зацепление с выступами на кулачке  $K1$  или диске 2 и винт-вал и соответственно магазин начинают вращаться. При вращении магазина бесконтактные выключатели посылают сигналы в систему ЧПУ.

При совпадении полученного сигнала с заданным по программе система ЧПУ дает команду на реверс электродвигателя. В этом положении нужное гнездо магазина перебегаёт позицию загрузки-выгрузки. Винт-вал поворачивается в противоположную сторону до западания фиксатора  $I$  в паз кулачка  $K1$ . При этом винт-вал начнет перемещаться в осевом направлении до тех пор, пока не сработает микропереключатель, дающий команду на остановку электродвигателя.

Автооператор (рука) выполняет движения: поворот, осевое перемещение и опрокидывание. Эти движения выполняются группой  $Bc(B_8)$ . Ее внешняя связь:

$$M_9 \rightarrow 1/60 \rightarrow 20/30 \rightarrow 30/157 \rightarrow \text{вал XLIV с кулачками K}_2, K_3, K_4.$$

На каждом кулачке дискового типа имеются замкнутые кривые, определяющие перемещение руки. От кулачка  $K_2$  с помощью толкателя через вал-рейку XLV, реечное колесо 28 и зубчатую передачу 59/36 рука поворачивается вокруг центральной оси L11.

От кулачка  $K_3$  через рейку и реечное колесо 27, вал XLVII, зубчатую передачу 67/46 получает вращение полый вал  $L$ , который посредством реечного колеса 46 перемещает рейку и соответственно руку с инструментом вдоль их оси. Кулачок  $K_4$  с помощью толкателя, рейки и реечного колеса 27 через вал XLVIII и зубчатую передачу 31/58 осуществляет поворот автооператора на  $90^\circ$ .

При фрезеровании деталей сложного профиля типа плоских кулачков простые группы подач  $\Phi_{s_2}(II_5)$  и  $\Phi_{s_3}(II_6)$  преобразуются в сложную гибридную (мехатронную) группу  $\Phi_s(II_5II_6)$ . В этой группе функциональная связь между движениями по двум координатам обеспечивается электронным валом системы ЧПУ. Аппроксимация сложных профилей осуществляется линейно-круговым интерполятором электронного вала.



### 16.4.5 Станок с гибридными формообразующими группами для обработки двухшаговых червяков

В рассмотренном выше специализированном станке с механическими связями для обработки двухшаговых червяков чашечным резцом (см. рисунок 12.8) по условиям компоновки обе формообразующие группы содержат механические передачи, в т.ч. органы настройки на параметры исполнительных движений. Основными органами настройки, обеспечивающими функциональную связь между исполнительными органами станка при заданных передаточных отношениях (параметр траектория) инструмент–заготовка, являются четырехколесные гитары сменных зубчатых колес. Двухэлементарная группа скорости резания  $\Phi_v$  во внутренней связи содержит один такой орган настройки, а трехэлементарная группа подачи  $\Phi_s$  – два органа настройки. При этом по внутренним связям обе группы соединены посредством дифференциального механизма, обеспечивающего физическое сложение двух исполнительных движений на шпинделе заготовки. Механические передачи функциональных связей являются основным источником погрешностей при обработке и основным источником шума станка. Это обстоятельство – одна из причин поиска технических решений на основе типовых интегральных схем и управляемых приводов.

На рисунке 16.24 представлена структурная схема приводов станка для обработки червяков с начальной конической поверхностью.

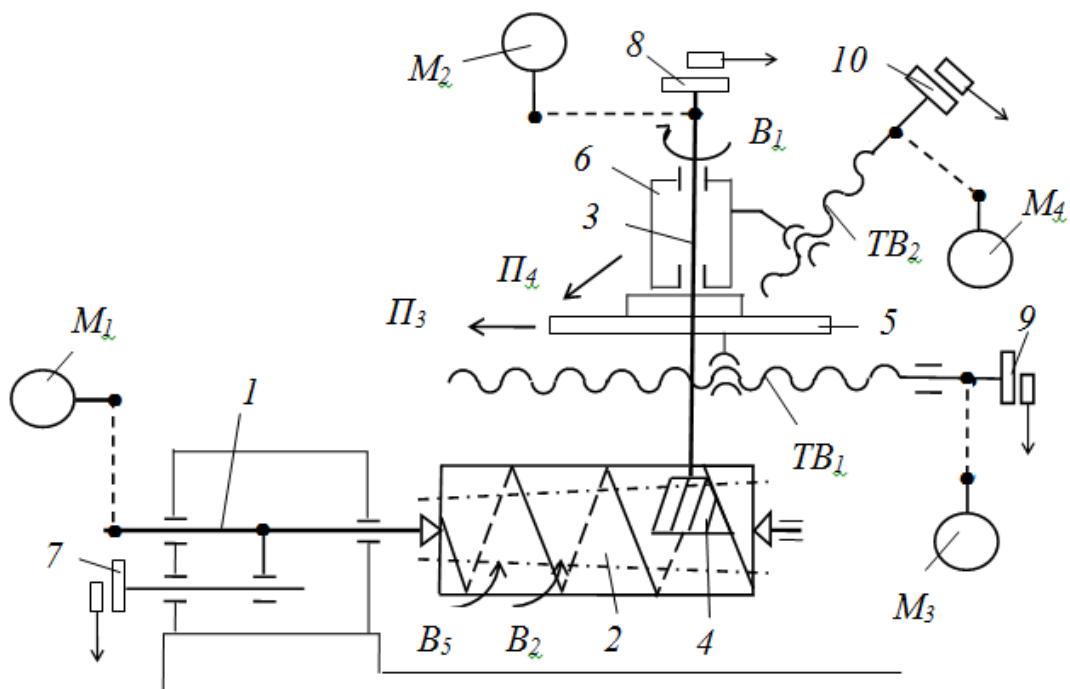


Рисунок 16.24. – Структурная схема приводов станка для нарезания двухшаговых червяков чашечным резцом

Общая компоновка базовых элементов выполнена аналогично компоновке, принятой для специализированных станков с механическими связями для обработки червяков чашечным резцом. Структурная схема станка содержит две сложные формообразующие группы:  $\Phi_v(B_1B_2)$  и  $\Phi_s(П_3П_4B_5)$ . Внутренние связи групп содержат электронные валы, образующие в совокупности систему синхронизации формообразующих движений этих мехатронных (гибридных) групп.

Управляемые электродвигатели постоянного тока  $M_1, M_2, M_3, M_4$  кинематически связаны соответственно со шпинделем  $1$ , несущим заготовку  $2$  обрабатываемого червяка, шпинделем  $3$  чашечного резца  $4$ , тяговыми валами  $TB_1$  и  $TB_2$ , выполненными в виде передач винт – гайка с телами качения. Гайка  $TB_1$  жесткой связью соединена с продольным суппортом  $5$ , а гайка  $TB_2$  – с поперечным суппортом  $6$ , несущим шпиндель  $3$  чашечного резца  $4$ . Шпиндель  $1$ , шпиндель  $3$ , продольный суппорт  $5$  и поперечный суппорт  $6$  являются исполнительными органами станка. Для обеспечения связи механики станка с системой синхронизации на шпинделях  $1$  и  $3$ , винтах тяговых валов  $TB_1$  и  $TB_2$  установлены импульсные измерительные преобразователи соответственно  $7, 8, 9, 10$ . Эти преобразователи служат для преобразования механического движения исполнительных органов в последовательности импульсов, сообщаемых в электронную систему синхронизации.

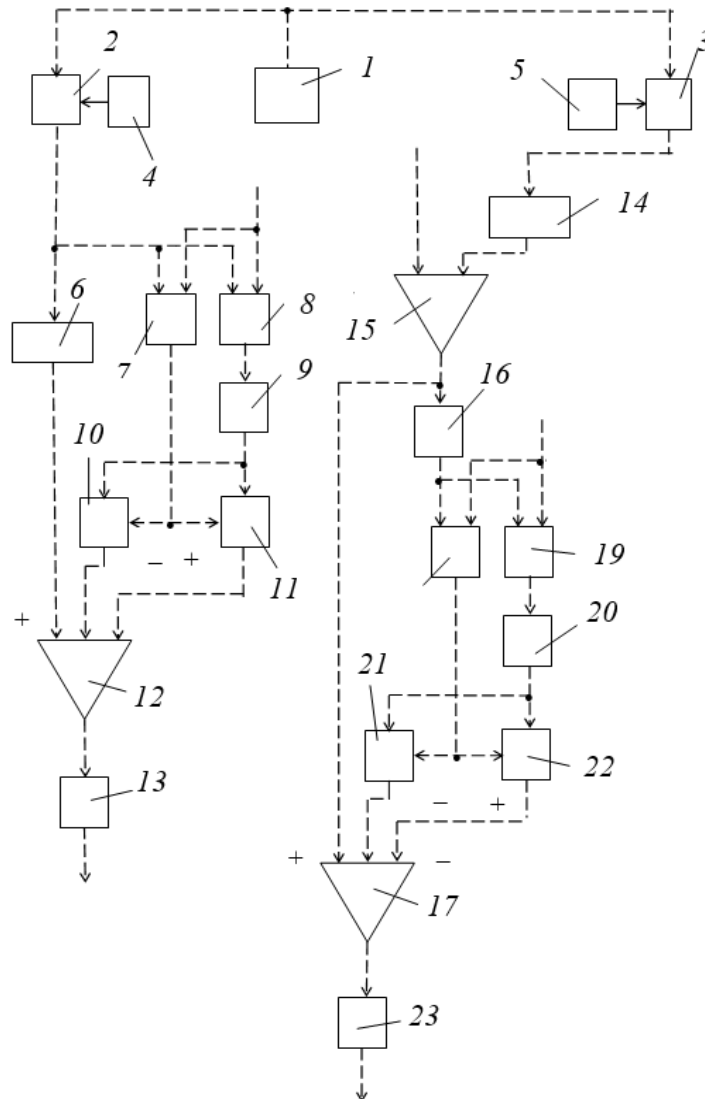
Система синхронизации выполнена по схеме равнозначных координат с автоматической двухсторонней коррекцией (адаптацией) управляющих сигналов по погрешностям девиации механики исполнительных органов. Эта система является модификацией системы по патентному первоисточнику [24].

Система синхронизации содержит две подсистемы с общим задатчиком (эталонным генератором), вырабатывающим задающий сигнал, частота которого превышает чистоту импульсного сигнала – аналога частоты вращения шпинделя заготовки. Первая подсистема осуществляет синхронизацию приводов двухэлементарной гибридной кинематической группы обката (скорости резания). А вторая подсистема – синхронизацию приводов трехэлементарной гибридной кинематической группы подачи.

На рисунке 16.25 приведена блок-схема подсистемы синхронизации (электронный вал) приводов исполнительных органов группы обката  $\Phi_v(B_1B_2)$ , воспроизводящей профиль витков червяка.

Эталонный генератор  $1$  соединен с входами счетчиков  $2$  и  $3$ , к которым присоединены блоки установки коэффициентов деления соответственно  $4$  и  $5$ . Функция этих блоков – установка передаточных отношений при настройке станка. Счетчики и соответствующие блоки установки коэффициентов деления образуют делители частоты задающих эталонных импульсных сигналов управления соответствующих исполнительных органов

(управляемых координат). Выход счетчика 2 соединен с входом блока 6 круговой частоты шпинделя чашечного резца в движении  $B_1$  и первыми входами знакового 7 и фазового 8 дискриминаторов, вторые входы которых соединены с импульсным измерительным преобразователем 8, установленном на шпинделе 3 чашечного резца (см. рисунок 16.24).



**Рисунок 16.25. – Блок-схема подсистемы синхронизации приводов группы обката  $\Phi_v(B_1B_2)$**

Выход фазового дискриминатора 8 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 9, соединенного своим выходом с аналоговыми входами аналогового ключа 10, управляемого отрицательным потенциалом, и аналогового ключа 11, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы ключей 10 и 11 соединены с выходом знакового дискриминатора 7. Выход блока 6 круговой частоты шпинделя фрезы соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 12, у которого второй вход сложения и вход вычитания соединены соответственно с выходом аналогового

ключа 10, управляемого отрицательным потенциалом, и с выходом аналогового ключа 11, управляемого положительным потенциалом. Выход параллельного сумматора 12 через усилитель мощности 13 соединен с управляемым электродвигателем  $M_2$  привода вращения шпинделя чашечного резца.

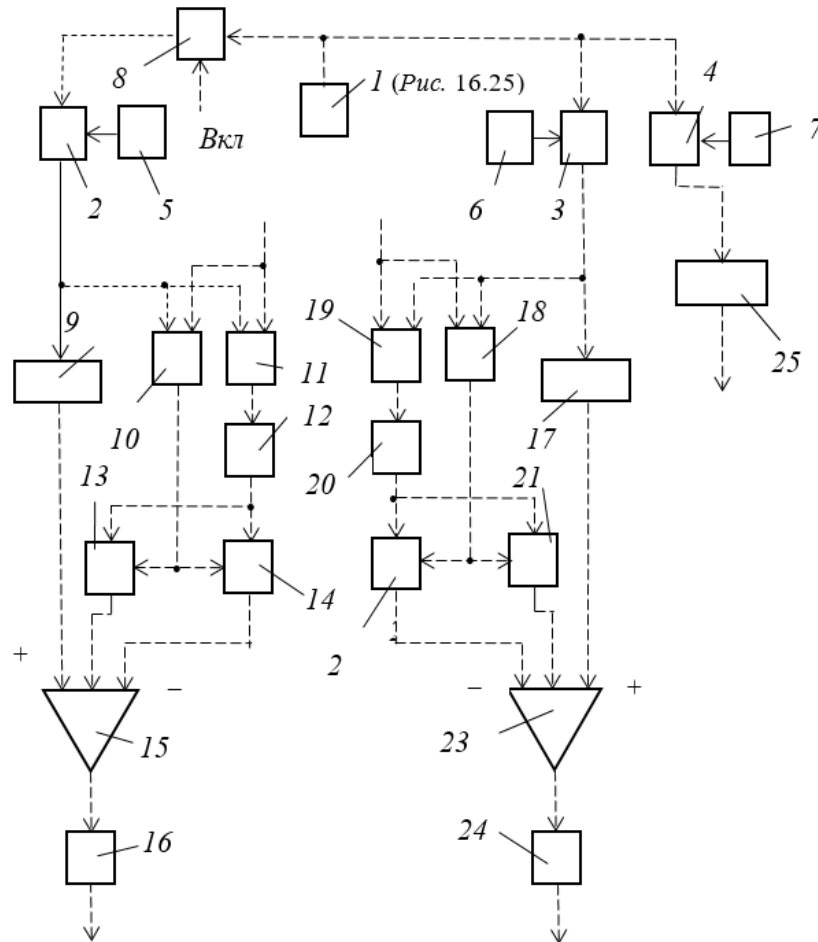
Выход счетчика 3 соединен с входом блока 14 круговой частоты шпинделя заготовки в движении  $B_1$ , выход которого соединен с первым входом сумматора 15. Его выход соединен с входом аналого-импульсного преобразователя 16 и с первым входом сложения параллельного сумматора 17. Выход аналого-импульсного преобразователя 16 соединен с первыми входами знакового 18 и фазового 19 дискриминаторов. Вторые входы дискриминаторов соединены с импульсным измерительным преобразователем 7, установленном на шпинделе заготовки (см. рисунок 16.24).

Выход фазового дискриминатора 19 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 20, соединенного своим выходом с аналоговыми входами аналогового ключа 21, управляемого отрицательным потенциалом и аналогового ключа 22, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы ключей 21 и 22 соединены с выходом знакового дискриминатора 18. Выходы ключей 21 и 22 соединены соответственно с вторым входом сложения и входом вычитания параллельного сумматора 17. Выход параллельного сумматора 17 через усилитель мощности 23 соединен с управляемым электродвигателем  $M_1$  привода вращения заготовки в движении  $B_1$  (см. рисунок 16.24).

На рисунке 16.26 приведена блок-схема подсистемы синхронизации (электронный вал) приводов исполнительных органов группы  $\Phi_s(П_3П_4B_5)$ , воспроизводящей линию витка.

Счетчики 2, 3, 4 с присоединенными к ним блоками установки коэффициентов деления соответственно 5, 6, 7 образуют делители частоты задающих эталонных импульсных сигналов. Входы счетчиков 3 и 4 соединены с выходом эталонного генератора 1, а вход счетчика 2 соединен с выходом этого генератора через ключ 8 с потенциальным управляющим входом. Выход счетчика 2 соединен с входом блока 9 круговой частоты винта тягового вала  $TB_2$ , преобразуемой этим валом в поперечную подачу  $П_4$  суппорта 6, и первыми входами знакового 10 и фазового 11 дискриминаторов, вторые входы которых соединены с импульсным измерительным преобразователем 10, установленном на винте  $TB_2$  (см. рисунок 16.24). Выход фазового дискриминатора 11 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 12, соединенного своим выходом с аналоговыми входами аналогового ключа 13, управляемого отрицательным потенциалом, и аналогового ключа 14, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы ключей 13 и 14 соединены с выходом знакового дискриминатора 10. Выход блока круговой частоты 9 винта  $TB_2$  соединен с первым входом сложения

параллельного сумматора 15, у которого второй вход сложения и вход вычитания соединены соответственно с выходом аналогового ключа 13, управляемого отрицательным потенциалом, и с выходом аналогового ключа 14, управляемого положительным потенциалом. Выход параллельного сумматора 15 через усилитель мощности 16 соединен с управляемым электродвигателем  $M_4$  привода поперечной подачи суппорта 6 (см. рисунок 16.24).



**Рисунок 16.26. - Блок-схема подсистемы синхронизации приводов группы подачи  $\Phi_s(\Pi_3\Pi_4B_5)$**

Выход счетчика 3 соединен с входом блока 17 круговой частоты винта тягового вала  $TB_1$ , преобразуемой этим валом в подачу  $\Pi_3$  продольного суппорта, и первыми входами знакового 18 и фазового 19 дискриминаторов, вторые входы которых соединены с импульсным измерительным преобразователем 9, установленном на винте  $TB_1$  (см. рисунок 16.24).

Выход фазового дискриминатора 19 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 20, соединенного своим выходом с аналоговыми входами аналогового ключа 21, управляемого отрицательным потенциалом, и аналогового ключа 22, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы ключей 21 и 22 соединены с выходом знакового

дискриминатора 18. Выход блока 17 круговой частоты винта  $TB_1$  соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 23, у которого второй вход сложения и вход вычитания соединены соответственно с выходом аналогового ключа 21, управляемого отрицательным потенциалом, и с выходом аналогового ключа 22, управляемого положительным потенциалом. Выход параллельного сумматора 23 через усилитель мощности 24 соединен с управляемым электродвигателем  $M_3$  привода подачи продольного суппорта (см. рисунок 16.24).

Выход счетчика 4 соединен с входом блока 25 круговой частоты шпинделя заготовки в движении  $B_5$ , у которого выход соединен со вторым входом сумматора 15 (см. рисунок 16.25).

Блоки 6, 14 (см. рисунок 16.25) и блоки 9, 17, 25 (рисунок 16.26) круговых частот соответственно шпинделя чашечного резца (движение  $B_2$ ), шпинделя заготовки (движение  $B_1$ ), винта тягового вала  $TB_2$ , винта тягового вала  $TB_1$ , шпинделя заготовки (движение  $B_5$ ) выполнены по схеме частотонапряжения. В этих блоках эталонные импульсные сигналы преобразуются в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала.

Нормативными параметрами при обработке являются скорость резания (скорость воспроизведения профиля), задаваемая по круговой частоте заготовки (движение  $B_1$ ), и продольная подача (скорость воспроизведения винтовой линии) чашечного резца (движение  $P_3$ ). При наладке станка блоком 5 установки коэффициента деления (см. рисунок 16.25) задается частота импульсного сигнала на выходе счетчика 3, соответствующая управляющему сигналу на электродвигателе  $M_1$ , при котором шпиндель 1 заготовки в движении  $B_1$  вращается со скоростью, соответствующей заданной скорости резания. Аналогично блоком 6 установки коэффициента деления (см. рисунок 16.26) задается частота импульсного сигнала на выходе счетчика 3, соответствующая управляющему сигналу на электродвигателе  $M_3$ , при котором продольный суппорт 5 в движении  $P_3$  движется со скоростью, соответствующей заданной подаче.

Остальные делители частоты рассматриваемой системы синхронизации являются органами настройки на траекторию исполнительных движений. Коэффициенты деления для них выводятся на основе расчетных перемещений для исполнительных органов станочного зацепления сложных кинематических групп.

РП для исполнительных органов станочного зацепления, воспроизводящего движение обката  $\Phi_v(B_1B_2)$ :

$$1 \text{ об. шпинделя заготовки } (B_1) \rightarrow k/z \text{ об. чашечного резца } (B_2),$$

где  $k$  – число заходов обрабатываемого червяка;

$z$  – число зубьев чашечного резца.

УКЦ кинематической связи станочного зацепления:

$$k/z = 1 \cdot c_1 n_1 / n_2,$$

где  $c_1$  – произведение передаточных отношений механических передач кинематической связи;

$n_1$  – круговая частота электродвигателя  $M_1$ , соответствующая заданной скорости резания,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_2$  – круговая частота электродвигателя  $M_2$ , необходимая для обеспечения функциональной связи в движении обката,  $\text{мин}^{-1}$ .

Заменим в УКЦ отношение круговых частот отношением коэффициентов деления на соответствующих блоках, тогда

$$k/z = 1 \cdot c_1 i_1 / i_2.$$

По этому выражению определим коэффициент деления (ФН), устанавливаемый на блоке 4 делителя частоты 2:

$$i_2 = (c_1 z/k) i_1,$$

где  $i_1$  – коэффициент деления, установленный на блоке 5 счетчика 3, соответствующий заданной круговой частоте электродвигателя  $M_1$ ;

$i_2$  – коэффициент деления, который необходимо установить на блоке 4 счетчика 2 для обеспечения функциональной связи шпинделя заготовки ( $B_1$ ) и шпинделя чашечного и резца ( $B_2$ ).

Трехэлементарная группа подачи  $\Phi_s(P_3P_4B_5)$  воспроизводит два станочных зацепления. Первое зацепление обеспечивает перемещение чашечного резца по конической начальной поверхности обрабатываемого червяка. РП для данного зацепления:

$$S_{np} \text{ перемещение чашечного резца в движении } (P_3) \rightarrow S_{non} \text{ перемещение чашечного резца в движении } (P_4),$$

где  $S_{np}$  – нормируемая продольная подача инструмента;

$S_{non}$  – поперечная подача инструмента,  $S_{non} = S_{np} \text{tg} \varepsilon$ ;

$\varepsilon$  – угол наклона конической начальной поверхности обрабатываемого червяка.

УКЦ кинематической связи станочного зацепления:

$$S_{non} = S_{np} \text{tg} \varepsilon \cdot c \cdot 1/P_{TB1} P_{TB2} = c_2 S_{np} \text{tg} \varepsilon,$$

где  $c_2 = c P_{TB2} / P_{TB1}$  = константа;

$c$  – произведение передаточных отношений постоянных механических передач кинематической цепи;  $P_{TB1}$  и  $P_{TB2}$  – шаги винтов  $TB_1$  и  $TB_2$  соответственно.

Угол  $\varepsilon$  наклона образующей начальной поверхности червяка определяется по формуле [19]:

$$\varepsilon = \arctg (\Delta/2 \text{tg} \alpha_0),$$

где  $\Delta = \alpha l m / l_p$  – коэффициент приращения шага;  
 $\alpha$  – коэффициент допустимого износа;  
 $l_p$  – дополнительная длина червяка;  
 $\alpha_0$  – угол зацепления.

Заменим в УКЦ отношения подач отношением коэффициентов деления на соответствующих блоках, тогда

$$i_4 = i_3 c_2 \operatorname{tg} \varepsilon,$$

где  $i_3$  – коэффициент деления, установленный на блоке 6 счетчика 3, соответствующий заданной круговой частоте электродвигателя  $M_3$ ;

$i_4$  – коэффициент деления, устанавливаемый на блоке 5 счетчика 2, соответствующий поперечной подаче чашечного резца в движении  $\Pi_4$  для обеспечения функциональной связи продольного суппорта и поперечного суппортов.

Второе станочное зацепление группы подачи обеспечивает воспроизведение винтовой линии витка по конической начальной поверхности. РП для этого зацепления:

$$T \text{ мм перемещения продольного суппорта в движении } \Pi_3 \rightarrow \\ \rightarrow 1 \text{ об. шпинделя заготовки в движении } B_5,$$

где  $T$  – шаг винтовой линии обрабатываемого червяка.  
 УКЦ кинематической связи станочного зацепления:

$$1 = c (T / P_{TB1}) \cdot (n_3 / n_5) = c_3 T (n_3 / n_5),$$

где  $c_3 = c / P_{TB1}$  – константа;  
 $c$  – произведение передаточных отношений постоянных механических передач кинематической связи;

$n_3$  – дополнительная круговая частота электродвигателя  $M_1$ , необходимая для обеспечения функциональной связи в винтовом движении.

Заменим в УКЦ кинематической связи отношение круговых частот отношением коэффициентов деления на соответствующих блоках:

$$1 = c_3 T (i_3 / i_5).$$

По полученному выражению определяется коэффициент деления, устанавливаемый на блоке 7 счетчика 4:

$$i_5 = c_3 i_3 T,$$

где  $i_3$  – коэффициент деления, установленный на блоке 5 счетчика 2, соответствующий заданной подаче продольного суппорта;

$i_5$  – коэффициент деления, который необходимо установить на блоке 7 счетчика 4 для обеспечения функциональной связи продольного суппорта и шпинделя заготовки.



Станок работает следующим образом. При включении эталонного генератора  $I$  задающий, высокочастотный, импульсный сигнал с его выхода поступает на счетчики системы синхронизации, в которых происходит деление задающего сигнала в соответствии с коэффициентами деления, установленными на блоках задания этих коэффициентов.

Импульсный сигнал с выхода счетчика  $3$  поступает на вход блока  $14$  (см. рисунок 16.25) круговой частоты шпинделя  $I$  заготовки, где происходит его преобразование в напряжение пропорциональное частоте входного сигнала. Выходной сигнал с блока  $14$  через первый вход сложения – выход сумматора  $15$ , первый вход сложения – выход параллельного сумматора  $17$  и усилитель мощности  $23$  поступает на управляемый электродвигатель  $M_1$ , который сообщает вращательное движение  $V_1$  шпинделю заготовки обрабатываемого червяка. Синхронно импульсный сигнал с выхода счетчика  $2$  поступает на вход блока  $6$  круговой частоты шпинделя чашечного резца, где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. Выходной сигнал с блока  $6$  через первый вход сложения – выход параллельного сумматора  $12$  и усилитель мощности  $13$  поступает на управляемый электродвигатель  $M_2$ , который сообщает вращательное движение  $V_2$  шпинделю чашечного резца с круговой частотой, пропорциональной частоте эталонного сигнала на выходе счетчика  $2$ .

Одновременно с выхода счетчика  $3$  (см. рисунок 16.26) импульсный сигнал поступает на вход блока  $17$  продольной подачи суппорта, где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. Выходной сигнал с блока  $17$  поступает через первый вход сложения – выход параллельного сумматора  $23$  и усилитель мощности  $24$  на управляемый электродвигатель  $M_3$ , который посредством  $TB_1$  сообщает движение  $P_3$  продольному суппорту. Синхронно с выхода счетчика  $2$  импульсный сигнал поступает на блок  $9$  подачи поперечного суппорта, где этот сигнал преобразуется в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. Сигнал с выхода блока  $9$  через первый вход сложения – выход параллельного сумматора  $15$  и усилитель мощности  $16$  поступает на управляемый электродвигатель  $M_4$ , который посредством  $TB_2$  сообщает движение  $P_4$  поперечному суппорту. Синхронно с выхода счетчика  $4$  задающий сигнал, соответствующий круговой частоте шпинделя заготовки в движении  $V_5$  поступает на блок  $25$ , где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. С этого блока выходной сигнал поступает на второй вход сложения сумматора  $15$  (см. рисунок 4.8). В этом сумматоре происходит сложение двух задающих сигналов, соответствующих круговым частотам шпинделя заготовки в движениях  $V_1$  и  $V_5$ . В результате на первом входе параллельного сумматора  $17$  действует суммарный сигнал  $V_1 + V_5$ , управляющий электродвигателем  $M_1$  шпинделя заготовки.

В итоге такого прохождения задающих сигналов от общего задатчика – эталонного генератора к исполнительным органам станка осуществляется обработка двухшагового червяка.

Одновременно обеспечивается устранение девиации механики исполнительных органов посредством двухсторонней коррекции сигналов управления электродвигателями, действующих на выходах параллельных сумматоров.

На первых входах фазового 8 и знакового 7 дискриминаторов (см. рисунок 16.25) постоянно действует импульсный сигнал с выхода счетчика 2. На вторые входы этих дискриминаторов поступает, вырабатываемый импульсным измерительным преобразователем 8 (см. рисунок 16.24) импульсный сигнал, соответствующий мгновенному значению действительной круговой частоты шпинделя чашечного резца. В обоих дискриминаторах непрерывно происходит сравнение задающего сигнала с сигналом о действительном мгновенном положении шпинделя чашечного резца. В результате на выходе фазового дискриминатора 8 непрерывно образуется сигнал абсолютной погрешности. Этот сигнал после преобразования в импульсно-аналоговом преобразователе 9 поступает на аналоговые входы аналогового ключа 10, управляемого отрицательным потенциалом, и аналогового ключа 11, управляемого положительным потенциалом. На выходе знакового дискриминатора 7 образуется отрицательный потенциал при отставании шпинделя от заданного значения и положительный потенциал при опережении. Этот сигнал поступает на управляющие входы аналоговых ключей 10 и 11 и открывает один из них.

При открывании аналогового ключа 10, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на второй вход сложения параллельного сумматора 12, а при открывании аналогового ключа 11, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вычитания параллельного сумматора 12. В сумматоре в зависимости от знака погрешности происходит увеличение или уменьшение сигнала, действующего на его первом входе сложения, то есть происходит его двухсторонняя автоматическая коррекция относительно заданного номинального значения. Аналогично осуществляется коррекция управляющего сигнала и на других параллельных сумматорах. Такой вид коррекции принято называть адаптивным предельным регулированием.

Для обработки традиционных одношаговых червяков в системе синхронизации (см. рисунок 16.26) отключается от эталонного генератора 1 посредством ключа 8 счетчик 2. При этом группа скорости резания не изменяется, а трехэлементарная группа подачи трансформируется в двухэлементарную  $\Phi_s(П_3B_5)$ .

#### 16.4.6 Станок с гибридными формообразующими группами для зубофрезерования цилиндрических колес с наклонными зубьями

Конструктивная особенность цилиндрических зубчатых колес с наклонными по делительной окружности зубьями – использование делительного конуса вместо делительного цилиндра, характерного для традиционных зубчатых колес. При использовании делительного конуса толщина зуба вдоль его линии равномерно уменьшается от большего основания делительного конуса к его меньшему основанию. Эта конструктивная особенность позволяет регулировать боковой зазор в зубчатых передачах посредством осевого смещения колес. В итоге обеспечиваются в пределах срока службы передачи минимальные величины бокового зазора и циклической ошибки. Такие зубчатые колеса, как с прямыми, так и с винтовыми зубьями, используются в передачах, от которых требуется высокая кинематическая точность и минимальные боковые зазоры.

Колеса с наклонными зубьями обрабатывают, как правило, зуборезными долбьями и червячными фрезами соответственно на зубодолбежных и зубофрезерных станках, модернизированных на основе их компоновки для нарезания рассматриваемого вида зубчатых колес. Модернизация базовых моделей этих станков на этапе конструирования заключается посредством установки направляющих инструментального суппорта под углом к оси делительного стола, или посредством установки продольного стола, несущего делительный стол, под углом к траектории движения суппорта. Варианты модернизации на основе изменения компоновки снижают коэффициенты универсальности и мобильности базовых моделей зубообрабатывающих станков, т.к. их наладка на обработку традиционных зубчатых колес или переналадка на иной угол наклона зубьев проблематична. Поэтому целесообразно на этапе конструирования использование кинематического принципа воспроизведения траектории движения инструмента по делительному конусу при обработке цилиндрических зубчатых колес с наклонными зубьями.

На рисунке 16.27 приведена схема способа зубофрезерования червячной фрезой колес с наклонными зубьями [24; 25].

Характеристический образ червячной фрезы  $\{M_{\mathcal{E}}\}_K$ , класс образования зубчатой поверхности обкат – касание  $(H^k - \Pi)$ .

По этому способу заготовку  $I$  устанавливают в исходное положение относительно червячной фрезы  $2$ . Причем начальное и конечное положения фрезы в движении  $\Pi_3$  устанавливаются с учетом величины пути  $L$ , который складывается из высоты  $H$  зубчатого венца заготовки, верхнего  $K_1$  и нижнего  $K_2$  перебегов фрезы. Для воспроизведения линии зуба, являющейся направляющей при нарезании червячной фрезой, на делительном конусе  $5$  фрезе  $2$

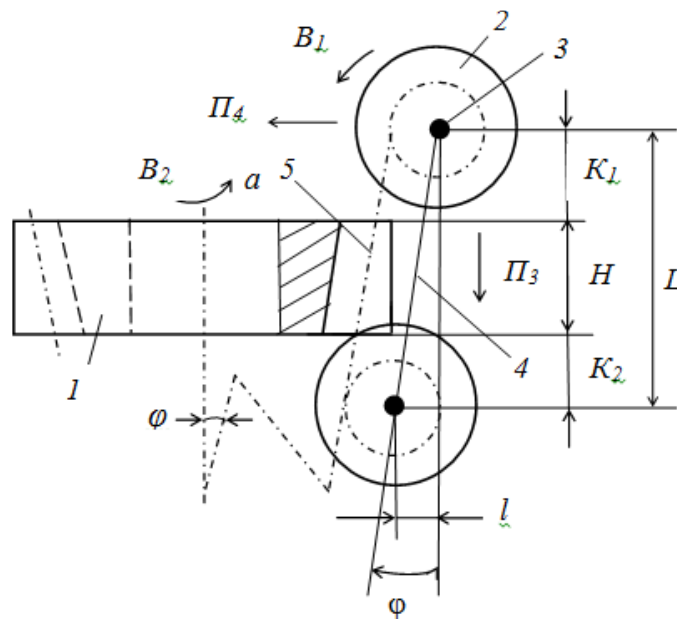
необходимо сообщать два движения: традиционное для зубофрезерования цилиндрических колес с линией зуба на цилиндре движение  $\Pi_3$  продольной подачи и дополнительное радиальное движение  $\Pi_4$ , согласованное движением  $\Pi_3$ . Причем путь дополнительного движения  $\Pi_4$  определяется как

$$l = L \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $l$  – путь дополнительного движения  $\Pi_4$ , мм;

$L$  – путь движения  $\Pi_3$ , мм;

$\varphi$  – угол наклона зубьев обрабатываемого колеса, град.



**Рисунок 16.27. – Способ фрезерования цилиндрических зубчатых колес с наклонными зубьями**

Таким образом, при кинематическом воспроизведении линии зуба на делительном конусе в рассматриваемом способе зубофрезерования линия зуба должна воспроизводиться сложным двухэлементарным движением  $\Phi_s(\Pi_3\Pi_4)$  подачи. При этом движения обката  $\Phi_v(B_1B_2)$ , имитирующее зацепление червячной передачи, остается таким же, как в пионерном способе зубофрезерования червячными фрезами.

Движение  $B_1$  скорости резания и движение  $\Pi_3$  продольной подачи являются нормируемыми характеристиками процесса зубофрезерования. Согласование движений  $B_2$  и  $\Pi_4$  с движениями  $B_1$  и  $\Pi_3$  соответственно осуществляется на основе следующих РП:

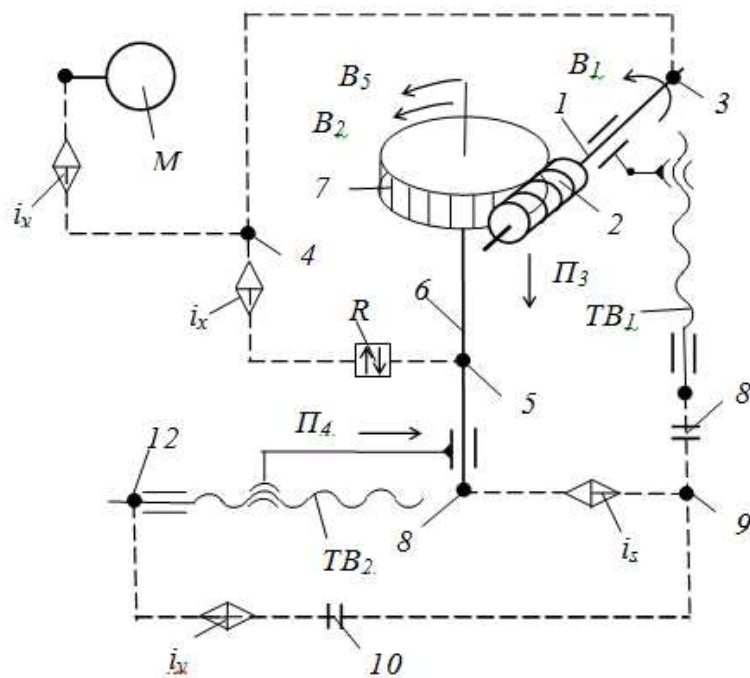
*1 оборот фрезы в движении  $B_1 \rightarrow k/z$  оборота заготовки в движении  $B_2$ ;  
 $L$  мм перемещения фрезы в движении  $\Pi_3 \rightarrow l$  мм перемещения фрезы  
 в движении  $\Pi_4$ ,*

где  $k$  – число заходов фрезы;

$z$  – число зубьев нарезаемого колеса.

При сообщении фрезе и заготовке сложных формообразующих движений  $\Phi_v(B_1B_2)$  и  $\Phi_s(\Pi_3\Pi_4)$  осуществляется нарезание цилиндрического колеса с наклонными зубьями. При этом движение  $\Phi_v(B_1B_2)$  воспроизводит на заготовке профиль зубьев (образующую), а движение  $\Phi_s(\Pi_3\Pi_4)$  перемещает ось 3 фрезы по результирующей траектории 4, эквидистантной делительному конусу 5 обрабатываемого колеса.

На рисунке 16.28 приведена механическая составляющая кинематической структуры зубофрезерного станка с электронными связями для обработки косозубых и прямозубых цилиндрических колес с наклонными зубьями. А на рисунке 16.29 – схема синхронизации приводов исполнительных органов станка [24; 25].

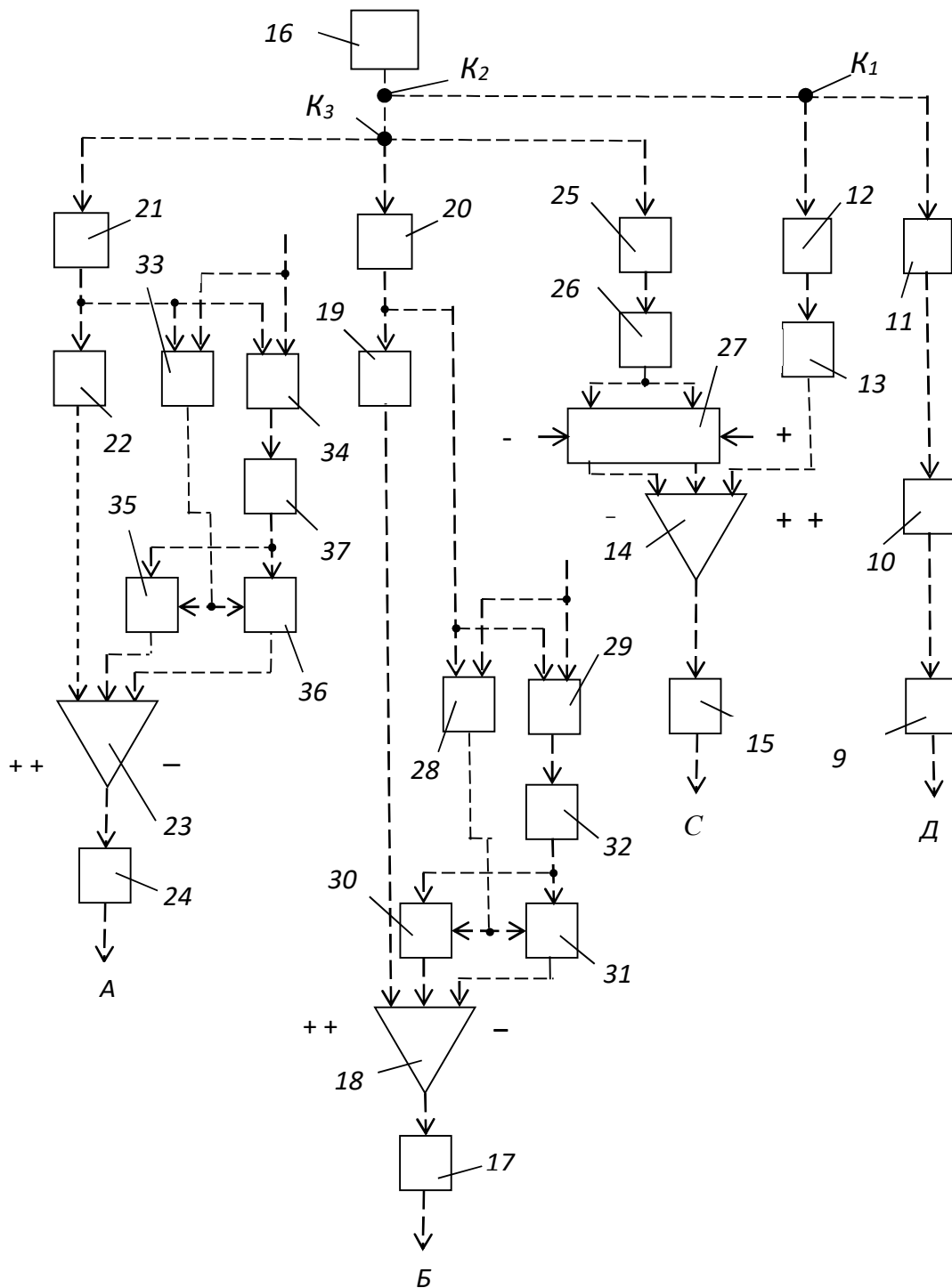


**Рисунок 16.28. – Схема приводов зубофрезерного станка для обработки колес с наклонными зубьями**

Для обработки косозубых колес кинематическая структура станка содержит две сложные, гибридные (мехатронные) формообразующие группы  $\Phi_v(B_1B_2)$  и  $\Phi_s(B_5\Pi_3\Pi_4)$ , связанные общим задатчиком. Для обработки прямозубых колес трехэлементарная группа подачи преобразуется в двухэлементарную  $\Phi_s(\Pi_3\Pi_4)$ .

Группа  $\Phi_v(B_1B_2)$  в обеих частных структурах воспроизводит образующую - профиль зубьев. Ее внутренняя связь – гибридная (мехатронная) цепь, соединяющая шпиндель 1 червячной фрезы 2 со шпинделем (делительным столом) 3 обрабатываемой заготовки 4:

$$B_1 \leftarrow 1 \leftarrow 2 \leftarrow 5 \leftarrow 6 \leftarrow M_1 \leftarrow \text{электронный вал} \rightarrow \\ \rightarrow M_2 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow B_2.$$



**Рисунок 16.29. – Система синхронизации исполнительных органов станка по схеме равнозначных координат**

Электронный вал (см. рисунок 16.29):

усилитель мощности 9 ← импульсно-аналоговый преобразователь 10 ←  
 делитель частоты 11 ← разъем  $K_1$  → делитель частоты 12 →  
 → импульсно-аналоговый преобразователь 13 →  
 → параллельный сумматор 14 → усилитель мощности 15.

Внешняя связь:

*импульсный генератор 16 → разъем  $K_2$  →  $K_1$  (звено соединения связей).*

Движение  $\Phi_v(B_1B_2)$  имеет замкнутую траекторию. Поэтому группа настраивается на два параметра: на траекторию – делителем частоты 11; на скорость воспроизведения профиля зубьев (скорость резания) – делителем частоты 12.

Группа  $\Phi_s(B_5\Pi_3\Pi_4)$  воспроизводит направляющую – винтовую линию зубьев на делительном конусе. Эта группа во внутренней связи содержит две гибридные цепи. Первая цепь создает потенциальную возможность воспроизведения прямой линии зубьев на делительном конусе, вторая – потенциальную возможность преобразования прямой линии в винтовую.

Первая цепь обеспечивает функциональную связь суппорта фрезы 2 с продольным столом, несущим делительный стол (шпиндель) 3 обрабатываемой заготовки 4. Ее структура:

$\Pi_3 \leftarrow TB_1 \leftarrow 9 \leftarrow 10 \leftarrow M_3 \leftarrow \text{электронный вал} \rightarrow M_4 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow$   
 $\rightarrow TB_2 \rightarrow \Pi_4.$

Электронный вал:

*усилитель мощности 17 ← параллельный сумматор 18 ←*  
*← импульсно-аналоговый преобразователь 19 ← делитель частоты 20 ←*  
*← разъем  $K_3$  → делитель частоты 21 →*  
*→ импульсно-аналоговый преобразователь 22 →*  
*→ параллельный сумматор 23 → усилитель мощности 24.*

Вторая цепь обеспечивает функциональную связь суппорта фрезы 2 со шпинделем (делительным столом) 3 обрабатываемой заготовки 4. Ее структура:

$\Pi_3 \leftarrow TB_1 \leftarrow 9 \leftarrow 10 \leftarrow M_3 \leftarrow \text{электронный вал} \rightarrow M_2 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow B_5.$

Электронный вал:

*усилитель мощности 17 ← параллельный сумматор 8 ←*  
*импульсно-аналоговый преобразователь 19 ← делитель частоты 20 ←*  
*← разъем  $K_3$  → делитель частоты 25 →*  
*→ импульсно-аналоговый преобразователь 26 →*  
*→ ключ (логический элемент 2И) 27 → параллельный сумматор 14 →*  
*→ усилитель мощности 15.*

Внешняя связь:

*импульсный генератор 16 → разъем  $K_2$  →  $K_3$  (звено соединения связей).*

Движение  $\Phi_s(B_5\Pi_3\Pi_4)$  имеет незамкнутую траекторию. Поэтому группа настраивается на четыре параметра: на траекторию – делителями частоты 21

и 25; на скорость воспроизведения линии зуба (скорость подачи) – делителем частоты 20; на исходную точку и путь программно.

Внутренняя связь группы  $\Phi_v(B_1B_2)$  и вторая цепь внутренней связи группы  $\Phi_s(B_5П_3П_4)$  имеют общий участок параллельный сумматор 14 → усилитель мощности 15. Это обеспечивает физическое сложение движений  $B_2$  и  $B_5$  на шпинделе делительного стола при обработке косозубых колес. При этом параллельный сумматор 14 выполняет такую же функцию, что и механический дифференциал в станках с механическими связями.

В сложных, гибридных формообразующих группах основным источником погрешностей, снижающих качественные показатели обрабатываемой поверхности, является девиация механики исполнительных органов этих групп. В мехатронных формообразующих группах явление девиации можно устранить посредством модификации внутренних связей, обеспечивающей непрерывную, двухстороннюю коррекцию задающих сигналов управления электродвигателями исполнительных органов. В рассматриваемом станке основными источниками девиации являются приводы исполнительных движений  $П_3$  и  $П_4$ . Для устранения девиации механики этих приводов в обе цепи внутренней связи группы  $\Phi_s(B_5П_3П_4)$  приводов подач включены модули адаптивной, двухсторонней коррекции управляющего сигнала.

Модуль коррекции управляющего сигнала движения  $П_3$  содержит знаковый 28 и фазовый 29 дискриминаторы. Выход знакового дискриминатора соединен с управляющим входом ключа 30, управляемого отрицательным потенциалом, и с управляющим входом ключа 31, управляемого положительным потенциалом. Выход фазового дискриминатора соединен через импульсно–аналоговый преобразователь 32 с аналоговыми входами ключей 30 и 31. Выход ключа 30 соединен вторым входом сложения параллельного сумматора 18, а выход ключа 31 – с входом вычитания этого сумматора. Первые входы обоих дискриминаторов соединены с делителем частоты 20, а вторые входы - с импульсным измерительным преобразователем  $ИП_1$ , установленном на тяговом валу  $ТВ_1$  (см. рисунок 16.28).

Аналогично выполнен модуль коррекции управляющего сигнала движения  $П_4$ . Этот модуль содержит знаковый 33 и фазовый 34 дискриминаторы. Выход знакового дискриминатора соединен с управляющим входом ключа 35, управляемого отрицательным потенциалом, и с управляющим входом ключа 36, управляемого положительным потенциалом. Выход фазового дискриминатора соединен через импульсно–аналоговый преобразователь 37 с аналоговыми входами ключей 35 и 36. Выход ключа 35 соединен со вторым входом сложения параллельного сумматора 23, а выход ключа 36 – с входом вычитания этого сумматора. Первые входы обоих дискриминаторов соединены с делителем частоты 21, а вторые входы – с импульсным



измерительным преобразователем  $ИП_2$ , установленном на тяговом валу  $ТВ_2$  (см. рисунок 16.28).

При настройке станка выводят коэффициенты деления  $k_v, k_x, k_s, k_y, k_z$ , устанавливаемые при наладке на делителях частоты соответственно  $11, 12, 20, 27, 25$ .

Согласно нормативам резания при зубофрезеровании червячными фрезами скорость резания принимается по круговой частоте фрезы (движение  $B_1$ ), а подача по ее перемещению параллельно оси заготовки (движение  $П_3$ ). Это является основанием для задания коэффициентов деления  $k_v$  и  $k_s$  на делителях частоты соответственно  $11$  и  $20$ . Коэффициент деления  $k_v$  задают из условия, при котором на выходе делителя частоты  $11$  действует задающий сигнал – аналог круговой частоты шпинделя фрезы, соответствующий заданной скорости резания. Аналогично задают коэффициент деления  $k_s$ , при котором на выходе делителя частоты  $20$  действует сигнал – аналог, соответствующий продольной подаче фрезы.

Внутренняя связь и расчетная цепь группы движения обката  $\Phi_v(B_1B_2)$  совпадают. Поэтому РП для исполнительных органов станочного зацепления, воспроизводящего движение обката имеет вид:

$1 \text{ об. шпинделя } 1 \text{ фрезы } (B_1) \rightarrow k/z \text{ об. шпинделя } 3 \text{ заготовки } (B_2),$

где  $k$  – число заходов червячной фрезы;

$z$  – число нарезаемых зубьев.

Тогда, УКЦ станочного зацепления:

$$k/z = 1 \cdot c_1 \cdot n_1 / n_2,$$

где  $c_1$  – произведение передаточных отношений постоянных механических передач расчетной цепи;

$n_1$  – круговая частота электродвигателя  $M_1$ , соответствующая заданной скорости резания,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_2$  – круговая частота электродвигателя  $M_2$ , необходимая для обеспечения функциональной связи в движении обката,  $\text{мин}^{-1}$ .

Заменим в УКЦ отношение круговых частот отношением коэффициентов деления на соответствующих блоках. Тогда

$$k/z = 1 \cdot c_1 \cdot k_v / k_x.$$

Из этого выражения следует:

$$k_x = (c_1 z / k) \cdot k_v,$$

где  $k_v$  – коэффициент деления, соответствующий заданной круговой частоте электродвигателя  $M_1$ ;

$k_x$  – коэффициент деления, устанавливаемый на делителе частоты  $12$  для обеспечения функциональной связи шпинделя фрезы и шпинделя заготовки.

Первая цепь внутренней связи группы  $\Phi_s(B_5\Pi_3\Pi_4)$  и расчетная цепь для определения коэффициента деления  $k_4$  совпадают. Следовательно, РП для исполнительных органов этой цепи можно записать в виде:

$L$  мм путь фрезы в движении  $\Pi_3 \rightarrow l$  мм путь фрезы в движении  $\Pi_4$ ,

где путь  $l$  устанавливается по выражению, полученному при анализе способа зубофрезерования ЦЗК с наклонным зубом (см. рисунок 16.27).

Тогда УКЦ станочного зацепления:

$$l = L \cdot (c_2 = i_0 \cdot t_{TB1} / t_{TB2}) n_3 / n_4,$$

где  $i_0$  – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

$t_{TB1}$  и  $t_{TB2}$  – шаги тяговых валов.

Заменим в УКЦ отношение круговых частот отношением коэффициентов деления на соответствующих блоках. Тогда,

$$l = L \cdot (c_2 = i_0 \cdot t_{TB1} / t_{TB2}) k_s / k_y.$$

Из этого выражения после соответствующих преобразований следует:

$$k_y = c_2 \cdot k_s / \text{tg}\varphi,$$

где  $k_s$  – коэффициент деления, соответствующий заданной круговой частоте электродвигателя  $M_3$ ;

$k_y$  – коэффициент деления, устанавливаемый на делителе частоты  $2I$  для обеспечения функциональной связи движений  $\Pi_3$  и  $\Pi_4$ ;

$c_2$  – константа.

Вторая цепь внутренней связи группы  $\Phi_s(B_5\Pi_3\Pi_4)$  и расчетная цепь для определения коэффициента деления  $k_z$  совпадают. Следовательно, РП для исполнительных органов этой цепи можно записать как

$T$  мм перемещения фрезы ( $\Pi_3$ )  $\rightarrow 1$  об. заготовки ( $B_5$ ).

Тогда УКЦ:

$$1 = (T / t_{TB1} \cdot (n_3 / n_5) \cdot c_2,$$

где  $T$  – шаг винтовой линии обрабатываемых зубьев;

$c_2$  – произведения постоянных передаточных отношений механических передач расчетной цепи;

$n_3$  – круговая частота электродвигателя  $M_3$ , соответствующая заданной подаче;

$n_5$  – круговая частота электродвигателя  $M_2$ , необходимая для обеспечения функциональной связи в винтовом движении.

Заменим в УКЦ отношение круговых частот отношением коэффициентов деления на соответствующих блоках. Тогда

$$1 = (T / t_{TB1}) \cdot (k_s / k_z) \cdot c_2.$$

По этому выражению определяется коэффициент деления, устанавливаемый на делителе частоты 25:

$$k_z = k_s \cdot c_2 \cdot (T / t_{TB1}).$$

Шпиндель заготовки является исполнительным органом обоих станочных зацеплений. При работе устройства результирующая круговая частота этого шпинделя представляет собой математическую сумму  $B_2 \pm B_5$  двух движений  $B_2$  и  $B_5$ , образующих совместно соответственно с движениями  $B_1$  и  $P_3$  движение обката  $\Phi_v(B_1B_2)$  и винтовое движение подачи  $\Phi_v(B_5P_3P_4)$ . Суммирование движений  $B_2$  и  $B_4$  осуществляется параллельным сумматором 14. При этом выбор знака в математической сумме движений зависит от направления винтовых линий зубьев обрабатываемого колеса и червячной фрезы. Знак «+» соответствует условию, когда винтовые линии одноименны, например, обе левые, знак «-» соответствует условию, когда винтовые линии разноименные, например, одна правая, а другая левая. Необходимый знак устанавливается при наладке станка подачей управляющего сигнала на соответствующий, потенциальный вход ключа 27.

Функционирование сложных гибридных формообразующих групп станка осуществляется следующим образом. Эталонный генератор 16 вырабатывает импульсный, высокочастотный сигнал. Этот сигнал поступает на делители частоты 11, 12, 20, 21, 25, в которых происходит деление этого сигнала в соответствии с коэффициентами деления  $k_v, k_x, k_s, k_y, k_z$ .

Сигнал с выхода делителя частоты 11 преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе 10 в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала, и с его выхода через усилитель мощности 9 поступает на управляемый электродвигатель  $M_1$ , сообщающий шпинделю 1 инструмента движение  $B_1$ , соответствующее скорости резания. Синхронно импульсный сигнал с выхода делителя частоты 12 преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе 13 в напряжение, пропорциональное частоте на его входе. С выхода этого преобразователя через первый вход сложения – выход параллельного сумматора 14 и усилитель мощности 15 сигнал поступает на управляемый электродвигателя  $M_2$ , который сообщает движение  $B_2$  шпинделю 3 заготовки 4 обрабатываемого колеса. В итоге такого прохождения задающего сигнала осуществляется воспроизведение профиля зубчатого колеса формообразующим движением  $\Phi_v(B_1B_2)$ .

Параллельно сигнал с выхода делителя частоты 20 преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе 19 в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала, и с его выхода через первый вход сложения – выход параллельного сумматора 18 и усилитель мощности 17 поступает на управляемый электродвигатель  $M_3$ . Этот электродвигатель посредством  $TB_1$  сообщает суппорту фрезы движение  $P_3$ , соответствующее продольной

подаче инструмента. Синхронно импульсный сигнал с выхода делителя частоты 21 преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе 22 в напряжение, пропорциональное частоте на его входе. С выхода этого преобразователя через первый вход сложения – выход параллельного сумматора 23, и усилитель мощности 24 сигнал поступает на управляемый электродвигатель  $M_4$ . Этот электродвигатель посредством  $TB_2$  сообщает продольному столу, несущему делительный стол с заготовкой, движение  $П_4$ , соответствующее подаче. Синхронно импульсный сигнал с выхода делителя частоты 25 преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе 26 в напряжение, пропорциональное частоте на его входе. С выхода этого преобразователя сигнал поступает через ключ 27 (логический элемент 2И) на второй вход сложения или на вход вычитания параллельного сумматора 14. В итоге шпинделю заготовки сообщается дополнительное движение  $B_5$ , математически суммирующееся с движением  $B_2$ . В результате такого прохождения задающего сигнала осуществляется воспроизведение винтовой линии зубьев на делительном конусе зубчатого колеса формообразующим движением  $\Phi_s(B_5П_3П_4)$ .

В процессе функционирования формообразующих групп осуществляется двухсторонняя коррекция действующих сигналов на выходах параллельных сумматоров 18 и 23. В системах управления станочным оборудованием такую двухстороннюю коррекцию функционирования исполнительных органов принято называть адаптивным управлением.

Коррекция задающего сигнала, действующего на выходе параллельного сумматора 18, осуществляется следующим образом. На первых входах знакового 28 и фазового 29 дискриминаторов постоянно действует задающий импульсный сигнал с выхода делителя частоты 20. На вторые входы обоих дискриминаторов непрерывно с  $ИП_1$  (см. рисунок 16.28) поступает импульсный сигнал – аналог скорости движения  $П_3$  суппорта фрезы. В результате непрерывного сравнения сигналов на выходе знакового дискриминатора образуется отрицательный потенциал при отставании суппорта от заданного значения и положительный потенциал при его опережении. Этот потенциал поступает на управляющие входы ключей 30 и 31. Синхронно на выходе фазового дискриминатора 29 непрерывно образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в аналоговую форму в импульсно-аналоговом преобразователе 32 поступает на аналоговые входы ключей 30 и 31. Этот сигнал поступает на параллельный сумматор 18 через один из ключей в зависимости от знака управляющего воздействия. При отставании суппорта от заданного значения сигнал абсолютной погрешности поступает через ключ 30, управляемый отрицательным потенциалом, на второй вход сложения параллельного сумматора 18, а при опережении этот сигнал поступает через ключ 31, управляемый положительным

потенциалом, на вход вычитания этого сумматора. В итоге в параллельном сумматоре 18 происходит в зависимости от знака погрешности увеличение или уменьшение управляющего сигнала, то есть происходит непрерывная, двухсторонняя коррекция движения подачи  $П_3$  исполнительного органа – суппорта фрезы относительно номинального значения.

Аналогично осуществляется коррекция задающего сигнала на выходе параллельного сумматора 23. На первых входах знакового 33 и фазового 34 дискриминаторов постоянно действует задающий импульсный сигнал с выхода делителя частоты 21. На вторые входы обоих дискриминаторов непрерывно с  $ИП_2$  (см. рисунок 16.28) поступает импульсный сигнал – аналог скорости движения  $П_4$  продольного стола, несущего делительный стол (шпиндель 3). В результате непрерывного сравнения сигналов на выходе знакового дискриминатора образуется отрицательный потенциал при отставании продольного стола от заданного значения и положительный потенциал при его опережении. Этот потенциал поступает на управляющие входы ключей 35 и 36. Синхронно на выходе фазового дискриминатора 34 непрерывно образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в аналоговую форму в импульсно-аналоговом преобразователе 37 поступает на аналоговые входы ключей 35 и 36. Этот сигнал поступает на параллельный сумматор 23 через один из ключей в зависимости от знака управляющего воздействия. При отставании продольного стола от заданного значения сигнал абсолютной погрешности поступает через ключ 35, управляемый отрицательным потенциалом, на второй вход сложения параллельного сумматора 23, а при опережении этот сигнал поступает через ключ 36, управляемый положительным потенциалом, на вход вычитания этого сумматора. В итоге в параллельном сумматоре 23 происходит в зависимости от знака погрешности увеличение или уменьшение управляющего сигнала, то есть происходит непрерывная, двухсторонняя коррекция движения подачи  $П_4$  исполнительного органа – продольного стола относительно номинального значения.

Рассмотренная структурная схемы обеспечивает также при соответствующей переналадке обработку прямозубых цилиндрических колес с линией зубьев на делительном конусе и на обработку классических косозубых и прямозубых цилиндрических колес с линией зубьев на делительном цилиндре.

При обработке прямозубых цилиндрических колес с линией зубьев на делительном конусе отключается делитель частоты 25. При этом трехэлементарная формообразующая группа  $\Phi_s(B_5П_3П_4)$  преобразуется в двухэлементарную группу  $\Phi_s(П_3П_4)$ .

При обработке косозубых зубчатых колес с линией зубьев на делительном цилиндре отключается делитель частоты 21. При этом трехэлементарная

формообразующая группа  $\Phi_s(B_5\Pi_3\Pi_4)$  преобразуется в двухэлементарную группу  $\Phi_s(B_5\Pi_3)$ .

При обработке прямозубых зубчатых колес с линией зубьев на делительном цилиндре отключаются делители частоты 21 и 25. При этом трехэлементарная формообразующая группа  $\Phi_s(B_5\Pi_3\Pi_4)$  преобразуется в составную элементарную группу  $\Phi_s(\Pi_3*V_1)$ .

По существу рассмотренная структурная схема зубофрезерного станка с гибридными (мехатронными) формообразующими группами, как и структурная схема станка с механическими связями, – это объединение частных структур, каждая из которых реализует вполне определенный способ формообразующей обработки цилиндрических зубчатых колес.

Таким образом, замена сложных формообразующих групп с механическими связями гибридными (мехатронными) формообразующими группами существенно упрощает механику формообразующих групп зубофрезерного станка. Это обеспечивает повышение качества обработки цилиндрических зубчатых колес и снижает трудоемкость переналадки станка.

## Глава 17

### АГРЕГАТНЫЕ СТАНКИ

К агрегатным относят многоинструментальные специальные станки, проектируемые из стандартных и нормализованных узлов. Они предназначены для обработки сложных, как правило, корпусных деталей в серийном, крупносерийном и массовом производстве. На этих станках выполняют сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, фрезерование и нарезание резьбы.

Достоинства агрегатных станков:

- более высокая производительность по сравнению с универсальными станками, обусловленная многоинструментальной обработкой;
- относительная простота изготовления вследствие унификации узлов и деталей;
- сокращение сроков проектирования и изготовления;
- возможность обслуживания станков рабочими относительно невысокой квалификации.

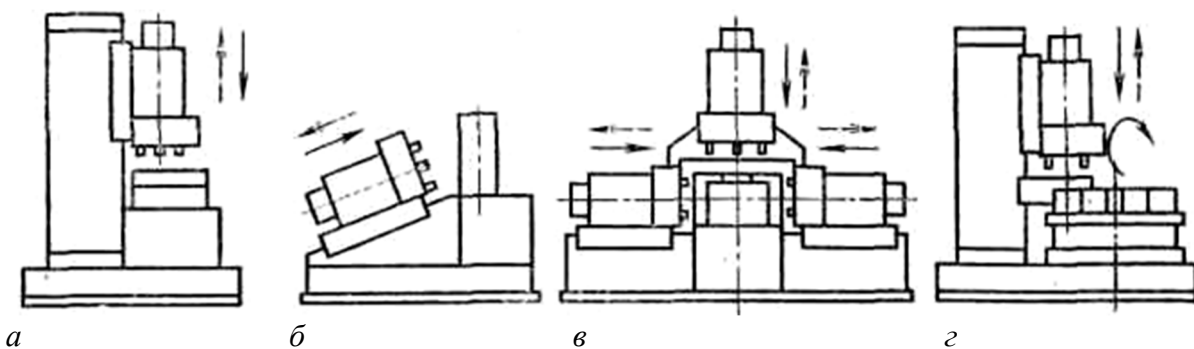
Наибольшее распространение получили агрегатные станки сверлильно-расточной и фрезерной групп. Компоновка этих станков весьма разнообразна. Она зависит от формы, размеров и точности обрабатываемых деталей, расположения на них обрабатываемых поверхностей и принятого технологического процесса.

#### 17.1 Типовые унифицированные компоновки

В зависимости от обрабатываемой детали агрегатные станки компонуют по различным схемам: односторонними и многосторонними, одношпиндельными и многошпиндельными, однопозиционными и многопозиционными в вертикальном, наклонном, горизонтальном и комбинированном исполнениях. На рисунке 17.1 показаны схемы некоторых компоновок.

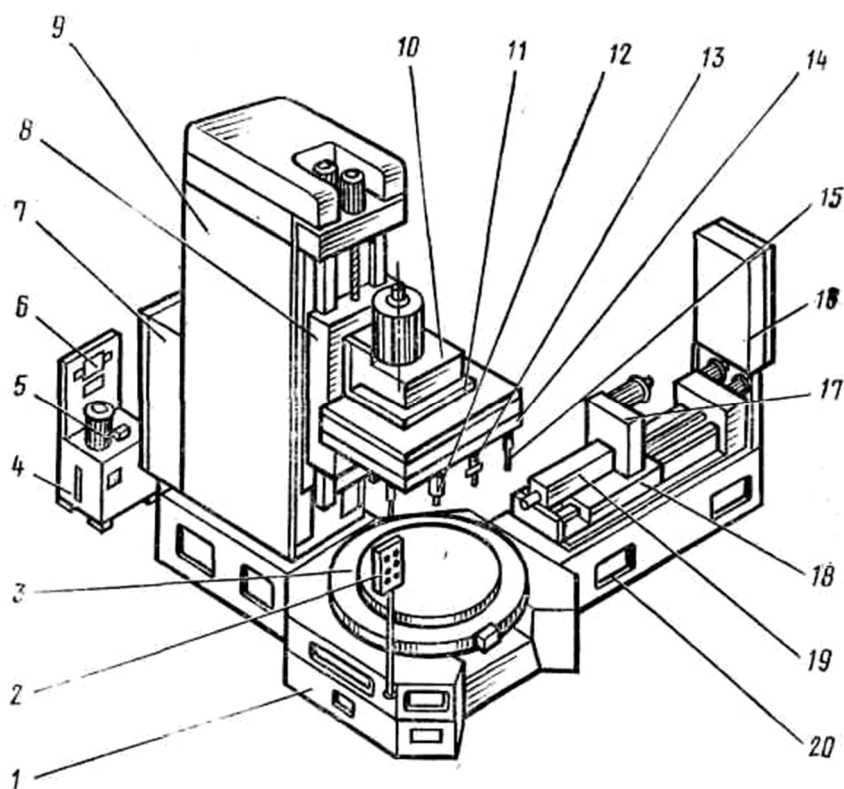
Значительное распространение получили агрегатные станки с многопозиционными поворотными столами и поворотными барабанами для параллельно-последовательной обработки одновременно нескольких деталей. На таких станках вспомогательное время сокращено до минимума, т.к. установка и снятие деталей на загрузочной позиции совмещена с обработкой на других позициях.

Унификация узлов в типовых компоновках составляет до 90%. Рассмотрим в качестве примера типовые унифицированные узлы вертикального агрегатного станка (рисунок 17.2).



***а* – односторонняя однопозиционная; *б* – наклонная односторонняя однопозиционная; *в* – однопозиционная смешанная; *г* – вертикальная односторонняя многопозиционная**

**Рисунок 17.1. – Примеры компоновки агрегатных станков**



**Рисунок 17.2. – Унифицированные узлы агрегатных станков**

Унифицированы базовые детали (станина *1*, стойка *9*, боковая станина *20*, угольник *11*), силовые узлы (стол *8*, а в станках других типов головки), шпиндельные узлы (шпиндельная коробка *14*, расточная бабка *19*, сверлильная бабка *10*), узлы транспортировки (поворотный делительный стол *3*, двухпозиционный делительный стол прямолинейного перемещения *18*), узлы главного движения (коробка скоростей *17* с зубчатыми колесами или в других станках с ременным приводом), гидрооборудование (гидробак *4*, насосная установка *5*, гидропанель *6*), электрооборудование



(центральный и наладочный пульта 2, электрошкаф силовых узлов 16, электрошкаф 7 станка), вспомогательные узлы (удлинитель 15, резьбовой копир 13, расточная пиноль 12). Специальные узлы, например, приспособление для крепления деталей имеют отдельные нормализованные элементы.

## 17.2 Силовые и шпиндельные узлы

Силовые узлы предназначены для сообщения режущим инструментам движения резания (главного движения) и движения подачи (силовые головки) или движения подачи (силовые столы).

Силовые головки, как правило, работают в полуавтоматических циклах, например:

*быстрый подвод – рабочая подача – быстрый отвод – стоп.*

Иногда для получения более точных размеров по глубине перед быстрым отводом осуществляют выдержку на жестком упоре.

Силовые головки по типу привода подачи делятся на электромеханические (кулачковые и винтовые) и гидравлические. По конструктивному признаку различают головки с выдвигной пинолью и подвижным корпусом. Силовые головки, у которых привод подачи расположен в этом же агрегате, называют самодействующими. В несамодействующих головках часть механизмов привода подачи (насос, панель управления) вынесены за пределы головки.

Механическая пинольная самодействующая силовая головка (рисунок 17.3) обычно используется для обработки отверстий различными инструментами. Конструктивно такая головка выполнена в виде кинематических групп скорости резания  $\Phi_v(B_1)$  и подачи  $\Phi_s(P_2)$ , объединенных общим электродвигателем и общим корпусом.

Группа скорости резания  $\Phi_v(B_1)$ . Ее внутренняя связь:

*подшипниковые опоры пиноли 6 → шпиндель 7 ( $B_1$ ).*

Внешняя связь:

*$M_1$  → редуктор 2 → вал 3 → шлицевое соединение вал 3–шпиндель 7 ( $B_1$ ).*

Группа подачи  $\Phi_s(P_2)$ . Ее внутренняя связь:

*корпус головки → пиноль 6 ( $P_2$ ).*

Внешняя связь:

*$M_1$  → редуктор 2 → вал 3 → червячная передача 10 → гитара сменных колес 4 (орган настройки  $i_s$ ) → → внешнее зубчатое зацепление выходной вал гитары 4–кулачок 8 (ТВ) → пиноль 6 ( $P_2$ ).*

Для предотвращения поломок инструмента при резком возрастании нагрузки в цепи подачи предусмотрена предохранительная муфта 9.

Группа настраивается: на скорость – двухколесной гитарой 4; на путь и исходное положение – кулачком 8. Конечные выключатели 5 дают команды на торможение и выключение электродвигателя при возвращении пиноли в исходное положение.

Во время работы корпус головки неподвижен. При наладке станка его можно перемещать вручную вдоль салазок посредством передачи винт-гайка (на схеме не показаны).

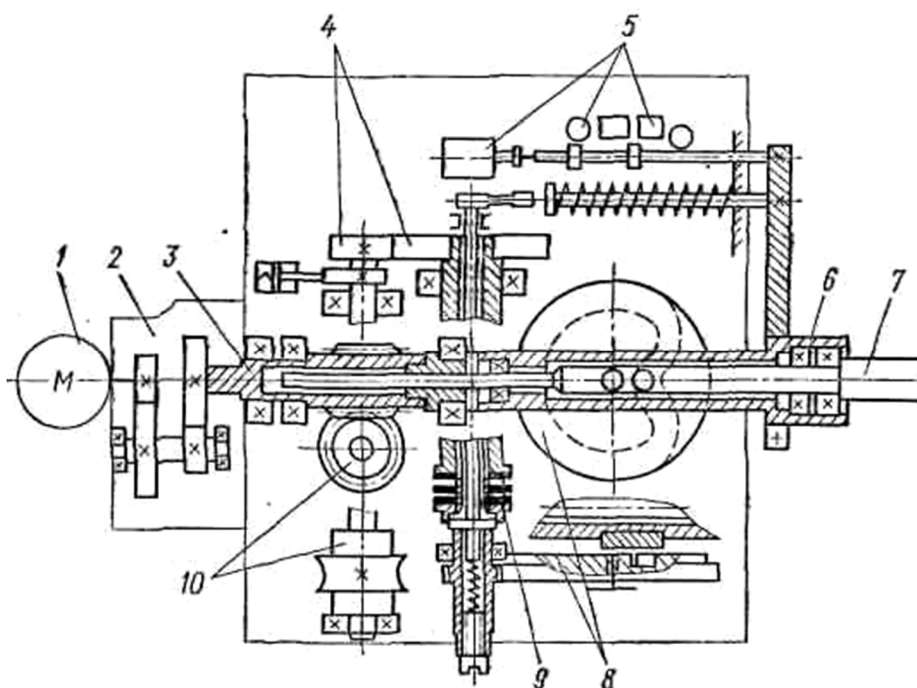


Рисунок 17.3. - Схема механической самодействующей силовой головки

Гидравлическая несамодействующая силовая головка (рисунок 17.4) выполнена по схеме с подвижным корпусом. А часть механизмов гидропривода ее группы подачи, включающая резервуар для масла, насос с электродвигателем и гидропанель, расположены отдельно.

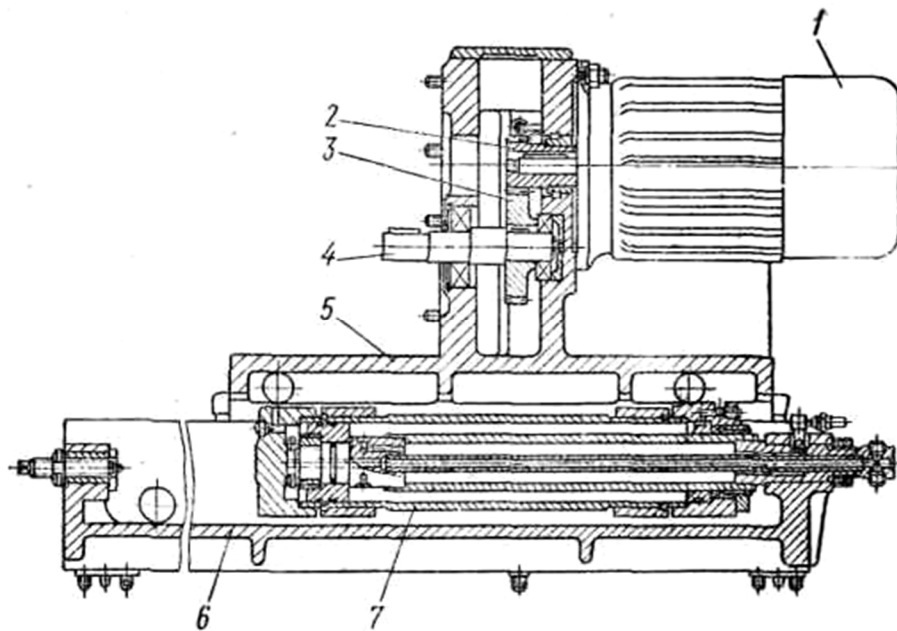
Группа скорости резания  $\Phi_v(B_1)$  головки. Ее внутренняя связь:

*подшипниковые опоры корпуса 5 → вал(шпиндель)4 ( $B_1$ ).*

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow z_2/z_3 \rightarrow \text{вал(шпиндель) } 4 (B_1).$

На передний конец вала 4 устанавливается зубчатое колесо, зацепляемое с первым зубчатым колесом шпиндельной коробки, устанавливаемой на фланце корпуса 5 головки. Примеры шпиндельных сверлильных коробок приведены при рассмотрении сверлильных станков.



**Рисунок 17.4. – Схема гидравлической несамодействующей силовой головки**

Группа подачи  $\Phi_s(P_2)$ . Ее внутренняя связь:

*направляющие плиты 6 → корпус головки 5 ( $P_2$ ).*

Внешняя связь:

*насосная установка → гидрпанель → трубопроводы →  
→ гидроцилиндр 7 → корпус 5 головки ( $P_2$ ).*

Группа настраивается: на скорость – регулируемыми дросселями гидрпанели; на путь и исходное положение – упорами системы путевого управления при задании цикла работы.

Силовые столы предназначены для установки узлов с самостоятельным приводом вращения (фрезерных, расточных и др. неподвижных блоков) с целью осуществления рабочих циклов прямолинейных подач. В структуре агрегатного станка такой стол выполняет функцию группы подач  $\Phi_s(P)$  с отдельным электрическим или гидравлическим двигателем подач.

На рисунке 17.5 показана схема силового стола с электромеханическим приводом.

Внутренняя связь:

*направляющие основания агрегата → стол 2, несущий плиту 1 ( $P$ ).*

Внешних связей две.

Первая внешняя связь, обеспечивающая рабочую подачу, имеет вид

$M_1 \rightarrow z_{14}/z_{15} \rightarrow z_1/z_{12} \rightarrow (i_s = z_2/z_3) \rightarrow \text{предохранительная муфта } M_2 \rightarrow$   
 $\rightarrow z_{11}/z_{10} \rightarrow x_9/z_8 \text{ (муфта } M_1 \text{ включена)} \rightarrow z_5/z_4 \rightarrow z_6/z_7 \rightarrow$   
 $\rightarrow \text{ТВ (передача винт-гайка)} \rightarrow \text{стол 2 (P)}.$

Вторая внешняя связь, обеспечивающая позиционирование (быстрый подвод и отвод) стола 2, имеет вид

$$M_2 \rightarrow z_5/z_4 \text{ (муфта } M_1 \text{ выключена)} \rightarrow z_6/z_7 \rightarrow \\ \rightarrow TV \text{ (передача винт-гайка)} \rightarrow \text{стол } 2 \text{ (II)}.$$

На скорость (рабочую подачу) группа настраивается гитарой  $i_s$ . При необходимости получения двух рабочих подач в цикле устанавливают двух-скоронной электродвигатель  $M1$ .

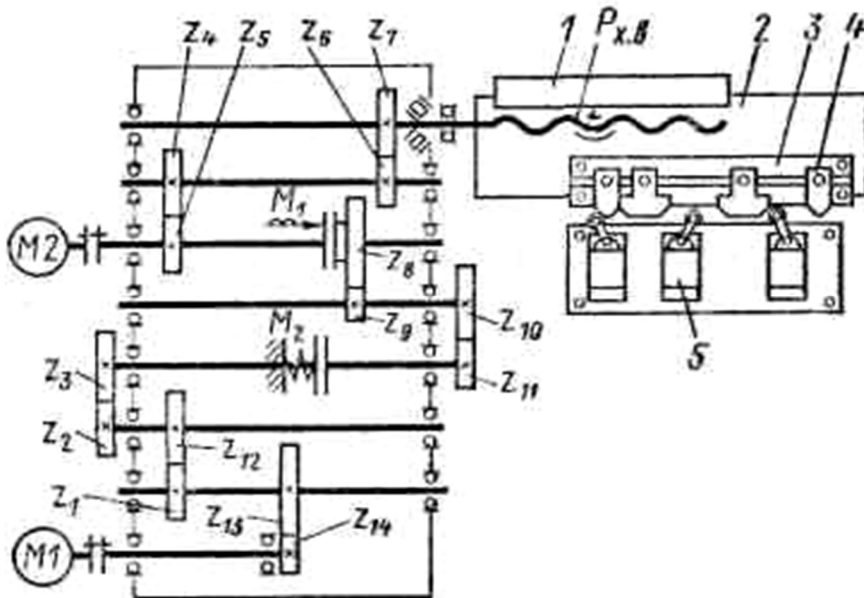


Рисунок 17.5. – Кинематическая схема силового стола

Управление циклом работы стола осуществляется посредством передвижных упоров 4, закрепленных на линейке 3 и действующих на конечные выключатели 5 системы управления.

К шпиндельным узлам относятся шпиндельные коробки, сверлильные, расточные, фрезерные и револьверные бабки.

Шпиндельные коробки предназначены для размещения рабочих шпинделей и передачи движения от выходного вала силовой головки к шпинделям. Шпиндельные коробки используются для выполнения сверлильно-расточных операций. Имеются также модификации для нарезания резьбы в отверстиях.

Сверлильные, расточные, фрезерные бабки предназначены для обработки одним шпинделем. Револьверная бабка дает возможность вести обработку тремя инструментами, например сверлом, зенкером, разверткой. Для сообщения инструменту движения подачи бабки устанавливают на силовых столах. Корпусы бабки имеют фланцы для установки привода вращения шпинделя.

### 17.3 Гидропанели

Гидропанели применяют для управления циклом работы силовой головки. В гидропанели скомпонованы все приборы и аппараты, осуществляющие пуск, останов, изменение величины подачи, реверс и т.д. Гидропанели, как правило, унифицированы.

На рисунке 17.6 показана гидросхема привода подачи силовой головки, включающая сдвоенный насос 1.1-1.2, гидропанель 24 и силовой цилиндр 23 с закрепленным штоком.

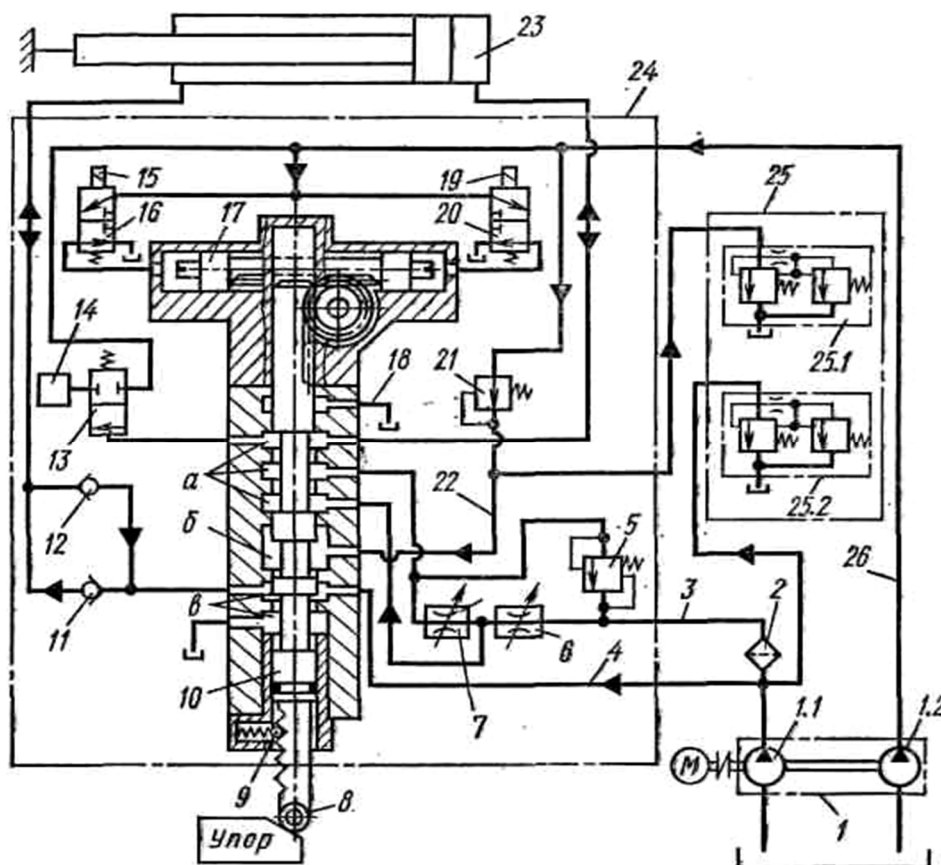


Рисунок 17.6. – Гидросхема группы подачи силовой головки

Гидропанель обеспечивает быстрый подвод, две рабочие подачи (первую и вторую), выдержку на жестком упоре, быстрый отвод в исходное положение, остановку силовой головки. Для получения такого цикла гидрораспределитель 10 может занимать пять положений, фиксируемых подпружиненным фиксатором 9. Крайние положения гидрораспределитель 10 занимает при включении соленоидов 15 и 19. В этот момент масло от насоса 1.2 быстрого хода поступает в правую или левую полости плунжера 17, смещая его до упора. Тогда через реечную передачу вверх или вниз смещается гидрораспределитель 10. Промежуточные положения гидрораспределителя зависят от положения ролика 8, упирающегося в упоры.

Для получения быстрого подвода включается соленоид 19. При этом положении гидрораспределителя полости *a* и *б* соединяются, а полость *в* изолируется. Масло поступает в полость *б* от насоса 1.1 по трубопроводу 4, а от насоса 1.2 рабочих подач через подпорный клапан 21 и трубопровод 22. Из полости *a*, соединенной с полостью *б*, масло поступает в правую полость цилиндра 23. Вытесняемое масло через обратный клапан 12 и гидрораспределитель 10 вновь поступает в правую полость цилиндра, способствуя тем самым увеличению подачи насоса.

Для получения первой рабочей подачи (положение показано на рисунке 17.6) масло от насоса 1.1 через фильтр 2, трубопровод 3, дроссель 6, дозирующий клапан 5 и полость *a* поступает в правую полость цилиндра 23. Вытесняемое масло сливается в бак через клапан 12 и полость *в*. Излишки масла сливаются через переливной клапан 25.2. Масло от насоса 1.2 сливается в бак; в схеме предусмотрен предохранительный клапан 25.1.

Для получения второй рабочей подачи (медленной) масло от насоса 1.1 поступает в цилиндр, пройдя дроссели 6 и 7. При позиции «Останов» масло от насосов 1.1 и 1.2 по трубопроводам 22 и 4 сливается в бак.

При быстром отводе гидрораспределитель 10 занимает самую верхнюю позицию. Тогда масло от насосов 1.1 и 1.2 по трубопроводам 4 и 26–22 поступает в полость *б*, а оттуда через обратный клапан 11 – в левую полость цилиндра 23. Из правой полости масло через гидрораспределитель 10 и трубопровод 18 сливается в бак. Выдержка на жестком упоре становится возможной, когда торец цилиндра встречает при движении упорный винт. В этом случае давление масла в системе повышается и датчик 13 реле давления 14 дает команду на включение соленоида 15 и быстрый отвод головки.

Рассмотренная схема делает возможными бесступенчатое регулирование подачи в пределах 7–800 мм/мин и ускоренный ход порядка 3–7,5 м/мин. Кроме этого, малое время холостых ходов обеспечивается достаточной точностью переключения с ускоренных ходов на рабочие подачи и наоборот. Причем выбег составляет 0,18–0,47 мм. Большая жесткость, надежная защита от перегрузки, самосмазываемость деталей привода дают силовой головке высокие эксплуатационные качества.

К числу недостатков гидравлических силовых головок относится сложность гидропанелей в эксплуатации и ремонте, нестабильность подачи при резко изменяющихся силах резания. С помощью гидравлических силовых головок нельзя производить резьбонарезные операции.

## Глава 18

# СТАНКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ И ВОДОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Открытие в 1943 г. электроэрозионного явления положило начало использованию физических явлений для обработки материалов, плохо поддающихся традиционной обработке резанием. На технологическом оборудовании, использующем физические явления, выполняют сквозные отверстия с цилиндрическими стенками и произвольным контуром, узкие прямолинейные и криволинейные щели в деталях типа матриц, сложных штампов, пресс-форм, фасонного режущего инструмента, шаблонов, фильер и других деталей, имеющих в т.ч. малые размеры отверстий (до 0,05 мм).

Физическое явление при обработке материалов выполняет функцию режущего инструмента. Понятие о характеристическом образе (вспомогательном элементе) инструмента, сформулированное в главе 2, полностью относится также и к используемым при обработке материалов физическим явлениям.

При обработке труднообрабатываемых материалов используются также комбинированные способы обработки, например, обработка резанием с наложением электростатического или электромагнитного поля и т.п.

### 18.1 Электроэрозионные станки

Электроэрозионная обработка основана на физическом явлении, заключающемся в направленном разрушении материала обрабатываемой детали под воздействием электрических разрядов. Сущность направленного разрушения состоит в следующем. При электрическом разряде сфокусированный поток электронов, двигаясь с большой скоростью от одного электрода к другому, создает на поверхности электродов ударные волны сжатия. Возникшее в металле механическое напряжение распространяется по всем направлениям, в т.ч. и откуда пришла ударная волна. Достигнув первоначальной поверхности, она отражается от нее и меняет знак на обратный, вследствие чего на поверхности возникают растягивающие напряжения. В результате этого происходит выброс частиц металла в направлении, встречном ударной волне сжатия. Электрод постепенно погружается в заготовку, копируя в ней свою форму.

В зависимости от вида применяемых разрядов эрозионная обработка делится на три вида, получивших широкое распространение: электроискровая, электроимпульсная и комбинированная с использованием электроэрозионного явления.

Электроискровая обработка осуществляется при использовании искровых разрядов малой длительности (порядка нескольких сотых в секунду), которые следуют с большой скважностью. Обрабатываемая деталь 1 (рисунок 18.1) погружена в жидкую среду 2 (керосин, трансформаторное масло, смесь керосина и индустриального масла и т.п.). Инструмент 3 (медь М1, М2, медный сплав МЦ-1, алюминий и его сплавы) перемещается поступательно-возвратно. Электрический ток от специального генератора  $\Gamma$  подводится к детали-аноду и инструменту-катоду. Необходимый искровой зазор между деталью и инструментом поддерживается автоматическим регулятором  $AP$ . Форма разрушения детали зависит от формы торцевой части инструмента.

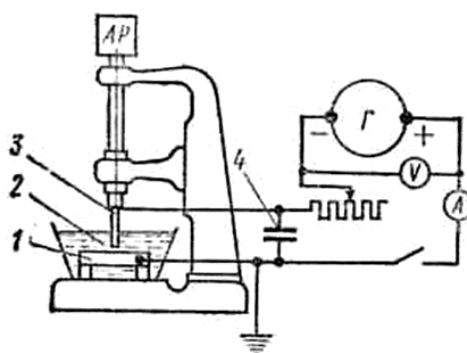


Рисунок 18.1. – Схема станка для электроискровой обработки

Электроискровая обработка характеризуется широким диапазоном режимов обработки: от черновой производительностью  $1,5\text{--}10\text{ мм}^3/\text{с}$  при  $Rz = 160\text{--}40\text{ мкм}$  до отделочной производительностью около  $0,001\text{ мм}^3/\text{с}$  при  $Ra = 1,25\text{--}0,16\text{ мкм}$ . Особенность этого процесса – сравнительно низкая производительность, большой износ электродов, образование необрабатываемой поверхности тонкого дефектного слоя толщиной  $0,2\text{--}0,5\text{ мм}$  на черновых и  $0,02\text{--}0,05\text{ мм}$  на чистовых режимах.

Область использования – обработка заготовок небольших размеров, изготовление твердосплавных матриц, отверстий малого диаметра.

Электроимпульсная обработка отличается от электроискровой тем, что обрабатываемая деталь является катодом, а инструмент – анодом. Импульсные разряды создают машинными и полупроводниковыми генераторами. Процесс осуществляется, как правило, на низких и средних частотах ( $400\text{--}300\text{ Гц}$ ) с низким напряжением ( $25\text{--}30\text{ В}$ ) и большой силе тока ( $50\text{--}500\text{ А}$ ). Длительность импульсов  $0,5\text{--}1\text{ мкс}$ . Особенность процесса обработки – относительно небольшой износ электродов (например, для графита  $0,1\text{--}0,5\%$ ) и относительно высокая производительность, например, на черновых режимах  $100\text{--}300\text{ мм}^3/\text{с}$  при  $Rz = 80\text{--}40\text{ мкм}$ .



Электроимпульсная обработка используется при обработке средних и крупных штампов, пресс-форм лопаток турбин, решеток и т.п. деталей из закаленных и труднообрабатываемых деталей.

Станки для электроискровой и электроимпульсной обработки образуют размерный ряд, в котором в качестве основного параметра принят размер стола. К этому ряду относятся электроэрозионные копировально-прошивочные координатные станки высокой точности, например, моделей 4Д722А, 4Е723А, 4726 и группа станков с ЧПУ для профильной вырезки перематывающейся латунной проволокой, например, станок модели 4532Ф3.

### **18.1.1. Электроэрозионный вырезной станок с ЧПУ модели 4532Ф3**

Предназначен для изготовления вырубных штампов холодной штамповки, фасонных фильер в матрицах, шаблонов и подобных деталей из токопроводящих материалов: легированных закаленных сталей, металлокерамических твердых сплавов и т.д. (рисунок 18.2). В качестве источника технологического тока в станке применен тиристорный генератор коротких импульсов.

*Техническая характеристика.* Наибольшие размеры обрабатываемой заготовки 250×160×75 мм; наибольшая масса 45 кг. Точность изготовления контура 0,032 мм. Наибольшая производительность при обработке: стали – 35 мм<sup>3</sup>/мин, твердого сплава – 18 мм<sup>3</sup>/мин.

Станок оснащен устройством ЧПУ типа «Контур» с линейным интерполятором. Математический аппарат интерполяции – оценочная функция. Может быть также оснащен мини-ЭВМ, где программа вводится посредством перфоленты или клавиатуры.

Класс воспроизведения вырезаемой поверхности копирование – след. Поэтому кинематическая структура станка содержит одну формообразующую группу  $\Phi_v(P_1P_2)$  и три вспомогательные группы  $Vc(B_3)$ ,  $Vc(P_4)$ ,  $Vc(P_5)$ .

Группа  $\Phi_s(P_1P_2)$  воспроизводит направляющую – профиль обрабатываемой поверхности посредством перемещения скобы с проволокой в горизонтальной плоскости в двух взаимно перпендикулярных направлениях (прямоугольная система координат). Конструктивно эта группа смонтирована в отдельном корпусе, перемещающемся по направляющим качения, выполненным в виде линейных подшипников (танкеток). Особенность группы – применение двух шаговых электродвигателей и синхронной электронной связи между ними, осуществляющей согласование движений продольной и поперечной кареток, несущих скобу (аналог инструментального суппорта).

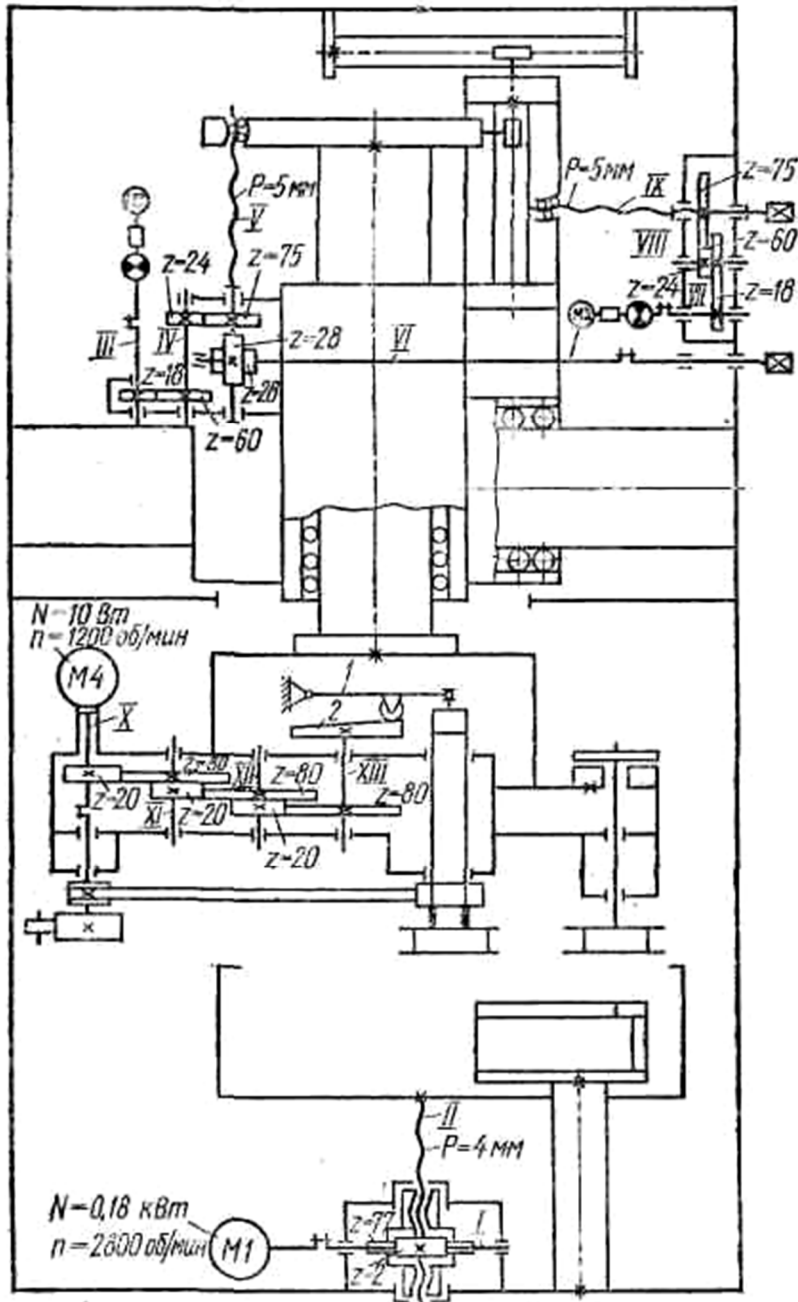


Рисунок 18.2. – Электроэрозионный вырезной станок модели 4532Ф3

Внутренняя связь:

$(\Pi_1)$  продольная каретка  $\leftarrow 1/t_{TB=5} \leftarrow 75/24 \leftarrow 60/18 \leftarrow M_2 \leftarrow$   
 $\leftarrow \text{электронный вал} \rightarrow M_3 \rightarrow$   
 $\rightarrow 18/60 \rightarrow 24/75 \rightarrow t_{TB=5} \rightarrow \text{поперечная каретка } (\Pi_2).$

По существу это две одинаковых внешних связи простых групп  $\Phi_v(\Pi_1)$  и  $\Phi_v(\Pi_2)$ , соединенных электронным валом.

Первая внешняя связь:

$M_2 \rightarrow 18/60 \rightarrow 24/75 \rightarrow t_{TB=5} \rightarrow \text{продольная каретка } (\Pi_1).$

Вторая внешняя связь:

$M_3 \rightarrow 18/60 \rightarrow 24/75 \rightarrow t_{TB=5} \rightarrow \text{продольная каретка } (П_2).$

Группа настраивается на траекторию и скорость системой ЧПУ.

При линейном перемещении скобы по одной из двух координат в любую сторону за один импульс от пульта ЧПУ (при минимальном повороте вала шагового двигателя на  $1,5^\circ$ ) составит

$$\frac{1}{240} \cdot \frac{18}{60} \cdot \frac{24}{75} \cdot 5 = 0,002 \text{ мм.}$$

Ручное установочное перемещение скобы осуществляется в продольном направлении непосредственно от ТВ, в поперечном направлении через винтовую зубчатую передачу 28/28 и ТВ.

Скоба служит для установки и крепления всех устройств и механизмов, обеспечивающих перемотку и натяжение электрода-проволоки. Для устранения влияния износа проволоки на обработку ее перематывают с небольшой скоростью.

Перемотка проволоки осуществляется группой  $Vc(B_3)$ . Ее внутренняя связь:

*подшипниковые опоры скобы  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  гильза шпинделя приемной катушки  $(B_3).$*

Внешняя связь:

$M_4 \rightarrow \text{ременная передача} \rightarrow \text{гильза шпинделя приемной катушки } (B_3).$

Скорость перемотки регулируется в пределах 8–20 мм/с посредством изменения частоты вращения ротора частотно регулируемого реактивного электродвигателя  $M_4$  типа РД-09.

Перемотка проволоки сопровождается ее укладкой на приемной катушке. Это движение осуществляется группой  $Vc(П_4)$ , имеющей общий электродвигатель с группой  $Vc(B_3)$ .

Внутренняя связь группы укладки проволоки:

*гильза  $\rightarrow$  шпинделя приемной катушки  $(П_4).$*

Внешняя связь:

$M_4 \rightarrow 20/80 \rightarrow 20/80 \rightarrow 20/80 \rightarrow \text{вал XIII} \rightarrow \text{кулачок 2} \rightarrow$   
 $\rightarrow \text{качающийся рычаг 1} \rightarrow \text{шпинделя приемной катушки } (П_4).$

Скорость раскладки не настраивается, а изменяется одновременно с изменением скорости перемотки проволоки.

В нижней части станины расположена подъемная ванна для рабочей жидкости. В ванне расположен Г-образный стол для закрепления обрабаты-

ваемой заготовки. Подъем и опускание ванны осуществляется посредством ненастраиваемой группы  $Vc(П_5)$ . Ее внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow 2/77 \rightarrow ТВ \rightarrow \text{ванна } (П_5).$$

Скорость перемещения ванны

$$v = 2800 \cdot \frac{2}{7} 4 = 300 \text{ мм/мин.}$$

## 18.2 Комбинированные схемы обработки

*Анодно-механическая обработка* осуществляет комбинированный процесс анодного растворения и электроэрозионного воздействия на обрабатываемую заготовку. Схема обработки поясняется рисунком 18.3, а. Инструменту 1 в виде диска (или непрерывной ленты) сообщается вращательное движение скорости резания и подача на заготовку 2. Подаваемый в пространство между заготовкой и инструментом электролит под действием тока растворяет металл. Образующая на его поверхности тонкая пленка 3 (рисунок 18.3, б) имеет небольшую прочность и поэтому легко удаляется инструментом. На месте удаленной пленки образуется новая пленка, также удаляемая. В результате процесс обработки заключается в непрерывном возникновении и удалении тонкой пленки. Одновременно с этим электрохимическим процессом происходит электроэрозионный процесс, т.к. при удалении пленки возникают искровые промежутки, через которые происходят электрические разряды.

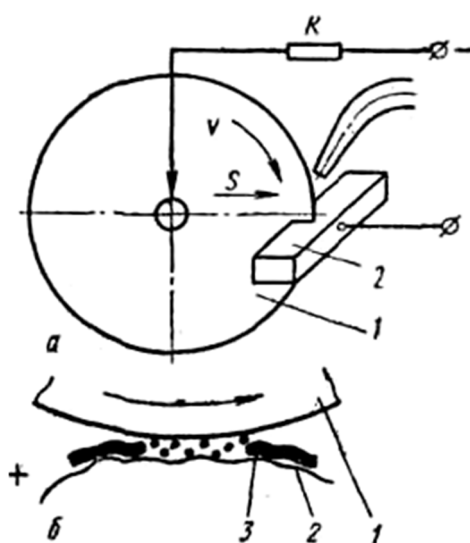


Рисунок 18.3 – Схема анодно-механической обработки

В качестве электролита, дающего пассивирующую пленку на аноде, используют водный раствор жидкого стекла. Электрод изготавливается из низкоуглеродистой стали.

Анодно-механическую обработки используют преимущественно для резки заготовок из высоколегированных сталей и труднообрабатываемых сплавов, для безабразивной заточки твердосплавных инструментов. Скорость резания составляет: диском – 0,15–0,35 м/мин, лентой – до 0,2 м/мин. Ширина прорези при разрезании заготовок составляет: диском – 1,5–3 мм, непрерывной лентой – 1–2 мм.

В промышленности используются различные модификации гаммы ленточных отрезных станков моделей 4840, 4850, 4860, 4870.

*Алмазно-электроэрозионное шлифование* основано на комбинировании микрорезания алмазным инструментом 1 детали 2 и эрозионным разрушении (рисунок 18.4). В промышленности используются алмазно-электроэрозионные станки для заточки резцов и фрез, а также кругло- и внутришлифовальные станки. В качестве инструмента применяют алмазные круги на токопроводящих связках, например, М1, М31 с алмазами марки АСР, АСВ зернистостью 100/80–250/200, концентрацией 100%.

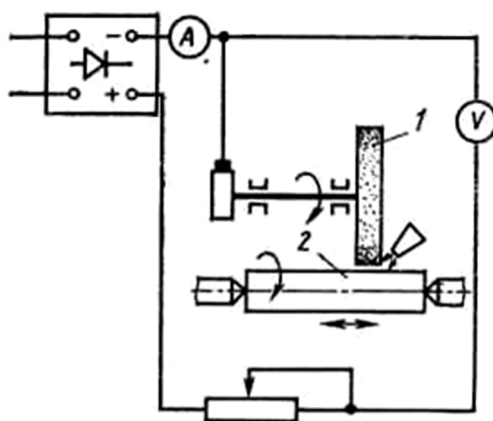


Рисунок 18.4. – Схема алмазно-электроэрозионного шлифования

Кинематическая структура станков для алмазно-электроэрозионного шлифования практически не отличается от кинематической структуры соответствующих традиционных шлифовальных станков.

*Электролитическое сверление* (рисунок 18.5) используется для обработки отверстий в твердых сплавах, закаленных сталях, магнитных сплавах и других токопроводящих материалах. Осуществляют алмазным сверлом 1, закрепленным с помощью специальной головки, которая, кроме передачи движения вращения  $V_1$  и подачи  $P_2$ , обеспечивает также подачу электролита под давлением  $P_3$  во внутреннюю полость инструмента. Заготовка 2 является анодом, а сверло 1 – катодом. Процесс основан на комбинировании

трех видов воздействия на материал заготовки: традиционного механического, электрохимического и электроэрозионного.

Наиболее интенсивный съем материала происходит при преимущественном механическом воздействии. В этом случае абразивный съем должен осуществляться при высоких удельных давлениях. В результате достигается высокая производительность, но происходит интенсивный износ инструмента. Если решающее значение имеет обеспечение высокой производительности, то основную роль в процессе съема припуска должно иметь электрохимическое воздействие. При определенных режимах обработки существенное значение может иметь электроэрозионное воздействие, которое обусловлено интенсивными электроэрозионными разрядами, происходящими вследствие контактирования токопроводящей связки алмазного инструмента с обрабатываемой поверхностью.

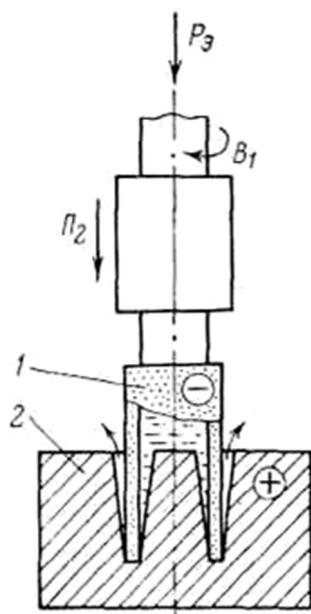


Рисунок 18.5. – Схема алмазно-электролитического сверления

### 18.3 Лазерное оборудование

Разработка мощных и надежных оптических генераторов (лазеров), работающих в непрерывном и импульсном режимах, обеспечила создание такого класса технологических операций, как лазерное разделение (разрезание) материалов, которым присущи следующие особенности:

- обширный диапазон разделяемых материалов;
- возможность получения узких разрезов и безотходного разделения;
- малая зона термического влияния;
- минимальное механическое воздействие, оказываемое на разделяемый материал;

- возможность автоматизации процесса;
- возможность резки по заданному профилю.

Разделение может происходить как за счет удаления расплавленной части материала из зоны взаимодействия с лучом, так и посредством создания термонапряжений с последующим раскалыванием по образующейся трещине. Первый вариант используется для резки металлов и некоторых видов диэлектрических материалов, причем обычно продукты разрушения удаляются направленной струей химически активного или инертного газа. Второй вариант характерен для резки хрупких материалов, например, стекла, керамики или ситалла.

Схема лазерного разделения материалов приведена на рисунке 18.6. Лазерный луч 8, отражаясь от зеркала 4, фокусируется энергетической оптической системой 3 на поверхность разрезаемого материала 7, и с помощью соосного с лучом сопла 2 в зону нагрева направляется газовая струя.

При резке металлов для увеличения эффективности процесса обычно используется кислород. При резке неметаллов поддув кислорода целесообразен только в тех случаях, когда горение материала способствует увеличению скорости резания и в то же время обеспечивает сохранность свойств исходного материала по границам разреза.

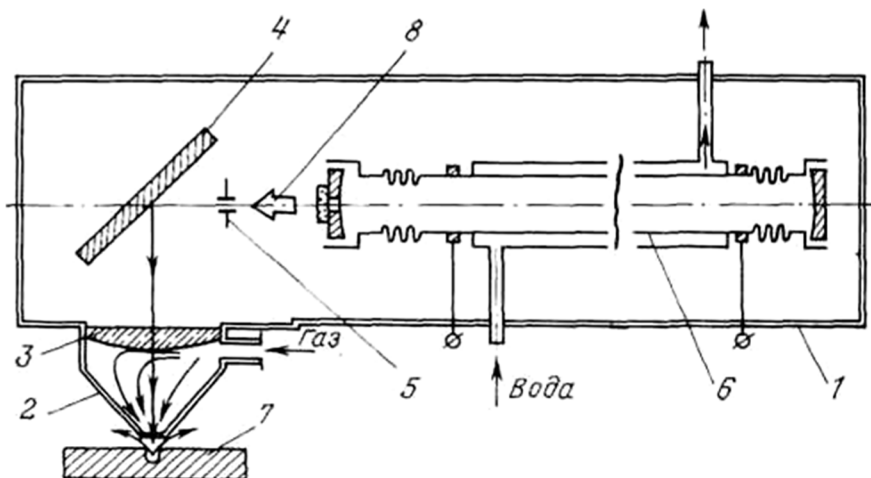


Рисунок 18.6. – Схема лазерного разделения материалов

Однако для большинства неметаллических материалов, содержащих в своем составе углерод, воспламенение и горение в струе кислорода отрицательно сказываются на качестве лазерной резки, и для ее осуществления применяют поддув инертных газов или воздуха. При этом функция газовой струи в основном заключается в удалении продуктов разрушения из области разреза. Типичные значения давления газа составляют 1,5–3 атм при диаметре выходного сопла до 5 мм и расстоянии от среза сопла до поверхности разрезаемого листа не более диаметра струи. Применение поддува газа для

повышения эффективности лазерной резки приводит к увеличению глубины резания более чем на порядок. Скорость резки металлов и неметаллов при использовании мощных лазеров (до 1 кВт) может достигать несколько см/с. Следует отметить также, что газолазерная резка позволяет осуществить резку таких трудно обрабатываемых материалов, как бериллиевая керамика.

В промышленности нашло применение лазерное разрезание хрупких материалов, основанное на управляемом термораскалывании. Здесь плотность светового потока в зоне облучения и скорость перемещения луча по поверхности разрезаемого листа подбирают такими, чтобы обеспечить нагрев приповерхностных слоев материала до температуры, при которой термические напряжения превышают предел прочности. Разделение материала происходит по образовавшейся в результате этого трещине.

Независимо от типа применяемого лазера и назначения лазерные технологические установки состоят из ряда аналогичных функциональных узлов и имеют общую структурную схему (рисунок 18.7). Основным источником энергии, обеспечивающим процесс обработки, является оптический квантовый генератор 1. Лазерное излучение 2 формируется оптической системой 3 в световой пучок с определенными пространственными характеристиками и направляется на обрабатываемую заготовку 4. При помощи оптической системы могут осуществляться также визуальный контроль положения заготовки относительно луча, наблюдение за ходом процесса обработки и оценка его результата.

Устройство 5 обеспечивает базирование и закрепление заготовки на рабочей позиции с необходимой точностью и его перемещение в процессе обработки.

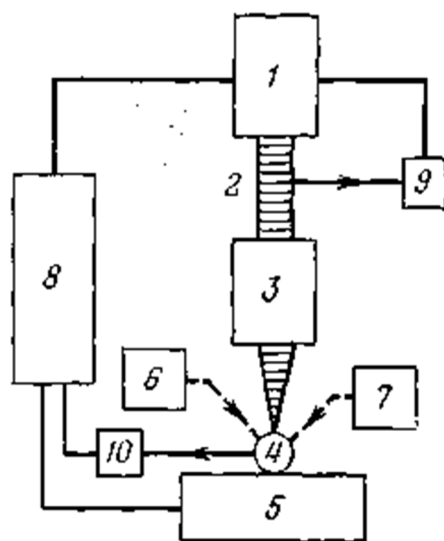


Рисунок 18.7. – Структурная схема лазерной технологической установки



Некоторые процессы резания, сварки и наплавки требуют подачи в рабочую зону технологической среды, например, инертного газа, для чего предусматривается соответствующее устройство 6. При комбинированной обработке в зону обработки вводят также дополнительную энергию (механическую, электромагнитную и т.п.). Для этой цели служит источник вспомогательной энергии 7. Примеры комбинированной обработки – газолазерная резка, лазерноэлектроискровая обработка отверстий и др. Установка может снабжаться программным устройством 8, управляющим перемещением базирующего устройства 5 относительно инструмента (лазерного луча). Датчик 9 предназначен для контроля параметров излучения. Датчик параметров технологического процесса 10 может контролировать температуру зоны обработки, состояние поверхности обрабатываемой заготовки, яркость свечения плазменного факела и давать сигналы управляющему устройству для изменения параметров излучения или прекращения операции.

В технологических установках для лазерного разделения (раскроя) материалов устройство 5 для базирования, закрепления и перемещения заготовок в процессе резания выполняется на базе современных координатографов с ЧПУ, являющихся аналогами крестовых столов станков с ЧПУ. Кинематические закономерности функционирования устройств 5 полностью совпадают с закономерностями функционирования крестовых столов.

Наряду с лазерным резанием в металлообработке используется также лазерное напыление и наплавка более износостойкого материала на поверхность заготовки. На рисунок 18.8 приведена схема способа газоплазменной лазерной наплавки поверхностного слоя.

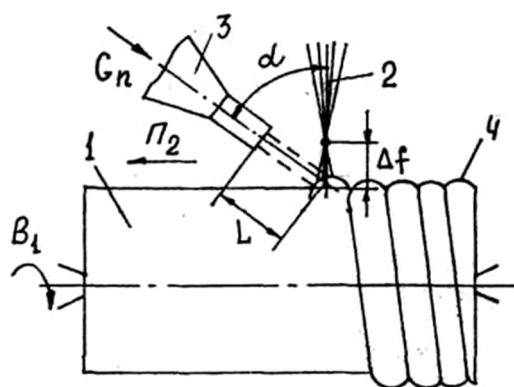


Рисунок 18.8. – Схема газоплазменной лазерной наплавки

По этой схеме заготовку 1 устанавливают в шпиндель технологической машины по линии центров под смонтированными на суппорте источником лазерного луча 2 и питателем 3 газопорошковой смеси. Одновременно с движениями  $B_1$  и  $\Pi_2$ , сообщаемыми заготовке и суппорту, на поверхность заготовки направляют луч лазера и поток газопорошковой смеси.

Последний под воздействием лазерного луча переходит в жидкое состояние и наплавляется на заготовку в виде спирального валика. На процесс формирования валика оказывают влияние коэффициент фокусировки  $\Delta f$  луча лазера и параметры  $G_n$ ,  $L$ ,  $\alpha$  газоплазменной смеси. Рекомендуемая скорость формообразования (геометрическая сумма линейных скоростей движений  $V_1$  и  $V_2$ ) равна 8–50 мм/с.

#### 18.4 Водобразивная обработка

В ряде отраслей промышленности для раскроя листового материала (пластмассы, тонколистовая конструкционная сталь) используется струя жидкости. При осуществлении раскроя (рисунок 18.9) раскраиваемый лист  $1$  устанавливают под соплом  $2$ . Затем через него в направлении резания  $V_1$  подают струю жидкости диаметром 0,12–0,29 мм под давлением свыше 100 МПа со скоростью 1500 м/с, а листу – движение подачи  $V_2$ . При таких характеристиках струи ее воздействие на твердое тело обеспечивает качественный и производительный раскрой деталей со сложным контуром.

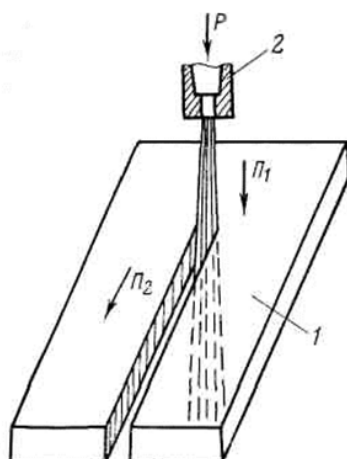
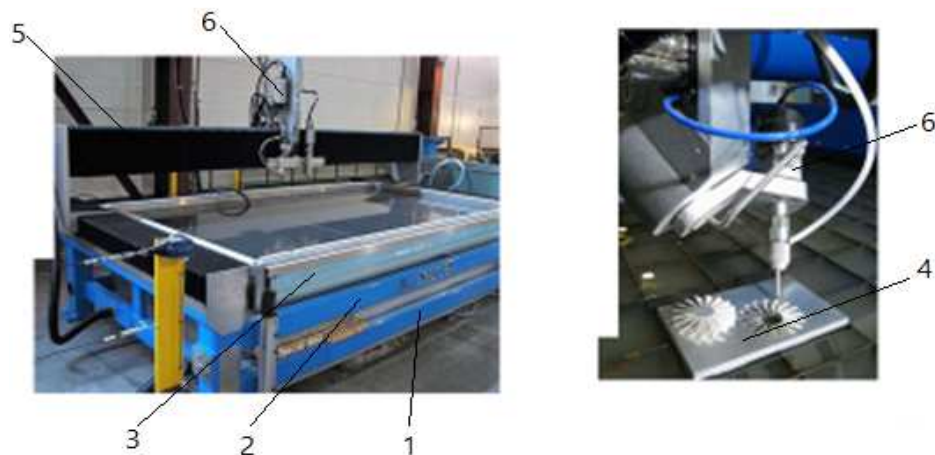


Рисунок 18.9. – Схема резания струей жидкости

В качестве жидкости, выполняющей функцию режущего инструмента, используется вода с антикоррозионными присадками. В ряде вариантов, например, при раскрое листовой стали в жидкость добавляют мелкозернистый абразив, т.е. используют водобразивную смесь. Однако в этом случае снижается период размерной стойкости сопла.

В промышленности используются станки не только для водо- и водобразивной раскройке листового металла, например, в автомобилестроении, но и при изготовлении деталей из различных труднообрабатываемых материалов, включая художественные изделия.

На рисунке 18.10 представлен станок (технологическая установка) для обработки материала водоабразивной струей.



*а* – общий вид станка; *б* – зона обработки

**Рисунок 18.10. – Станок для обработки материалов водоабразивной струей**

Основным элементом станка для водоабразивной обработки является станина *1*, несущая стол *2* (двухкоординатный координатограф с ЧПУ). На столе жестко смонтирована ванна *3* для установки обрабатываемых заготовок *4*. На дне ванны расположены направляющие опоры для базирования заготовок. Это металлические ребра, сетка или вертикально расположенные штыри. На портале *5* станины установлена каретка водоабразивной головки *6* (аналог режущего инструмента). В зависимости от назначения станка возможны варианты с подвижным и неподвижным порталом. Обычно в процессе работы головка может поворачиваться в большом диапазоне. Возможны также варианты с использованием нескольких головок. Силовой агрегат, включая насос, вынесен за пределы станка.

Для управления процессом резания обычно используется промышленный персональный компьютер. Возможно также управление с оперативного переносного пульта. Система управления позволяет изменять скорость подачи в процессе обработки, а также замедлять движение рабочей головки в точках излома траекторий для устранения недорезов.

Используются устройства ЧПУ с четырьмя и пятью управляемыми координатами, в которых управляемая координата *Z* управляется всегда.

При работе станка ванна загружается водой для эффективного гашения скорости водоабразивной струи возле сквозного прохождения через обрабатываемый материал.

*Принцип работы станка.* Насос подает воду в рабочую головку *6*, здесь создается струя воды необходимого диаметра. Далее вода поступает

в дозатор, где образуется водоабразивная смесь, откуда направляется непосредственно в сопло головки. Диаметр сопла, как правило, 1–5 мм.

Из сопла под давлением от 100 до 6000 бар кинетическая энергия водоабразивной струи передается частицам абразива, которые снимают микростружку с обрабатываемого материала заготовки со скоростью, в несколько раз превышающую скорость звука. В итоге осуществляется процесс резания.

В процессе работы на дне ванны оседает используемый абразив. Периодически абразив вместе с водой удаляется из ванны, отделяется от воды и сушится для последующего использования.

Основные достоинства процесса водоабразивной обработки:

1. Отсутствие термического воздействия (холодное резание), т.к. генерируемое тепло в процессе резания уносится водой. Невысокая температура в зоне резания 60...90 °С исключает деформацию заготовки, оплавление и пригорание обрабатываемого материала, что является решающим фактором при обработке материалов, особо чувствительных к нагреванию.

2. Небольшая сила резания (до 100 Н), в т.ч. тангенциальной составляющей, благодаря чему часто исключается необходимость зажима заготовки.

3. Универсальность обработки. Водоабразивное резание эффективно как при обработке многих трудно обрабатываемых материалов (титановых сплавов, высокопрочной керамики, стали и т.п.), так и мягких (листовой резины, линолиума, древесных плит и др.). Водоабразивная технология позволяет решить проблемы фасонного резания стекла и облицовочного материала (мрамора, гранита, керамики, кафельной плитки и т.п.).

## Глава 19 ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ, ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МОДУЛИ И СИСТЕМЫ

### 19.1 Промышленные роботы

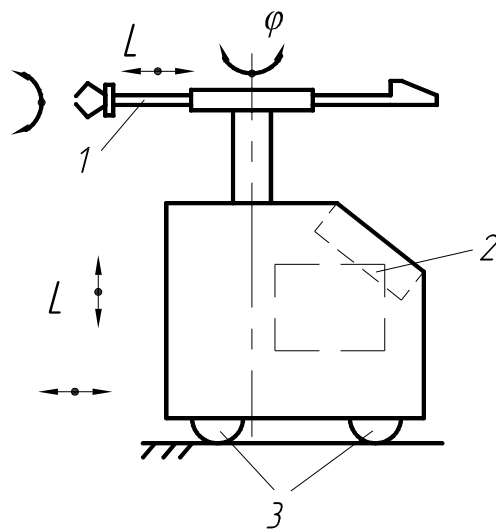
Автоматизация вспомогательных операций смены заготовок и деталей на станках с ЧПУ создает предпосылки для внедрения «безлюдной» технологии в механообрабатывающем производстве, а также повышает его эффективность за счет сокращения простоев станков между отдельными рабочими циклами. Из-за многообразия компоновочных схем станков и способов их загрузки, а также типов изготавливаемых деталей конструкции устройств для автоматической смены заготовок могут быть различными. В автоматизированных станочных системах данные устройства, как правило, включают в состав гибкого производственного модуля для соединения его с транспортными и накопительными устройствами. При этом выбор конструкции загрузочного устройства к станку зависит от принятой схемы транспортно-накопительной системы. В то же время загрузочные устройства целесообразно механически отделить от станка. Конструктивная автономность устройств автоматической смены заготовок создает возможность их проектирования в виде достаточно универсальных манипуляционных механизмов, имеющих собственные приводы и средства электро-, гидро- или пневмоавтоматики. Первые механизмы такого типа были созданы в 60-е годы прошлого столетия. Так, в статье, опубликованной в одном из машиностроительных журналов, посвященной появлению на заводах США манипуляционных механизмов первого поколения, сообщалось, что в американской металлообрабатывающей промышленности появился новый тип производственного рабочего. Он не состоит в профсоюзе, не пьет кофе в обеденный перерыв, работает 24 ч в сутки и не интересуется пособиями или пенсионной оплатой. Он осваивает новую работу за несколько минут и всегда выполняет ее хорошо. Он никогда не жалуется на жару, пыль и запахи, никогда не получает увечий на работе.

Он промышленный робот (ПР).

Три составные элемента ПР собраны в единое целое (рисунок 19.1): работающая рука 1, передвигающиеся «ноги» 3 и анализирующий действия искусственный интеллект (память) 2.

На металлообрабатывающих предприятиях ПР выполняют формообразующую, т.е. основную производственную, функцию технологической машины, например, роботы-сварщики, роботы-сборщики; транспортную

функцию – роботы-манипуляторы, транспортирующие заготовки, устанавливающие и снимающие их со станков; контрольную функцию – роботы-контролеры.



**Рисунок 19.1. – Классическая схема промышленного робота**

Таким образом, ПР – это автономно работающая машина-автомат, предназначенная для воспроизведения некоторых двигательных и умственных функций человека при выполнении вспомогательных и основных производственных операций без непосредственного участия человека и наделенная для этого некоторыми его способностями (слухом, зрением, осязанием, памятью и т.п.), а также способностью к самообучению и адаптации к внешней среде.

### **19.1.1 Поколения промышленных роботов**

Все многообразие устройств, относящихся к ПР, можно разделить на три поколения (типа).

ПР 1-го поколения – роботы с обучением. Этот тип роботов обладает способностью запоминать программу по выполнению разнообразных операций, обладает автономными свойствами и имеет ограниченные возможности по восприятию рабочей среды. Движения осуществляются по жесткой программе.

ПР 2-го поколения (адаптивные роботы) оснащены датчиками обратной связи, воспринимающие информацию от окружающей среды. Такие роботы имеют основную программу и подпрограммы, которые выбираются в зависимости от информации, полученной от внешней среды. Следовательно, эти роботы, имеющие ЭВМ или обслуживаемые ЭВМ, обладают «зрением» и «осязанием» и способны ориентироваться в окружающей обстановке.

ПР 3-го поколения (интеллектуальные роботы) наделены искусственным интеллектом. Для их работы достаточно задать конечную цель работы, т.е. алгоритм поиска. Такие роботы могут воспринимать и логически оценивать окружающую обстановку и определять движения, необходимые для достижения заданной цели работы. Для управления интеллектуальными роботами требуются средства вычислительной техники.

ПР 1-го типа с цикловыми и числовыми системами программного управления применяют для автоматизации загрузки-выгрузки обрабатываемых деталей, а также для выполнения транспортных и вспомогательных операций на металлорежущих станках с программным управлением. Обычно эти ПР называют роботами-манипуляторами (РМ). Они могут быть как автономными машинами-автоматами (см. рисунок 19.1), так и встроенными в станок или другую технологическую машину.

Технологические возможности и конструкцию ПР определяют несколько следующих основных параметров, включаемых в их техническую характеристику: грузоподъемность, число степеней подвижности, рабочая зона, мобильность, быстродействие, погрешность позиционирования, типы управления и привода.

*Грузоподъемность* ПР определяется наибольшей массой изделия, например, детали, инструмента или приспособления, которым он может манипулировать в пределах рабочей зоны. В основном в типоразмерный ряд ПР, предназначенных для машиностроительного производства, входят модели грузоподъемностью от 5 до 500 кг.

*Число степеней подвижности* ПР определяется общим числом поступательных и вращательных движений манипулятора, без учета движений зажима-разжима его схвата. Большинство ПР в машиностроении имеет до пяти степеней подвижности.

*Рабочая зона* ПР определяет пространство, в котором может перемещаться схват (кисть руки) манипулятора. Обычно она характеризуется наибольшими перемещениями захватного устройства вдоль и вокруг каждой оси координат.

*Мобильность* ПР определяется его способностью совершать разные по характеру движения: перестановочные (транспортные) перемещения между рабочими позициями, находящимися на расстоянии, большем, чем размеры рабочей зоны манипулятора; установочные перемещения в пределах рабочей зоны, определяемой конструкцией и размерами манипулятора; ориентирующие перемещения схвата, определяемые конструкцией и размерами кисти – конечного звена манипулятора. ПР могут быть стационарными, не имеющими перестановочных перемещений, и передвижными, обеспечивающими все виды движений.

*Быстродействие* ПР определяется наибольшими линейными и угловыми скоростями перемещений конечного звена манипулятора. Большинство ПР, применяемых в машиностроении, имеет линейные скорости манипулятора от 0,5 до 1,2 м/с, а угловые – от 90 до 180 °/с.

*Погрешность позиционирования* манипулятора характеризуется средним значением отклонений центра схвата от заданного положения и зоной рассеяния данных отклонений при многократном повторении цикла установочных перемещений. Наибольшее число ПР, применяемых в машиностроении, имеет погрешность позиционирования от  $\pm 0,05$  до  $\pm 1,0$  мм. Устройства программного управления ПР могут быть цикловыми (индекс Ц), числовыми позиционными (индекс П), контурными (индекс К) или контурно-позиционными (индекс С). Приводы исполнительных органов ПР могут быть электрическими, гидравлическими, пневматическими или комбинированными, например, электрогидравлическими, пневмогидравлическими.

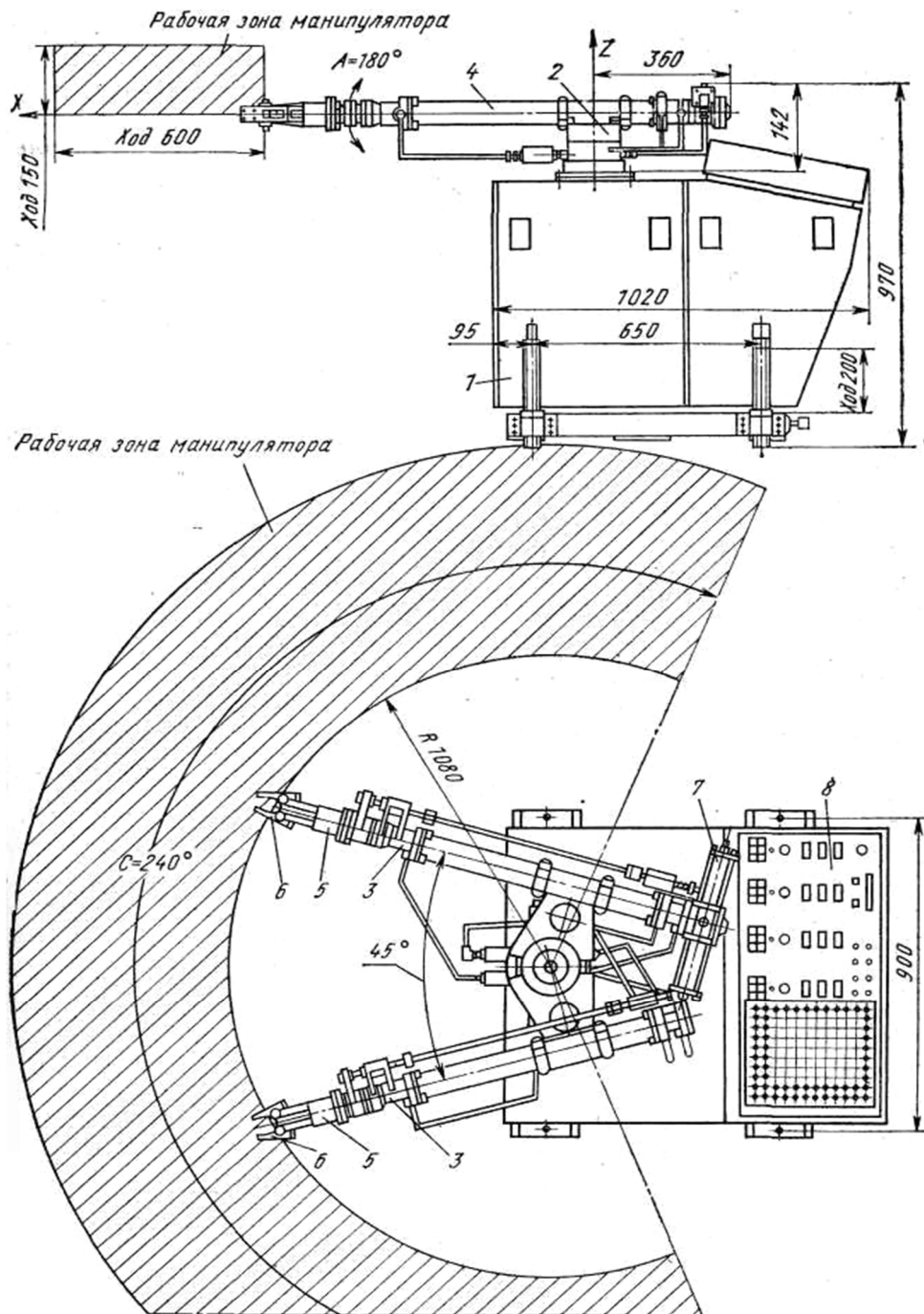
## 19.2 Промышленный робот модели Циклон

Относится к ПР первого типа, т.е. робот-манипулятор (рисунок 19.2). Предназначен для выполнения погрузочно-разгрузочных и других вспомогательных операций в металлообработке. Робот стационарного типа имеет четыре степени подвижности: перемещение  $z$  манипулятора вдоль оси  $Z$  (подъем и опускание); движение  $x$  механической руки вдоль оси  $X$  (вперед и назад); поворот манипулятора относительно оси  $Z$  (движение  $C$ ); поворот кисти с захватным устройством относительно оси  $X$  (движение  $A$ ). Все перемещения осуществляются от пневмо- и гидроприводов. Величины наибольших перемещений по каждой из степеней подвижности, характеризующие рабочую зону манипулятора, также приведены на рисунке 19.2. Линейные перемещения выполняются со скоростью 0,7–1 м/с, а угловые – со скоростью 90 °/с.

Конструктивно рассматриваемый ПР состоит из нескольких сборочных единиц, смонтированных на основании  $1$  в виде жесткой сварной рамы, закрытой кожухами. На раме установлен подъемно-поворотный механизм  $2$  манипулятора, который может быть оснащен одной или двумя сменными механическими руками  $3$ . Руки можно устанавливать относительно друг друга под углом 30–60° при наладке манипулятора. Грузоподъемность каждой руки 10 кг. Пневмогидравлические приводы подъема-опускания и поворота манипулятора размещены в основании ПР. Для выдвигания руки используется пневмоцилиндр  $4$ , размещенный внутри корпуса. На базирующий фланец руки крепится кисть  $5$  с захватными устройствами  $6$  различного типа. Привод схвата осуществляется пневмоцилиндром, установленным



в корпусе кисти. Движение поворота кисти со схватом осуществляется пневмоцилиндрами 7 и передачей типа рейка–шестерня, установленными на фланце с задней стороны руки.

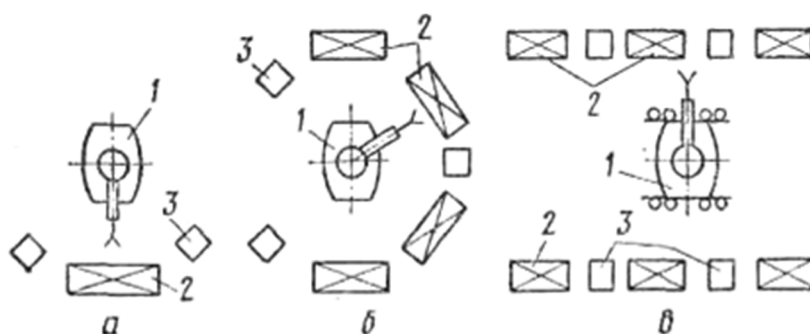


**Рисунок 19.2. – Универсальный промышленный робот модели Циклон**

Устройство циклового программного управления роботом размещено во внутренней полости основания. Пульт 8 оператора смонтирован на наклонной крышке основания, за пределами рабочей зоны манипулятора.

### 19.3. Робототехнические комплексы

Применение РМ наиболее эффективно в робототехнических комплексах, гибких производственных модулях, на автоматизированных участках из станков с ЧПУ, в гибких производственных системах. Робот 1 можно поставить для обслуживания одного станка 2 (рисунок 19.3, а), нескольких станков 2 (рисунок 19.3, б). Робот может перемещаться вдоль фронта станков (рисунок 19.3, в). Робот перемещает заготовки из накопителя (магазина) 3 к станкам и между станками. Во всех случаях это автоматизированный участок, на котором автоматизированы все основные и вспомогательные операции. При обеспечении таких участков системами транспортировки и складирования заготовок с общей диспетчеризацией управления на базе ЭВМ воспроизводится гибкая производственная система.



**а** – комплекс ПР–станок;  
**б** – сферический комплекс ПР–*n* станков;  
**в** – фронтальный комплекс ПР–*n* станков

**Рисунок 19.3.** – Возможные компоновки робототехнических комплексов

На рисунке 19.4 приведена структурная схема комплексной системы с применением промышленного робота. Заготовки из заготовительного производства *ЗП* поступают в пункт приема заготовок *ППЗ*, состоящий из ряда бункеров ( $B_1 \dots B_n$ ). Опознающее устройство *ОУ* позволяет установить номер группы и подгруппы заготовок. Далее детали поступают на склад заготовок *СЗ* или на склад полуфабрикатов *СП*. По сигналу от станка или диспетчера робот – перекладчик-кантователь *РПК* берет со склада нужную деталь и устанавливает ее на спутник транспортной системы *ТС*.

Спутник с деталью движется до тех пор, пока не остановится на позиции, определяемой программой. Промышленный робот переносит деталь на многооперационный станок *МС* и устанавливает ее в патрон, начинается обработка. Обработанную ранее деталь робот-манипулятор снимает и устанавливает на тот же спутник. Если деталь не обработана полностью за одну установку, она поступает вновь в *СП*, а оттуда на другой станок.

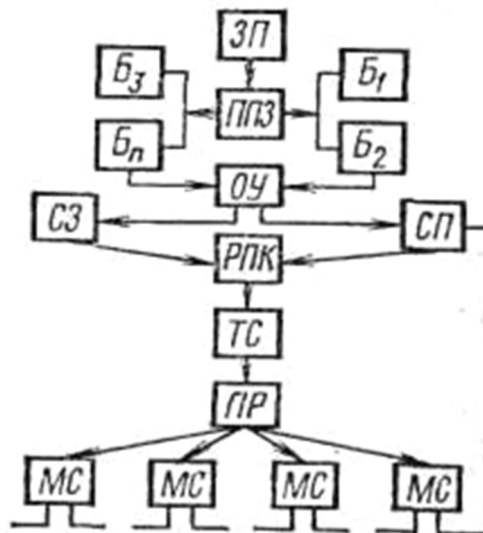


Рисунок 19.4. – Блок-схема автоматизированного участка с промышленными роботами

В зависимости от характера производства, вида выполняемых операций, типа основного оборудования, обслуживаемого в автоматическом цикле, ПР могут быть разной степени универсальности, которая определяется их функциональными возможностями и перенастраиваемостью. В соответствии с этими признаками ПР разделяют на специальные, специализированные (целевые) и универсальные (многоцелевые).

*Специальные* ПР предназначены для выполнения определенных технологических операций или обслуживания конкретных моделей технологического оборудования. Для этих роботов характерно конструктивное единство с основным или вспомогательным оборудованием, входящим в состав гибкого производственного, например, обрабатывающего модуля. Управление циклом работы манипулятора осуществляется от устройства ЧПУ технологическим модулем.

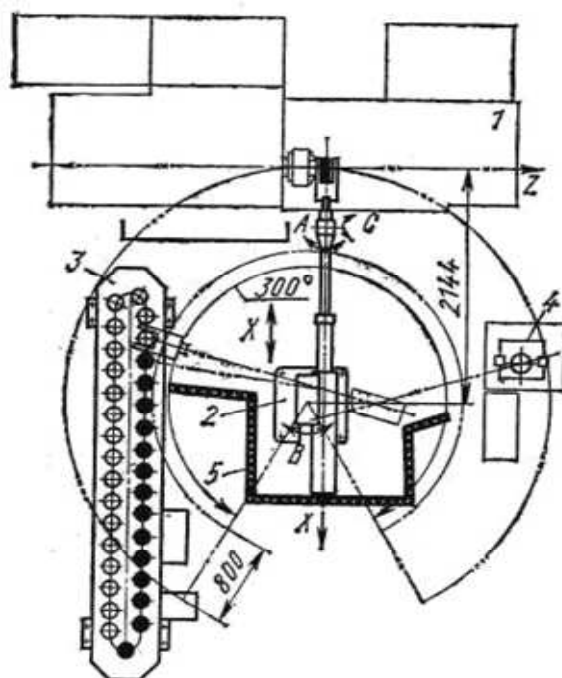
*Специализированные* (целевые) ПР предназначены для выполнения технологических операций одного вида (например, сборки, сварки, окрашивания) или только вспомогательных переходов, требующих одинаковых манипуляционных действий.

*Универсальные* ПР предназначены для выполнения технологических операций различных видов. Они могут быть использованы как для основных технологических операций, так и для выполнения различных вспомогательных функций при обслуживании оборудования различного технологического назначения, требующих различных манипуляционных движений. Для таких роботов характерна полная конструктивная независимость от основного технологического оборудования, с которым они совместно работают, а также большое число степеней подвижности (5–7), обеспечивающие их широкие функциональные возможности.

## 19.4 Роботизированные технологические комплексы

При обработке деталей на станках ПР используют главным образом для автоматизации вспомогательных процессов, связанных с обеспечением потоков заготовок и инструментов.

На рисунке 19.5 приведена схема гибкого производственного модуля (ГПМ), состоящего из токарного станка 1, обслуживающего его универсального ПР 2 и транспортно-накопительного устройства 3 для заготовок и обработанных деталей. Рабочая зона ПР охватывает загрузочные и разгрузочные позиции транспортера-накопителя, зону обработки на станке, примыкающую к шпинделю, контрольно-измерительную позицию специального автоматического устройства 4.



● – заготовка; ○ – деталь

Рисунок 19.5. – Гибкий производственный модуль для токарной обработки

Автоматический РМ имеет пять степеней подвижности: осевое перемещение по оси  $X$  руки на длине 800 мм; вертикальное перемещение по оси  $Y$  руки относительно стойки (перпендикулярно плоскости чертежа); поворот  $B$  руки на угол  $300^\circ$  в горизонтальной плоскости; поворот  $A$  кисти руки на угол  $180^\circ$  относительно продольной оси руки; поворот (качание)  $C$  кисти в вертикальной плоскости. Захватное устройство должно, кроме того, выполнять движения зажима-разжима заготовки или детали. Рабочая зона робота имеет ограждение 5, обеспечивающее безопасность для обслуживающих данный модуль рабочих и наладчиков.

Микропроцессорное устройство ЧПУ централизованно управляет всем оборудованием ГПМ во время автоматического цикла работы.

В составе ГПМ робот манипулятор обслуживает, как правило, три позиции: загрузочную позицию накопителя заготовок, рабочую позицию станка и разгрузочную позицию транспортера или накопителя. Фактическая производительность модуля определяется коэффициентом использования станка  $k_c$ , который зависит от длительности  $T_p$  его обслуживания роботом, отнесенной к общей продолжительности  $T_o$  обработки детали на станке:  $k_c = 1 - T_p/T_o$ .

Рассмотрим диаграмму цикла  $T_p$  обслуживания манипулятором токарного станка в производственном модуле (рисунок 19.6). Начало этого цикла отнесено к моменту остановки шпинделя, когда формируется команда на выполнение манипуляционных действий. Окончание периода обслуживания совпадает с выходом захватного устройства манипулятора из рабочей зоны станка и включением цикла  $T_m$ .

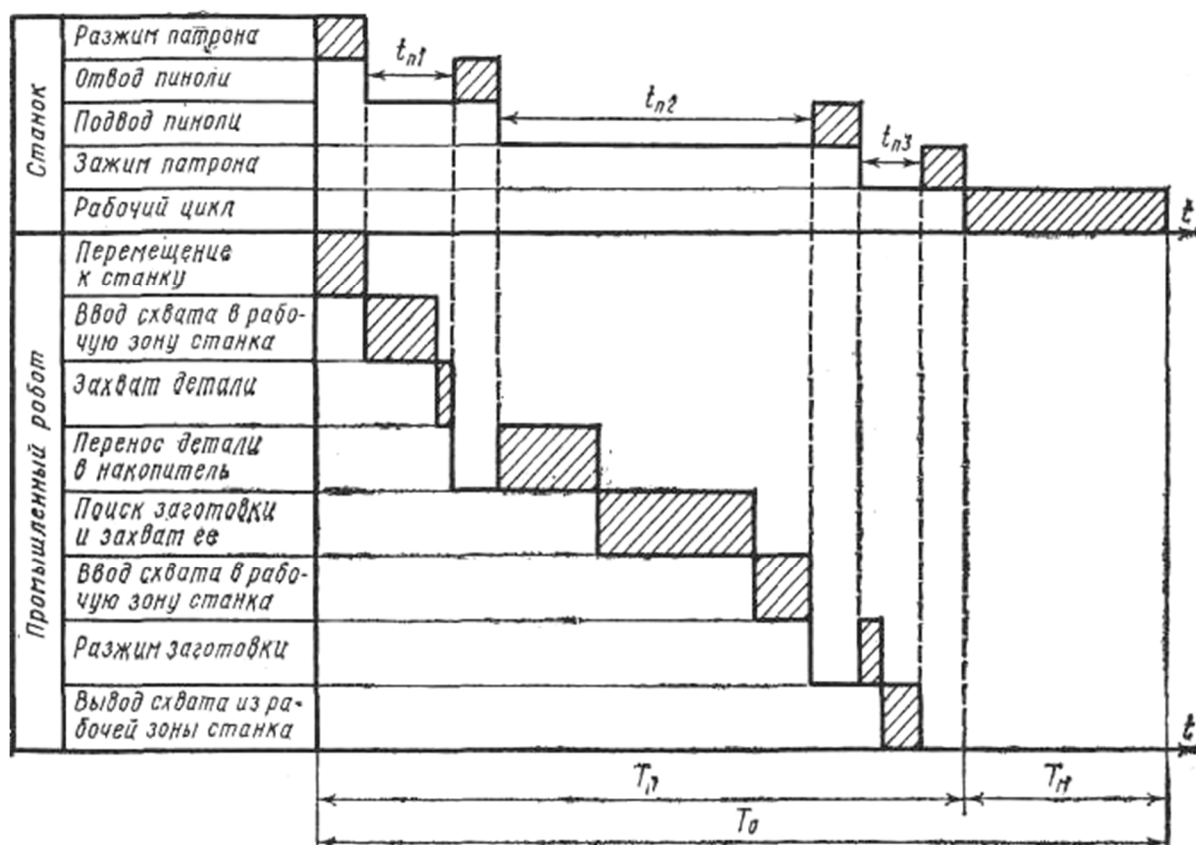


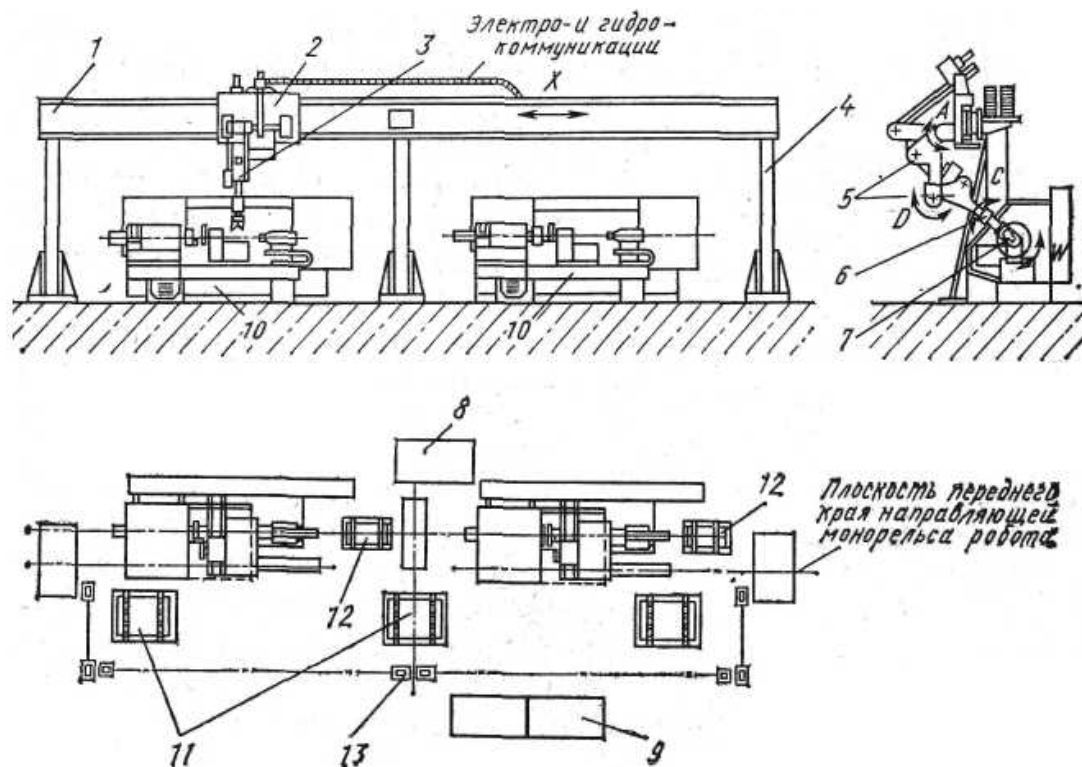
Рисунок 19.6. – Циклограмма обслуживания токарного станка промышленным роботом

Общее время простоя станка (заштрихованные участки)

$$T_n = \sum_i t_{ni} \quad (i = 1, 2, 3)$$

в основном определяется временем манипулирования заготовкой и деталью. Для сокращения этого времени необходимо либо увеличить скорости движения манипулятора и уменьшить общую длину перемещений его рабочего органа, либо совместить время манипулирования с рабочим циклом станка, создав рациональную компоновочную схему гибкого производственного модуля.

На рисунке 19.7 представлена гибкая производственная система для обработки деталей типа тел вращения, состоящая из двух токарных станков с ЧПУ и обслуживающего их ПР портального типа. Каретка 2 с установленной на ней механической рукой 3 перемещается по направляющим портала 1, смонтированного на колоннах 4. Рука 5 манипулятора двухзвенная и состоит из плечевого и локтевого рычажно-шарнирных механизмов. На базирующем фланце конечного звена руки установлен механизм кисти 6 с захватным устройством 7. Манипулятор имеет четыре степени подвижности: перемещение каретки по оси X, поворот A руки в плечевом шарнире, поворот D руки в локтевом шарнире, поворот C кисти вокруг своей оси на угол 90 или 180°. Кроме того, для зажима и разжима деталей предусмотрено движение W губок схвата.



**Рисунок 19.7. – Гибкая производственная система для обработки деталей типа тел вращения**

Управление приводами перемещений  $X$ ,  $A$ ,  $D$  осуществляется в режиме позиционирования от устройства 9 числового управления, а перемещений  $C$ ,  $W$  – с помощью цикловой автоматики. Приводы манипулятора – гидравлические с автономным питанием от гидростанции 8. Конструкция манипулятора позволяет установить на его кисти дополнительные механизмы и устройства для контроля правильности базирования заготовки в центрах или патроне станка, измерения обрабатываемого диаметра заготовки и для очистки базирующих поверхностей от стружки путем обдува их сжатым воздухом.

В состав гибкой производственной системы помимо основного оборудования (станков 10 и обслуживающего их ПР) входят вспомогательные накопительные устройства 11 и 12 для установки в них в ориентированном положении заготовок и обработанных деталей, находящихся также в рабочей зоне манипулятора. Рабочая зона манипулятора имеет ограждение 13.

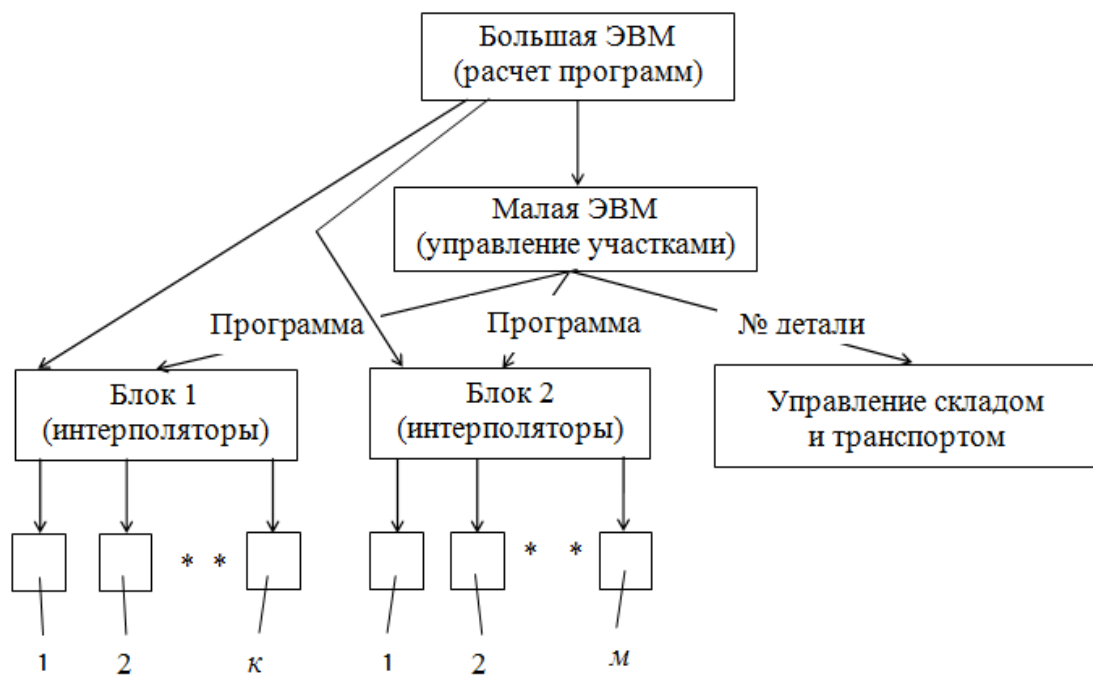
Данная ГПС выполнена по схеме с линейной компоновкой. Возможна также круговая компоновка технологического оборудования, по которой станки располагают по дуге окружности, а в центре окружности размещают ПР. Круговые компоновки целесообразно использовать для небольшого числа технологических позиций (до пяти-шести) и при малых размерах рабочей зоны обслуживающего их ПР стационарного типа. При установке большого числа станков, а также для увеличения зоны обслуживания целесообразно использовать линейные компоновочные схемы и ПР передвижного типа.

Возможные варианты систем управления станками автоматизированных участков (гибких производственных систем):

- наиболее простая форма управления работой станочного оборудования – применение индивидуальных устройств ЧПУ; в этом случае смена программносителя осуществляется рабочим непосредственно у станка;
- более совершенная форма управления станками от центральной ЭВМ (система DNC); здесь станки оснащены упрощенным менее дорогим устройством управления;
- каждый станок управляется от мини-ЭВМ, которая запоминает вводимую информацию и в случае необходимости воспроизводит ее; прямое управление от такой ЭВМ позволяет вести диалог оператора с ЭВМ.

На рисунке 19.8 приведена схема управления автоматизированным участком для обработки деталей типа тел вращения от ЭВМ. Большая ЭВМ выполняет операции по долгосрочному и оперативному планированию, решает вопросы загрузки станков, производит расчет управляющих программ и их автоматическую передачу. Малая ЭВМ непосредственно управляет участком – подключает группы станков  $\{1; 2; \dots; k\}$  и  $\{1; 2; \dots; m\}$ , управляет поиском и транспортированием заготовок со склада, выбирает

из долговременной памяти массивы управляющих программ и обеспечивает их выдачу по запросам. Непосредственно станками управляют упрощенные интерполяторы соответствующих блоков 1 и 2.



**Рисунок 19.8. – Структурная схема управления автоматизированным участком**

Проектирование гибких производственных систем, в которых несколько ПР обслуживают большое число станков, транспортно-накопительных и других вспомогательных устройств, образующих участки или линии требует нахождения оптимального режима работы всей системы. При этом выборе ПР для обслуживания такой системы должен предшествовать анализ геометрических характеристик и массы изготавливаемых деталей, а также основных параметров станков, на которых обработка соответствующих заготовок наиболее эффективна.



## СЛОВАРЬ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

Все многообразие технических терминов и определений, используемых в теории и практике станковедения, можно разделить на две группы:

- общетехнические – используемые в различных общеинженерных и специальных дисциплинах специальностей машиностроительного профиля;
- специфические – характерные только для теории и практики станковедения.

В данном словаре приводятся только специфические термины и их определения, используемые в станковедении.

*Парадигма* (модель познания реальной действительности) – комплекс научных данных или аксиом, принимаемых за истину, на основе которых развивается научная теория или модель методов исследования, доминирующих в течение определенного периода в научном сообществе.

*Эволюция познания* – смена парадигм.

*Синергетика* – наука о совместном, согласованном поведении многих элементов как единого целого в составе сложной системы (по Г. Хакену).

*Синергизм* – явление, характеризующееся тем, что суммарный эффект воздействия каких-либо факторов на объект или систему больше суммы эффектов воздействия каждого взятого из них в отдельности.

*Бифуркация* – поле ветвящихся виртуальных путей эволюции.

*Аттрактор* – траектория или некоторый коридор траекторий эволюции способов формообразующей обработки на основе вполне определенного первообразного способа обработки, образующийся в точке бифуркации.

*Тезаурус* – определенным образом организованная информация.

*Кумулятивность* – включение какой-либо гипотезы (теории) в другую гипотезу (теорию) без изменений в качестве ее составной части.

*Общая теория систем* – логико-математическая область, задачей которой является формулирование и вывод общих положений, возможных при рассмотрении систем вообще (по Л. Берталанфи).

*Система* – совокупность целесообразно организованных функционально связанных элементов, участвующих в процессе достижения определенной цели, выступающая по отношению к другим системам и окружающей среде как нечто единое. Качественная определенность системы обусловлена ее структурой и функцией.

*Структура системы* – схема связей и отношений между ее элементами.

*Функция системы* – способность целесообразной деятельности (функционирование) в рамках более сложной системы, в которую она входит.

*Системология* – анализ, синтез и систематизация объектов реальной действительности, объединенных общей пионерной (первообразной) целью.

*Металлорежущий станок* (станок) – технологическая машина для формообразующей обработки заготовок преимущественно резанием. С точки зрения теории технических систем это объединение трех подсистем: кинематической структуры, выражаемой структурной или кинематической схемой, подсистемы управления и компоновки (несущей подсистемы).

*Станочное оборудование* – развивающееся многообразие металлорежущих станков.

*Способ формообразующей обработки* – целенаправленное множество приемов воздействия посредством инструмента или объекта, выполняющего его функцию, на твердое тело, осуществляемых в заданной последовательности с соблюдением определенных правил (например, в течение некоторого времени, при определенном соотношении воздействий приемов, определенной температуре, определенном состоянии среды, в которой происходит процесс).

*Вспомогательный элемент* – точка, линия или поверхность на инструменте, перемещаемая по виртуальной воспроизводимой линии при формообразующей обработке.

*Характеристический образ инструмента* – объединение вспомогательных элементов, отображаемое в виде множества точек на (в) воспроизводимую линию или поверхность.

*Мощность характеристического образа* – совокупность вспомогательных элементов инструмента, выраженная в виде вполне определенного класса множеств.

*Геометрическая поверхность* – след, оставляемый линией, называемой образующей, при ее движении по другой линии, называемой направляющей. Обе эти линии называют производящими.

*Класс образования воспроизводящей линии* – отображение характеристического образа инструмента на виртуальную (воображаемую) линию.

*Формообразующее (рабочее) движение* – согласованные относительные движения инструмента и заготовки, непрерывно создающие производящие линии при обработке. В зависимости от формы производящей линии и метода ее образования движения формообразования могут быть простыми и сложными.

*Врезание* – движение инструмента или заготовки, устанавливающее их в процессе резания в исходное для формообразования положение.

*Деление* – движение, перемещающее траекторию движения формообразования на определенную величину для воспроизведения нескольких одинаковых по форме поверхностей.

*Позиционирование* – движение, обеспечивающее перемещение траекторий движений формообразования и/или врезания в новое геометрическое положение.

*Кинематическая группа* – объединение источника (источников) энергии движения, исполнительных кинематических пар, внутренней и внешней связей.

*Внутренняя связь* – совокупность кинематических звеньев и их соединений, обеспечивающих качественную характеристику движения, т.е. его траекторию.

*Внешняя связь* представляет собой совокупность кинематических звеньев и их соединений, обеспечивающих количественные характеристики движения, т.е. его скорость, путь и исходную точку.

*Звено соединения связей* – кинематическое звено, входящее одновременно во внутреннюю и внешнюю связи.

*Станочное зацепление* – кинематическая цепь, соединяющая два исполнительных органа, имитирующая зацепление кинематической передачи, например, пары зубчатых колес, червячной передачи и т.п.

*Структурная схема* – объединение кинематических групп в общую кинематическую структуру станка.

*Тяговый вал* – механизм, преобразующий вращательное движение в поступательное.

*Кинематический параметр тягового вала* – величина перемещения ведомого звена за один оборот его ведущего звена.

*Орган настройки* – специальное устройство для изменения и регулирования параметров движения в станках: траектории, скорости, направления, пути, и исходной точки.

*Кинематическая настройка* – настройка кинематических (структурных) цепей станка для обеспечения требуемых скоростей движений исполнительных органов, а также, при необходимости, условий кинематического согласования перемещений или скоростей исполнительных органов между собой. Кинематическая настройка является составной частью наладки любого станка.

*Кинематическая схема* – условное изображение объединения кинематических цепей или кинематических групп станка в одной плоскости.

*Расчетная кинематическая цепь* – ряд последовательно расположенных передач, включая орган настройки, связывающий исполнительные звенья или между собой, или с источником энергии движения.

*Расчетные перемещения* – исходное перемещение ведущего звена кинематической расчетной цепи в совокупности с резульативным перемещением ведомого звена этой же цепи.

*Уравнение кинематической цепи* – математическая зависимость между перемещениями исполнительных звеньев расчетной кинематической цепи, записываемая на основе расчетных перемещений.

*Формула настройки* – решение уравнения кинематической цепи относительно неизвестного передаточного отношения органа настройки, расположенного в этой цепи.

*Гитара сменных зубчатых колес* – открытый зубчатый механизм для ступенчатого изменения передаточного отношения расчетной кинематической цепи.

*Вариатор* – механизм, обеспечивающий бесступенчатое изменение передаточного отношения.

*Формула Виллиса* – математическая модель кинематических связей в планетарном дифференциале, используемая для определения передаточных отношений в планетарных дифференциалах при анализе кинематической структуры металлорежущих станков.

*Множительная структура привода* – кинематическая цепь с последовательным соединением групп передач.

*Сложенный привод* – объединение двух, реже трех кинематических цепей, каждая из которых является множительной структурой.

*Составное колесо* – основное колесо специального реверсивного механизма, составленное из двух концентрических секторов внутреннего и наружного зацепления, соединенных между собой зубчатыми секторами внутреннего зацепления.

*Плосковершинное (или плоское) зубчатое колесо* – виртуальный режущий инструмент для профилирования конических зубчатых колес, у которого число зубьев зависит от числа зубьев обрабатываемого колеса.

*Полубобкатная передача* – спирально-коническая или гипоидная передача, у которой профиль зубьев колеса выполнен копированием, а профиль шестерни – обкатом.

*Многоцелевой станок (обрабатывающий центр)* – станок с числовым программным управлением, обеспечивающий выполнение многих технологических операций на сложных деталях с разных сторон без их перебазирования и, как правило, с автоматической сменой инструмента.

*Промышленный робот* – автономно работающая машина-автомат, предназначенная для воспроизведения некоторых двигательных и умственных функций человека при выполнении вспомогательных и основных производственных операций без непосредственного участия человека

и наделенная для этого некоторыми его способностями (слухом, зрением, осязанием, памятью и т.п.), а также способностью к самообучению и адаптации к внешней среде.

*Робот-манипулятор* – промышленный робот, встроенный в основное технологическое оборудование, например, многооперационный станок.

*Гибкий производственный модуль*(ГПМ) – объединение станка с ЧПУ, обслуживающего его промышленного робота и транспортно-накопительного магазина для заготовок и обработанных изделий, работающее в автоматическом режиме с единой системой управления.

*Гибкая производственная система* (ГПС) – совокупность металлообрабатывающего и вспомогательного оборудования (транспортного, накопительного, погрузочно-разгрузочного и т.д.), работающего в автоматическом режиме с единой системой управления в условиях многономенклатурного производства.

*Система управления* – объединение устройств, обеспечивающее управление отдельным станком, гибким производственным модулем, гибкой производственной системой.

## Литература

1. Головин Г.М. Кинематика станков. – М.: МВТУ им. Баумана, 1946. – 253 с.
2. Федотенок, А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков. – Изд. второе. – М.: Машиностроение, 1970. – 453 с.
3. Голембиевский А.И. Системология способов формообразующей обработки в машиностроении. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2017. – 236 с.
4. Голембиевский А.И. Современная парадигма познания металлорежущих станков. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2021. – 224 с.
5. Металлорежущие станки: учеб. В 2 т. / Т.М. Аврамова, В.В. Бушуев, Л.Я. Гиловой и др.; под ред. В.В. Бушуева. – М.: Машиностроение, 2012. – Т. 1. – 608 с.
6. Данилов В.А., Данилов А.А. Синтез кинематической структуры металлорежущих станков. – Минск: БНТУ, 2018. – 50 с.
7. Голембиевский А.И. Эволюция развития сложных формообразующих групп металлорежущих станков // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Приклад. науки. – 2017. – № 11. – С. 2–8.
8. Устройство для синхронизации приводов исполнительных органов шлицефрезерного станка: пат.16976 Респ. Беларусь, В 23Q 15/00, В 23F 9/10 / А.И. Голембиевский. – Оpubл. 26.12.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац.центр. інтэлектуал. уласнасці. – 2012.
9. Металлорежущие станки и автоматы: учеб. / А.С. Проников, Н.И. Камышный, Л.И. Волчкевич и др.; под ред. А.С. Проникова. – М.: Машиностроение, 1981. – 479 с.
10. Способ долбления зубчатых колес и станок для его осуществления : пат. 3343 (BY) : В 23F 5/00 / А.И. Голембиевский, Ю.Я. Сидоренков, Г.В. Рейтер, А.К. Звонко; дата публ.: 20.12.1999.
11. Способ обработки зубчатых колес: а. с. SU 1763112 / А.И. Голембиевский. – Оpubл. 1992.
12. Устройство управления приводом продольного стола зубодолбежного станка: а. с. SU 1835335 / А.И. Голембиевский. – Оpubл. 1992.
13. Способ долбления цилиндрических зубчатых колес: а. с. SU 698732 / А.И. Голембиевский. – Оpubл. 1979.
14. Голембиевский А.И. Эволюция развития кинематической структуры металлорежущих станков для зуботочения обкатным резцом типа долбяка // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Приклад. науки. – 2018. – № 3. – С. 2–12.
15. Острецов Г.В., Шарова С.С. Геометрический расчет двухшаговых червячных пар. – М.: ЭНИМС, 1969. – С. 5–16.
16. Червячная передача: пат. 2044194 (RU), F16H 1/16 / А.И. Голембиевский, В.А. Петров; опубл. 1995 // Бюл. изобретений. – 1995. – № 26.
17. Двухшаговый червяк: пат. 2020326 (RU), F16H 1/16 / А.И. Голембиевский, В.А. Петров; опубл. 1994 // Бюл. Изобретений. – 1994. – № 18.
18. Голембиевский А.И., Петров В.А. Новая двухшаговая передача // Машиностроитель. – 1997. – № 5. – С. 26–27.
19. Голембиевский А.И. Расширение технических возможностей кинематической структуры станка с механическими связями для обработки червяков чашечным резцом // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Приклад. науки. – 2014. – № 11. – С. 18–23.
20. Голембиевский А.И. Модернизация кинематической структуры станка для обработки червяков чашечным резцом // Техника машиностроения. – 2014. – Т. 21, вып. 2 (86). – С.15–20.
21. Ермаков Ю.М., Фролов Б.А. Металлорежущие станки: учеб. – М.: Машиностроение, 1985. – 320 с.

22. Сосонкин В.Л. Программное управление технологическим оборудованием: учеб. для вузов. – М.: Машиностроение, 1991. – 512 с.
23. Зубодолбежный станок с ЧПУ: пат. 1366360 (RU), В23Q 15/00, В23F 5/00 / А.И. Голембиевский. – Оpubл. 1988 // Бюл. Изобретений. – 1988. – № 2.
24. Способ нарезания зубчатых колес и станок для его реализации: пат.6134 Респ. Беларусь, В23F5/12 / А.И. Голембиевский.– Оpubл. 29.12.2003 // Афіцыйны бюл. / Нац.центр. інтэлектуал. уласнасці. – 2003.
25. Голембиевский А.И. Синхронизация приводов исполнительных органов зубофрезерного станка для обработки зубчатых колес с наклонными зубьями // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Приклад. науки. – 2013. – № 11. – С. 15–23.

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**



## ДЛЯ ЗАМЕТОК

*Учебное издание*

ГОЛЕМБИЕВСКИЙ Анатолий Иосифович

## **МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ**

Учебное пособие  
для студентов специальности 6-05-0714-02  
«Технология машиностроения,  
металлорежущие станки и инструменты»

В двух частях

Часть 2

Редактор *Т. А. Дарьянова*  
Дизайн обложки *Д. П. Змитрович*

---

Подписано в печать 19.06.2023. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.  
Цифровая печать. Усл. печ. л. 14,62. Уч.-изд. л. 14,19. Тираж 35 экз. Заказ 280.

---

Издатель и полиграфическое исполнение –  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014, перерегистрация от 24.08.2022.

ЛП № 02330/278 от 27.05.2004.

Ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк.