

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Вакуумная и компрессорная техника»

## МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ И ИНСТРУМЕНТЫ

Пособие

для студентов специальности

1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
высших учебных заведений по образованию  
в области машиностроительного оборудования и технологий*

Минск  
БНТУ  
2020

УДК 621.9.06 (076.5)  
ББК 34.63-5я7  
М18

С о с т а в и т е л ь  
*С. С. Данильчик*

Р е ц е н з е н т ы:  
кафедра материаловедения и технологии металлов Белорусского  
государственного технологического университета;  
заведующий лабораторией технологий и оборудования индукционного  
нагрева физико-технического института НАН Беларуси,  
кандидат технических наук, доцент *И. И. Вегера*

**Металлорежущие** станки и инструменты: пособие для студентов  
М18 специальности 1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника» /  
сост. С. С. Данильчик. – Минск : БНТУ, 2020. – 84 с.  
ISBN 978-985-583-032-1.

В пособии по дисциплине «Металлорежущие станки и инструменты» представлены указания к выполнению лабораторных работ по проверке точности токарного станка, настройке кинематических цепей, программированию обработки на станках с ЧПУ, изучению назначения, устройства металлорежущих станков и их настройке для обработки деталей.

В каждой работе приведены теоретические сведения, порядок проведения работы, содержание отчета и контрольные вопросы.

УДК 621.9.06 (076.5)  
ББК 34.63-5я7

ISBN 978-985-583-032-1

© Данильчик С. С., 2020  
© Белорусский национальный  
технический университет, 2020

## Содержание

Введение .....	4
Лабораторная работа № 1 Проверка токарно-винторезного станка на точность .....	5
Лабораторная работа № 2 Настройка кинематических цепей металлорежущих станков .....	18
Лабораторная работа № 3 Программирование механической обработки на токарном станке с ЧПУ модели 16K20Ф3С32 .....	32
Лабораторная работа № 4 Устройство широкоуниверсального консольно-фрезерного станка модели FU350MRAPUG и настройка делительной головки .....	45
Лабораторная работа № 5 Плоскошлифовальный станок модели 3Д711АФ10-1 .....	57
Лабораторная работа № 6 Устройство и настройка зубодолбежного станка модели 5В12 .....	74

## Введение

Пособие разработано в соответствии с учебной программой дисциплины «Металлорежущие станки и инструменты» для специальности 1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника».

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

Пособие содержит указания к выполнению лабораторных работ, рассматривающих такие важные вопросы дисциплины, как основы кинематики металлорежущих станков, управление станками, устройство, кинематика станков различных типов и настройка их для выполнения технологических операций.

Каждая лабораторная работа включает в себя цель, применяемое в работе оборудование, приспособления и инструменты, методические рекомендации, задание студенту и содержание отчета. Для обеспечения самостоятельности работы студентам выдаются индивидуальные задания. В работах приводятся необходимые для выполнения задания теоретическая информация, схемы, рисунки, формулы, справочный материал. Алгоритм выполнения некоторых сложных заданий поясняется на примерах. В конце каждой работы содержится перечень контрольных вопросов для закрепления изученного материала и самоконтроля.

## Лабораторная работа № 1

### ПРОВЕРКА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА НА ТОЧНОСТЬ

#### *Цель работы*

Ознакомиться с устройством токарно-винторезного станка и основными методами и средствами проверки его на точность.

#### *Оборудование, приспособления, инструмент*

Токарно-винторезный станок Optimum D 460×1000, индикаторная стойка с индикатором, контрольные оправки, упорные центры, микрометр.

#### *Задание*

- Изучить методику проверки точности станка.
- Выполнить проверку геометрической точности станка, для чего группа студентов делится на бригады по три-четыре человека в каждой.
- Результаты проверки внести в табл. 1.1.
- Сделать вывод о соответствии станка нормам геометрической точности.

#### *Содержание отчета*

- Отчет по лабораторной работе должен содержать:
- название работы, цель и применяемое оборудование;
  - таблицу проверки точности станка (табл. 1.1);
  - схемы проверки точности станка по изделию (рис. 1.8, 1.9 и 1.10) и краткое их описание;
  - подробный вывод о точности проверяемого станка.

Таблица 1.1

## Результаты проверки точности станка

№ п/п	Содержание проверки	Эскиз установки	Погрешность	
			Допустимая, мкм	Фактическая, мкм
1	Радиальное биение наружной центрирующей поверхности шпинделя		10	
2	Торцевое биение фланца шпинделя		20	
3	Радиальное биение упорного центра, вставленного в отверстие шпинделя		15	
4	Параллельность оси наружной поверхности пиноли направлению перемещения суппорта		а) 15 б) 20	
5	Параллельность направления перемещения пиноли задней бабки направлению перемещения суппорта		а) 8 б) 10	
6	Одновысотность оси вращения шпинделя и оси отверстия пиноли задней бабки		40	
7	Прямолинейность продольного перемещения суппорта в вертикальной плоскости		7,5 / 250 мм	

### **Назначение и устройство токарно-винторезного станка**

Токарно-винторезный станок Optimum D 460×1000 (рис. 1.1) предназначен для обработки наружных и внутренних цилиндрических и конических поверхностей, фасонной обработки, подрезания торцовых поверхностей, нарезания резьбы. Максимальный диаметр обрабатываемых заготовок над станиной составляет 460 мм.

Наибольшее расстояние между центрами передней и задней бабок равно 1000 мм.

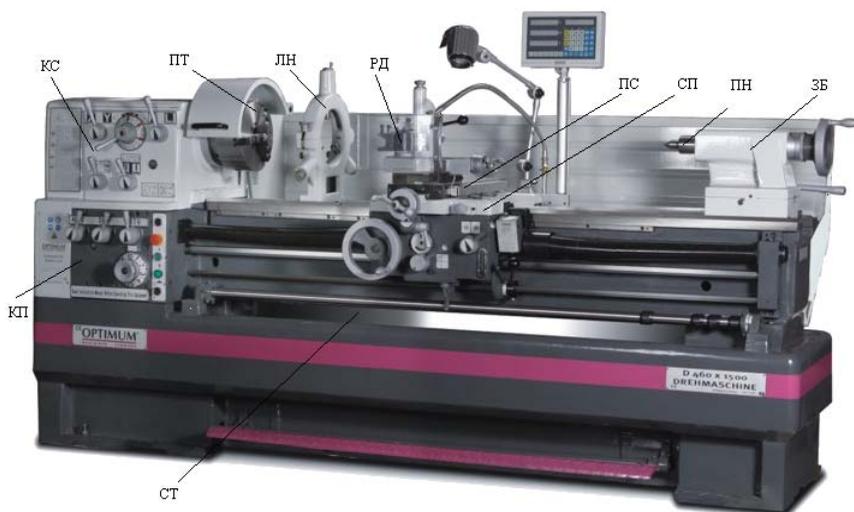


Рис. 1.1. Внешний вид станка:

*СТ* – станина; *КП* – коробка подач; *КС* – коробка скоростей; *ПТ* – патрон;  
*ЛН* – люнет; *РД* – резцедержатель; *ПС* – поперечные салазки; *СП* – суппорт;  
*ПН* – пиноль задней бабки; *ЗБ* – задняя бабка

### **Точность станков**

Точностью станка называют степень приближения действительных значений параметров станка и обработанных на нем деталей к заданным величинам. Точность оценивается погрешностью, которая равна разности действительного и заданного значений параметра. Точность станка зависит от точности изготовления ответственных деталей (шпиндель и его опоры, направляющие, корпусные детали и т. д.), качества сборки и регулировки узлов станка, от точности работы приводов вращения шпинделя и подач.

Различают геометрическую и кинематическую точность станка. Геометрическая точность отражает правильность формы и взаимного расположения частей станка, несущих инструмент или заготовку, и зависит от точности изготовления деталей станка, точности сборки узлов станка и износа в процессе эксплуатации.

Кинематическая точность – это степень приближения значений фактических перемещений рабочих органов станка, выполняющих взаимные согласованные движения, к номинальным. Она зависит от точности изготовления зубчатых колес, червяков, винтовых пар и других передач. Кинематическая погрешность определяется ошибками в передаточных отношениях различных передач. Эти погрешности сказываются на точности обработки на токарно-винторезном станке резьбы резцом, требующей согласования движений рабочих органов станка.

Погрешности станка обуславливают неточности формы и размеров обработанных деталей. Наибольшее влияние на точность обработки оказывают биение шпинделя и прямолинейность направляющих станины. Биение шпинделя зависит от точности изготовления расточек в корпусе шпиндельной бабки под подшипники, от качества изготовления самих подшипников и правильности их регулировки, от качества сборки шпиндельного узла. Биение переднего центра происходит вследствие биения конического отверстия шпинделя относительно оси шпинделя. От точности направляющих станка зависит точность траектории движения режущего инструмента.

При обработке на станках, точность которых не соответствует требованиям ГОСТ, детали могут иметь следующие погрешности формы и расположения:

- отклонение от прямолинейности образующих поверхностей обработанных деталей, которое возникает вследствие износа направляющих;

- корсетность детали из-за податливости центров;

- отклонение от круглости деталей вследствие биения подшипников или некруглости шеек шпинделя;

- отклонение от плоскостности торцовых поверхностей вследствие осевого биения шпинделя;

- конусность деталей вследствие непараллельности оси шпинделя направляющим, смещения центра пиноли задней бабки, различной жесткости переднего и заднего центров и др.

Проверка точности станков выполняется по нормам точности, установленным ГОСТ 18097-93 «Станки токарно-винторезные и токарные. Основные размеры. Нормы точности». Схемы и способы измерений регламентированы ГОСТ 22267-76 «Станки металлорежущие. Схемы и способы измерений геометрических параметров».

### ***Приборы и инструменты для проверки точности станков***

Для проверки геометрической точности токарных и других станков общего назначения применяются различные средства и методы.

При испытании станков применяются индикаторы, поверочные линейки, уровни, щупы, контрольные оправки, универсальные мостики и другие средства. Индикаторы применяются для измерений с точностью до 0,01 мм (рис. 1.2). Для более точных измерений используют миниметры. Измерительное усилие индикатора при измерениях не превышает 1Н. Стойка индикатора надежно закрепляется на массивной подставке с широкой опорной поверхностью (рис. 1.3). Наиболее надежны электромагнитные подставки.

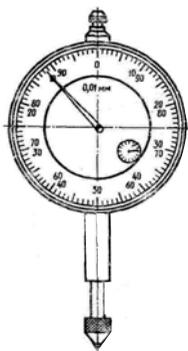


Рис. 1.2. Индикатор часового типа

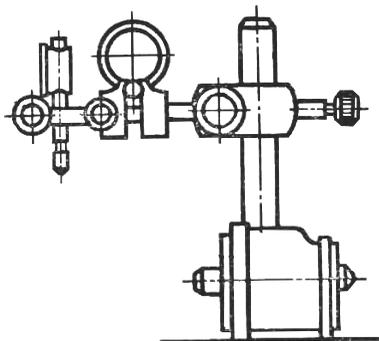


Рис. 1.3. Индикаторная стойка с индикатором

Поверочные линейки применяют главным образом для проверки плоскостности и прямолинейности направляющих поверхностей станков (рис. 1.4). Поверочные линейки выпускаются прямоугольного или двутаврового сечения с параллельными сторонами, либо в виде линеек-мостиков более жесткой конструкции, или линеек треугольного сечения (линеек-клиньев).

Поверочные уровни используют для контроля как горизонтального, так и вертикального расположения поверхностей при проверке точности станков (рис. 1.5).

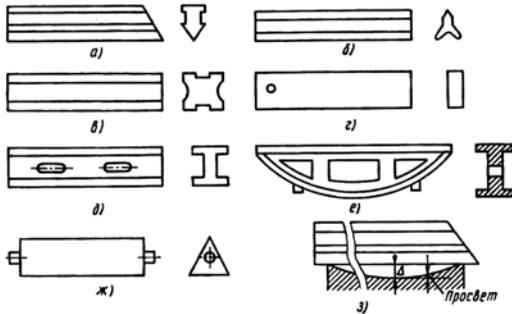


Рис. 1.4. Поверочные линейки

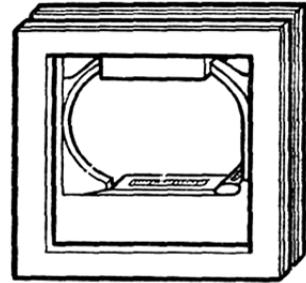


Рис. 1.5. Поверочный уровень

Щупы применяют для измерения величины зазоров между прилегающими друг к другу поверхностями и определения отклонений от прямолинейности плоскостей направляющих станков и плит при наложении на них поверочных линеек. Щупы изготавливаются в виде наборов пластин (рис. 1.6). Пластины отличаются друг от друга по толщине на 0,01 и 0,5 мм. Толщина самой тонкой пластины 0,02 мм, а самой толстой – 1 мм. Длина пластин бывает 100 и 200 мм.

Для проверки точности станков применяют два вида контрольных оправок:

а) консольные – оправки с цилиндрической контрольной частью и коническим хвостиком, которым они вставляются в конусное отверстие шпинделя или пиноли задней бабки станка. Длина цилиндрической контрольной части оправок 100 или 300 мм (рис. 1.7, а).

б) центровые – оправки цилиндрической формы по всей длине и с центровыми отверстиями на торцах. Бывают длиной 300, 500 и 1000 мм. Оправки устанавливают в центрах (рис. 1.7, б).

Наружный диаметр оправки не должен быть меньше 25 мм. Оправки изготавливают из термически обработанной стали или чугуна после его естественного или искусственного старения. Оправки тщательно обрабатываются, шероховатость на поверхности не превышает  $Ra\ 0,32\ \mu\text{m}$ , наибольшее отклонение их рабочих поверхно-

стей от цилиндрической формы не превышает 0,003 мм. Для уменьшения прогиба при замерах точности оправки делают полыми.

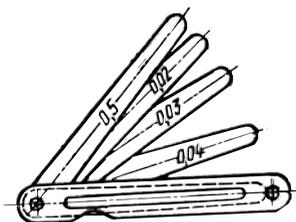


Рис. 1.6. Набор щупов

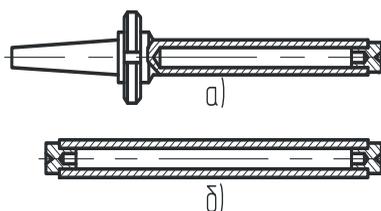


Рис. 1.7. Контрольные оправки:  
а – консольная; б – центровая

### ***Стандартные методы проверки геометрической точности токарно-винторезных станков***

Вращение и перемещение узлов и деталей станка во время проверки производят вручную, при отключенном шпинделе, а в отдельных случаях при наименьшей частоте вращения шпинделя.

1. Радиальное биение наружной центрирующей поверхности шпинделя измеряют индикатором, установленным на неподвижную часть станка так, чтобы его измерительный наконечник касался наружной конической поверхности шпинделя и был ей перпендикулярен. После этого шпиндель приводят во вращение со скоростью, позволяющей регистрировать показания измерительного прибора (табл. 1.1, проверка 1). Биение проверяют в горизонтальной и вертикальной плоскостях. За радиальное биение центрирующей поверхности шпинделя принимают наибольшее из них.

2. Торцевое биение фланца шпинделя измеряется индикатором, установленным на неподвижной части станка так, чтобы его измерительный наконечник касался торцевой поверхности и был перпендикулярен к ней. Измерительный наконечник должен отстоять от оси вращения на возможно большее расстояние. Шпинделю сообщается медленное вращение (табл. 1.1, проверка 2). Измерение производят в четырех точках равномерно расположенных по окружности. Торцевое биение рабочего органа равно наибольшей алгебраической разности показаний измерительного прибора.

3. Радиальное биение упорного центра, вставленного в отверстие шпинделя, проверяют с помощью жесткого центра и индикатора

(табл. 1.1, проверка 3). Центр устанавливают в шпиндель станка. Измерительный наконечник подводят к центру так, чтобы он касался образующей конуса вблизи середины и был ей перпендикулярен. Шпиндель приводят в медленное вращение. Чтобы исключить из результатов измерения биение самого центра, после выполнения первого измерения его извлекают, поворачивают на  $180^\circ$  вокруг своей оси и вновь устанавливают в шпиндель станка с тем же усилием. Затем измерение повторяют. Биение проверяют в горизонтальной и вертикальной плоскостях. За радиальное биение принимают наибольшее из них, деленное на  $\cos\alpha$ , где  $\alpha$  – половина угла конуса.

4. Параллельность оси наружной поверхности пиноли задней бабки направлению продольного перемещения суппорта (табл. 1.1, проверка 4). Заднюю бабку с вдвинутой пинолью устанавливают на расстоянии не менее 400 мм от торца шпинделя и закрепляют. Затем пиноль выдвигают на 100 мм и закрепляют. Индикатор с подставкой крепят на суппорте. Измерения проводят при перемещении суппорта вдоль станины у торца пиноли и на расстоянии 100 мм от ее торца, после чего определяют разность показаний в двух положениях индикатора, которая и будет соответствовать отклонению от параллельности оси наружной поверхности пиноли задней бабки направлению продольного перемещения суппорта. Отклонения определяют в двух плоскостях: горизонтальной и вертикальной.

5. Параллельность направления перемещения пиноли задней бабки направлению перемещения суппорта определяют в двух плоскостях: вертикальной и горизонтальной (табл. 1.1, проверка 5). Заднюю бабку с минимальным вылетом пиноли, достаточным для проведения измерения, устанавливают на расстоянии не менее 400 мм от торца шпинделя. Индикатор со стойкой укрепляется на суппорте так, чтобы его измерительный штифт касался поверхности пиноли и был перпендикулярен ей. При этом пиноль задней бабки закреплена. Затем пиноль освобождают и выдвигают ее на величину равную 50 мм, после чего снова закрепляют. Суппорт с индикаторной стойкой перемещают до установки индикатора в ту же точку, что и при первоначальной установке. Отклонение определяется как разность показаний индикатора в двух положениях пиноли и суппорта.

6. Одновысотность оси вращения шпинделя и оси отверстия пиноли задней бабки проверяется с помощью цилиндрической оправки с центровыми отверстиями и индикатора со стойкой. Оправку

длиной, примерно равной максимальному диаметру обрабатываемой детали, устанавливают в центрах шпинделя и пиноли задней бабки (табл. 1.1, проверка 6). Индикатор со стойкой закрепляют на суппорте так, чтобы его измерительный наконечник касался поверхности оправки по ее верхней образующей. Наивысшую точку оправки находят перемещением поперечных салазок суппорта вперед и назад. Измерения производят в сечениях, расположенных на концах оправки. Для исключения из результатов измерения неточности изготовления профильного сечения контрольной оправки допускается поворачивать оправку на  $180^\circ$  вокруг своей оси.

Отклонение от одновысотности осей рабочих органов относительно общей базовой плоскости при измерении с поворотом оправки равно разности двух средних арифметических значений показаний измерительного прибора, полученных при измерении до и после ее поворота. При этом для каждого положения оправки (до поворота и после него) определяют среднее арифметическое показаний измерительного прибора в сечениях I и II. Пример расчета приведен в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Расчет отклонения от одновысотности оси вращения шпинделя и оси отверстия пиноли задней бабки

Сечение измерения	Положение контрольной оправки	Показание индикатора, мкм	Среднее арифметическое показаний индикатора, мкм
I	исходное	8	11
	после поворота на $180^\circ$	14	
II	исходное	18	22
	после поворота на $180^\circ$	26	

Отклонение от одновысотности осей рабочих органов будет равно  $22 - 11 = 11$  мкм.

7. Прямолинейность продольного перемещения суппорта в вертикальной плоскости (табл. 1.1, проверка 7). Контрольную оправку устанавливают в центрах. Измерительный прибор устанавливают на

суппорт. Измерительный наконечник должен касаться образующей оправки и быть перпендикулярным ей. Измерения проводят при перемещении суппорта на заданную длину. Отклонение от прямолинейности траектории перемещения равно наибольшей алгебраической разности показаний измерительного прибора. Если показания измерительного прибора на концах оправки неодинаковы, то отклонения определяют расчетным путем по формуле

$$Y'_i = Y_i - \frac{Y_L - Y_0}{L} X_i - Y_0,$$

где  $Y_i$  – показания измерительного прибора в  $i$ -й точке с координатой  $X_i$ ;

$Y_0$  и  $Y_L$  – показания измерительного прибора в начале и конце перемещения;

$L$  – длина перемещения (рис. 1.8).

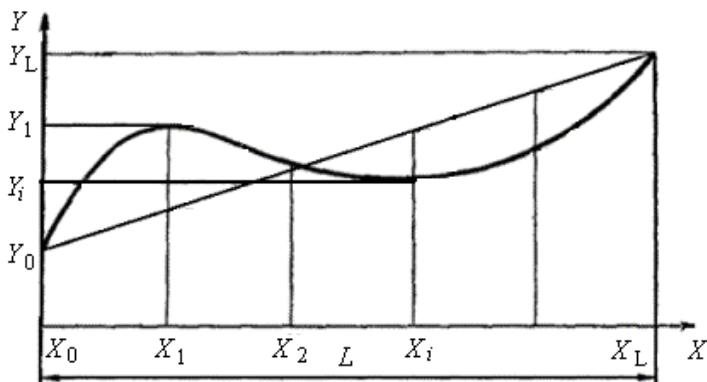


Рис. 1.8. Схема для расчета отклонения от прямолинейности

Пример расчета отклонения от прямолинейности перемещения при разных показаниях измерительного прибора в начале и конце перемещения. Измерение проводилось на длине перемещения 400 мм с интервалами (шагами) измерения 100 мм. Результаты измерения и расчета представлены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Результаты измерения и расчета отклонения от прямолинейности

Точка измерения $i$	Результат измерения		Результаты расчета $Y'_i$ , мкм
	$X_i$ , мм	$Y_i$ , мкм	
0	0	5	0
1	100	6	-1
2	200	8	-1
3	300	10	-1
4	400	13	0

Из таблицы следует:

$$Y'_{\max} = 0; \quad Y'_{\min} = -1 \text{ мкм.}$$

Отклонение от прямолинейности перемещения  $\Delta = -1$  мкм.

8. Проверка точности станка по изделию производится путем проверки точности геометрической формы цилиндрической поверхности образца, обработанного на станке.

Для проверки точности используются образцы в виде валика диаметром  $d \geq D/8$  и длиной  $L \approx D/2$ , но не более 500 мм ( $D$  – максимальный диаметр обработки на данном станке). При  $L > 50$  образец изготавливается с тремя поясками шириной  $a = 20$  мм, расположенными по концам и в середине. Образец закрепляется в патроне. На предварительно изготовленном образце обтачивают пояски, а затем микрометром измеряют их диаметры в поперечном и продольном сечениях (рис. 1.9).

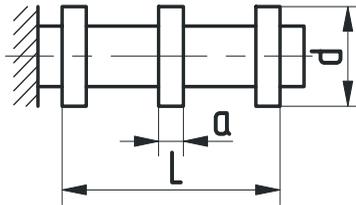


Рис. 1.9. Форма образца для проверки точности станка по изделию

Постоянство диаметров в поперечном сечении проверяется на пояске, ближайшем к месту крепления. Измерения проводят в четырех продольных сечениях, т. е. при повороте микрометра относительно детали через  $45^\circ$ . Допустимое отклонение – 10 мкм при максимальном диаметре обрабатываемых заготовок  $D \leq 800$  мм.

Постоянство диаметров в продольном сечении определяется путем измерения диаметров всех поясков. Разность диаметров двух соседних поясков не должна превышать 75 % полученной разности диаметров наружных поясков. Большой диаметр должен располагаться вблизи передней бабки.

9. Проверка прямолинейности торцевой поверхности детали производится путем торцового обтачивания стальной или чугунной заготовки (типа планшайбы) с диаметром не менее высоты центров станка. Обрабатываемая поверхность предварительно разделяется на две или три концентрические поверхности, одна из которых центральная (рис. 1.10). Измерительный прибор устанавливается на суппорте, наконечник индикатора касается измеряемой поверхности и перпендикулярен ей. Прибор перемещают в поперечном направлении салазками. Измерение проводят в двух взаимно перпендикулярных сечениях за счет поворота шпинделя.

Отклонение от прямолинейности равно половине наибольшей разности показаний индикатора. Допустимое отклонение для образца диаметром 200 мм равно 15 мкм (только в сторону вогнутости).

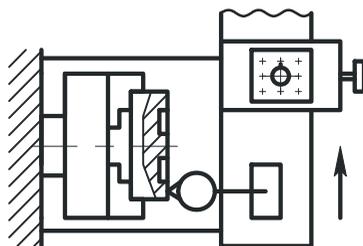


Рис. 1.10. Схема проверки прямолинейности торцевой поверхности детали

#### 10. Проверка точности винторезной цепи.

Контрольную пару винт-гайка с шагом, возможно близким к шагу ходового винта, устанавливают в центрах. Прибор для измерения длины устанавливают на суппорте так, чтобы его измерительный

наконечник упирался в торец контрольной гайки (рис. 1.11). Станок настраивают на нарезание резьбы с шагом, равным шагу контрольной пары. При включении вращения шпинделя гайка контрольной пары и суппорт будут перемещаться вдоль винта. Отклонение определяется как наибольшая разность показания прибора на любом участке измерения в пределах длины измерения.

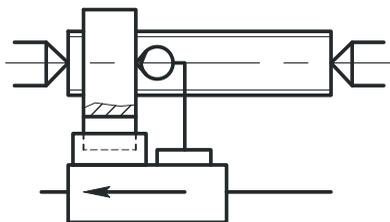


Рис. 1.11. Схема проверки кинематической точности винторезной цепи

Допустимое отклонение для станков с наибольшим расстоянием между центрами менее 2000 мм составляет 40 мкм на длине измерения 300 мм.

### ***Контрольные вопросы***

1. Что понимается под точностью станка?
2. Что называется геометрической точностью станков?
3. Какая точность называется кинематической и от чего она зависит?
4. Какие виды брака могут иметь место при обработке деталей на станках невысокой точности?
5. Какой нормативный документ регламентирует допустимую погрешность станков?
6. Какие приборы и инструменты применяются для проверки геометрической точности станка?
7. Какие стандартные методы применяются для проверки геометрической точности токарно-винторезного станка и в чем они заключаются?
8. Как осуществляется проверка геометрической точности станка по изделию?
9. Как проводится проверка кинематической точности станка?

## Лабораторная работа № 2

### НАСТРОЙКА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

#### *Цель работы*

Сформировать практические навыки выполнения расчетов по настройке кинематических цепей станков.

#### *Оборудование, приспособления, инструмент*

Вертикально-сверлильный и токарно-винторезный станки, плакат «Условные обозначения элементов кинематических схем».

#### *Задание*

- Изучить условные обозначения элементов станка на кинематических схемах.
- Выполнить настройку кинематических цепей в соответствии со своим вариантом (табл. 2.1), для чего вычертить поочередно схемы 1, 2 и 3 (рис. 2.1), записать для каждой расчетные перемещения, уравнения кинематического баланса, вывести формулы настройки.
- Определить передаточное отношение коробки скоростей (схема 1), подобрать сменные колеса гитары зубчатых колес (схемы 2 и 3) для обеспечения заданных режимов движений.

#### *Содержание отчета*

Отчет по работе должен содержать:

- название и цель работы;
- применяемое оборудование и пособия;
- индивидуальное задание;
- кинематические схемы 1, 2 и 3 (рис. 2.1);
- расчетные перемещения цепей, уравнения кинематического баланса цепей, формулы настройки, расчеты по настройке цепей.

## Индивидуальные задания

№ варианта	Схема 1	Схема 2	Схема 3	
	Частота вращения $n$ , мин <sup>-1</sup>	Частота вращения $n$ , мин <sup>-1</sup>	Тип резьбы	Параметр нарезаемой резьбы
1	290	550	модульная	модуль 6,5 мм
2	380	1000	модульная	модуль 4,5 мм
3	1350	1150	модульная	модуль 5,5 мм
4	850	780	модульная	модуль 2,25 мм
5	480	250	модульная	модуль 1,25 мм
6	1150	420	дюймовая	30 ниток на 1"
7	430	600	дюймовая	24 нитки на 1"
8	550	170	дюймовая	22 нитки на 1"
9	920	900	дюймовая	18 ниток на 1"
10	750	1200	дюймовая	16 ниток на 1"
11	1420	710	питчевая	11 питчей
12	2100	850	питчевая	13 питчей
13	2600	320	питчевая	15 питчей
14	600	480	питчевая	18 питчей
15	790	600	питчевая	19 питчей

***Условные изображения элементов кинематических цепей на схемах. Передаточные отношения***

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

Кинематической цепью называют совокупность кинематических звеньев (пар), передающих движение от начального звена к конечному, например, от электродвигателя к шпинделю. Кинематическая цепь станка состоит из различных передач: зубчатых, реечных, ременных, червячных и др., расположенных в определенной последовательности. Условные обозначения элементов кинематических цепей на схемах предусмотрены ГОСТ 2.770-68 (табл. 2.2).

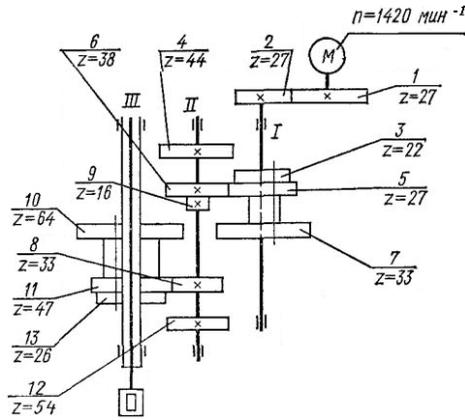


Схема 1

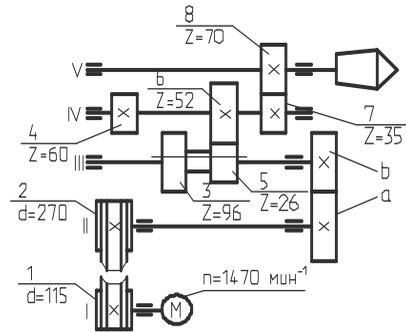


Схема 2

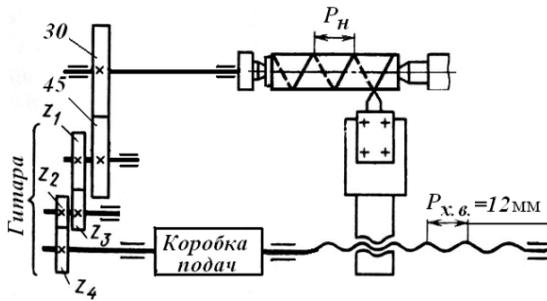


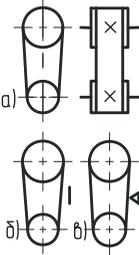
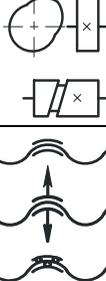
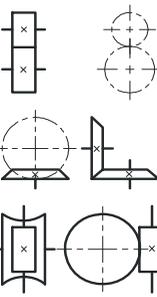
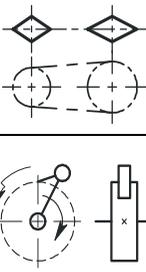
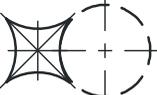
Схема 3

Рис. 2.1. Кинематические схемы станков

Таблица 2.2

Условные обозначения элементов кинематических цепей  
на схемах

Наименование элемента	Условное обозначение	Наименование элемента	Условное обозначение	
1	2	3	4	
Вал, ось, стержень		Подшипники скольжения и качения (без уточнения типа): а) радиальный; б) упорный	а)	
Неподвижное звено				б)
Неподвижное соединение детали с валом				
Муфты: а) общее обозначение;	а)	Подшипники качения: в) радиальный; г) радиально-упорный односторонний; д) радиально-упорный двусторонний	г)	
нерасцепляемые (неуправляемые):	б)			д)
б) упругая;	в)			
в) компенсирующая;	г)	ж)		
сцепляемая (управляемая):	д)		з)	
г) общее обозначение	е)			и)
д) односторонняя	ж)	к)		
е) двухсторонняя;	з)		и) упорный односторонний	
ж) сцепляемая электрическая;	и)			к) упорный двусторонний
з) автоматическая (самодействующая), общее обозначение	к)	Шкив ступенчатый, закрепленный на валу		
Тормоз. Общее обозначение без уточнения типа				

1	2	3	4
Ременные передачи: а) без уточнения типа ремня; б) плоским ремнем; в) клиновидным ремнем		Кулачки: плоский вращающийся; цилиндрический Передачи винт с гайкой: а) неразъемной; б) разъемной; в) неразъемной с шариками	
Зубчатые передачи: а) с цилиндрическими колесами б) с коническими колесами в) червячная передача		Передача цепью. Общее обозначение без уточнения типа Храповый зубчатый механизм односторонний с наружным зацеплением	
Ременная зубчатая передача (без уточнения типа зубьев)		Мальтийский механизм с наружным зацеплением	

Кроме изображения кинематических звеньев на кинематической схеме указывают число зубьев зубчатых и червячных колес, число заходов винтов, диаметры шкивов, частоту вращения вала электродвигателя, его мощность и др.

Основным кинематическим параметром передачи вращательного движения является передаточное отношение  $i$ , которое определяется как отношение частоты вращения ведомого звена к частоте вращения ведущего звена передачи. Из этого отношения выводятся формулы для определения передаточных отношений различных передач. Передаточное отношение выражается отношением диаметров шкивов для ременной передачи  $i = \frac{d_1}{d_2}$ , отношением чисел

зубьев колес зубчатых передач  $i = \frac{z_1}{z_2}$ , отношением числа заходов

червяка к числу зубьев червячного колеса червячной передачи  $i = \frac{k}{z}$  и т. д.

Передачи, преобразующие вращательное движение в поступательное, характеризуются ходом – величиной поступательного перемещения ведомого элемента за 1 оборот ведущего. Для реечной передачи величина хода равна

$$H = t \cdot z = \pi \cdot m \cdot z, \text{ мм}, \quad (2.1)$$

где  $t$  – шаг зубьев рейки,  $t = m\pi$ , мм;

$z$  – число зубьев реечного колеса;

$m$  – модуль реечной передачи, мм.

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

$$H = P \cdot k, \text{ мм}, \quad (2.2)$$

где  $P$  – шаг винта, мм;

$k$  – число заходов винта.

### ***Порядок кинематической настройки цепей***

Чтобы обеспечить необходимые скорости перемещений конечных звеньев кинематической цепи для получения деталей заданной формы и размеров, производят кинематическую настройку станка, которая в основном сводится к определению параметров органа настройки. Органом настройки изменяется передаточное отношение цепи. Органом настройки может служить коробка скоростей, коробка подач, гитара сменных колес, ременная передача со сменными шкивами и пр.

Настройка кинематической цепи состоит из следующих этапов:

- определение расчетных перемещений конечных звеньев цепи;
- составление уравнения кинематического баланса, связывающего перемещения начального и конечного звеньев цепи;
- вывод формулы настройки.

Для получения детали нужной геометрической формы необходимо заготовке и режущему инструменту при обработке на станке сообщить соответствующие движения. Кинематическая цепь станка, обеспечивающая инструменту или заготовке главное движение, называется цепью главного движения. Она связывает источник движения с исполнительным органом станка и обычно придает ему вращательное движение. При этом кинематическая цепь должна обеспечить за  $n_1$  оборотов двигателя  $n_2$  оборотов шпинделя. Эти согласованные перемещения исполнительных органов станка принято называть **расчетными перемещениями конечных звеньев цепи**. Для цепи главного вращательного движения расчетные перемещения имеют вид:

$$n \text{ об. эл. двигателя} \rightarrow n \text{ об. шпинделя.} \quad (2.3)$$

При токарной обработке детали суппорту станка с установленным на нем резцом сообщают поступательное перемещение. При этом движения исполнительных органов станка согласовываются так, чтобы за один оборот шпинделя суппорт перемещался бы на заданную величину подачи  $S$ , мм/об. Расчетные перемещения цепей продольной и поперечной подач записываются:

$$1 \text{ об. шпинделя} \rightarrow S, \text{ мм/об.} \quad (2.4)$$

При нарезании резьбы резцом на токарном станке величина подачи будет равна шагу нарезаемой резьбы.

Для кинематических цепей, обеспечивающих минутную подачу, расчетные перемещения конечных звеньев имеют вид:

$$n \text{ об. эл. двигателя} \rightarrow S, \text{ мм/мин.} \quad (2.5)$$

**Уравнение кинематического баланса цепи** – это математическое выражение связи движений начального и конечного органов кинематической цепи станка. В уравнения кинематического баланса входят кинематические параметры всех звеньев цепи от начального до конечного.

Если кинематическую цепь составляют звенья, передающие только вращательное движение, то уравнение баланса состоит из переда-

точных отношений передач, а размерности движения начального  $n_1$  и конечного  $n_2$  звеньев одинаковы.

$$n_1 \cdot i_{\text{общ}} = n_1 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot i_4 = n_2, \text{ мин}^{-1}, \quad (2.6)$$

где  $i_{\text{общ}}$  – общее передаточное отношение цепи, равное произведению передаточных отношений  $(i_1, i_2, i_3, i_4)$  отдельных передач, составляющих цепь.

Если в кинематическую цепь входят кроме звеньев, передающих вращательное движение, еще и звенья, преобразующие вращательное движение в поступательное, то уравнение кинематического баланса содержит еще и параметр преобразующего механизма (ход). В таких цепях начальное звено имеет вращательное движение, а конечное звено цепи при помощи преобразующей передачи (винт-гайка или реечная передача) получит поступательное движение. Следовательно, размерности движения конечных звеньев неодинаковы.

$$n_1 \cdot i_{\text{общ}} \cdot H = S, \text{ мм/мин}, \quad (2.7)$$

где  $H$  – величина хода звена, преобразующего вращательное движение в поступательное, мм.

В цепях подачи токарных и некоторых других станков величина подачи назначается на один оборот начального звена (шпинделя):

$$1 \text{ об} \cdot i_{\text{общ}} \cdot H = S, \text{ мм/об}. \quad (2.8)$$

**Формула настройки** – преобразованное уравнение кинематического баланса цепи относительно параметра звена настройки. Подставив в формулу настройки заданную скорость движения конечного звена цепи, определяем требуемое передаточное отношение звена настройки.

### ***Примеры кинематической настройки цепей***

На схеме 1 рис. 2.1 приведена кинематическая цепь главного движения вертикально-сверлильного станка. Эта цепь связывает вращение электродвигателя с вращением шпинделя станка. Поэто-

му расчетные перемещения для данной цепи запишутся в соответствии с (2.3).

Уравнение кинематического баланса согласно (2.6) будет иметь вид:

$$n_{\text{эл.дв}} \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 = n_{\text{шп}}, \text{ мин}^{-1}.$$

Передаточные отношения  $i_2$  и  $i_3$  представлены подвижными блоками зубчатых колес, смещение которых вдоль валов приводит к изменению передаточных отношений. Поэтому уравнение кинематического баланса можно записать следующим образом:

$$n_{\text{эл.дв}} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \left. \begin{array}{c} \frac{z_3}{z_4} \\ \frac{z_5}{z_6} \\ \frac{z_7}{z_8} \end{array} \right\} \cdot \left. \begin{array}{c} \frac{z_9}{z_{10}} \\ \frac{z_8}{z_{11}} \\ \frac{z_{12}}{z_{13}} \end{array} \right\} = n_{\text{шп}}.$$

Настройка цепи выполняется коробкой скоростей с блоками зубчатых колес. В связи с этим формулу настройки выводим для коробки скоростей:

$$i = i_2 \cdot i_3 = \frac{n_{\text{шп}} \cdot z_2}{n_{\text{эл.дв}} \cdot z_1}.$$

К примеру, необходимо настроить кинематическую цепь на частоту вращения шпинделя  $700 \text{ мин}^{-1}$ . Рассчитаем требуемое передаточное отношение коробки скоростей:

$$i = i_2 \cdot i_3 = \frac{n_{\text{шп}} \cdot z_2}{n_{\text{эл.дв}} \cdot z_1} = \frac{700 \cdot 27}{1420 \cdot 27} = 0,49.$$

Переключение блоков коробки скоростей обеспечивает 9 передаточных отношений:

$$\begin{aligned} \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} &= \frac{22}{44} \cdot \frac{16}{64} = 0,125; & \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_{12}}{z_{13}} &= \frac{27}{38} \cdot \frac{54}{26} = 1,47; \\ \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_8}{z_{11}} &= \frac{22}{44} \cdot \frac{33}{47} = 0,35; & \frac{z_7}{z_8} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} &= \frac{33}{33} \cdot \frac{16}{64} = 0,25; \\ \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_{12}}{z_{13}} &= \frac{22}{44} \cdot \frac{54}{26} = 1,03; & \frac{z_7}{z_8} \cdot \frac{z_8}{z_{11}} &= \frac{33}{33} \cdot \frac{33}{47} = 0,7; \\ \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} &= \frac{27}{38} \cdot \frac{16}{64} = 0,17; & \frac{z_7}{z_8} \cdot \frac{z_{12}}{z_{13}} &= \frac{33}{33} \cdot \frac{54}{26} = 2,07. \\ \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_8}{z_{11}} &= \frac{27}{38} \cdot \frac{33}{47} = 0,5; \end{aligned}$$

Выбираем из девяти передаточных отношений ближайшее к рассчитанному. Принимаем

$$\frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_8}{z_{11}} = \frac{27}{38} \cdot \frac{33}{47} = 0,5.$$

Подставив выбранное передаточное отношение в уравнение кинематического баланса, определим действительную частоту вращения шпинделя:

$$n_{\text{шп}} = 1420 \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{27}{38} \cdot \frac{33}{47} = 708 \approx 710 \text{ мин}^{-1}.$$

Необходимое положение подвижных блоков зубчатых колес и соответствующая ему частота вращения шпинделя устанавливаются рукояткой управления коробки скоростей.

На схеме 2 рис. 2.1 также приведена кинематическая цепь главного движения, но только токарного многорезцового полуавтомата. Следовательно, расчетные перемещения запишутся так же, как в предыдущем примере. Эта цепь связывает электродвигатель со шпинделем через ременную передачу  $\frac{d_1}{d_2}$ , гитару сменных колес  $\frac{a}{b}$ ,

блок зубчатых колес и постоянную передачу  $\frac{z_7}{z_8}$ . Уравнение кинематического баланса цепи:

$$n_{\text{эл.дв}} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot \frac{a}{b} \left\{ \begin{array}{l} \frac{z_3}{z_4} \\ \frac{z_5}{z_6} \end{array} \right\} \cdot \frac{z_7}{z_8} = n_{\text{шп}}.$$

Настройка цепи выполняется одновременно блоком и гитарой зубчатых колес. Поэтому формула настройки имеет вид:

$$i = i_{\text{гит}} \cdot i_{\text{бл}} = \frac{n_{\text{шп}} \cdot d_2 \cdot z_8}{n_{\text{эл.дв}} \cdot d_1 \cdot z_7}.$$

Настройка цепи на определенную частоту вращения шпинделя осуществляется установкой блока в одно из двух положений и подобранной для данного положения блока гитарой зубчатых колес. Гитара подбирается из набора колес с числом зубьев: 26; 30; 35; 40; 45; 45; 50; 55; 60; 64. Подобранная гитара должна соответствовать условию

$$a + b = 90.$$

На схеме 3 представлена винторезная цепь токарно-винторезного станка, предназначенная для нарезания резьбы резцом. Эта цепь согласует вращение шпинделя и подачу суппорта таким образом, чтобы за один оборот шпинделя суппорт переместился на шаг резьбы  $P_{\text{н}}$ . Расчетные перемещения имеют вид:

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

Уравнение кинематического баланса винторезной цепи:

$$1 \text{ об. шп.} \cdot \frac{30}{45} \cdot i_{\text{гит}} \cdot i_{\text{к.п.}} \cdot P_{\text{х.в.}} = P_{\text{н}}.$$

Звеньями настройки цепи являются гитара зубчатых колес и коробка подач. Для настройки цепи могут использоваться одновременно оба звена настройки или только гитара зубчатых колес.

При настройке винторезной цепи только гитарой зубчатых колес движение от шпинделя на суппорт идет, минуя коробку подач. Тогда передаточное отношение коробки подач  $i_{к.п.} = 1$ .

Выводим формулу настройки цепи для гитары зубчатых колес:

$$i_{\text{гит}} = \frac{Z_1}{Z_2} \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{45 \cdot P_{\text{н}}}{30 \cdot i_{\text{к.п.}} \cdot P_{\text{х.в.}}}$$

После сокращения получим формулу настройки в виде:

$$i_{\text{гит}} = \frac{Z_1}{Z_2} \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{P_{\text{н}}}{8}$$

В формулу настройки величину  $P_{\text{н}}$  необходимо подставлять в тех же единицах измерения что и  $P_{\text{х.в.}}$ . Параметры нарезаемых резьб переводят в метрическую систему по следующим формулам:

$$\text{для дюймовой резьбы } P_{\text{н}} = \frac{25,4}{n}, \text{ мм;}$$

$$\text{для модульной резьбы } P_{\text{н}} = \pi t, \text{ мм;}$$

$$\text{для питчевой } P_{\text{н}} = \frac{25,4\pi}{\rho}, \text{ мм,}$$

где  $n$ ,  $t$ ,  $\rho$  – число ниток на 1", модуль и число питчей нарезаемой резьбы соответственно.

Гитару сменных зубчатых колес составляют из колес «пяткового» набора:

20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75;  
80; 85; 90; 95; 100; 105; 110; 115; 120; 127.

На токарно-винторезных станках применяются двухпарные гитары с подвижными осями. Поэтому рассчитанную гитару проверяют по условию сцепляемости:

$$Z_1 + Z_2 \geq Z_3 + 15 \dots 20;$$

$$Z_3 + Z_4 \geq Z_2 + 15 \dots 20.$$

Методы подбора сменных зубчатых колес бывают точные и приближенные. К точным методам настройки относится метод разложения на множители. Числитель и знаменатель передаточного отношения гитары, выраженного простой дробью, раскладывают на простые множители, а затем умножением (делением) числителя и знаменателя на одно и то же число получают числа зубьев сменных колес.

К приближенным методам настройки относится метод замены часто встречающихся чисел приближенными дробями. Для облегчения расчетов гитары сменных зубчатых колес значения  $25,4$ ;  $\pi$ ;  $25,4\pi$  с небольшой погрешностью можно заменить дробями, приведенными в табл. 2.3. Этот метод применяется при подборе сменных колес гитар для нарезания модульной, дюймовой и питчевой резьб.

Таблица 2.3

Приближенные значения величин

$\pi$	$25,4$	$25,4\pi$
$\frac{22}{7}$	$\frac{127}{5}$	$\frac{22}{7} \cdot \frac{127}{5}$
$\frac{33}{25} \cdot \frac{27}{11}$	$\frac{18 \cdot 24}{17}$	$\frac{21 \cdot 19}{5}$
$\frac{19 \cdot 21}{127}$	$\frac{40}{7} \cdot \frac{40}{9}$	$\frac{27}{2} \cdot \frac{65}{11}$

К примеру, необходимо подобрать сменные колеса гитары для нарезания дюймовой резьбы с числом ниток на  $1'' n = 7$ .

$$i_{\text{гит}} = \frac{P_{\text{н}}}{8} = \frac{25,4}{n \cdot 8} = \frac{18 \cdot 24}{17 \cdot 7 \cdot 8} = \frac{18 \cdot 3}{17 \cdot 7} = \frac{18 \cdot (5)}{17 \cdot (5)} \cdot \frac{3 \cdot (10)}{7 \cdot (10)} = \frac{90 \cdot 30}{85 \cdot 70} = \frac{90 \cdot 30}{70 \cdot 85}.$$

Условие сцепляемости обеспечивается:

$$90 + 70 \geq 30 + 15 \dots 20;$$

$$30 + 85 \geq 70 + 15 \dots 20.$$

### ***Контрольные вопросы***

1. Что называется кинематической схемой металлорежущего станка? Какие сведения она содержит?
2. Как обозначаются на кинематических схемах различные звенья цепи (валы, муфты, шпиндели, кинематические передачи и др.)?
3. Чему равны передаточные отношения различных кинематических пар (зубчатая, ременная, червячная и другие передачи)?
4. Какие передачи предназначены для преобразования вращательного движения в поступательное? Чему равен ход этих передач?
5. С какой целью выполняется настройка кинематической цепи станка?
6. Какие этапы включает настройка кинематических цепей?
7. Что называется уравнением кинематического баланса цепи? Какие параметры кинематической цепи оно содержит?
8. Что называется органом настройки кинематической цепи и что может использоваться в качестве органа настройки?
9. Для каких целей предназначена формула настройки кинематической цепи, как ее вывести?
10. Какие методы подбора гитары сменных зубчатых колес использовались в работе и в чем они заключаются?

## Лабораторная работа № 3

### ПРОГРАММИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ МОДЕЛИ 16К20Ф3С32

#### *Цель работы*

Изучить систему кодирования информации для УЧПУ 2P22 и процесс программирования механической обработки деталей.

#### *Оборудование, приспособления, инструмент*

Токарный станок с ЧПУ модели 16К20Ф3С32, комплект режущих инструментов, штангенциркуль.

#### *Задание*

- Ознакомиться с устройством и технической характеристикой станка.
- Изучить методику программирования процесса обработки деталей на станках с ЧПУ и систему кодирования информации для УЧПУ 2P22.
- Разработать последовательность обработки на токарном станке детали согласно заданию (табл. 3.1).
- Составить управляющую программу для обработки детали.
- По одной из разработанных программ произвести обработку детали на станке.

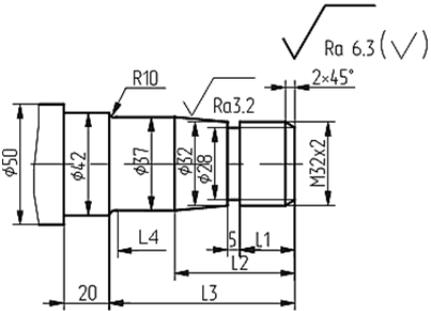
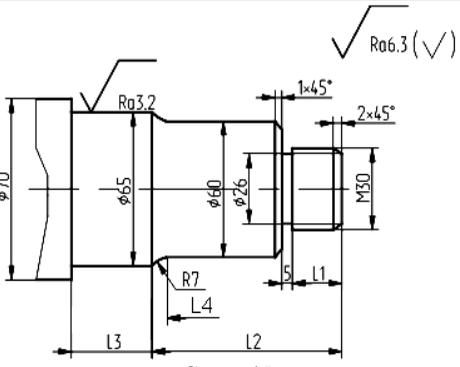
#### *Содержание отчета*

Отчет по работе должен содержать:

- название и цель работы;
- перечень применяемых оборудования и инструментов;
- индивидуальное задание;
- управляющую программу.

Таблица 3.1

Индивидуальные задания

Вариант	Деталь				Эскиз детали
	Размеры, мм				
	L1	L2	L3	L4	
1	16	35	48	45	 <p>Сталь 45</p>
2	23	42	65	60	
3	17	38	60	56	
4	20	36	56	50	
5	15	38	62	57	
6	21	39	55	48	
7	24	42	57	50	
8	25	75	22	70	 <p>Сталь 45</p>
9	30	85	27	80	
10	35	100	30	95	
11	40	105	25	100	
12	45	110	30	105	
13	50	115	22	112	
14	40	100	35	96	
15	32	95	30	89	

**Устройство и техническая характеристика токарного станка с ЧПУ 16K20Ф3С32**

Токарный станок с ЧПУ 16K20Ф3С32 предназначен для обработки в полуавтоматическом цикле наружных и внутренних поверхностей заготовок типа тел вращения в единичном и серийном производстве. Станок оснащен УЧПУ типа 2Р22 с вводом программы с клавиатуры, магнитной кассеты или перфоленты. Класс точности станка – П.

На станке используется автоматическая универсальная 6-позиционная головка с горизонтальной осью вращения. Головка оснащена инструментальным диском на шесть радиальных или три осевых инструмента. Устройство станка представлено на рис. 3.1.

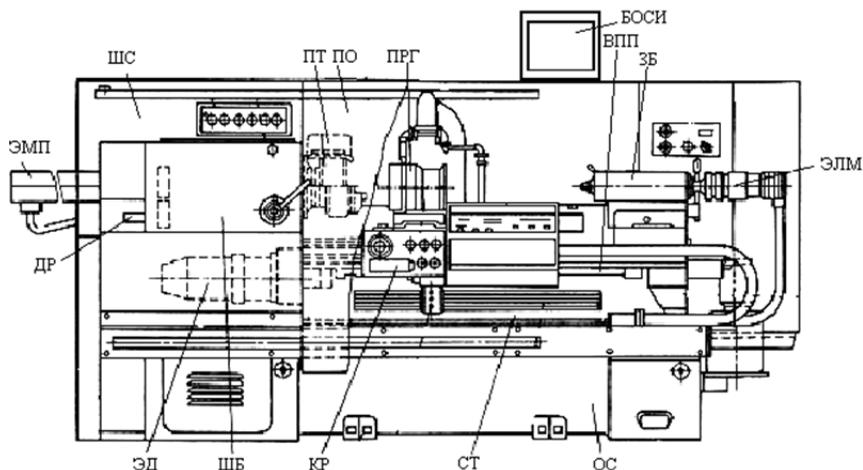


Рис. 3.1. Внешний вид токарного станка модели 16K20Ф3С32:

ОС – основание; СТ – станина; КР – каретка; ШБ – шпиндельная бабка; ЭД – электродвигатель продольного перемещения; ДР – датчик резбонарезания; ЭМП – электромеханический привод патрона; ШС – электросилового шкафа; ПТ – патрон; ПО – подвижное ограждение; ПРГ – поворотная револьверная головка; БОСИ – блок отображения символьной информации; ВПП – винтовая шариковая пара продольного перемещения; ЗБ – задняя бабка; ЭЛМ – электромеханический привод пиноли задней бабки

*Техническая характеристика станка:*

Наибольший диаметр обрабатываемого изделия над суппортом, мм	220
Пределы частот вращения шпинделя, (бесступенчатое регулирование), мин <sup>-1</sup>	20 – 2240
I диапазон	20 – 325
II диапазон	63 – 900
III диапазон	160 – 2240
Рекомендуемые пределы подач, мм/об:	
продольных	0,01 – 2,8
поперечных	0,005 – 1,4

Дискретность перемещений, мм:	
продольных	0,01
поперечных	0,005
Шаг нарезаемой резьбы, мм	0,01 – 40,95

Устройство ЧПУ 2P22 осуществляет управление движениями по двум координатам: Z – вдоль оси шпинделя, X – перпендикулярно оси шпинделя. Число одновременно управляемых координат – 2. При программировании процесса обработки детали можно использовать как абсолютную, так и относительную систему отсчета.

### ***Система кодирования и построения кадра управляющей программы***

УП состоит из нескольких кадров с переменным количеством слов. Порядок слов в кадре произвольный, начало кадра обозначается номером, а конец – символом ПС. Каждое слово в кадре состоит из адреса и цифр. Величины перемещений могут задаваться в абсолютных или относительных координатах. В одном кадре нельзя программировать два слова одного адреса. Символы адресов указаны в табл. 3.2.

Таблица 3.2

#### Обозначение адресов команд управляющей программы

Символ	Значение символа	Символ	Значение символа
A	Припуск под чистовую обработку	R	Дуга
B	С какого кадра повторение	G	Подготовительная функция
C	Фаска под углом 45°	S	Скорость главного движения
D	Выдержка времени	T	Функция инструмента
E	Функция подачи (быстрый ход)	U	Перемещение по оси X в приращениях
F	Функция подачи (рабочая подача)	W	Перемещение по оси Z в приращениях
H	Число повторений	X	Перемещение по оси X в абсолютных значениях
L	Цикл	Z	Перемещение по оси Z в абсолютных значениях
M	Вспомогательная функция	ПС	Конец кадра
N	Номер кадра		
P	Глубина резания, ширина резца		
Q	Галтель		

Функция подачи (рабочая подача в мм/об) программируется на обе оси одновременно. При нарезании резьбы под адресом F указывается шаг резьбы.

Скорость главного движения определяется частотой вращения шпинделя. Частота вращения шпинделя задается адресом S, например, S2 250, где 2 – диапазон частот вращения шпинделя, 250 – частота вращения,  $\text{мин}^{-1}$ .

Выдержка времени программируется под адресом D отдельным кадром. К примеру, выдержка времени 5 секунд записывается кадром N11D5PC.

Фаска под углом  $45^\circ$  задается адресом C и конечным размером по той координате, по которой идет обработка детали перед фаской. Знак под адресом C должен совпадать со знаком обработки по координате X. Направление по координате Z задается только в отрицательную сторону. Примеры записи фасок в кадре приведены на рис. 3.2.

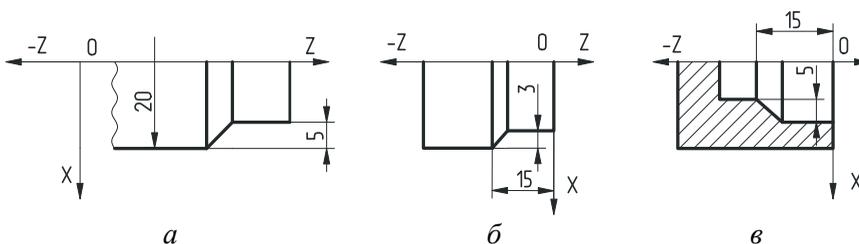


Рис. 3.2. Схемы и примеры записи фаски в кадре:  
*a* – X20 C5; *б* – Z-15 C3 или W-15 C3; *в* – Z-15 C-5 или W-15 C-5

Галтель задается адресом Q и конечным размером по той координате, по которой идет обработка детали перед галтелью. Знак под адресом Q должен совпадать со знаком обработки по координате X. Направление перемещения по координате Z задается только в отрицательную сторону (к торцу шпинделя). Примеры записи галтелей в кадре показаны на рис. 3.3.

Дуга задается координатами конечной точки дуги и радиусом под адресом R. При обработке дуги по часовой стрелке знак под адресом R положительный, против часовой стрелки – отрицательный знак. Примеры задания дуг в кадре показаны на рис. 3.4.

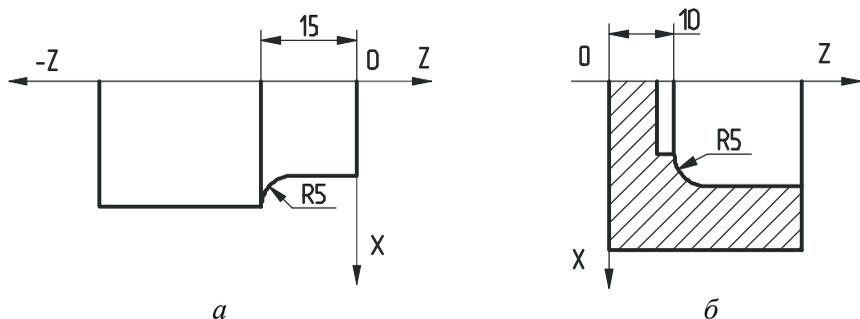


Рис. 3.3. Схемы и примеры записи галтелей в кадре:  
*a* – Z-15 Q5; *б* – Z10 Q-5

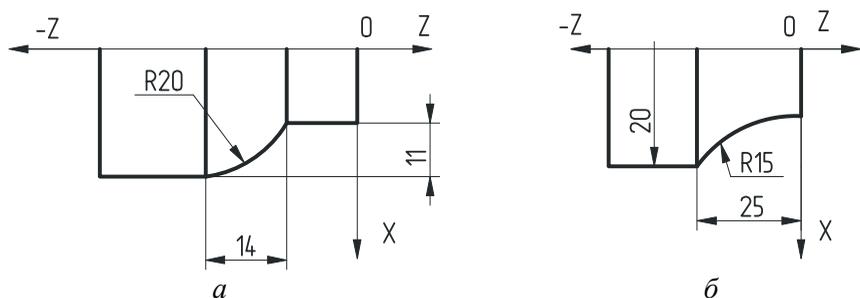


Рис. 3.4. Схемы и примеры записи дуги в кадре:  
*a* – U22 W-14 R20; *б* – X20 Z-25 R-15

Постоянные циклы задаются адресом L в режиме диалога оператора с устройством. В процессе обработки возможно использование циклов L01 – L11. В процессе диалога на экране БОСИ высвечиваются адреса параметров постоянных циклов, значения которых необходимо ввести. Постоянные циклы и их параметры представлены в табл. 3.3.

Цикл L01 предназначен для нарезания цилиндрической и конической резьб с автоматическим разделением на проходы. Перед программированием цикла определяют исходную точку цикла. Координата X этой точки равна наружному диаметру наружной или внутреннему диаметру внутренней резьбы. Координата Z этой точки должна отстоять от координаты начала резьбы на величину двойного шага резьбы (для обеспечения разгона привода станка).

Таблица 3.3

## Постоянные циклы, реализованные в УЧПУ

№ цикла	Название цикла	Функция, выполняемая устройством	Программируемые параметры
L01	Резьба	Цикл нарезания резьбы наружной, внутренней, цилиндрической, конической, многопроходной, однопроходной	F – шаг резьбы в миллиметрах; W – длина резьбы; X – внутренний диаметр резьбы (диаметр впадин); A – наклон резьбы; P – максимальная глубина резания за один проход (размер по радиусу) C – сбеги резьбы
L02	Канавка	Цикл прорезания прямоугольных канавок	D – выдержка времени в секундах; X – внутренний диаметр канавки; A – ширина канавки; P – ширина реза
L03	Н петля	Цикл «петля» при наружной обработке	W – длина петли
L04	В петля	Цикл «петля» при внутренней обработке	W – длина петли
L05	Т петля	Цикл «петля» при торцовой обработке	X – конечный диаметр подрезаемого торца
L06	Сверление	Цикл глубокого сверления	P – максимальная глубина сверления за один проход; W – глубина сверления
L07	Резьба	Цикл нарезания резьбы метчиком или плашкой	F – шаг резьбы в миллиметрах
L08	Ц обработка	Цикл черновой обработки с припуском и без припуска	A – припуск под чистовую обработку (размер в диаметрах); P – максимальная глубина резания за один проход (размер по радиусу)
L09	П обработка	Цикл обработки поковок	A – припуск под чистовую обработку (размер в диаметрах); P – максимальная глубина резания за один проход (размер по радиусу)
L10	Ч обработка	Цикл чистовой обработки	B – номер кадра начала описания контура детали
L11	Повторение	Цикл повторения участка программы	H – число повторений; B – номер кадра начала повторений

При многопроходном нарезании резьбы глубина резания P выбирается меньше глубины резьбы и принимается одинаковой для всех черновых проходов. При однопроходной обработке резьбы па-

параметр  $P$  выбирается равным глубине резьбы. В этом цикле указываются также шаг резьбы  $F$ , длина резьбы  $W$  со знаком минус, внутренний диаметр (диаметр впадин)  $X$ , наклон резьбы  $A$  (программируется без знака). Наклон равен приращению диаметров, для цилиндрических резьб  $A = 0$ . Резьба может быть выполнена со сбегом  $C$  или без него. Если  $C = 1$ , то сберг равен шагу резьбы, при  $C = 0$  сберг отсутствует.

Цикл L02 служит для выполнения канавок. Перед программированием цикла определяют исходную точку, координата  $Z$  которой совпадает с координатой левой кромки канавки. Цикл содержит перемещение до координаты  $X$  (внутренний диаметр канавки), выдержку времени  $D$  (если  $D$  не равно нулю), возврат в исходную точку на быстром ходу, смещение по координате  $Z$  в положительную сторону на величину  $P$  и т. д. до достижения ширины канавки  $A$ .

Для обработки канавки с перекрытием параметр  $P$  задается меньше ширины резца, а параметр  $A$  необходимо уменьшить на эту разность.

Цикл заканчивается отскоком по оси  $X$  в исходную точку, по оси  $Z$  инструмент остается в точке последнего прохода.

Циклы L03 наружной обработки и L04 внутренней обработки содержат перемещение с рабочей подачей на величину  $W$  с учетом знака, отскок на 1 мм по координате  $Z$  в положительную сторону, возврат на быстром ходу в исходную точку.

Цикл L05 обработки по торцу содержит перемещение на рабочей подаче по оси  $X$ , отскок на 1 мм по координате  $Z$  в положительную сторону, возврат на быстром ходу в исходную точку.

Если до цикла L05 была задана функция G10 (табл. 5.5), то в процессе обработки по мере изменения диаметра происходит переключение скорости шпинделя с целью поддержания постоянства скорости резания.

Цикл L06 предназначен для глубокого сверления с автоматическим разделением на проходы. Он содержит перемещение сверла с рабочей подачей на величину  $P$ , возврат на быстром ходу в исходную точку, перемещение на быстром ходу в точку, отстоящую на 3 мм от дна отверстия, полученного предыдущим проходом, перемещение с рабочей подачей на величину  $P + 3$  мм и т. д. до достижения заданной глубины отверстия  $W$ .

Цикл L07 нарезания резьбы метчиком или плашкой содержит перемещение с рабочей подачей равной шагу резьбы  $F$  на величину  $W$

с учетом знака, реверс шпинделя и возврат в исходную точку с рабочей подачей.

Цикл L08 многопроходной обработки применяется при обработке цилиндрической заготовки. Срезание припуска при этом производится параллельно образующей цилиндра. Исходной точкой цикла является точка с координатой X, равной диаметру заготовки, а координата Z – началу конечного контура детали.

Параметром цикла является припуск A под чистовую обработку. Если проход последний (чистовой), то  $A = 0$ . Вторым параметром цикла является глубина резания P. Описание детали программируется отдельными кадрами.

Величина оборотов и подача задается перед циклом из расчета наименьшего диаметра конечного контура при наружной обработке и наибольшего диаметра при внутренней обработке. Изменение частоты вращения происходит между кадрами. В конце цикла частота вращения шпинделя не восстанавливается. Цикл заканчивается в конечной точке описания детали.

Цикл L09 применяется в тех случаях, когда заготовка имеет форму, близкую к форме детали (например, поковка). Обработка ведется параллельно конечному контуру детали. Многопроходная обработка поковок в основном соответствует циклу L08.

Координата исходной точки цикла определяется из следующего условия. Если четвертый припуск по длине детали меньше припуска по диаметру, то в расчет принимается припуск по диаметру, а смещение по торцу берут равным 1/4 припуска по диаметру.

Если конечный контур детали начинается с фаски, галтели или конуса, то необходимо программировать в начале контура условную цилиндрическую ступень длиной равной расчетной величине припуска по координате Z.

После ввода последнего параметра циклов L08 и L09 на восьмой строке БОСИ высвечивается надпись «Описание детали». После этого следует ввести описание конечного контура детали. Описание детали производится в сторону шпинделя. Оно может состоять из одного или нескольких кадров, но не более 15 кадров. Кадры с фаской и галтелью считаются за два кадра. После окончания описания контура детали задается функция M17 (табл. 3.4).

Цикл L10 предназначен для чистовой обработки по контуру с заданного номера кадра. Координаты исходной точки совпадают с ко-

ординатами начала конечного контура. Параметром цикла является номер кадра начала описания контура детали В.

Цикл L11 – повторение заданного участка программы. Параметрами цикла являются число повторений Н и номер кадра с начала повторений В. Участок программы, который будет повторяться в цикле L11, должен заканчиваться функцией M18 (табл. 3.4).

Вспомогательные функции, задаваемые функцией М, приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

### Вспомогательные функции

Технологические команды	Функция технологической команды
M00	Программируемый останов
M01	Останов с подтверждением
M02	Конец программы
M08	Включение охлаждения
M09	Выключение охлаждения
M17	Конец описания детали для циклов L08, L09, L10
M18	Конец участка программы, который будет повторяться в цикле L11
M20	Передача управления роботу

В УЧПУ типа 2P22 применяются лишь подготовительные функции G05, G10, G11. Их назначение в кадрах управляющей программы приведено в табл. 3.5.

Таблица 3.5

### Подготовительные функции

Адрес функции	Использование функции
G05	Используется в тех кадрах программы, после отработки которых торможение в конце кадра производить не следует при сопряжении контуров
G10	Задается перед кадрами, где необходимо поддерживать постоянство скорости резания в зависимости от диаметра обработки
G11	Отменяет функцию G10
	Функции G10 и G11 программируются отдельными кадрами

Разработку управляющей программы с применением постоянных циклов L05, L08 и L10 рассмотрим на примере технологического процесса обработки вала (рис. 3.5). Заготовкой для вала является пруток диаметром 63 мм. Для обработки необходимы проходные и отрезной резцы. Режимы резания принимаем по табл. 3.6 и 3.7. Начало осей координат выбираем на оси заготовки у торца детали.

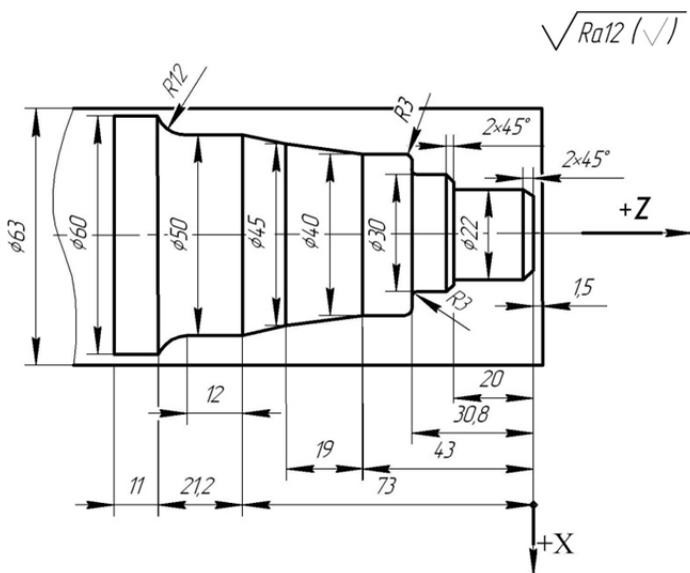


Рис. 3.5. Эскиз вала

Программа имеет следующий вид:

N1 F0.25 S2 560 T1 ПС

N2 X66 Z0 E ПС

N3 L05 X0 ПС

Постоянный цикл обработки торца

N4 X63 ПС

N5 L08 A1 P2 ПС

Цикл многопроходной обработки

N6 X22 C2 ПС

N7 Z-20 ПС

N8 X30 C2 ПС

N9 Z-30.8 Q3 ПС

N10 X40 Q3 ПС  
 N11 Z-43 ПС  
 N12 X45 W-19 ПС  
 N13 X50 Z-73 ПС  
 N14 W-12 ПС  
 N15 X60 W-9.2 R-12 ПС  
 N16 W-15 M17 ПС  
 N17 F0.1 S2 900 T2 ПС  
 N18 X24 Z0 E ПС  
 N19 X18 ПС  
 N20L10 B6 ПС  
 N21 F0.05 S2 450 T3 ПС  
 N22 X64 Z-109.2 E ПС  
 N23X0 ПС  
 N24X70 E ПС  
 N25M02 ПС

Цикл чистовой обработки

Отрезание детали

Таблица 3.6

Подача инструмента на токарных станках, мм/об

Вид обработки	Шероховатость, мкм	Радиус при вершине резца, мм			
		0,4	0,8	1,2	1,6
Черновое точение	Ra25	0,47	0,66	0,81	0,94
Получистовое точение	Ra12,5	0,35	0,51	0,63	0,72
	Ra6,3	0,25	0,33	0,42	0,49
Чистовое точение	Ra3,2	0,15	0,2	0,25	0,29
	Ra1,6	0,1	0,13	0,16	0,19

Таблица 3.7

Скорость резания при обработке стали ( $\sigma_B = 630-700$  МПа)  
на токарных станках, м/мин

Глубина резания $t$ , мм	Подача $S$ , мм/об										
	0,14	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
1	214	200	180	164	154	144	136	130	124	118	114
2	188	174	160	146	136	128	120	114	108	104	100
4	166	155	140	130	122	114	107	102	97	92	88

Примечание: материал инструмента для обработки сталей – Т15К6.

### *Контрольные вопросы*

1. Из каких основных узлов состоит токарный станок 16К20Ф3С32?
2. Как построен кадр управляющей программы?
3. Из каких составляющих состоит слово управляющей программы, и что они означают?
4. Под какими адресами в управляющей программе задаются команды?
5. Как программируется обработка галтелей, фасок, дуг?
6. Какие постоянные циклы реализуются в УЧПУ 2Р22 и какими параметрами они задаются?
7. Какие вспомогательные и подготовительные функции используются в УЧПУ 2Р22?

## Лабораторная работа № 4

# УСТРОЙСТВО ШИРОКОУНИВЕРСАЛЬНОГО КОНСОЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА МОДЕЛИ FU350MRApUG И НАСТРОЙКА ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ

### *Цель работы*

Ознакомиться с устройством и кинематикой широкоуниверсального консольно-фрезерного станка и настройкой универсальной делительной головки для выполнения различных видов работ.

### *Оборудование, приспособления, инструмент*

Широкоуниверсальный консольно-фрезерный станок модели FU350MRApUG, универсальная делительная головка УДГ Д-250 с задней бабкой, набор сменных зубчатых колес, дисковая фреза.

### *Задание*

- Изучить устройство и кинематическую схему широкоуниверсального консольно-фрезерного станка.
- Ознакомиться с назначением, устройством и кинематикой универсальной делительной головки, рассмотреть различные методы деления окружности заготовок на части.
- Выполнить расчеты по настройке УДГ в соответствии с индивидуальным заданием (табл. 4.1).
- По расчетам одного из вариантов произвести настройку станка и делительной головки.

### *Содержание отчета*

- Отчет по лабораторной работе должен содержать:
- название и цель лабораторной работы;
  - перечень оборудования, приспособлений и инструментов;
  - индивидуальное задание;
  - уравнения кинематического баланса цепей главного движения и подачи широкоуниверсального горизонтально-фрезерного станка;

- кинематическую схему универсальной делительной головки (рис. 4.4);
- расчеты настройки делительной головки для деления окружности заготовки на число частей в соответствии с заданием, схему установки зубчатых колес гитары дифференциала.

Таблица 4.1

### Индивидуальные задания

Вариант	Задание 1	Задание 2	Вариант	Задание 1	Задание 2
	Число делений на окружности заготовки $z$	Число делений на окружности заготовки $z$		Число делений на окружности заготовки $z$	Число делений на окружности заготовки $z$
1	9	61	9	25	81
2	11	63	10	26	83
3	13	67	11	27	87
4	14	69	12	32	89
5	15	71	13	34	91
6	18	73	14	35	93
7	22	77	15	36	97
8	30	79			

### *Устройство и техническая характеристика широкоуниверсального консольно-фрезерного станка*

Широкоуниверсальные консольно-фрезерные станки предназначены для фрезерования плоских поверхностей, пазов, канавок, уступов, фасонных поверхностей. Используя универсальные делительные головки на станках можно обрабатывать многогранники, прямозубые и косозубые зубчатые колеса методом копирования, развертки, муфты и другие детали. Устройство станка представлено на рис. 4.1.

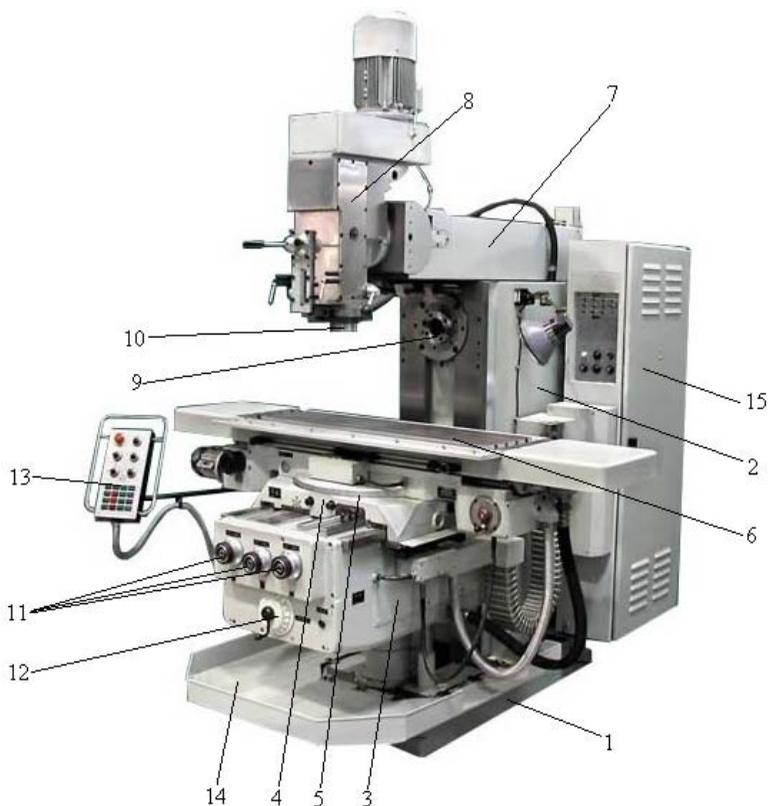


Рис. 4.1. Внешний вид станка:

1 – фундаментная плита; 2 – станина; 3 – консоль; 4 – поперечные салазки; 5 – поворотная плита; 6 – стол; 7 – хобот; 8 – универсальная фрезерная головка; 9 – горизонтальный шпиндель; 10 – вертикальный шпиндель; 11 – рукоятки ручного перемещения по осям X, Y, Z; 12 – механизм переключения подач; 13 – пульт управления; 14 – поддон для сбора СОЖ; 15 – шкаф с электрооборудованием

*Техническая характеристика широкоуниверсального консольно-фрезерного станка модели FU350MRAPUG.*

Класс точности станка	Н
Предельные размеры устанавливаемой заготовки, мм:	
длина	1250
ширина	315
высота	500

Наибольшее перемещение стола, мм:	
продольное	850
поперечное	270
вертикальное	500
Наибольший угол поворота стола, град	±45
Пределы частот вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup> :	
горизонтального	28...1400
универсальной фрезерной головки	56...2500
Пределы подачи стола, мм/мин:	
продольных	16...800
поперечных	16...800
вертикальных	2...250
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	5,5.

### ***Кинематика станка***

Кинематическая схема широкоуниверсального консольно-фрезерного станка модели FU350MRApUG приведена на рис. 4.2. Она состоит из цепей главного движения горизонтального и вертикального шпинделей, цепей продольной, поперечной и вертикальной подачи.

**Цепи главного движения.** Расчетные перемещения цепи главного движения горизонтального и вертикального шпинделей:

$$n \text{ об. эл. двигателя} \rightarrow n \text{ об. шпинделя.}$$

Горизонтальный шпиндель имеет 18 частот вращения. Уравнение кинематического баланса цепи:

$$3000 \cdot \frac{100}{315} \cdot \left\{ \begin{array}{c} \frac{32}{24} \\ \frac{23}{33} \\ \frac{17}{49} \end{array} \right\} \cdot \left\{ \begin{array}{c} \frac{33}{54} \\ \frac{28}{58} \\ \frac{24}{62} \end{array} \right\} \cdot \left\{ \begin{array}{c} \frac{62}{33} \\ \frac{14}{59} \end{array} \right\} = n_{\text{шп}}. \quad (4.1)$$

Привод вертикального шпинделя обеспечивает ему 12 частот вращения.

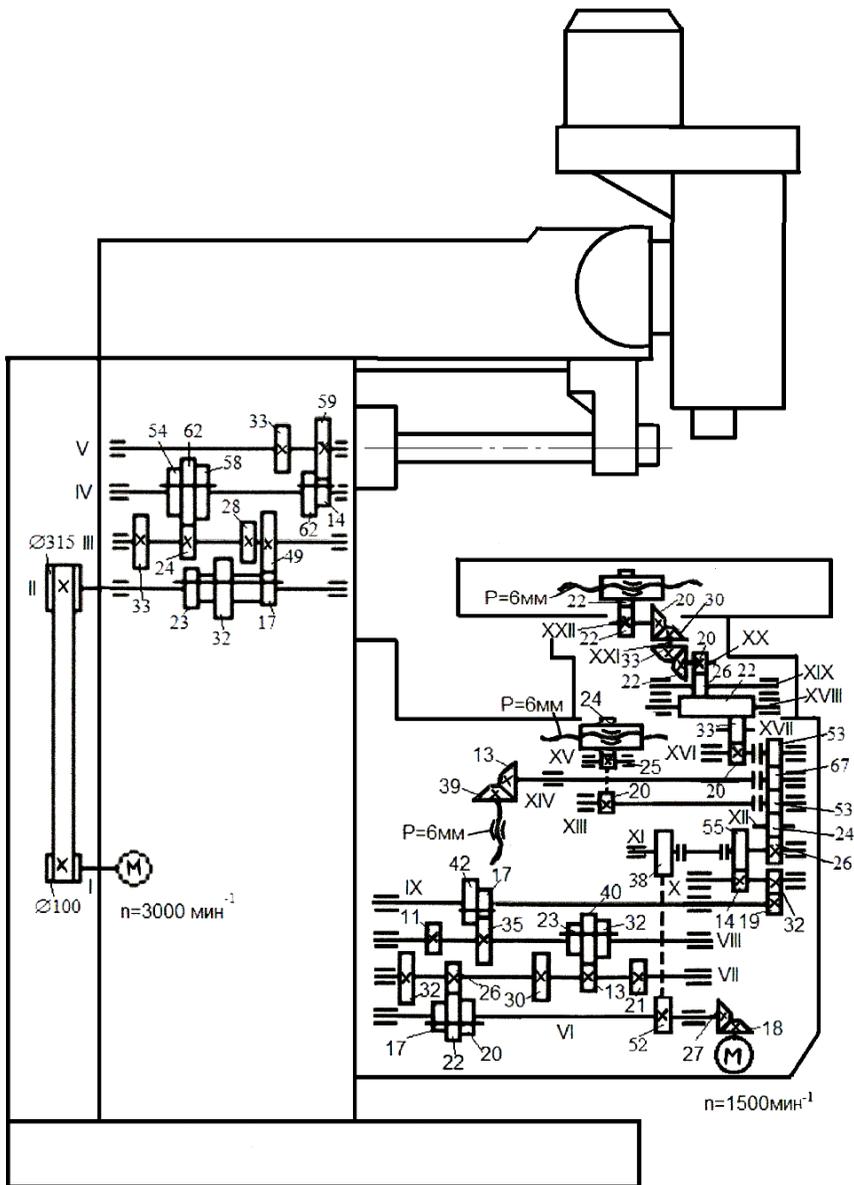


Рис. 4.2. Кинематическая схема станка модели FU350MRapUG

**Цепи подач.** Цепи подач обеспечивают продольное, поперечное и вертикальное перемещение заготовки. Движение подачи осуществляется от отдельного электродвигателя. Расчетные перемещения цепи продольных, поперечных и вертикальных подач имеют одинаковый вид:

$$n \text{ об. эл. двигателя} \rightarrow S, \text{ мм/мин.}$$

Величина подачи настраивается коробкой подач. От коробки подач вращение передается валу XII и далее через ряд кинематических пар ходовым винтам продольной, поперечной и вертикальной подач. Частоту вращения вала XII можно определить из формулы:

$$1500 \cdot \frac{18}{27} \cdot \left\{ \begin{array}{c} \frac{22}{26} \\ \frac{20}{30} \\ \frac{17}{32} \end{array} \right\} \cdot \left\{ \begin{array}{c} \frac{30}{23} \\ \frac{21}{32} \\ \frac{13}{40} \end{array} \right\} \cdot \left\{ \begin{array}{c} \frac{35}{17} \\ \frac{11}{42} \end{array} \right\} \cdot \frac{19}{32} \cdot \frac{14}{55} \cdot \frac{26}{24} = n_{\text{XII}}. \quad (4.2)$$

Включение продольной, поперечной и вертикальной подач осуществляется соответствующей муфтой. Ускоренное движение рабочих органов станка осуществляется цепью с зубчатой передачей  $\frac{52}{38}$ , минуя коробку подач.

### ***Назначение и устройство универсальной делительной головки***

Универсальная делительная головка при работе на универсально-фрезерном станке используется для выполнения двух основных функций: во-первых, для деления окружности обрабатываемой заготовки на равные (в некоторых случаях неравные) части, и, во-вторых, для обеспечения вращательного движения заготовке в процессе фрезерования на ней винтовых канавок. Делительные головки используют при изготовлении сверл, зенкеров, разверток, фрез, фрезерования цилиндрических и конических зубчатых колес, фрезерования торцов зубчатых муфт, кулачков и других различных деталей.

Обработку деталей при помощи делительных головок производят в центрах, в патроне или на оправке.

*Техническая характеристика универсальной делительной головки УДГ Д-250:*

Наибольший диаметр обрабатываемой детали, мм	250
Угол поворота шпинделя в вертикальной плоскости, град:	
вниз от линии центров	не менее 5
вверх от линии центров	не менее 95
Конус шпинделя	Морзе № 4
Передаточное отношение червячной пары	1:40
Число отверстий делительного диска:	
на одной стороне	16, 17, 19, 21, 23, 29, 30, 31
на другой стороне	33, 37, 39, 41, 43, 47, 49, 54
Число зубьев сменных колес	25, 25, 30, 35, 40, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100.

Делительную головку устанавливают на стол фрезерного станка и крепят к нему болтами. На опорной плоскости основания головки имеется два пригнанных параллельно шпинделю сухаря, которые обеспечивают параллельность оси шпинделя головки и направляющих стола станка. Общий вид делительной головки представлен на рис. 4.3. Делительная головка состоит из чугунного основания 1, на котором установлен корпус 5. Ослабив гайки можно повернуть корпус головки в вертикальной плоскости на определенный угол. Отсчет углов поворота производится по шкале и нониусу 7. В корпусе делительной головки находится пустотелый шпиндель. Концы отверстия шпинделя расточены под конус Морзе.

С передней стороны в шпиндель устанавливается центр 2, с задней – оправка для дифференциального деления. Передний конец шпинделя имеет наружную резьбу и центрирующий поясок 3 для установки и крепления трехкулачкового самоцентрирующего пат-

рона или поводкового патрона. На буртике шпинделя расположен лимб 4 для непосредственного деления.

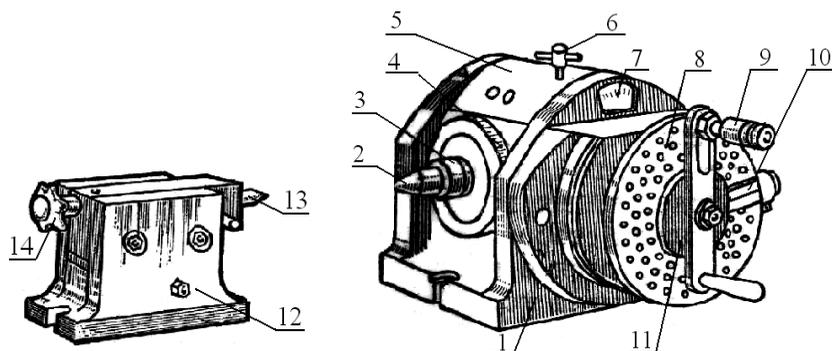


Рис. 4.3. Универсальная делительная головка

В средней части шпинделя находится червячное колесо с круговой выточкой на торце, в которую входит конец зажима 6 для фиксации шпинделя в процессе обработки. Червячное колесо получает вращение от червяка, расположенного в эксцентрической втулке. Червяк может быть введен в зацепление с червячным колесом или выведен из зацепления рычагом (на рис. 4.3 с обратной стороны головки). На боковой стороне делительной головки находится делительный диск 8, имеющий на одной и другой сторонах ряд concentrically расположенных окружностей с глухими отверстиями. Для обеспечения неподвижности боковой делительный диск может быть зафиксирован фиксатором. Деление осуществляется поворотом приводной планки с рукояткой и фиксатором 9, входящим в отверстия на делительном диске. Фиксатор устанавливается против выбранной окружности на делительном диске. Для облегчения процесса отсчета требуемого числа делений по диску используется раздвижной сектор 11, состоящий из линеек 10. Линейки могут быть повернуты одна относительно другой на любой угол (число промежутков между отверстиями) и зафиксированы между собой.

Длинные заготовки могут поддерживаться задней бабкой 12, пиноль с полуцентром 13 которой перемещается при вращении маховика 14.

### Способы деления и настройка делительной головки

Универсальная делительная головка позволяет осуществлять деление непосредственным, простым и дифференциальным способами.

**Непосредственное деление** осуществляется по лобовому делительному лимбу Л (рис. 4.4), на котором имеется 24 отверстия, расположенные по окружности. Непосредственное деление позволяет разделить окружность заготовки на 2, 3, 4, 6, 8, 12 и 24 части. Одно деление лобового лимба соответствует  $15^\circ$ . При непосредственном делении червяк выводят из зацепления с червячным колесом, что позволяет поворачивать шпиндель головки с делительным лимбом вручную. После поворота делительный лимб фиксируется фиксатором  $\phi_2$ . Метод прост и удобен, но его возможности весьма ограничены.

**Простое деление** выполняется поворотом рукоятки относительно неподвижного бокового делительного диска. Диск зафиксирован фиксатором  $\phi_1$ .

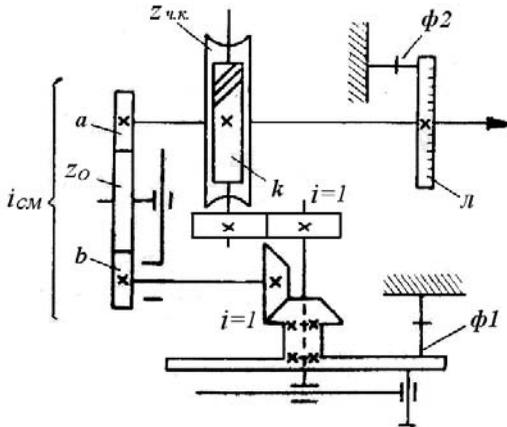


Рис. 4.4. Кинематическая схема делительной головки

При делении окружности заготовки на  $z$  частей число оборотов рукоятки  $n_p$  для поворота заготовки на  $\frac{1}{z}$  часть определяется из уравнения кинематического баланса рассматриваемой цепи:

$$n_p \cdot \frac{k}{z_{\text{ч.к.}}} = \frac{1}{z},$$

откуда

$$n_p = \frac{z_{\text{ч.к.}}}{k} \cdot \frac{1}{z},$$

где  $z_{\text{ч.к.}}$  – число зубьев червячного колеса;

$k$  – число заходов червяка.

В делительной головке УДГ Д-250  $k = 1$ , а  $z_{\text{ч.к.}} = 40$ . Отношение  $\frac{z_{\text{ч.к.}}}{k}$  называется характеристикой делительной головки и обозначается буквой  $N$ . Характеристика головки модели УДГ Д-250  $N = 40$ . Характеристика указывает на то, что для поворота шпинделя головки на один полный оборот рукоятке необходимо сообщить 40 оборотов.

Таким образом, для расчета числа оборотов рукоятки при простом делении используют формулу

$$n_p = \frac{N}{z} = A + \frac{m}{p}, \quad (4.3)$$

где  $A$  – целое число оборотов рукоятки;

$p$  – число отверстий, имеющих на одной из окружностей делительного диска;

$m$  – число промежутков между отверстиями, на которое надо повернуть рукоятку дополнительно к целым оборотам.

**Пример.** Определить число оборотов рукоятки делительной головки при фрезеровании зубчатого колеса с числом зубьев  $z = 28$ .

$$n_p = \frac{N}{z} = \frac{40}{28} = 1 + \frac{12}{28} = 1 + \frac{3}{7} = 1 + \frac{3}{7} \cdot \frac{3}{3} = 1 + \frac{9}{21}.$$

Следовательно, после фрезерования каждой впадины между зубьями нарезаемого зубчатого колеса, необходимо рукоятку поворачивать на один полный оборот и дополнительно на 9 промежутков между отверстиями по окружности делительного диска с 21 отверстием.

**Дифференциальное деление** применяется в тех случаях, когда нельзя подобрать число отверстий на окружностях бокового делительного диска, обеспечивающее простое деление. При дифференциальном делении вместо заданного числа делений  $z$  принимают близкое к нему большее или меньшее число  $z_1$ , удовлетворяющее условию простого деления. Число оборотов рукоятки относительно делительного лимба рассчитывается по формуле

$$n_1 = \frac{N}{z_1}. \quad (4.4)$$

Отсчет оборотов рукоятки производится относительно вращающегося бокового делительного диска. Фиксатор  $\phi_1$  (рис. 4.4) при этом освобождается. Вращение диска относительно рукоятки необходимо для компенсации внесенной в поворот шпинделя погрешности, равной  $\frac{1}{z} - \frac{1}{z_1}$ . Вращение делительному диску передается от шпинделя через гитару сменных зубчатых колес, которая рассчитывается по формуле

$$i_{\text{см}} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = N \frac{z_1 - z}{z_1}. \quad (4.5)$$

Если  $i_{\text{см}}$  положительное, то направление вращения делительного диска совпадает с направлением вращения рукоятки (по часовой стрелке). При отрицательном передаточном отношении диск вращается навстречу вращению рукоятки (против часовой стрелки). Для обеспечения соответствующего направления вращения делительного диска используются паразитные зубчатые колеса (рис. 4.5).

**Пример.** Требуется изготовить зубчатое колесо с числом зубьев  $z = 127$ .

Так как число 127 не позволяет применить простое деление, воспользуемся способом дифференциального деления. Принимаем  $z_1 = 120$ .

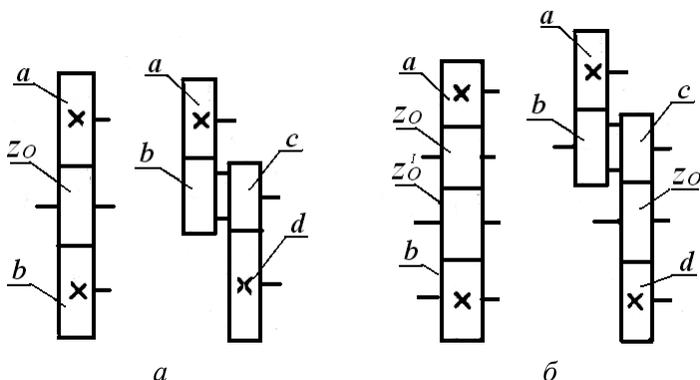


Рис. 4.5. Схемы установки сменных зубчатых колес гитары для дифференциального деления:  
 $a - i_{см} > 0$ ;  $b - i_{см} < 0$

Рассчитаем обороты рукоятки:

$$n_1 = \frac{N}{z_1} = \frac{40}{120} = \frac{1}{3} = \frac{10}{30}.$$

Передаточное отношение сменных колес гитары:

$$i_{см} = N \frac{z_1 - z}{z_1} = 40 \cdot \frac{120 - 127}{120} = -\frac{7}{3} = -\frac{70}{30}.$$

Таким образом, для поворота заготовки на  $\frac{1}{127}$  часть оборота необходимо рукоятку повернуть на 10 промежутков по окружности с 30 отверстиями. Поворот делительного лимба обеспечивается гитарой сменных колес с числом зубьев  $a = 70$ ,  $b = 30$ . Принимаем однопарную гитару с двумя паразитными колесами (рис. 4.5, б).

### Контрольные вопросы

1. Расскажите о назначении и устройстве широкоуниверсального консольно-фрезерного станка.
2. Покажите кинематические схемы главного движения и движения подачи.

3. Расскажите о назначении и устройстве универсальной делительной головки.
4. Какие методы деления выполняются с помощью универсальной делительной головки? Каковы их возможности?
5. Как осуществляется непосредственное деление?
6. По какой формуле рассчитываются обороты рукоятки при простом делении?
7. Как выполняется простое деление?
8. С какой целью при дифференциальном делении применяется гитара сменных колес и как она рассчитывается?

### **Лабораторная работа № 5**

## **ПЛОСКОШЛИФОВАЛЬНЫЙ СТАНОК МОДЕЛИ ЗД711АФ10-1**

### ***Цель работы***

Ознакомиться с устройством и кинематикой станка, подобрать параметры шлифовального круга и режимы шлифования.

### ***Оборудование, приспособления, инструмент***

Плоскошлифовальный станок модели ЗД711АФ10-1, шлифовальный круг, микрометры с диапазоном измерения 0–25 мм и 25–50 мм.

### ***Задание***

- Изучить устройство и кинематику станка.
- Зарисовать схему плоского шлифования (рис. 5.1).
- Подобрать характеристики шлифовального круга для обработки заготовки с заданными свойствами (табл. 5.1).
- Назначить режимы резания и рассчитать машинное время.
- Под руководством лаборанта по данным расчета произвести шлифование поверхности заготовки.

## Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- перечень применяемого оборудования и инструментов;
- индивидуальное задание;
- схему плоского шлифования с указанием всех рабочих движений (рис. 5.1);
- результаты выполненной работы в виде сводного протокола отчета (табл. 5.2). Обоснование выбора характеристик шлифовального круга и расчет режимов резания должно быть дано в тексте отчета.

Таблица 5.1

### Индивидуальные задания

№ вари- ри- анта	Обрабатываемый материал			Размеры заготовки, мм			Припуск с одной стороны, мм	Шеро- хова- тость, Ra, мкм
	Марка	Состо- яние	Твер- дость	Длина	Ширина	Высота		
1	Сталь 45	з	HRC50	170	50	45 <sub>-0,025</sub>	0,20	0,32
2	Сталь 45	нз	HB193	120	50	17 <sub>-0,027</sub>	0,25	0,63
3	12X18H9	з	HRC50	90	40	20 <sub>-0,033</sub>	0,25	0,63
4	15ХФ	з	HRC62	95	50	25 <sub>-0,033</sub>	0,30	0,63
5	18ХГТ	нз	HB217	150	30	50 <sub>-0,039</sub>	0,30	0,63
6	40ХС	з	HRC32	100	45	30 <sub>-0,021</sub>	0,20	0,32
7	СЧ25	нз	HB176	110	50	15 <sub>-0,027</sub>	0,25	0,63
8	СЧ30	нз	HB250	150	70	50 <sub>-0,025</sub>	0,30	0,32
9	СЧ20	нз	HB236	130	60	40 <sub>-0,039</sub>	0,30	0,63
10	12X13	з	HRC45	125	80	45 <sub>-0,039</sub>	0,25	0,63
11	40ХН	з	HRC50	80	50	15 <sub>-0,018</sub>	0,20	0,32
12	40ХН	з	HRC62	140	45	13 <sub>-0,027</sub>	0,25	0,63
13	20X13	з	HRC45	120	40	30 <sub>-0,033</sub>	0,25	0,63
14	Сталь 20	нз	HB159	120	75	40 <sub>-0,039</sub>	0,25	0,63
15	Сталь 60Г	з	HRC50	100	60	18 <sub>-0,018</sub>	0,30	0,32

*Примечание:* з – закаленная, нз – незакаленная.

Таблица 5.2

## Сводный протокол отчета

Вид шлифования	Обрабатываемый материал	Параметры шлифовального круга							Припуск на обработку, мм	Режимы резания				
		Тип круга	Размеры, мм			Абразивный материал	Зернистость	Твердость		Структура	Связка	$V_k$ , м/с	$S_{пр}$ , м/мин	$S_{пз}$ , мм/ход
Наружный диаметр	Высота	Внутренний диаметр												
черн														
чист														

### ***Устройство и техническая характеристика станка модели 3Д711АФ10-1***

Плоскошлифовальный станок модели 3Д711АФ10-1 предназначен для шлифования плоских поверхностей деталей периферией круга. Шлифование периферией круга осуществляется при следующих рабочих движениях (рис. 5.1):

- главное движение – вращение шлифовального круга с окружной скоростью  $V_k$ , м/с;
- возвратно-поступательное движение стола с заготовкой со скоростью  $S_{пр}$ , м/мин;
- вертикальная подача – перемещение шлифовального круга на глубину в направлении, перпендикулярном к шлифуемой поверхности –  $S_{в}$ , мм/ход;
- поперечная подача – движение крестового суппорта вдоль оси шпинделя –  $S_{п}$ , мм/ход.

Достижимая точность при предварительном шлифовании – 8...11 квалитеты, при чистовом – 6...8 квалитеты, при тонком – 6, 7 квалитеты. Достижимая шероховатость поверхности: шлифование предварительное – Ra2,5...5 мкм, чистовое – Ra0,32...1,25 мкм, тонкое – Ra0,16...0,32 мкм.

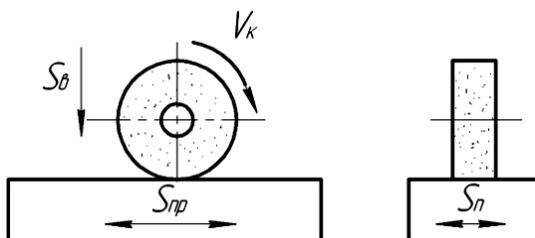


Рис. 5.1. Схема плоского шлифования периферией круга

*Техническая характеристика станка:*

Класс точности станка	В
Предельные размеры обрабатываемых поверхностей, мм:	
длина	450
ширина без выхода шлифовального круга	270
ширина с выходом шлифовального круга	200
высота	335
Пределы рабочих автоматических подач:	
стола, м/мин	2...25
суппорта, мм/ход	0,3...20
шлифовальной головки, мм	0,002...0,04
Частота вращения шлифовального круга, $\text{мин}^{-1}$	2250
Размеры шлифовального круга, мм:	
наружный диаметр	250
внутренний диаметр	76
высота	32
Мощность электродвигателя, кВт	2,2

Станок модели ЗД711АФ10-1 имеет крестовый стол и горизонтальный шпиндель. На рис. 5.2 представлен общий вид станка.

Станина СТ коробчатой формы является основанием для установки узлов станка. По направляющим качения станины в поперечном направлении перемещается крестовый суппорт КС. На верхней плоскости суппорта расположены продольные направляющие, по которым перемещается прямоугольный стол ПС. Между продольными направляющими жестко закреплен гидроцилиндр привода стола. Стол имеет рабочую поверхность с Т-образными пазами для уста-

новки и крепления обрабатываемых деталей, электромагнитной плиты или установочного приспособления. На верхней плоскости стола установлено ограждение рабочей зоны. С задней стороны станка на станине устанавливается колонна КЛ, которая обеспечивает вертикальное перемещение шлифовальной головки ШГ. Гидростанция ГС станка предназначена для обеспечения возвратно-поступательного движения стола с регулируемой скоростью, вывода стола в зону загрузки, привода механизма вертикальной подачи и осуществления централизованной автоматической смазки направляющих.

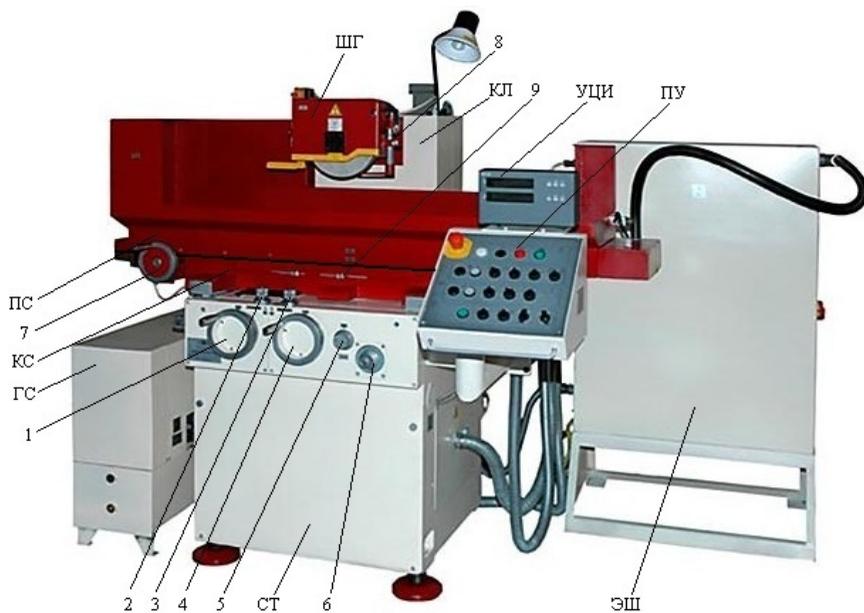


Рис. 5.2. Общий вид и органы управления плоскошлифовального станка модели 3Д711АФ10-1:

Основные части станка: СТ – станина; КС – крестовый суппорт; ПС – прямоугольный стол; КЛ – колонна; ШГ – шпиндельная головка, ГС – гидростанция; ПУ – пульт управления; УЦИ – устройство цифровой индикации; ЭШ – электрошкаф.

Органы управления: 1 – маховик поперечной подачи; 2 – рукоятка включения и маховик тонкой поперечной подачи; 3 – рукоятка включения и маховик тонкой вертикальной подачи; 4 – маховик вертикальной подачи; 5 – рукоятка установки величины вертикальной подачи; 6 – рукоятка «пуск-стоп» и регулирования скорости стола; 7 – маховик ручного перемещения стола; 8 – рукоятка крана охлаждения; 9 – кулачки регулирования хода стола

## Кинематика станка

Кинематическая схема станка представлена на рис. 5.3.

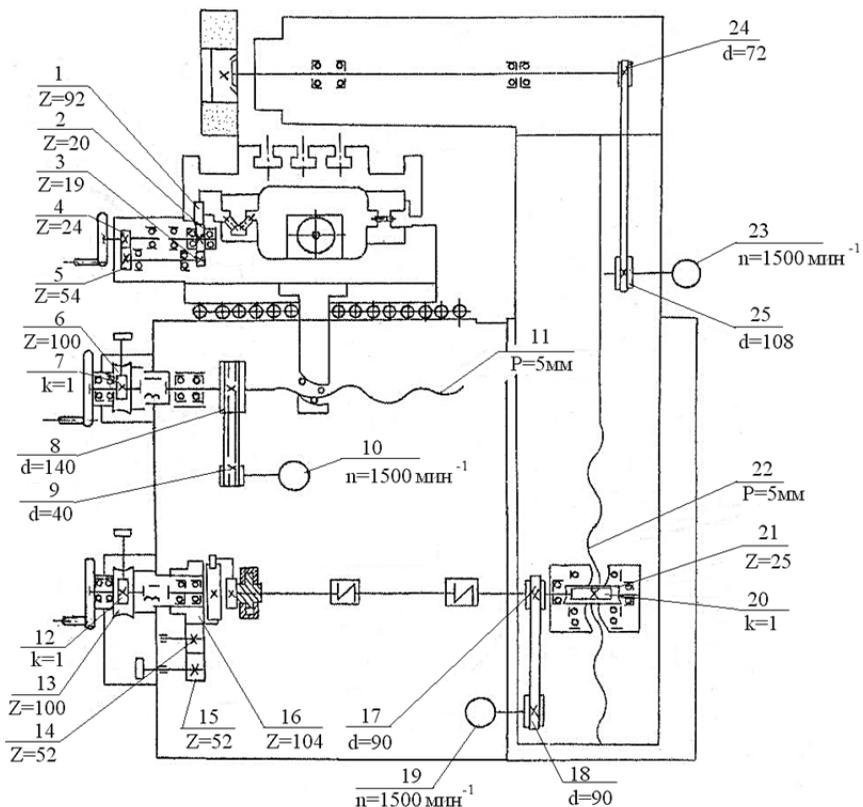


Рис. 5.3. Кинематическая схема плоскошлифовального станка модели 3Д711АФ10-1

**Главное движение** осуществляется от электродвигателя 23 через ременную передачу 25–24. Шпиндель вращается с постоянной частотой.

**Возвратно-поступательное продольное перемещение стола** обеспечивается гидравлическим приводом. Ручное продольное перемещение стола осуществляется от маховика 7 (рис. 5.2) через шестерни 4–5, 3–2 и рейку 1, которая прикреплена к столу. Для ручных перемещений стола необходимо перемещением маховика 7 вдоль

его оси ввести в зацепление зубчатое колесо 4 с колесом 5. В этом случае срабатывает выключатель, который блокирует включение гидропривода продольного перемещения стола.

**Вертикальная подача** шлифовальной головки может быть автоматической и ручной. Автоматическая вертикальная подача осуществляется от гидроцилиндра, на валу которого установлен рычаг с собачкой. Собачка входит в зацепление с храповым колесом и поворачивает его. Храповое колесо установлено на валу, который соединен с червячным редуктором 20–21 вертикальных перемещений. Величина автоматической подачи устанавливается рукояткой 5 (рис. 5.2). Подача включается при каждом поперечном реверсе крестового суппорта или на двойной ход стола при отсутствии поперечной подачи.

Грубая ручная подача осуществляется маховиком 4 (рис. 5.2), а тонкая – механизмом тонкой подачи 3.

Ускоренное перемещение шлифовальной головки осуществляется от асинхронного электродвигателя 19, который через ременную передачу 18–17 вращает вал редуктора вертикальных перемещений, при этом маховик ручных перемещений отключается электромагнитной муфтой.

**Поперечная подача** крестового суппорта также может быть ручной и автоматической. Автоматическая поперечная подача и ускоренное перемещение осуществляется от электродвигателя 10 через ременную передачу 9–8, при этом маховик поперечной подачи 1 (рис. 5.2) не вращается. Это обеспечивается электромагнитной муфтой. Команду на автоматическую поперечную подачу электродвигатель получает от бесконтактного выключателя в момент реверса стола.

Грубая ручная поперечная подача осуществляется маховиком 1 (рис. 5.2), а тонкая – механизмом тонкой подачи 2.

### ***Выбор шлифовального круга***

Качество обработанной поверхности в значительной степени зависит от характеристик шлифовального круга.

Типы и размеры шлифовальных кругов регламентируются ГОСТ 2424-83 «Круги шлифовальные. Технические условия». Круг шлифовальный прямого профиля (тип 1) применяется для круглого наружного, внутреннего, бесцентрового, плоского периферией круга и обдирочного шлифования. Основными размерами шлифовального круга являются: наружный диаметр  $D$ , высота  $T$  и диаметр от-

верстия *H*. Наружный диаметр и высоту круга рекомендуется принимать максимальными для данной модели шлифовального станка (см. техническую характеристику).

Характеристику абразивного инструмента составляют материал и размер режущего абразивного зерна, структура, твердость, форма круга, связка и др. Характеристики шлифовального круга указываются несмываемой краской на нерабочей поверхности инструмента.

**Абразивные материалы**, применяемые для изготовления шлифовальных кругов, представляют собой минералы естественного (алмаз, корунд) или искусственного (алмаз синтетический, электрокорунд, карбид кремния, карбид бора) происхождения. Зерна абразива обладают высокой твердостью, превышающей твердость обрабатываемого материала. Марки некоторых абразивных материалов и их применение приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Марки абразивных материалов и области их применения

Абразивный материал, маркировка	Область применения
1	2
Электрокорунд нормальный 12А, 13А	Обдирочное и черновое шлифование.
14А	Обдирочное шлифование чугунного и стального литья, поковок, штампованных деталей, зачистка швов.
15А	Шлифование конструкционных и углеродистых сталей в сыром и закаленном виде, легированных сталей, ковкого чугуна, бронз.
Электрокорунд белый 22А 23А, 24А	Шлифование углеродистых и легированных сталей в закаленном состоянии, быстрорежущих сталей, заточка инструмента
25А	Чистовая и отделочная обработка.
Монокорунд 43А, 44А 45А	Шлифование и доводка легированных и закаленных сталей. Шлифование и доводка легированных и закаленных сталей. Заточка и доводка режущего инструмента. Скоростное шлифование. Обработка труднообрабатываемых сталей и сплавов
	Получистовая и чистовая обработка легированных сталей, ковкого чугуна, быстрорежущей стали. Доводка закаленных углеродистых и легированных сталей. Шлифование легированных, цементированных закаленных и азотированных сталей. Заточка и доводка режущего инструмента

1	2
Карбид кремния черный 53С, 54С, 55С	Шлифование материалов с низким пределом прочности (чугуна, бронзы), вязких материалов и сплавов (мягкой латуни, алюминия, меди), неметаллических материалов (стекло, мрамор, фарфор и др.)
Карбид кремния зеленый 63С, 64С	Тонкое шлифование и доводка легированных и закаленных сталей и неметаллических материалов высокой твердости. Шлифование твердых сплавов, заточка твердосплавного инструмента

**Зернистость** абразива указывает на размер режущих зерен основной фракции, примененных в данном инструменте. По размерам абразивные материалы согласно ГОСТ 3647-80 делятся на 4 группы: шлифзерно (200–16), шлифпорошки (12–3), микропорошки (М63–М14) и тонкие микропорошки (М10–М1).

Содержание в процентах основной фракции в инструменте указывается буквенным индексом: В (60...55 %), П (55...45 %), Н (45...40 %), Д (43...39 %). Примеры применения шлифовальных кругов различной зернистости приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4

## Зернистость абразивных материалов и область применения

Группа материала	Зернистость	Размер зерна основной фракции, мкм	Область применения
Шлифзерно	63 50	800–630 630–500	Предварительное плоское шлифование торцом круга с шероховатостью Ra 2,5...0,63 мкм, заточка крупных и средних резцов
	40 32	500–400 400–315	Предварительное и окончательное шлифование заготовок с параметрами шероховатости Ra 2,5...0,32 мкм. Заточка режущего инструмента
	25 20 16	315–250 250–200 200–160	Чистовое шлифование заготовок с шероховатостью Ra 1,25...0,16 мкм. Профильное шлифование, заточка мелкого инструмента, шлифование хрупких материалов
Шлифпорошки	12	160–125	Отделочное шлифование заготовок с параметрами шероховатости Ra 0,63...0,16 мкм, заточка и доводка режущего инструмента
	10	125–100	
	8	100–80	
	6	80–63	

**Связка** служит для скрепления абразивных зерен в единое тело нужной формы, она определяет твердость и прочность абразивного инструмента. Различают два вида связок: органические (бакелитовая, глифталевая, паропластовая и вулканитовая) и неорганические (керамическая, магнезиальная, силикатная). Наиболее часто применяют керамическую (К) связку: К1, К5, К8 – для инструмента из электрокорунда и К2, К3 – для инструмента из карбида кремния. Она обладает большой теплостойкостью, водоупорностью, высокой химической стойкостью, обеспечивает высокую производительность и хорошо сохраняет профиль круга. Однако она чувствительна к ударам и изгибающим нагрузкам. Допустимая скорость шлифования 30...50 м/с.

**Твердость** шлифовального круга характеризует прочность удержания абразивных зерен в инструменте при помощи связки. По степени твердости шлифовальные круги подразделяются на весьма мягкие (ВМ1, ВМ2), мягкие (М1, М2, М3), среднемягкие (СМ1, СМ2), средние (С1, С2), среднетвердые (СТ1, СТ2, СТ3), твердые (Т1, Т2), весьма твердые (ВТ1, ВТ2) и чрезвычайно твердые (ЧТ1, ЧТ2). Цифры характеризуют возрастание твердости абразивного инструмента.

При работе слишком твердым кругом связка продолжает удерживать зерна, затупившиеся и утратившие способность к резанию. Поэтому при шлифовании затрачивается большая мощность, деталь нагревается, возможно ее коробление, а на поверхности появляются риски и прижоги.

Если взять мягкий круг, то зерна его быстро выкрашиваются, круг теряет форму и увеличивается его износ. При работе мягкими кругами трудно получить необходимую геометрическую форму детали и размер. Мягкими кругами выполняют чистовую обработку таких твердых материалов, как закаленная сталь, твердые сплавы. Кругами средней твердости и твердыми обрабатывают непрочные и более мягкие металлы – незакаленную сталь, чугуны.

При плоском шлифовании периферией круга рекомендуется применять круги, следующей твердости при черновой и чистовой обработке:

сталь незакаленная, чугун

СМ1, СМ2, С1,  
С2, СТ1, СТ2

сталь закаленная

М1, М2, М3,  
СМ1, СМ2, С1, С2

**Структура** абразивного инструмента характеризуется соотношением объемов абразивных зерен, связки и пор. С увеличением номера структуры на единицу объем зерна уменьшается на 2 %, а объем связки соответственно увеличивается для сохранения одинаковой твердости инструмента. Для черновой (обдирочной) обработки со значительными припусками требуются круги открытых структур № 7...12. Для чистовой и получистовой обработки применяют шлифовальные круги закрытых структур № 3...6. В большинстве случаев для плоского шлифования применяют структуры № 5...8.

**Класс точности** абразивного инструмента определяет точность размеров и геометрической формы круга. ГОСТ 2424-83 предусматривает изготовление шлифовальных кругов трех классов точности – АА, А и Б. Допуски на предельные отклонения наружного диаметра, посадочного отверстия и высоты имеют наибольшие значения круги класса Б. Круги класса А и АА изготавливаются с более высокой точностью.

**Класс дисбаланса** характеризует неуравновешенность массы шлифовального круга. ГОСТ 3060-86 устанавливает 4 класса допускаемого дисбаланса (1, 2, 3 и 4), по этим классам проверяются качество кругов. Чем меньше шлифовальный круг, тем меньше допускаемый дисбаланс.

В табл. 5.5 приведены характеристики шлифовальных кругов типа 1 с размерами 250 × 32 × 76 на керамической связке, выпускаемых заводами.

Таблица 5.5

### Примеры характеристик шлифовальных кругов

Материал	Зернистость	Твердость	Структура	Скорость	Материал	Зернистость	Твердость	Структура	Скорость
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
14А	25	СМ1	6	50	25А	25	С1	6	50
14А	25	СМ1	7	50	25А	25	С2	6	50
14А	40	СМ1	7	50	25А	25	СТ1	6	50
14А	80	СТ2	5	35	25А	25	СТ1	6	50
25А	6	СМ1	8	35	25А	25	СТ2	6	50
25А	6	СМ2	8	35	25А	25	СТ2	6	50
25А	6	С1	6	50	25А	40	СМ1	6	50
25А	6	СТ1	6	50	25А	40	СМ1	7	50

Окончание табл. 5.5

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
25A	6	CT2	6	50	25A	40	CM2	6	50
25A	10	CM1	6	50	25A	40	CM2	7	50
25A	10	CM2	6	50	25A	40	CM2	8	50
25A	12	CM1	6	50	25A	50	CM1	6	50
25A	12	CM2	6	50	25A	50	CM2	6	50
25A	12	C1	6	50	25A	80	M3	5	35
25A	12	CT1	6	50	25A	80	CT2	5	50
25A	12	CT2	6	50	25A	125	CM2	5	35
25A	16	CM1	6	50	54C	25	CM1	7	35
25A	16	CM2	6	50	63C	10	CM1	7	35
25A	16	CM2	6	50	63C	12	CM1	7	35
25A	16	C1	6	50	63C	12	CM2	7	35
25A	16	C2	6	50	63C	12	C1	7	35
25A	16	CT1	6	50	63C	16	CM1	7	35
25A	16	CT1	6	50	63C	16	CM2	7	35
25A	16	CT2	6	50	63C	16	C1	7	35
25A	20	CM1	6	50	63C	16	C2	7	35
25A	25	M3	6	50	63C	16	CT1	7	35
25A	25	CM1	6	50	63C	16	CT2	7	35
25A	25	CM1	6	50	63C	25	M3	7	35
25A	25	CM2	6	50	63C	25	CM1	7	35
25A	25	CM2	6	50	63C	25	CM1	7	35

Пример условного обозначения круга типа 1 наружным диаметром  $D = 500$  мм, высотой  $T = 50$  мм, диаметром посадочного отверстия  $H = 305$  мм, из белого электрокорунда марки 25A, зернистости 10-II, степени твердости C2, номером структуры 7, на керамической связке K1A с рабочей скоростью 35 м/с, класса точности А, 1-го класса неуравновешенности:

*1 500 × 50 × 305 25A 10-II C2 7 K 1A 35 м/с А 1 кл. ГОСТ 2424-83*

### ***Выбор режимов резания***

Режимы резания при шлифовании назначаются по нормативам с учетом следующих факторов:

а) свойств заготовки (материал, размеры и допуск на размер, требуемая шероховатость поверхности);

б) типа и модели станка, его технической характеристики (мощность электродвигателя, частота вращения шпинделя и наибольший

диаметр шлифовального круга, скорость движения заготовки, пределы подач и пр.)

Для получения высокой точности (плоскостности и параллельности двух сторон) рекомендуется производить сначала черновое шлифование, а затем чистовое с каждой стороны поочередно. На черновую обработку отводится 75–80 % припуска, а шлифование необходимо проводить на режимах, обеспечивающих получение точности детали на 1–2 квалитета ниже точности, требуемой по чертежу. Число рабочих ходов при черновом и чистовом шлифовании зависит от снимаемого припуска. Причем вертикальная подача на последний чистовой проход назначается не более 0,01 мм.

Режимы шлифования назначаются в следующем порядке: определяется окружная скорость круга  $V_k$ , назначается поперечная подача  $S_{\text{п}}$ , скорость стола (продольная подача)  $S_{\text{пр}}$  и вертикальная подача на глубину шлифования  $S_{\text{в}}$ .

Окружная скорость шлифовального круга определяется по формуле

$$V_k = \frac{\pi D n}{60 \cdot 1000}, \text{ м/сек,} \quad (5.1)$$

где  $D$  – наружный диаметр круга, мм;

$n$  – частота вращения круга (по паспорту станка),  $\text{мин}^{-1}$ .

Поперечная подача  $S_{\text{п}}$  выбирается в зависимости от требуемой шероховатости обработанной поверхности и ее ширины по табл. 5.6 и сопоставляется с возможными подачами станка по его технической характеристике.

Таблица 5.6

Поперечная подача при плоском шлифовании

Ra, мкм	Высота круга $T$ , мм					
	до					
	20	32	40	50	63	80
$S_{\text{п}}$ , мм/ход стола						
3,2 и более	16	26	32	40	50	64
2,5	12	19	24	30	38	48
1,25	8	12,5	16	20	25	32
0,63	3–5	8	10	12,5	16	20

Скорость стола с заготовкой  $S_{пр}$  (продольная подача) и вертикальная подача  $S_v$  назначаются в зависимости от материала заготовки, поперечной подачи и припуска на обработку (табл. 5.7). Величина  $S_v$  уточняется поправочным коэффициентом  $K$  в зависимости от точности обработки по табл. 5.8.

Таблица 5.7

Скорость перемещения стола и вертикальная подача при плоском шлифовании

Материал детали	Скорость перемещения стола $S_{пр}$ , м/мин, до	Припуск на обработку $h$ , мм, до	Поперечная подача на ход $S_{п}$ , мм, до	
			8	12
			$S_v$ , мм/ход	
Чугуны	5	0,17 0,25 0,35	0,137 0,168 0,210	0,093 0,115 0,140
Стали конструкционные углеродистые и легированные с HRC до:				
28 (HB270)	6,3	0,17–0,5	0,108–0,210	0,073–0,140
32	8	0,17–0,5	0,085–0,168	0,057–0,113
40	10	0,17–0,5	0,069–0,137	0,045–0,091
48	12,5	0,17–0,5	0,055–0,109	0,036–0,073
56	16	0,17–0,5	0,045–0,087	0,028–0,057
св. 60	20	0,25–0,7	0,042–0,086	0,028–0,056
Стали коррозионно-стойкие, жаропрочные, быстрорежущие	25	0,25–0,7	0,034–0,067	0,022–0,045
Чугуны	5	0,17 0,25 0,35	0,062 0,076 0,095	0,041 0,058 0,063
Стали конструкционные углеродистые и легированные с HRC до:				
28	6,3	0,17–0,5	0,048–0,097	0,032–0,064
32	8	0,17–0,5	0,038–0,076	0,025–0,051
40	10	0,17–0,5	0,031–0,060	0,021–0,041
48	12,5	0,17–0,5	0,024–0,048	0,017–0,032
56	16	0,17–0,5	0,018–0,038	0,013–0,025
св. 60	20	0,25–0,7	0,020–0,098	0,013–0,029
Стали коррозионно-стойкие, жаропрочные, быстрорежущие	25	0,25–0,7	0,015–0,031	0,009–0,021

Таблица 5.8

**Поправочный коэффициент  $K$  на подачу  
при плоском шлифовании**

Материал детали	Точность обработки, мм			
	0,02	0,03	0,05	0,08
Стали конструкционные углеродистые и легированные	0,65	0,80	1,00	1,25
Стали коррозионно-стойкие	0,29	0,36	0,45	0,56
Жаропрочные сплавы	0,10	0,12	0,15	0,19
Чугуны и медные сплавы	1,00	1,3	1,60	1,90

Для определения возможности осуществления процесса шлифования по выбранным режимам резания нужно найти величину мощности, необходимой для вращения шлифовального круга. Мощность, затрачиваемая на резание, определяется по эмпирической формуле:

$$N_{\text{рез}} = C_N \cdot S_{\text{пр}}^r \cdot S_{\text{в}}^x \cdot S_{\text{п}}^y, \text{ кВт}, \quad (5.2)$$

где  $C_N$  – постоянный коэффициент;

$r, x, y$  – показатели степени, выбираются по табл. 5.9;

$S_{\text{пр}}$  – скорость заготовки, м/мин;

$S_{\text{в}}$  – вертикальная подача (на глубину), мм/ход;

$S_{\text{п}}$  – поперечная подача, мм/ход.

Таблица 5.9

**Значение коэффициента и показателей степени  
в формуле мощности**

Обрабатываемый материал	Шлифовальный круг		Коэффициент и показатель степени			
	Зернистость	Твердость	$C_N$	$r$	$x$	$y$
Сталь незакаленная	50	СМ2	0,52	1	0,8	0,8
		С1	0,59			
		СТ2	0,68			
Сталь закаленная	50–40	МЗ-С1	0,53	0,8	0,65	0,7

Достаточность мощности электродвигателя определяется из условия

$$N_{\text{рез}} < N_{\text{эл. дв}} \eta, \quad (5.3)$$

где  $N_{\text{рез}}$  – мощность, затрачиваемая на резание, кВт;

$N_{\text{эл. дв}}$  – мощность электродвигателя шпинделя, кВт;

$\eta$  – КПД станка ( $\eta = 0,95$ ).

При недостаточности мощности электродвигателя для вращения шлифовального круга следует уменьшить  $S_{\text{пр}}$  и величину подачи.

Основное время шлифования периферией круга на плоскошлифовальном станке с прямоугольным столом вычисляется по формуле

$$t_o = \frac{B_{\text{расч}} \cdot h}{n_m \cdot t \cdot S_{\text{п}}}, \text{ мин}, \quad (5.4)$$

где  $B_{\text{расч}}$  – расчетная ширина шлифования, мм;

$h$  – припуск на обработку, мм;

$n_m$  – число ходов стола в минуту;

$t$  – глубина шлифования или вертикальная подача.

Расчетная ширина шлифования

$$B_{\text{расч}} = B + B_k + 5, \text{ мм}, \quad (5.5)$$

где  $B$  – ширина заготовки, мм;

$B_k$  – высота круга, мм.

Число ходов стола при подаче на одинарный ход

$$n_m = \frac{1000 \cdot S_{\text{пр}}}{L}, \text{ ход/мин}, \quad (5.6)$$

где  $L$  – расчетная длина шлифования, мм.

$$L = l + 20, \text{ мм}, \quad (5.7)$$

где  $l$  – длина заготовки, мм.

### *Контрольные вопросы*

1. Каково назначение плоскошлифовальных станков? Какая точность и шероховатость обработанной поверхности достигается при плоском шлифовании?
2. Какие движения исполнительных органов станка необходимы для плоского шлифования?
3. Назовите основные части станка и их назначение.
4. Как крепится заготовка на шлифовальном станке?
5. Покажите на кинематической схеме станка цепи главного движения и подачи.
6. Из каких абразивных материалов может состоять шлифовальный круг? Как они маркируются?
7. Как влияет зернистость абразива на качество шлифованной поверхности?
8. Что называется твердостью шлифовального круга и как она влияет на процесс шлифования?
9. Что характеризует структура шлифовального круга и как она подбирается?

## Лабораторная работа № 6

### УСТРОЙСТВО И НАСТРОЙКА ЗУБОДОЛБЕЖНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 5B12

#### *Цель работы*

Ознакомиться с устройством и кинематикой станка, изучить порядок его настройки для нарезания прямозубого цилиндрического колеса.

#### *Оборудование, приспособления, инструмент*

Зубодолбежный станок модели 5B12, долбяк, заготовки зубчатого колеса, монтажный инструмент.

#### *Задание*

- Изучить устройство станка.
- Рассмотреть кинематические цепи, по которым осуществляются рабочие движения инструмента и заготовки, записать расчетные перемещения и уравнения кинематического баланса цепей, вывести формулы настройки.
- Выполнить расчет настройки для нарезания прямозубого колеса с заданными в табл. 6.1 параметрами.
- Установить на станке долбяк, заготовку, сменные колеса гитар и под руководством лаборанта нарезать зубчатое колесо.

#### *Содержание отчета*

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- перечень применяемого оборудования, инструментов и приспособлений;
- индивидуальное задание;
- расчетные перемещения конечных звеньев, уравнения кинематического баланса и формулы настройки органов настройки цепей главного движения, деления и подач;

– расчет передаточных отношений органов настройки, подбор гитар сменных зубчатых колес, проверку на сцепляемость, обоснование выбора кулачка врезания.

Таблица 6.1

Данные для расчета настройки зубодолбежного станка

№ варианта	Параметры нарезаемого колеса			Число зубьев долбяка $z_d$	Режимы резания	
	Модуль $m$ , мм	Число зубьев $z$	Ширина венца $b$ , мм		Скорость резания $V$ , м/мин	Круговая подача $S_{кр}$ , мм/дв. ход
1	3	31	15	25	20	0,4
2	2,5	45	18	30	18	0,4
3	3	49	20	25	14	0,32
4	3,5	52	18	25	22	0,35
5	4	61	15	25	19	0,36
6	2	65	15	38	24	0,45
7	2	78	30	38	24	0,45
8	2	81	25	38	23	0,22
9	2	85	30	38	20	0,22
10	2	25	20	38	21	0,23
11	2,5	40	15	30	22	0,23
12	2,5	35	25	30	23	0,24
13	2	90	20	38	24	0,24
14	2	95	25	38	24	0,25
15	2	104	30	38	25	0,25

### **Назначение и основные узлы станка модели 5B12**

Станок предназначен для нарезания методом обкатки прямозубых цилиндрических колес наружного и внутреннего зацепления, блоков колес, зубчатых секторов и пр.

#### *Техническая характеристика станка модели 5B12:*

Модуль нарезаемых зубьев колес, мм	1–4
Диаметр обрабатываемых колес наружного зацепления, мм	2–208
Наибольший диаметр колес внутреннего зацепления, мм	220
Наибольшая ширина нарезаемого колеса, мм:	
наружного зацепления	50
внутреннего зацепления	30

Наибольший ход штосселя, мм	55
Наибольший отход стола от режущей кромки инструмента, мм	0,5
Число двойных ходов долбяка, дв. ход/мин	200; 315; 425; 600
Пределы круговых подач, мм/дв. ход	0,1–0,46
Мощность эл. двигателя главного движения, кВт	1,7

На рис. 6.1 представлена схема зубодолбежного станка. Станок состоит из трех жестко соединенных между собой станин (А, Б и В). В нижней станине (А) расположены главный электродвигатель, ременная передача которого закрыта кожухом (З), шкаф электрооборудования (Е) и насос (Ж) для подачи охлаждающей жидкости. В станине расположены также резервуары для масла. В средней станине (Б) размещены механизмы перемещения стола (Д) и гидрозажима. В верхней станине (В) находятся кривошипно-шатунный механизм, механизмы реверсирования суппорта и переключения кулачков врезания. По направляющим станины перемещается суппорт (Г). Под крышками с левой стороны станины расположена гитара круговых подач, с правой – сменные колеса гитары деления. В верхней части станины имеется панель управления.

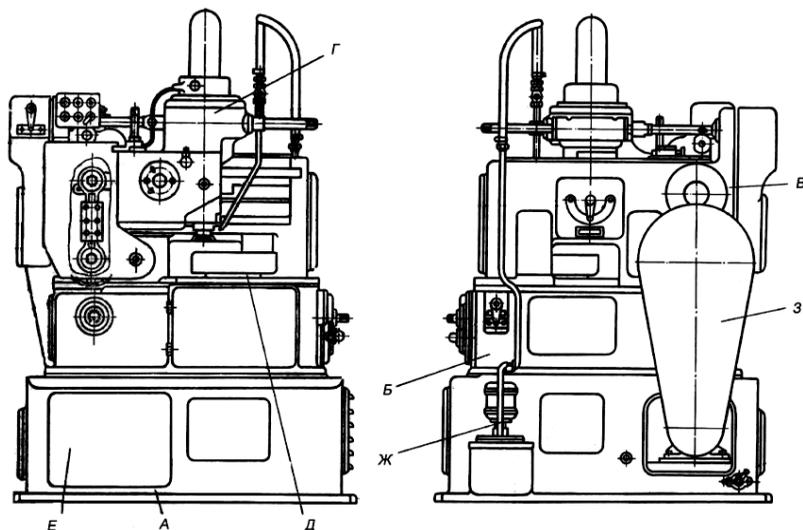


Рис. 6.1. Общий вид и органы управления станка модели 5B12

## Кинематика станка

Станок содержит цепи главного движения, деления, круговых подач и радиальных подач (рис. 6.2).

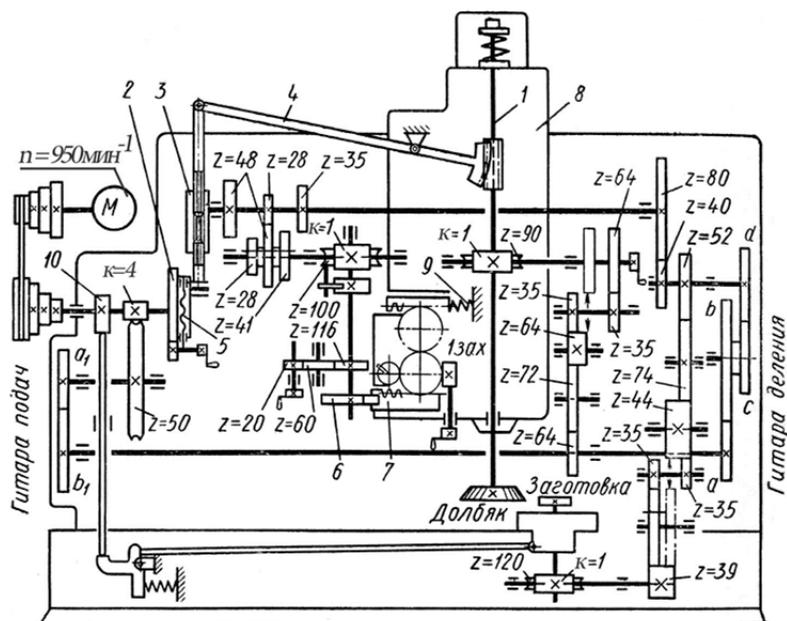


Рис. 6.2. Кинематическая схема станка модели 5B12

Кинематическая **цепь главного движения** связывает вращение вала электродвигателя ( $n_{\text{эл.дв}} = 950 \text{ мин}^{-1}$ ) с возвратно-поступательным движением долбяка через клиноременную передачу, кривошипно-шатунный механизм (кривошипный диск 2, шатун 3, коромысло 4 с зубчатым сектором), круговую рейку и штоссель 1.

Расчетные перемещения конечных звеньев цепи:

$$n \text{ об. эл. двигателя} \rightarrow n \text{ дв. ходов долбяка.}$$

Уравнение кинематического баланса цепи:

$$950 \cdot i_p = n,$$

где  $i_p$  – передаточное отношение клиноременной передачи,

$n$  – число двойных ходов штосселя.

Формула настройки цепи будет иметь вид:

$$i_p = \frac{n}{950}.$$

Клиноременная передача имеет четыре ступени с передаточными отношениями  $i_p = 0,21; 0,33; 0,45; 0,63$ .

Число двойных ходов долбяка определяется в зависимости от заданной скорости резания  $V$  (м/мин) и длины хода долбяка  $L$  по формуле

$$n_{\text{расч}} = \frac{1000V}{2L}. \quad (6.1)$$

Длина рабочего хода долбяка рассчитывается по формуле

$$L = b + 2k,$$

где  $b$  – ширина зубчатого венца нарезаемого колеса, мм;

$k = 3 \dots 5$  мм – величина подхода и перебега долбяка в конце рабочего и холостого ходов.

По расчетному числу двойных ходов  $n_{\text{расч}}$  подбирают ближайшее действительное значение  $n$  по паспорту станка.

Кинематическая **цепь деления (обкатки)** связывает вращение долбяка с вращением стола через червячную передачу  $\frac{90}{1}$ , зубча-

тые колеса  $\frac{64}{35}, \frac{35}{64}, \frac{64}{72}, \frac{72}{64}$ , гитару деления  $\frac{a}{b} \frac{c}{d}$ , зубчатые колеса  $\frac{52}{74}, \frac{74}{44}, \frac{44}{35}, \frac{35}{80}, \frac{80}{39}$  и червячную передачу  $\frac{1}{120}$ .

При повороте долбяка на угол, соответствующий одному его зубу, заготовка должна также повернуться на один зуб, т. е. расчетные перемещения конечных звеньев цепи:

$$\frac{1}{z_d} \text{ об. долбяка} \rightarrow \frac{1}{z} \text{ об. заготовки.}$$

Уравнение кинематического баланса цепи деления

$$\frac{1}{z_0} \cdot \frac{90}{1} \cdot \frac{64}{35} \cdot \frac{64}{64} \cdot \frac{72}{64} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{52}{74} \cdot \frac{74}{44} \cdot \frac{44}{35} \cdot \frac{35}{80} \cdot \frac{80}{39} \cdot \frac{1}{120} = \frac{1}{z},$$

откуда формула настройки гитары деления будет

$$i_{\text{д}} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{z_{\text{д}}}{z}, \quad (6.2)$$

где  $z_{\text{д}}$  – число зубьев долбяка;

$z$  – число зубьев нарезаемого колеса.

Кинематическая **цепь круговых подач** связывает механизм возвратно-поступательного движения долбяка с вращением долбяка.

Круговая подача  $S_{\text{кр}}$  представляет собой длину дуги по делительной окружности долбяка, на которую он повернется за один двойной ход. Одному двойному ходу долбяка соответствует один оборот кривошипного диска 2. Движение от диска 2 будет передаваться на

штоссель с долбяком по цепи: червячная передача  $\frac{4}{50}$ , сменные ко-

леса гитары подач  $\frac{a_1}{b_1}$ , зубчатые передачи  $\frac{64}{72}$ ,  $\frac{72}{64}$ ,  $\frac{64}{35}$ ,  $\frac{35}{64}$  и червяч-

ная передача  $\frac{1}{90}$ .

Расчетные перемещения конечных звеньев цепи

$$1 \text{ дв. ход долбяка} \rightarrow S_{\text{кр}}, \text{ мм/дв. ход.}$$

Уравнение кинематического баланса цепи

$$1 \text{ об. диска} \cdot \frac{4}{50} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{64}{72} \cdot \frac{72}{64} \cdot \frac{64}{35} \cdot \frac{35}{64} \cdot \frac{1}{90} \pi m z_{\text{д}} = S_{\text{кр}}.$$

Формула настройки цепи

$$i_{\text{п}} = \frac{a_1}{b_1} = \frac{1125S_{\text{кр}}}{\pi m z_{\text{д}}}, \quad (6.3)$$

где  $m$  – модуль долбяка, мм;

$z_{\text{д}}$  – число зубьев долбяка.

Условие сцепляемости зубчатых колес гитары круговых подач

$$a_1 + b_1 = 110.$$

Кинематическая **цепь радиальных подач** связывает вращение кулака врезания б с вращением заготовки через червячную передачу  $\frac{100}{1}$ , тройной блок ( $\frac{28}{48}$  или  $\frac{41}{35}$  или  $\frac{48}{28}$ ), зубчатые передачи  $\frac{80}{40}$ ,  $\frac{52}{74}$ ,  $\frac{74}{44}$ ,  $\frac{44}{35}$ ,  $\frac{35}{80}$ ,  $\frac{80}{39}$  и червячную передачу  $\frac{1}{120}$ .

Расчетные перемещения конечных звеньев цепи

$$1 \text{ об. кулачка} \rightarrow n \text{ об. стола.}$$

Уравнение кинематического баланса цепи

$$1 \text{ об. кулачка} \cdot \frac{100}{1} \cdot \left. \begin{array}{c} \left( \frac{28}{48} \right) \\ \left( \frac{41}{35} \right) \\ \left( \frac{48}{28} \right) \end{array} \right\} \cdot \frac{80}{40} \cdot \frac{52}{74} \cdot \frac{74}{44} \cdot \frac{44}{35} \cdot \frac{35}{80} \cdot \frac{80}{39} \cdot \frac{1}{120} = n \text{ об. стола.}$$

Зубчатые колеса могут нарезать на станке за 1, 2 или 3 прохода. Число проходов выбирается в зависимости от твердости обрабатываемого материала, требуемой точности обработки и величины модуля нарезаемого колеса. Чем тверже материал, больше модуль и выше точность, тем больше выбирается число проходов. Для это-

го устанавливают плоские одно-, двух-, трехпроходные кулачки. За один оборот кулачка стол поворачивается на 1,3 оборота (при однопроходном кулачке), на 2,6 оборота (при двухпроходном кулачке) или на 3,8 оборота (при установленном трехпроходном кулачке).

Следовательно, врезание долбяка (радиальная подача) на заданную высоту зуба осуществляется плоским кулачком *б* (рис. 6.2).

На кулачке (рис. 6.3) имеется участок врезания ( $\alpha_{вр} = 90^\circ$ ), профиль которого очерчен по спирали Архимеда, и участки обкатки, очерченные по окружности и составляющие разные углы в зависимости от числа проходов при нарезании колеса.

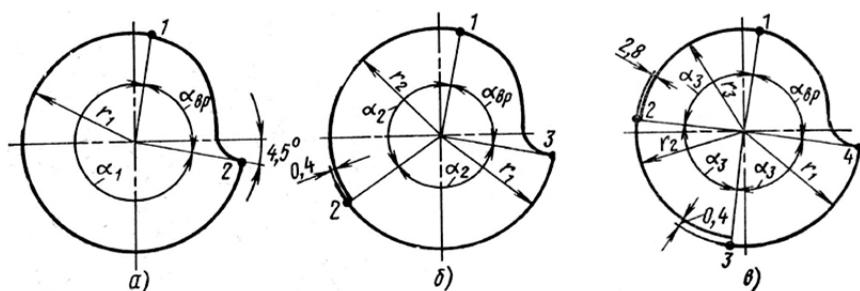


Рис. 6.3. Кулаки врезания

При нарезании колеса за один проход кулачок *б* (рис. 6.2) поворачиваясь на угол  $\alpha_{вр}$ , действует на рейку 7, связанную с кареткой суппорта 8, перемещает долбяк по направлению к заготовке.

Когда ролик рейки 7 окажется в точке 1 (рис. 6.3, *а*) врезание прекращается. При дальнейшем вращении кулачка на угол  $\alpha_1$  происходит обкатка, а заготовка за это время совершит один оборот. Для этого в цепи радиальных подач колесо  $z = 48$  вводится в зацепление с колесом  $z = 28$  тройного блока. Когда ролик рейки 7 достигает точки 2 кулачка, а затем попадает во впадину, то каретка с долбяком под действием пружины 9 (рис. 6.2) отойдет от заготовки и станок автоматически останавливается. При установке двухпроходного кулачка в зацепление вводятся колеса  $\frac{41}{35}$ . После врезания за время поворота кулачка на угол  $\alpha_2$  (рис. 6.3, *б*) заготовка совер-

шит один оборот, затем в точке 2 осуществляется дополнительное врезание долбяка на величину 0,4 мм и снова за время поворота кулачка на угол  $\alpha_2$  заготовка повернется еще на один оборот.

При обработке в 3 прохода в зацепление вводятся колеса 48–28. После врезания поворот кулачка на угол  $\alpha_3$  соответствует одному обороту заготовки. В точке 2 (рис. 6.3, в) происходит дополнительное врезание долбяка на величину 2,8 мм и снова поворот кулачка на угол  $\alpha_3$ , соответствующий одному обороту заготовки. В точке 3 снова происходит врезание долбяка на величину 0,4 мм (чистовой проход), и за время поворота кулачка на угол  $\alpha_3$  заготовка совершит еще один оборот.

Отвод стола с заготовкой от долбяка во время его холостого хода осуществляется от эксцентрика 10 (рис. 6.2) через толкатель и рычажную систему. Установка эксцентрика на одном валу с кривошипным диском обеспечивает нужную синхронность отвода и подвода стола с холостыми и рабочими ходами долбяка.

### ***Настройка цепей станка***

**Настройка цепи главного движения.** Требуемое число двойных ходов долбяка рассчитывается по формуле (6.1). За действительное число двойных ходов принимают ближайшее значение: 200, 315, 425 или 600.

Настройка станка для установки числа двойных ходов долбяка производится четырехступенчатой ременной передачей путем переделки ремней в соответствующие ручьи шкивов.

**Настройка цепи деления** производится с помощью гитары деления. Передаточное отношение гитары определяют по формуле (6.2), а затем подбирают зубчатые колеса из набора (49 штук): 24, 25, 27, 28, 31, 34, 36, 38, 40, 43, 44, 45, 47, 48, 49, 50, 52, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 92, 94, 95, 96 и 98 зубьев.

Сменные колеса гитары проверяют на сцепляемость по условию

$$\begin{array}{ll} a + b = 120 & c + d > b + 22 \\ c + d > 86 & c < 98 \end{array}$$

**Настройка цепи круговых подач.** Цепь настраивается с помощью гитары подач. Передаточное отношение подач определяется по формуле (6.3). Для быстрого подбора сменных колес гитары используется табл. 6.2, в которой величины подач указаны для долбяка с длительным диаметром 76 мм.

Для других диаметров долбяка ( $d$ ) величина подачи умножается на коэффициент равный  $\frac{d}{76}$ .

**Настройка цепи радиальных подач.** Радиальная подача обеспечивается сменными кулачками  $b$  (рис. 6.2), которые могут быть одно-, двух- и трехпроходными.

Таблица 6.2

Параметры цепи подач

Подача, мм/дв. ход	0,1	0,12	0,15	0,20	0,24	0,30	0,37	0,46
Числа зубьев ведущего колеса	35	40	46	52	58	64	70	75
Числа зубьев ведомого колеса	75	70	64	58	52	46	40	35
Число двойных ходов долбяка за 1 его оборот	2487	2000	1620	1162	990	790	640	515

Однопроходный кулачок на станке устанавливается при нарезании зубчатых колес из мягкой стали, имеющих модуль до 2 мм. Двухпроходный и трехпроходный кулачки применяются при нарезании зубчатых колес с модулем до 4 мм из стали средней твердости и твердых сталей, а также для получения повышенной точности профиля нарезаемых зубьев.

Установка числа оборотов заготовки, соответствующих одному обороту кулачка, осуществляется блоком зубчатых колес  $\frac{28}{48}$  или

$$\frac{41}{35}, \text{ или } \frac{48}{28}.$$

### *Контрольные вопросы*

1. Каково назначение зубодолбежных станков? Назовите примеры деталей, изготавливаемых на станках.
2. Из каких основных частей состоит зубодолбежный станок модели 5В12?
3. При каких движениях осуществляется нарезание зубьев колеса на станке?
4. Из каких цепей состоит кинематическая схема станка? Что является органами настройки этих цепей?
5. Составьте уравнение баланса для цепей главного движения, деления и подачи.
6. Выведите формулы настройки цепей станка.
7. Чем отличаются друг от друга одно-, двух- и трехпроходный кулачки?

Учебное издание

## **МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ И ИНСТРУМЕНТЫ**

Пособие

для студентов специальности

1–36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника»

Составитель

**ДАНИЛЬЧИК** Сергей Сергеевич

Редактор *Е. В. Герасименко*

Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 25.05.2020. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 4,94. Уч.-изд. л. 3,86. Тираж 100. Заказ 385.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.