

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Оренбургский государственный университет»

А. Г. Кравцов

ОБЪЕКТЫ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Учебное пособие

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение и 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов.

Оренбург
2021

УДК 621.7+621.8+621.9

ББК 34

К 78

Рецензент – кандидат технических наук, доцент А.А. Серёгин

Кравцов, А. Г.

К 78 **Объекты ремонтного производства : учебное пособие / А. Г. Кравцов; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2021. – 118 с. ISBN 978-5-7410-2613-7**

В учебном пособии представлены сведения об оборудовании машиностроительных предприятий, приведены примеры структуры отдельных видов машин. Рассмотрены основные узлы и механизмы реализации различных функций машин и их приводов, их структура и детали, подлежащие ремонту и восстановлению, предъявляемые к ним требования, используемые для их изготовления материалы и характерные повреждения, обусловленные процессами эксплуатации.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение и 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов.

Учебное пособие подготовлено в рамках проектов по совершенствованию содержания и технологий целевого обучения бакалавров в интересах организаций оборонно-промышленного комплекса.

УДК 621.7+621.8+621.9

ББК 34

ISBN 978-5-7410-2613-7

© Кравцов А. Г., 2021

© ОГУ, 2021

Содержание

Введение	4
1 Оборудование машиностроительного производства.....	5
2 Механизмы и детали машин	21
2.1 Общие сведения о механизмах и деталях машин	21
2.2 Некоторые узлы металлообрабатывающего оборудования.....	33
2.3 Базовые узлы и направляющие станков.....	38
2.4 Узлы и механизмы передачи и преобразования движения.....	56
2.5 Детали узлов и механизмов.....	65
3 Дефекты деталей узлов и механизмов	97
3.1 Повреждения направляющих станков	97
3.2 Повреждения валов	99
3.3 Повреждения зубчатых колёс и шкивов ременных передач	101
Список использованных источников	106
Приложение А_(справочное) Основные условные графические обозначения, используемые на кинематических и гидравлических схемах	108

Введение

Назначение ремонтного хозяйства предприятия – своевременное и в полном объеме удовлетворение потребностей производственных подразделений предприятия в техническом обслуживании и ремонте оборудования с минимальными затратами.

Производственные подразделения предприятия, участвующие в выпуске продукции, используют разнообразное технологическое оборудование. В процессе эксплуатации оборудование подвергается физическому износу, из-за чего снижаются его точность, производительность и другие характеристики. Это может стать причиной снижения качества продукции, ухудшения технико-эксплуатационных характеристик оборудования и технико-экономических показателей производства.

Для компенсации износа и поддержания оборудования в работоспособном состоянии на требуемом уровне необходимо своевременно заменять износившиеся части оборудования, восстанавливать их первоначальные свойства и размеры, производить регулировку и настройку отдельных агрегатов, выполнять другие виды работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования.

В данном учебном пособии представлены механизмы и детали машин, используемые на машиностроительном производстве. Дополнительно рассмотрены дефекты, которые возникают при эксплуатации деталей узлов и механизмов.

1 Оборудование машиностроительного производства

Согласно ГОСТ 14.004-83 под машиностроительным производством следует понимать производство с преимущественным применением методов технологии машиностроения при выпуске изделий. Следует отметить, что машиностроение делится на тяжелое, общее, среднее и точное. Каждое из них характеризуется своим видом выпускаемой продукции и, соответственно, используемым оборудованием. Помимо этого различия машиностроительных производств и различия их по отраслям, таким, например, как станкостроение, судостроение, автомобилестроение, авиастроение, самолетостроение, ракетостроение и другим, машиностроительные производства согласно ГОСТ 14.004-83 подразделяются с использованием трёх основных классификационных категорий. К этим категориям относятся вид производства, тип производства и форма организации производства. Вид производства, как сказано в ГОСТ 14.004-83, представляет собой классификационную категорию, характеризующую применяемым методом изготовления изделия, например, литейное, механообрабатывающее, сварочное, сборочное и другие. Тип производства, определяется признаками широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объёма выпуска изделий. Согласно данным признакам различают единичное, серийное (мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное) и массовое производство. Что касается формы, то различают групповую и поточную организацию производства.

Для ориентировочного определения типа производства можно воспользоваться данными приведёнными в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Ориентировочные данные для предварительного определения типа производства [1]

Производство	Число обрабатываемых деталей одного типоразмера в год		
	тяжелых (массой более 100 кг)	средних (массой от 10 до 100 кг)	легких (массой до 10 кг)
Единичное	До 5	До 10	До 100
Мелкосерийное	5-100	10-200	100-500

Продолжение таблицы 1.1

Среднесерийное	100-300	200-500	500-5000
Крупносерийное	300-1000	500-5000	5000-50 000
Массовое	Более 1000	Более 5000	Более 50 000

Для более точного определения типа производства используется коэффициент закрепления операций – $K_{з.о}$, рассчитываемый как отношение числа выполняемых за месяц, согласно ГОСТ 3.1121 – 84, операций O к количеству рабочих мест, на которых эти операции производились P .

$$K_{з.о} = \frac{O}{P} \quad (1)$$

В соответствие с ГОСТ 3.1121- 84 $K_{з.о}$ принимает следующие значения:

- $1 < K_{з.о} < 10$ – при крупносерийном производстве;
- $10 < K_{з.о} < 20$ – при среднесерийном производстве;
- $20 < K_{з.о} < 40$ – при мелкосерийном производстве;
- $K_{з.о}$ – при единичном производстве не регламентируется ($40 < K_{з.о}$);
- $K_{з.о} = 1$ – при массовом производстве.

В структуре отдельного машиностроительного предприятия ГОСТ 14.004-83 выделяет ещё такие виды производств как основное, вспомогательное, инструментальное и опытное. В данном контексте в структуре некоторых машиностроительных предприятий может быть выделено и заготовительное производство.

Каждая разновидность машиностроительного производства характеризуется использованием определённых видов оборудования. В общем случае всё оборудование машиностроительных предприятий, в соответствии с видами производств, делится на основное и вспомогательное. По технологическому назначению в машиностроительном производстве различают литейное оборудование, металлообрабатывающее, сварочное, подъемно-транспортное и накопительное. Металлообрабатыва-

ющее оборудование, в свою очередь подразделяется, в зависимости от способа обработки, на кузнечно-прессовое (КПО), металлорежущие станки (МРС), электроэрозионное, ультразвуковое и лазерное и оборудование для гидрообработки. Следует сказать, что специализированные цеха и участки машиностроительных предприятий, а равно и их оборудование, так же структурируются по принципу основного и вспомогательного производства. В соответствии с этапами в производственном процессе выделяют заготовительное производство, механообрабатывающее и сборочное. Оборудование всех этих производств соответствует их видам. Рассматривая машиностроительное производство в целом можно сказать, что в нём используется литейное оборудование, оборудование для обработки давлением, металлорежущие станки, оборудование для термообработки, оборудование для сварки, сборки, транспортировки, складирования и другие виды оборудования, обеспечивающие функционирование предприятия с целью выпуска запланированной продукции. Различие технологий используемых в машиностроении определяет использование и различных машин. Рассмотрим некоторые виды оборудования

Так литейное производство может использовать технологии литья в песчаные или в оболочковые формы, литья по выплавляемым моделям, кокильного литья, литья под давлением или центробежного литья. Каждая из названных технологий подразумевает использование конкретных видов оборудования характерного только для неё.

Производство заготовок на базе технологии литья в песчаные формы, схема которой приведена на рисунке 1, реализуется с использованием оборудования, схематично представленного на рисунках со 2 по 7.

При производстве литейных заготовок путем литья в оболочковые формы, используется несколько иное оборудование, к которому относятся машины для производства оболочковых форм, пескодувные машины, модельная плита, пескострельная головка, прессовое оборудование для склеивания оболочковых полуформ. Конструкции и схемы некоторых из них приведены на рисунках с 8 по 12.

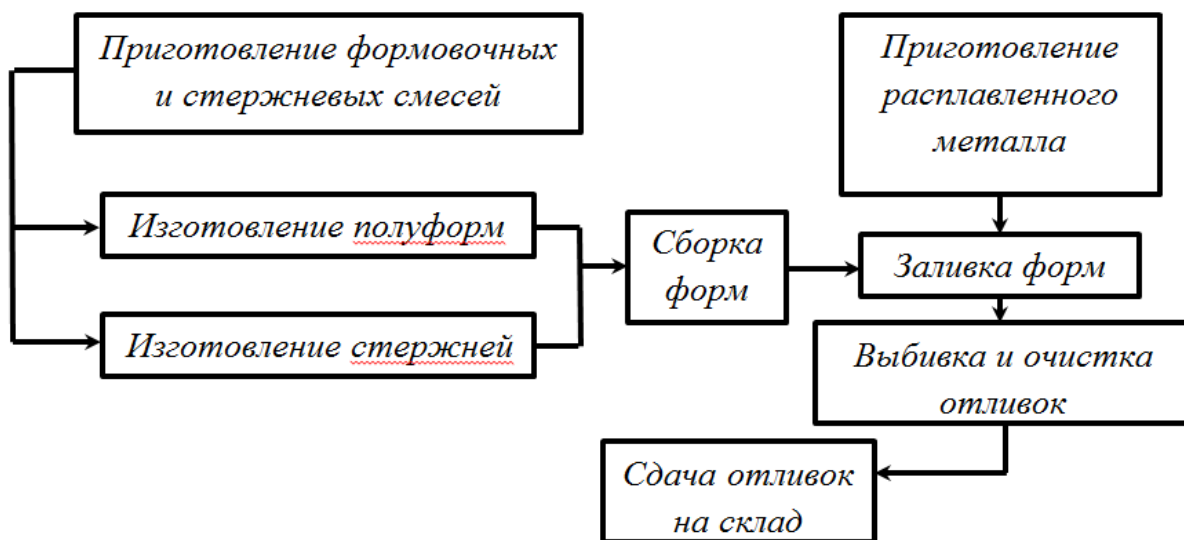
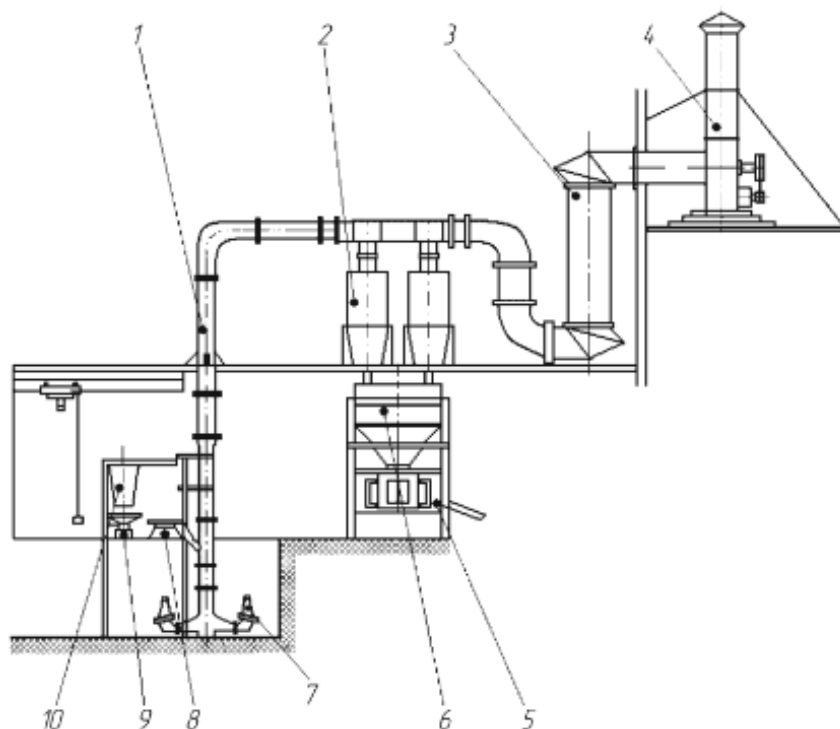
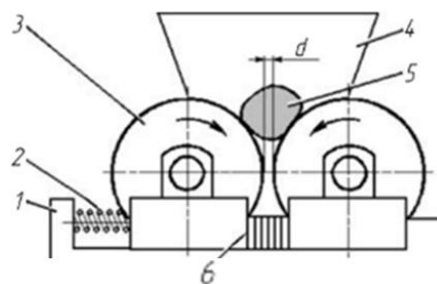


Рисунок 1.1 – Схема технологического процесса изготовления отливок с использованием песчаных форм



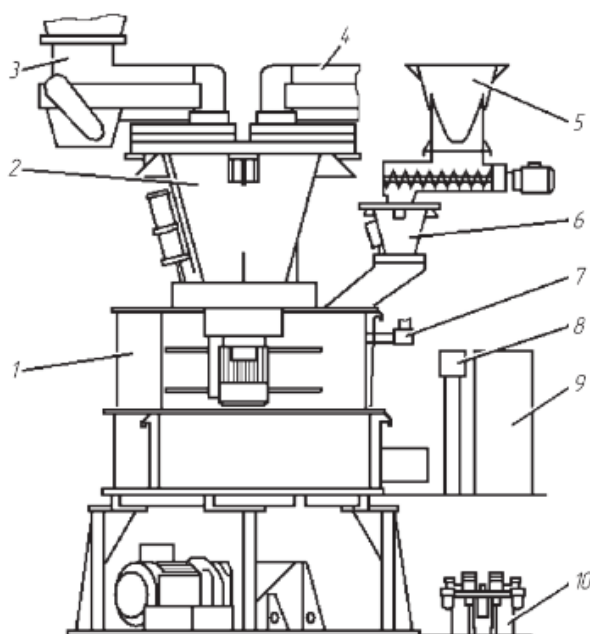
1 – сушильная труба; 2 – батарейный циклон-осадитель; 3 – скруббер для сбора пыли; 4 – вентилятор; 5 – вибрационное сито; 6 – бункер; 7 – горелка; 8 – ленточный питатель; 9 – дисковый питатель; 10 – расходный бункер.

Рисунок 1.2 – Установка для сушки песка в потоке воздуха



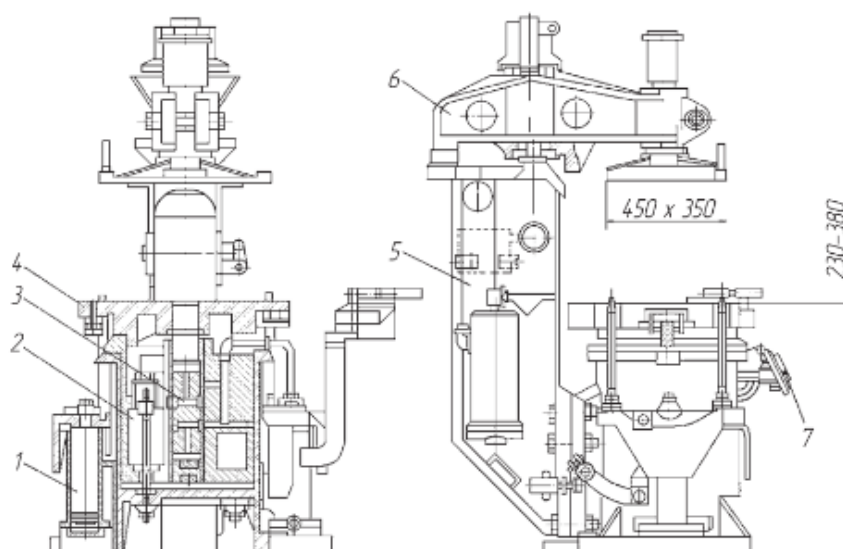
1 – рама; 2 – пружина; 3 – валок; 4 – бункер; 5 – измельчаемый материал; 6 – сменные прокладки.

Рисунок 1.3 – Валковая дробилка



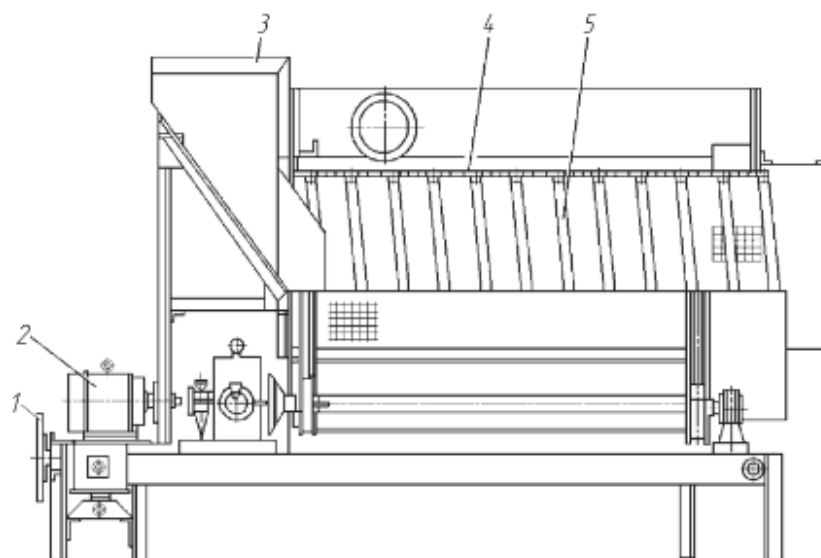
1 – смеситель; 2 – весовой бункер-дозатор сухих компонентов на 70 кг; 3 – вихревой смеситель; 4 – рама; 5 – шнековый питатель; 6 – весовой бункер-дозатор жидких компонентов на 55 кг; 7 – весовой бункер-донатор на 1200 кг; 8 – шнековый питатель; 9 – автоматизированное рабочее место лаборанта; 10 – пневмо- и электрооборудование.

Рисунок 1.4 – Смесеприготовительный комплекс



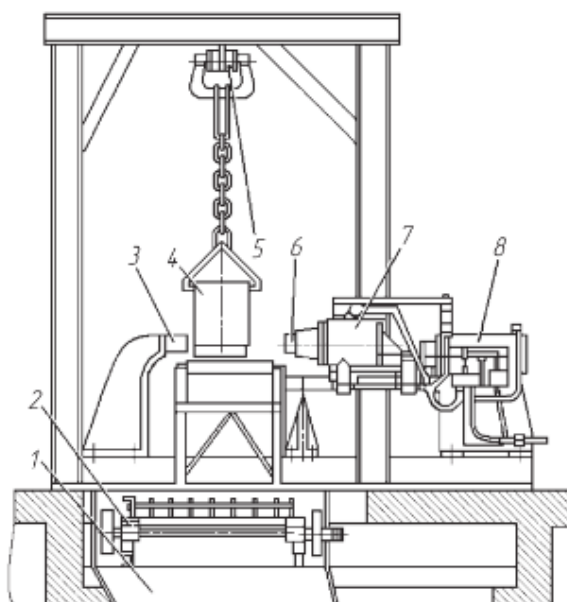
1 – штифтоподъёмный механизм; 2 – прессовый поршень; 3 – плунжер вибратора; 4 – стол; 5 – станина-колонка; 6 – прессовая траверса; 7 – коленный клапан.

Рисунок 1.5 – Вибропрессовая формовочная машина модели 226



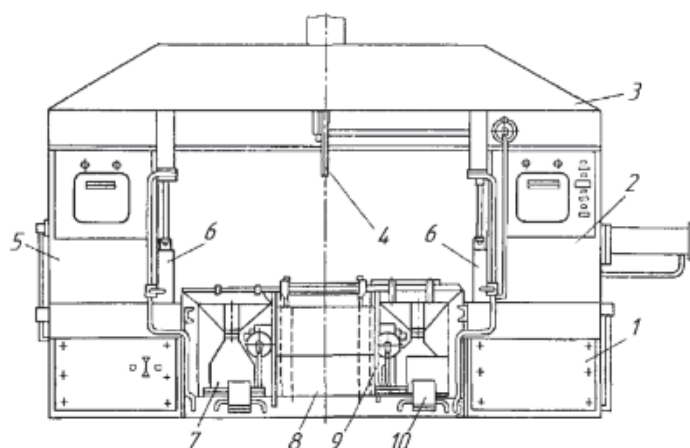
1 – механизм для установки угла наклона барабана; 2 – электродвигатель; 3 – приемный бункер; 4 – цилиндр; 5 – стальная полоса.

Рисунок 1.6 – Барабан для разрушения безопочных форм



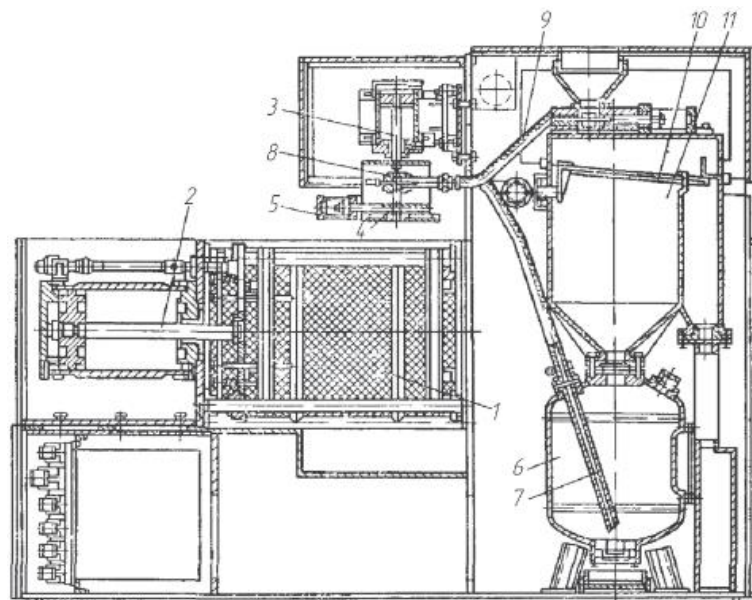
1 – бункер для приема отработанной стержневой смеси; 2 – решетка; 3 – пружинный упор; 4 – отливка; 5 – каретка конвейера; 6 – упор; 7 – передвижной вибратор поршневого типа; 8 – пневмозажим.

Рисунок 1.7 – Вибрационная установка для выбивки стержней из отливок



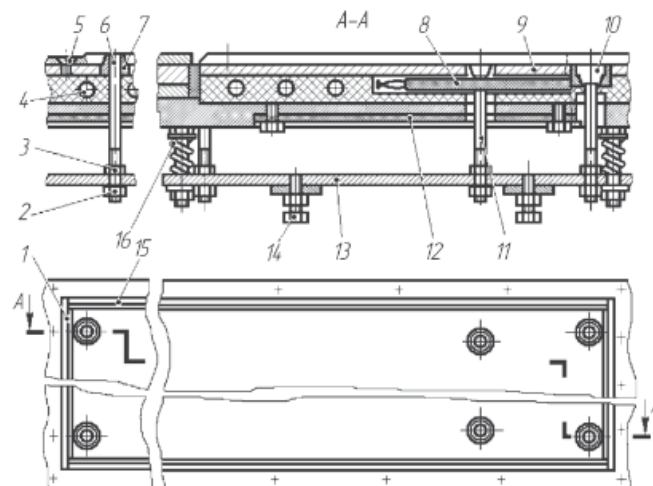
1 – станина; 2, 5 – печи; 3 – вытяжной кожух; 4 – пневматический подъемник; 6 – автоматические заслонки; 7 – пневмогидравлические цилиндры; 8 – поворотный бункер; 9 – поворотный механизм; 10 – пневматические краны.

Рисунок 1.8 – Двухпозиционная машина для производства оболочковых форм



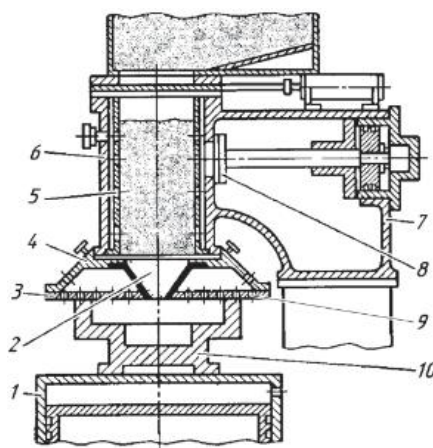
1 – стержневой ящик; 2, 3, 5 – цилиндры; 4 – надувная головка; 6 – бункер; 7, 9 – трубопровод; 8 – пневматическая система удаления излишков песчано-смоляной смеси; 10 – сито; 11 – приемный бункер.

Рисунок 1.9 – Схема пескодувной машины



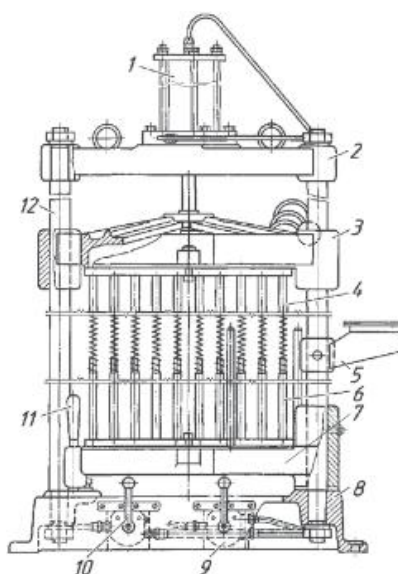
1 – планки боковые; 2, 3 – гайки; 4 – трубопровод охлаждения; 5 – винты; 6, 11 – выталкиватели; 7 – углубления центрирующие; 8 – термопара; 9 – плита; 10 – выступы центрирующие; 12 – плита прижимная; 13 – плита выталкивателей; 14 – упоры; 15 – планки торцевые; 16 – пружины возвратные.

Рисунок 1.10 – Схема конструкции типовой модельной плиты



1 – стол; 2 – конусная насадка; 3 – надувная плита; 4 – насадка; 5 – прорези; 6 – резервуар; 7 – резервуар; 8 – дутьевой клапан; 9 – щелевидные отверстия; 10 – стержневой ящик.

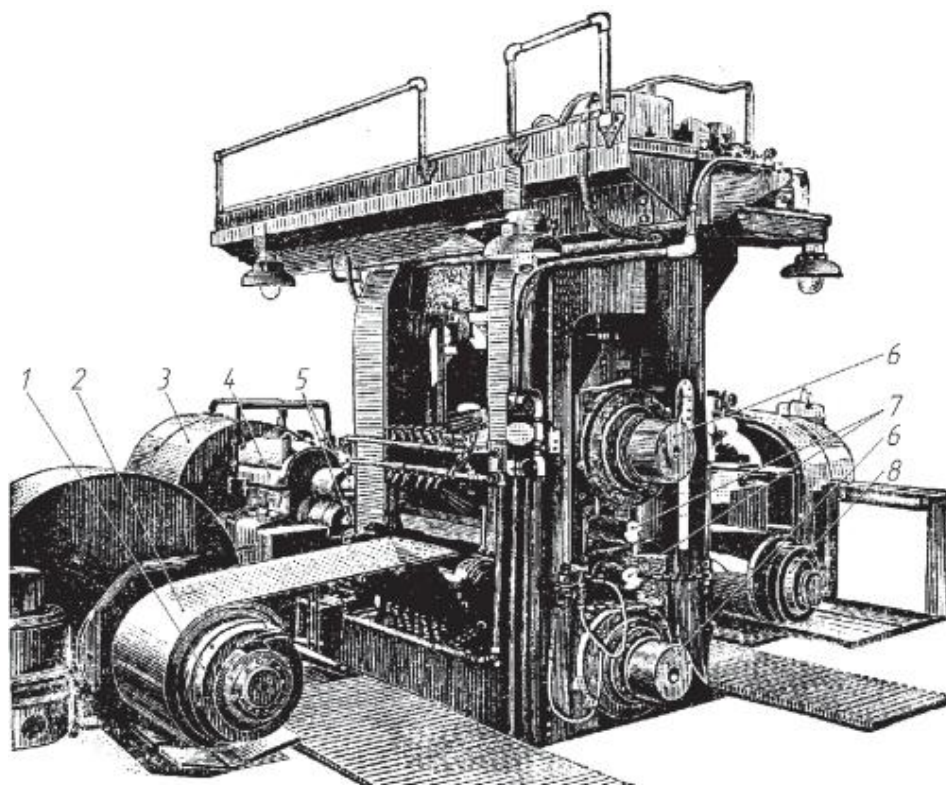
Рисунок 1.11 – Схема пескострельной головки



1 – пневмоцилиндр; 2 – неподвижная траверса; 3 – подвижная траверса; 4 – пружины; 5 – откидной стол; 6 – сменные штыри; 7 – стол; 8 – станина; 9 – кран перемещения траверсы; 10 – кран подачи углекислого газа; 11 – рукоятка выдвигания стола; 12 – стойки.

Рисунок 1.12 – Структурная схема прессы для склеивания оболочковых полуформ

Не останавливаясь подробно на представлении оборудования для таких производств как литьё по выплавляемым моделям, кокильное литьё, литьё под давлением и центробежное литьё, поскольку оно достаточно полно представлено в литературе [2,3], рассмотрим оборудование для других видов обработки и производств. При обработке давлением реализуемой путем различных видов прокатки,ковки, горячей и холодной объёмной штамповке, прессования, листовой штамповки и волочения используют следующее оборудование. В качестве оборудования прокатного производства применяют прокатные станы, примеры внешних видов которых приведены на рисунках 13 и 14.



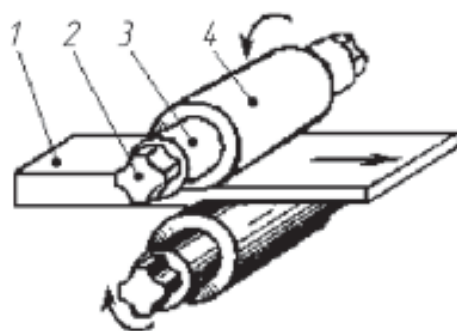
1 – привод подающей моталки; 2 – прокатываемая лента; 3 – электродвигатель привода валков; 4 – редуктор; 5 – шпиндели; 6 – поддерживающие валки; 7 – рабочие валки; 8 – барабан приемной моталки.

Рисунок 1.13 – Внешний вид стана кварто для холодной прокатки ленты

Прокатным станом представляет собой технологический комплекс машин и агрегатов, которые располагаются последовательно и предназначены для пластической деформации металла в валках, являющихся основной частью прокатного стана, как показано на рисунке 15, (говоря иначе прокатки), последующей его обработки, отделки и транспортировки. Суть обработки и отделки заключается в правке, обрезке кромок, резке на изделия и выполнении других необходимых операций.



Рисунок 1.14 – Внешний вид непрерывного рельсобалочного стана на заводе «Аншан» (КНР)

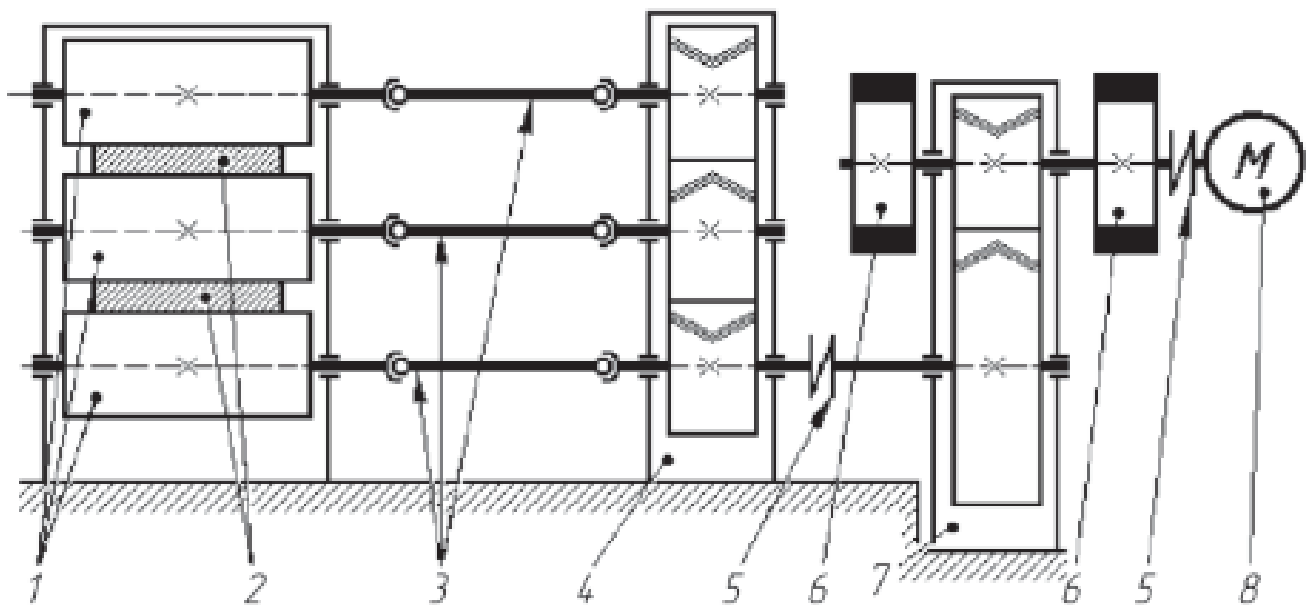


1 – металлический лист (прокатываемый); 2 – трефа; 3 – шейка; 4 – бочка (2,3 и 4 образуют валок).

Рисунок 1.15 – Схема прокатки металлической полосы двумя валками

При обработке прокаткой основным оборудованием принято считать устройства, обеспечивающие деформацию металла в валках. Оборудование, предназначенное для реализации остальных технологических операций носит название вспомогательного. Иными словами к основному оборудованию прокатных производств относятся рабочие клетки, электродвигатели прокатных станов и передаточные механизмы. Общая кинематическая схема трёхвалкового прокатного стана представлена на рисунке 16.

Рабочие клетки прокатных станов, схемы которых представлены на рисунке 17, различаются назначением и количеством используемых валков. Применяют следующие виды рабочих клеток: дуо – *а*; трио сортовые – *б*; трио листовые – *в*; кварто листовые – *г*; кварто для прокатки рулонов – *д*; многовалковая (шестивалковая) – *е*; многовалковая (двадцативалковая) – *ж*; универсальная – *з*; специальная – *и*.



1 – валки; *2* – заготовка; *3* – шпиндели; *4* – шестеренная клетка; *5* – муфты; *6* – маховики; *7* – редуктор; *8* – главный электродвигатель.

Рисунок 1.16 – Кинематическая схема трёхвалкового прокатного стана

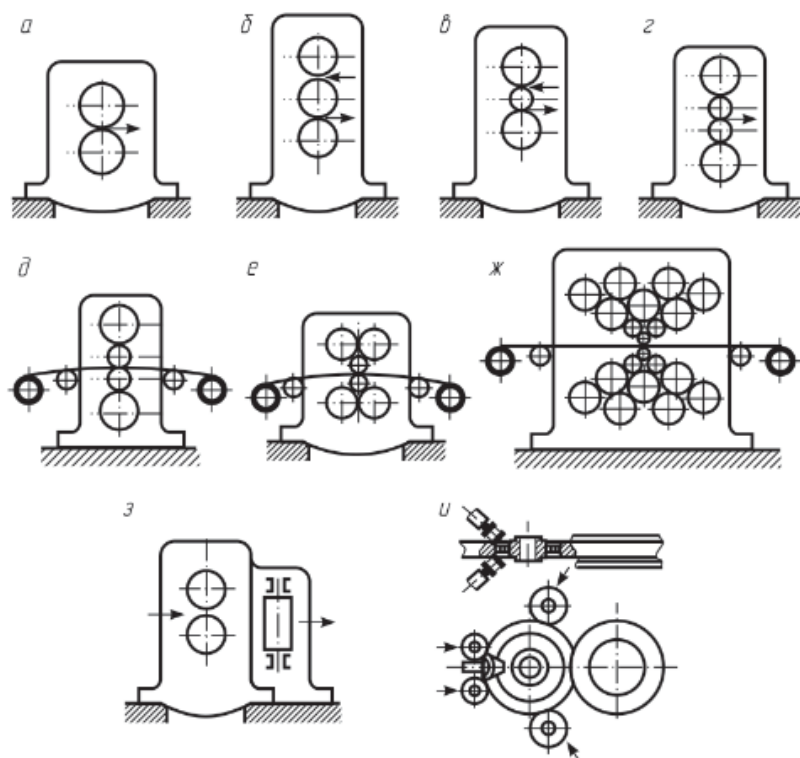
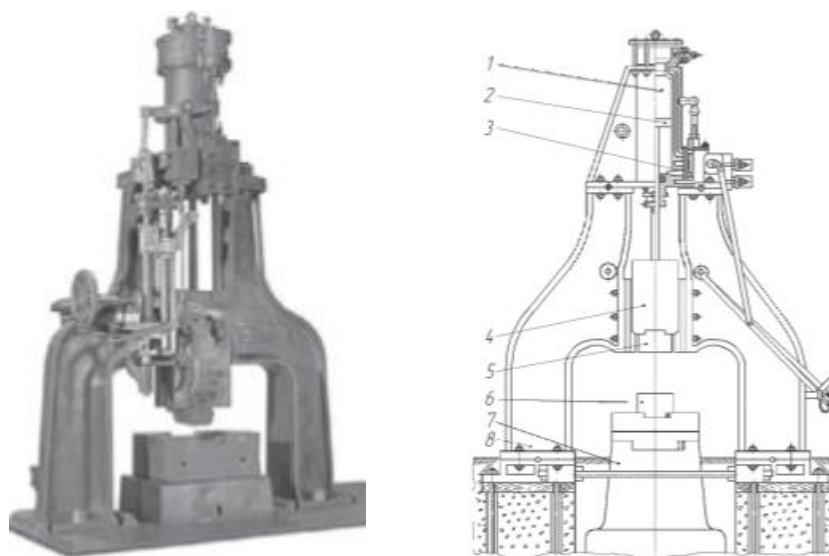
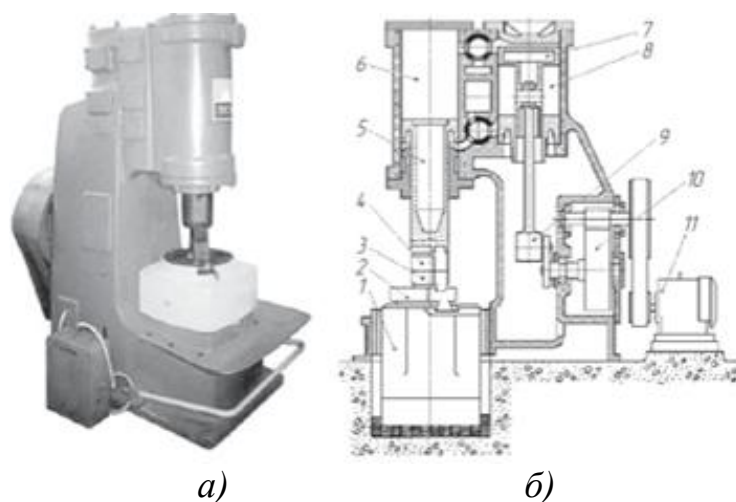


Рисунок 1.17 – Схемы рабочих клеток прокатных станов



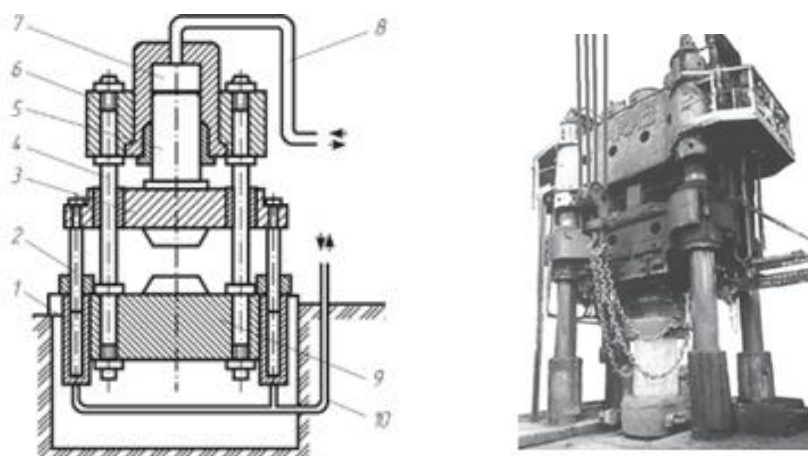
1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – золотник; 4 – баба; 5 – верхний боек; 6 – нижний боек; 7 – шабот; 8 – станины молота.

Рисунок 1.18 – Внешний вид парового молота Джеймса Несмита и схема паровоздушного ковочного молота



a – общим вил; *б* – схема; 1 – шабот; 2 – подушка; 3 – боек нижний; 4 – боек верхний; 5 – баба; 6 – рабочий цилиндр; 7 – поршень; 8 – компрессорный цилиндр; 9 – кривошипно-шатунный механизм ; 10 – редуктор ; 11 – электродвигатель.

Рисунок 1.19 – Пневматический молот МЛ4129 (масса падающих частей 80 кг)

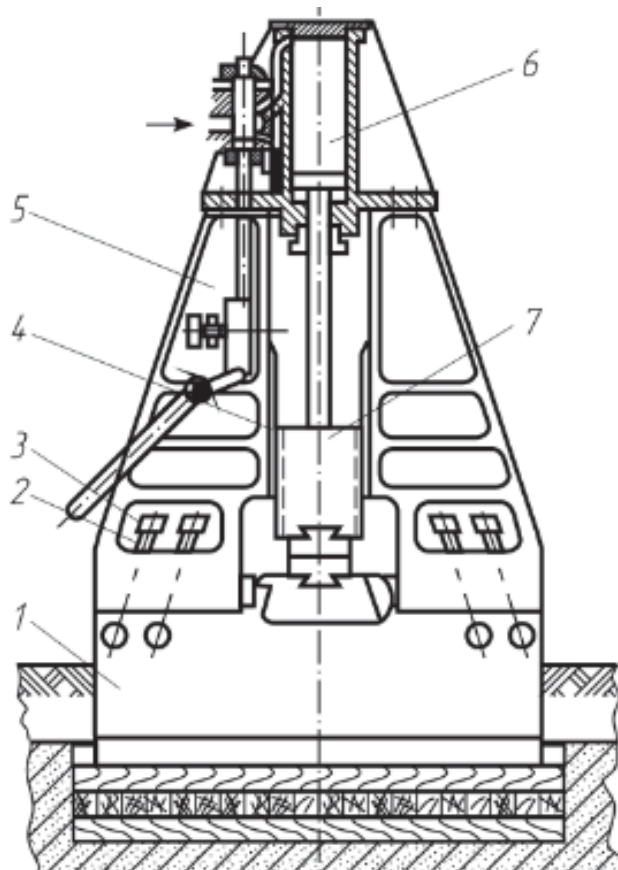


1 – цилиндры возвратные; 2 – плунжер возвратный; 3 – поперечина подвижная; 4 – колонны; 5 – плунжер рабочий; 6 – верхняя неподвижная поперечина; 7 – цилиндр рабочий; 8 – трубопровод; 9 – нижняя неподвижная поперечина; 10 – трубопровод.

Рисунок 1.20 – Схема гидравлического ковочного преса и его пресс модели 35МН

Одним из видов обработки давлением являетсяковка. В качестве оборудования, на котором выполняются ковочные операции, используют молоты (паровоздушные, пневматические), гидравлические ковочные прессы, изображения которых приведены на рисунках с 18 по 20.

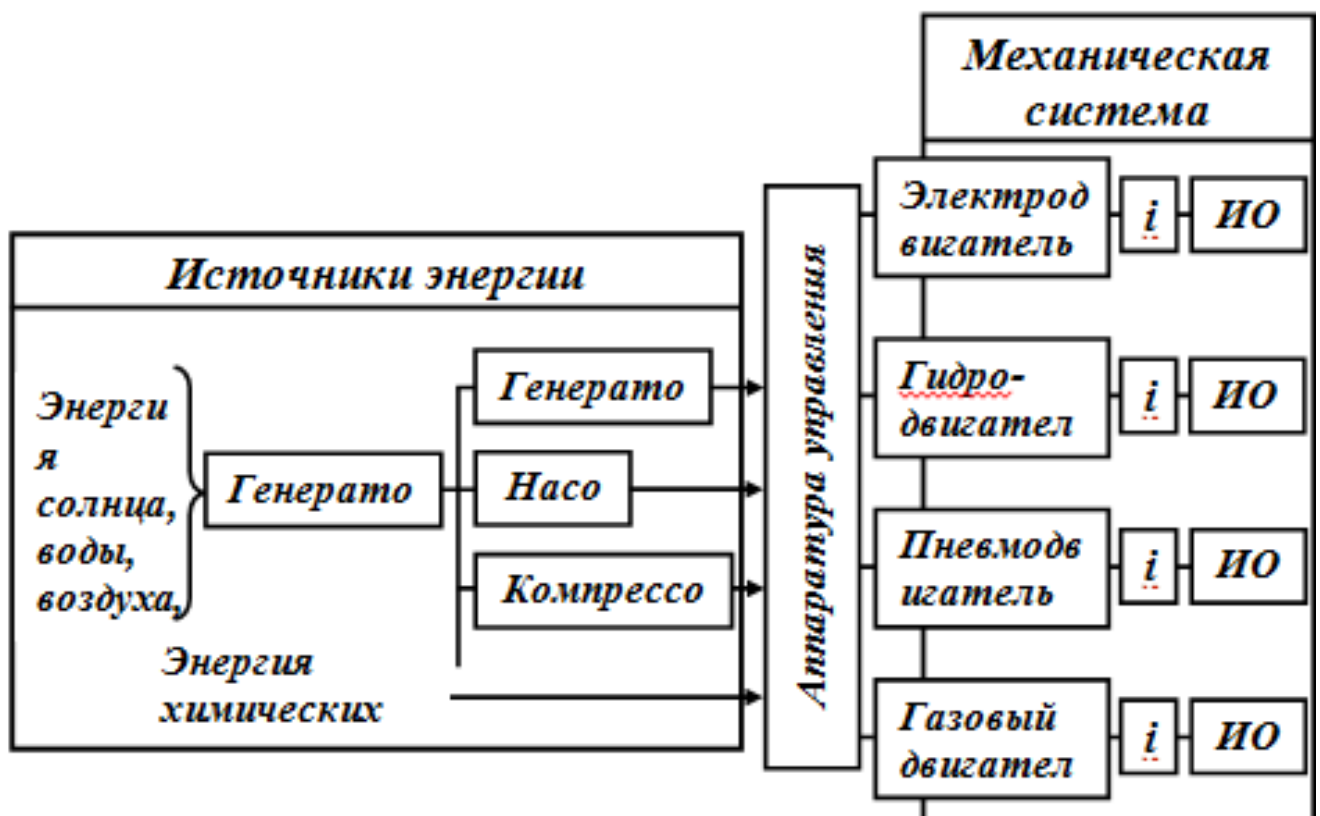
При горячей штамповке также используют молоты (паровоздушные, фрикционные) и прессы (кривошипные, гидравлические), горизонтально-ковочные машины, а кроме того – штамповочное оборудование узкого назначения и электровысадочные машины. Схема одного из паровоздушных штамповочных молотов двойного действия приведена на рисунке 1.21.



1 – шабот; 2 – пружины; 3 – болты; 4 – направляющие; 5 – стойки; 6 – цилиндр; 7 – баба.

Рисунок 1.21 – Схема паровоздушного штамповочного молота двойного действия

Завершить изложение данного раздела можно заключением о том, что структура любой машины, как показано на рисунке 2.22, образована приводом, преобразовательным, регулирующим и передаточным механизмами, которые в совокупности с исполнительными органами машины реализуют её функциональное назначение. Это позволяет говорить об общности машин, агрегатов, узлов и их деталей.



i – преобразовательные, регулирующие и передаточные механизмы;
 ИО – исполнительный орган.

Рисунок 1.22 – Структурная схема машины

Металлообрабатывающее оборудование в целом и металлорежущие станки, в частности, являются сложными, развитыми техническими системами и при этом наиболее представительными с точки зрения наличия в них агрегатов, узлов и дета-

лей, используемых в структурах другого оборудования и машин . Поэтому не углубляясь в рассмотрение всех видов и типов машин и оборудования машиностроительной отрасли, перейдём к непосредственному рассмотрению их механизмов и деталей на примере металлорежущих станков.

Контрольные вопросы

1 Расскажите о технологическом процессе изготовления отливок с использованием песчаных форм.

2 Что вам известно о коэффициенте закрепления операций – *Кз.о*?

3 Перечислите оборудование для производства заготовок на базе технологии литья в песчаные формы.

4 Расскажите об оборудовании для литья в оболочковые формы.

5 Что вам известно об оборудовании для обработки давлением?

6 Перечислите способы обработки давлением.

7 Расскажите о схемах прокатки.

8 Что вам известно о молотах?

9 Что вы знаете о клетях прокатных станов?

10 Расскажите о структуре механической системы машин.

2 Механизмы и детали машин

2.1 Общие сведения о механизмах и деталях машин

Как следует из предыдущего раздела, машиностроительные производства характеризуются использованием разнообразного оборудования и машин, структуру

которых образуют различные механизмы и сборочные единицы (узлы), представляющих собой комплексы, собираемые из крупных и мелких деталей, разнообразных по форме, конструкции, материалу и свойствам.

Отметим, что механизмом принято называть совокупность подвижно соединенных тел (звеньев), совершающих под действием приложенных сил определенные целесообразные движения. Работа механизмов связана с изменением угловых скоростей (зубчатая, ременная, цепная и другие передачи), с преобразованием одного вида механического движения в другой, например вращательного в возвратно-поступательное или наоборот (кривошипно-шатунный, кулачковый и другие механизмы). По этой причине всё многообразие механизмов классифицируются на типовые механизмы. Для этого в качестве основного классификационного признака используют их функциональное назначение. В соответствии с данным признаком выделяют следующие группы типовых механизмов, схемы которых представлены на рисунках с 2.1 по 2.8:

- механизмы для реверсирования движения;
- механизмы для преобразования вращательного движения в прямолинейное поступательное движение;
- механизмы для бесступенчатого изменения скорости;
- механизмы для ступенчатого изменения скорости;
- механизмы для получения прерывистых движений;
- механизмы ручного управления;
- прочие механизмы.

Для понимания работы приведенных на рисунках с 2.1 по 2.8 механизмах поясним используемые на них обозначения.

На позиции 1 рисунка 2.1 показаны электродвигатели переменного (позиция *а*) и постоянного (позиция *б*) тока, которые путём изменения последовательности подключения к их обмоткам фаз и полюсов, соответственно, будут изменять направление вращения своих ротора и якоря, а следовательно и вала двигателя.

На позиции 2 рисунка 2.1 показаны Z_1 и Z_4 , являющиеся ведущим и ведомым зубчатыми колесами, соответственно. Символом P обозначена рамка (называемая приклоном), которая служит для установки промежуточных зубчатых колёс (встречается название «паразитные»). Все зубчатые колёса данного механизма являются сменными.

На позиции 3 того же рисунка показано как составное колесо Z_5 будет изменять направление своего вращения при изменении зацепления колес Z_4 и Z_5 с внутреннего на внешнее.

На позициях 4, 8 и 9 символом M_K обозначена средняя часть кулачковой муфты, подвижно закреплённая на валу I. На позиции 9 показано прямозубое цилиндрическое колесо Z_3 с внутренним зацеплением. На позициях 5 и 7 на валах I подвижно закреплены двухвенцовый подвижный блок прямозубых цилиндрических колес и двухвенцовый подвижный блок конических колёс, соответственно.

Для чтения схем представленных на других рисунках в приложении А приведены основные условные графические обозначения, применяемые на кинематических и гидравлических схемах.

Механизм образуется из подвижных звеньев, соединенных между собой в кинематические пары и неподвижным звеном.

Соединение двух звеньев поверхностями, линиями или точками называют кинематическими парами.

В качестве примера рассмотрим кривошипно-шатунный механизм, схема которого приведена на позиции 4 рисунка 2.2. Этот механизм при равномерном вращении кривошипа O_1A обеспечивает прямолинейное возвратно-поступательное движение ползуна B . За полный оборот кривошипа O_1A точки O_1 , A , и B подвижных звеньев – кривошипа O_1A , шатуна AB и ползуна P_O (рабочего органа) описывают соответствующие траектории, причем в каждый последующий оборот кривошипа точки подвижных звеньев будут перемещаться по тем же траекториям, преобразуя вращательное движение кривошипа O_1A в возвратно-поступательное движение ползуна P_O . Следует отметить, что равномерному вращению шатуна, соответствует неравномерное перемещение ползуна. Различие скоростей обусловлено различием ви-

дов движений совершаемых точками A и B . Причем скорость ползуна при прямом и обратном ходе для каждого его положения будет одинаковой. Особенность данного механизма состоит в том, что ведущим звеном может быть как кривошип, так и ползун, приводимый в движение, например штоком поршня гидроцилиндра. Другой особенностью кривошипно-шатунного механизма является наличие, так называемых «мёртвых» точек, соответствующим крайнему левому и крайнему правому положениям ползуна. В эти моменты кривошип образует с ним одной прямой линию (при положении кривошипа соответствующему углу 0° и 180°). Особенность данных точек связана с тем, что из них при возвратном ходе ползуна кривошип способен двигаться как в прямом, так и в обратном направлении. Для постоянства направления вращения кривошипа на его валу закрепляют маховик, инерция которого выводит кривошип из «мёртвых» точек.

Машина представляет собой механическое устройство, состоящее из механизмов, узлов, модулей и агрегатов с согласованно работающими частями, осуществляющее определенные целесообразные движения, направленные на преобразование энергии, материалов или информации.

Структура любой машины образована сборочными единицами, узлами, механизмами, модулями и агрегатами, собранными из отдельных деталей.

Деталь представляет собой изделие, изготовленное из единого куска материала без применения сборочных операций. Деталью являются как простые мелкие изделия, например болт, гайка или шайба, так имеющие и крупные размеры, сложной формы – станина, стойка, поперечина, корпус двигателя, вал турбины, коленчатый вал двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и другие.

Сборочной единицей принято называть комплекс совместно работающих деталей, например подшипник качения, вал в сборе с опорами и зубчатыми колесами коробки скоростей станка или коробки передач автомобиля, насос, муфты, суппорт и другие.

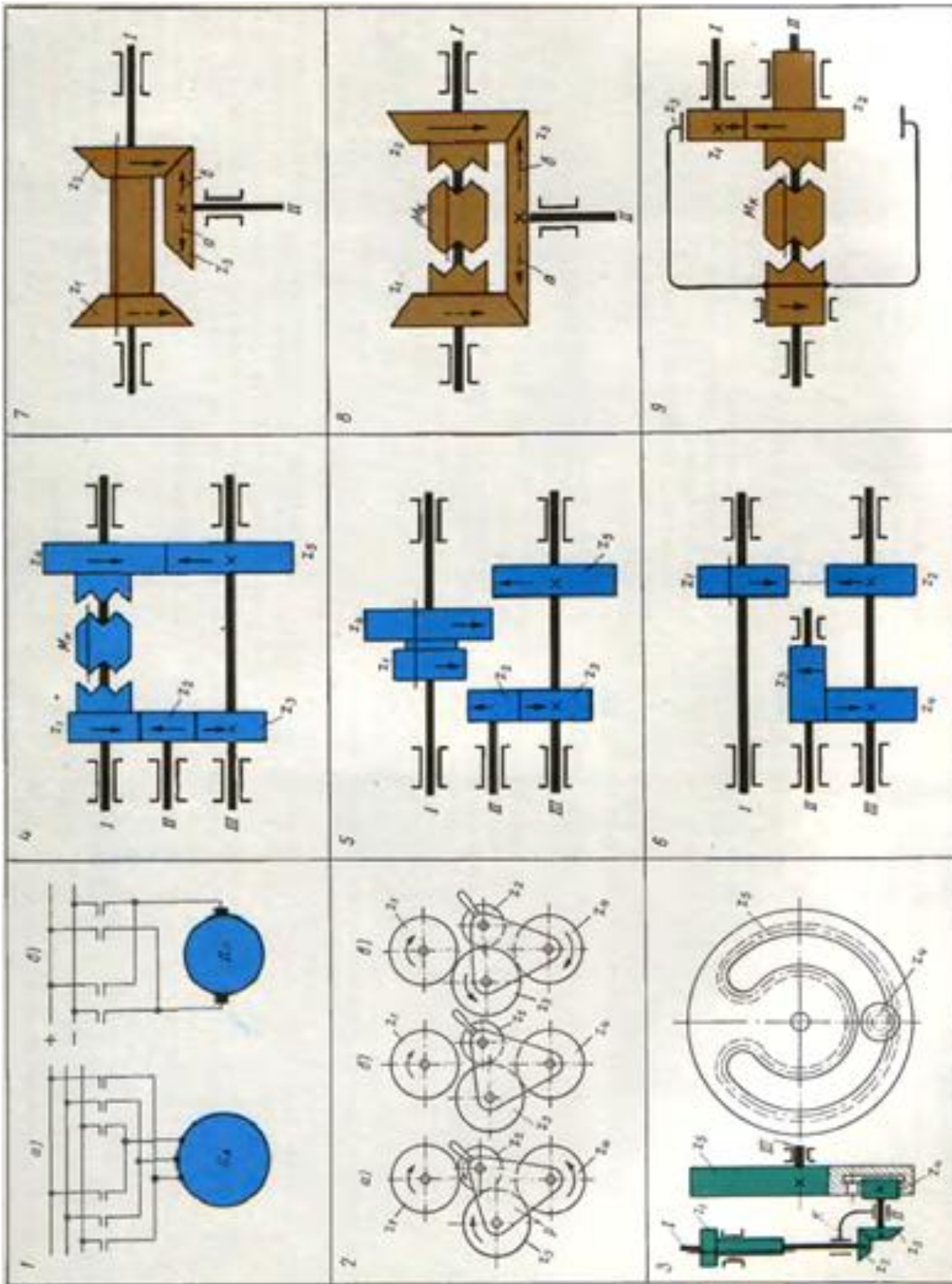


Рисунок 2.1 – Схемы механизмов для реверсирования движения

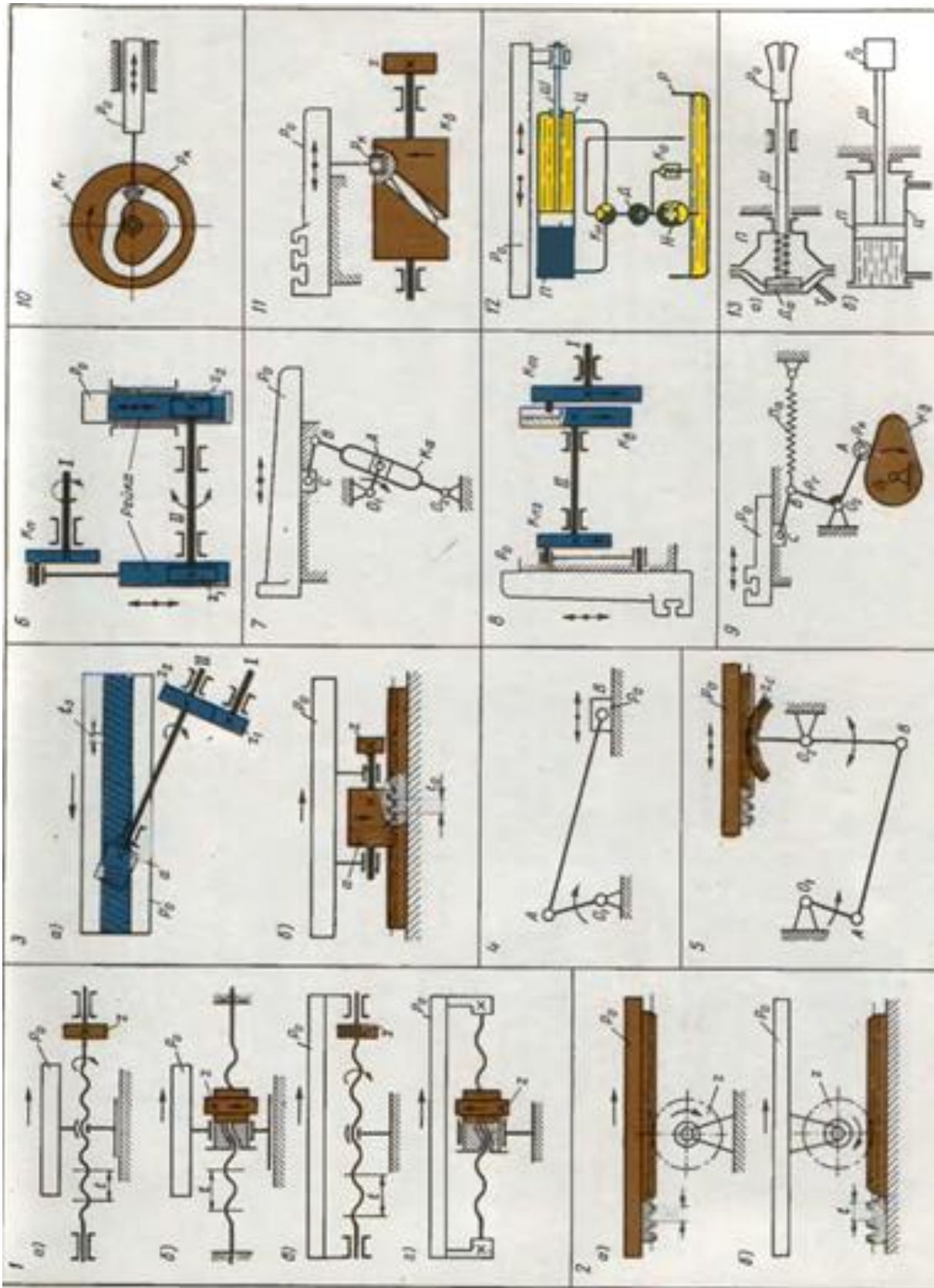


Рисунок 2.2 – Схемы механизмов преобразования вращательного движения в прямолинейное движение

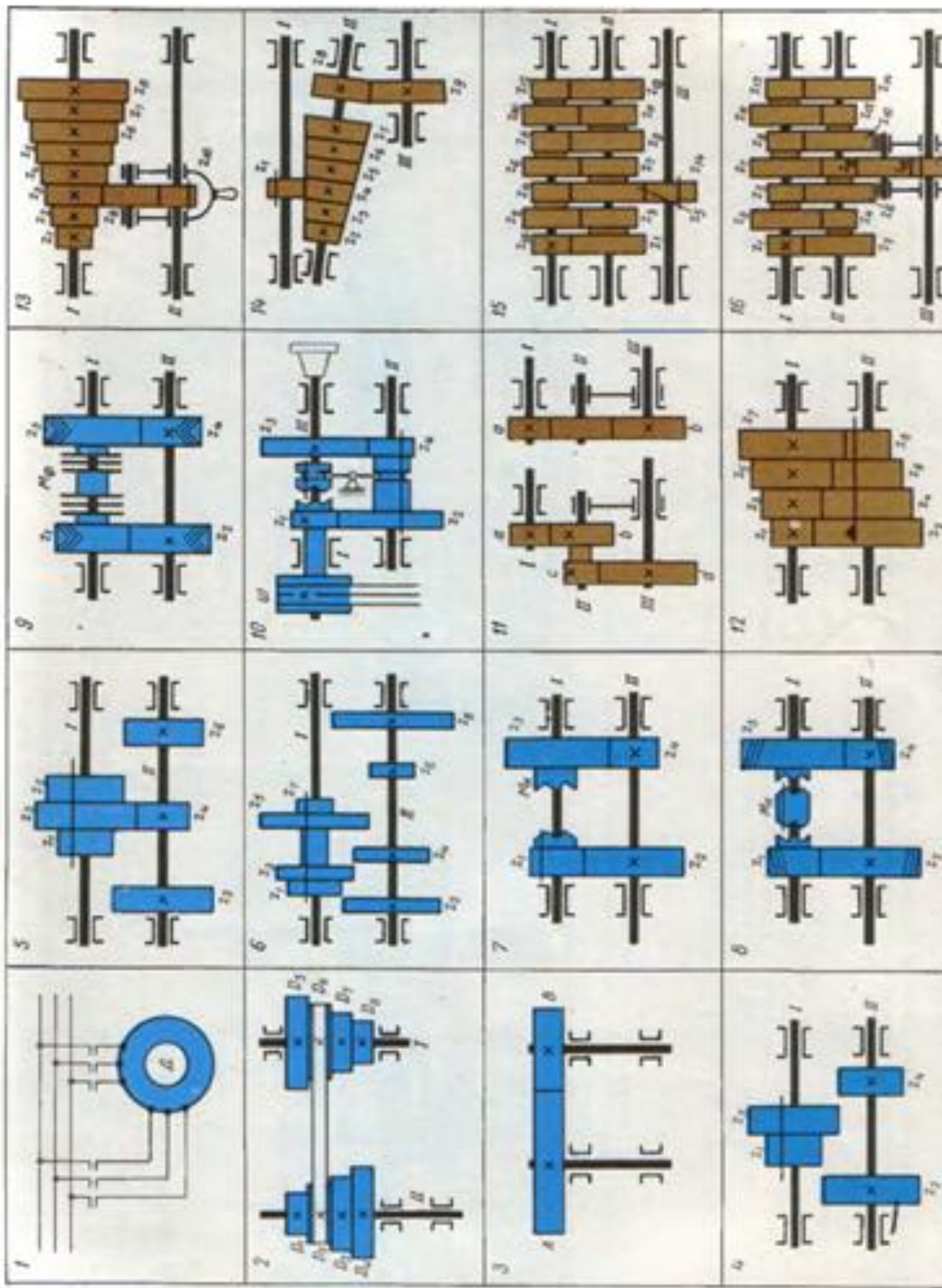


Рисунок 2.4 – Схемы механизмов для ступенчатого изменения скорости

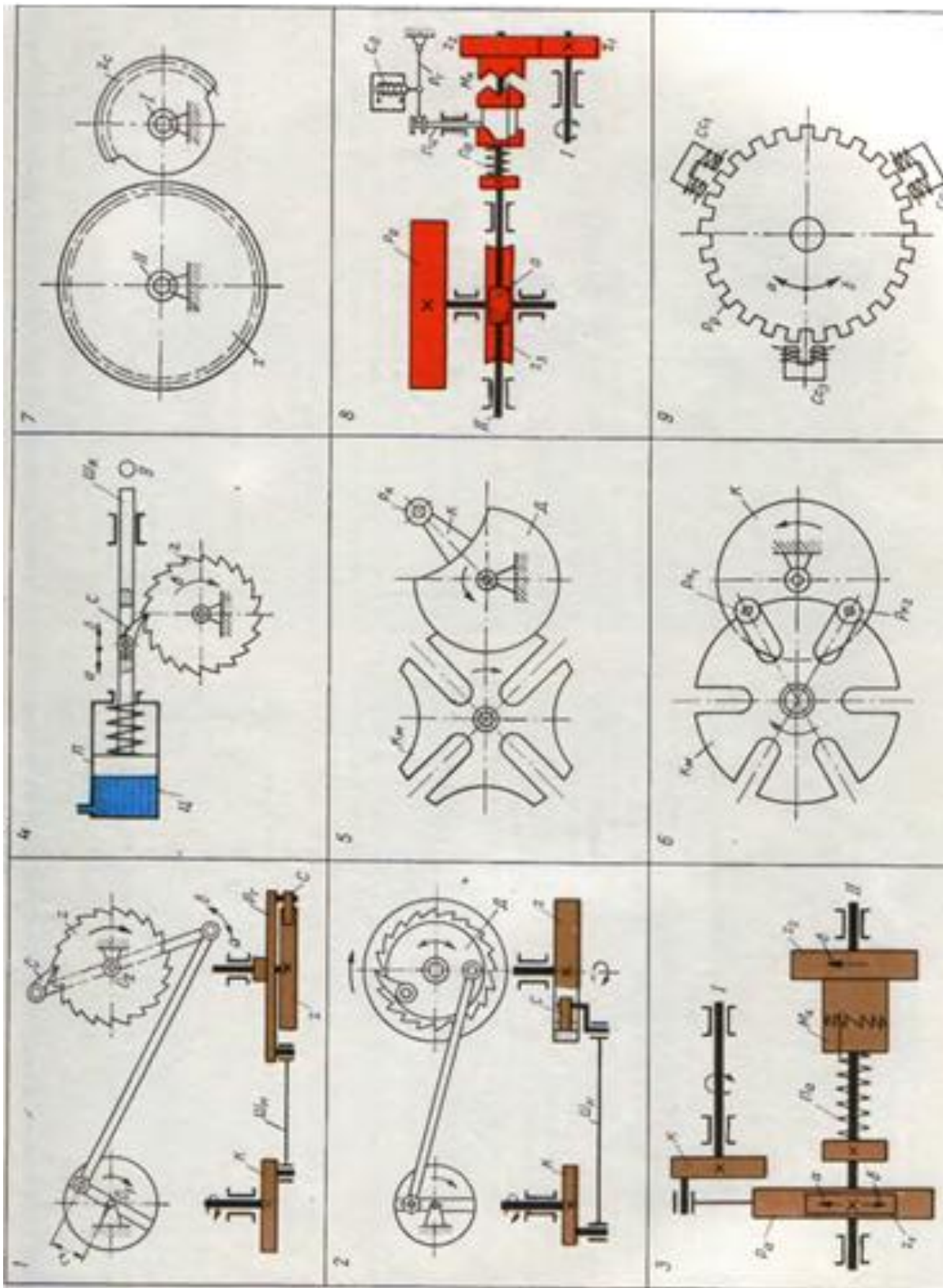
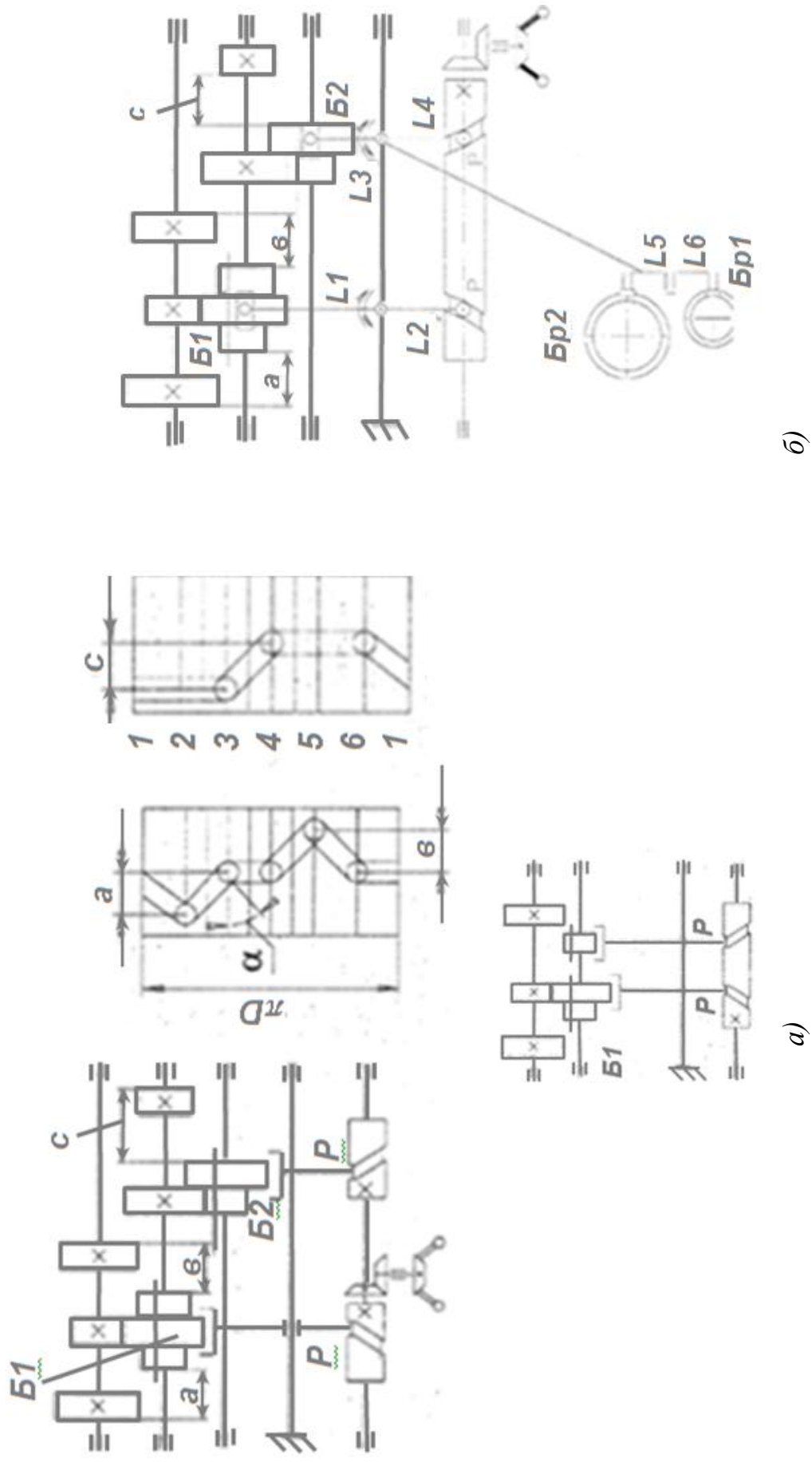


Рисунок 2.5 – Схемы механизмов для получения прерывистых движений

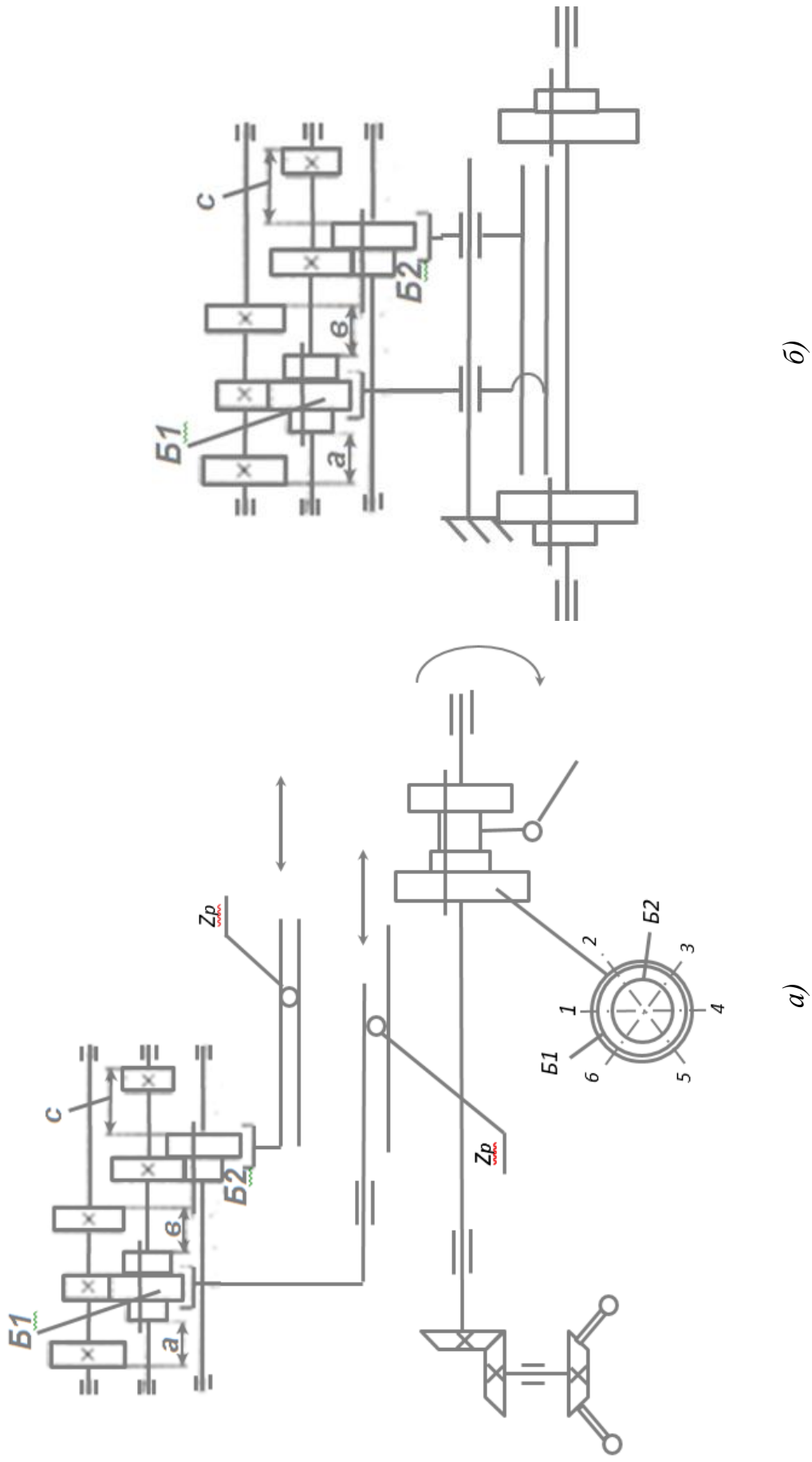


а)

б)

а – схема управления последовательного действия с поступательно перемещающимися толкателями;
 б – схемы механизмов управления последовательного действия с качающимися толкателями.

Рисунок 2.6 – Схемы механизмов ручного управления поступательного действия



a – схема управления с одним диском; *б* – схемы механизмов управления с двумя дисками.

Рисунок 2. 7 – Схемы механизмов ручного управления избирательного действия

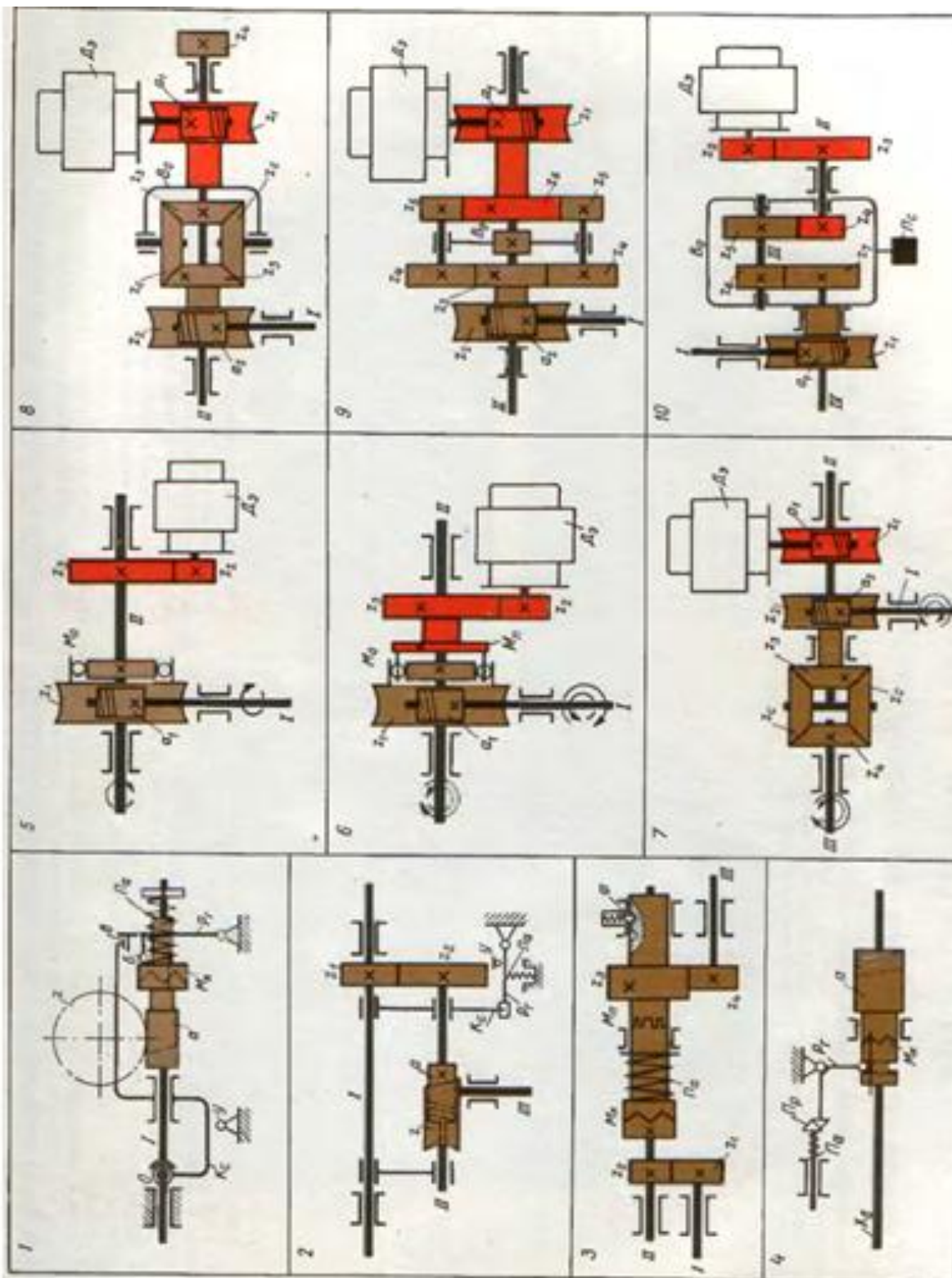


Рисунок 2.8 – Схемы прочих механизмов

Преобладающее большинство деталей и сборочных единиц является деталями общего назначения, поскольку используется почти во всех машинах (болты, валы, подшипники качения, коробки скоростей и подач, зубчатые колеса, муфты, направляющие, станины и другие). Помимо этого существуют детали и сборочные единицы специального назначения. Они применяются только в одном или нескольких типах машин. Примерами подобных деталей и сборочных единиц могут служить шпиндели станков, поршни, коленчатые валы и другие.

Среди многообразия деталей и сборочных единиц общего назначения выделяют соединительные (заклепочные, шпоночные, резьбовые и другие), передающие вращательное движение (зубчатые колеса, шкивы и другие), а также детали обслуживающие передачи (валы, подшипники, муфты и другие).

Несмотря на разнообразие машин, различие их конструкций и выполняемых ими функций, все они имеют сходства, поскольку предназначены для решения, в общем, схожих задач по передаче и преобразованию движения и его регулированию и совершению полезной работы. Поэтому в дальнейшем мы не станем рассматривать подробно конструкции всех машин и их структурных элементов и деталей, используемых в машиностроении, а ограничимся описанием лишь некоторых из них.

Поскольку основную долю в общем объеме оборудования машиностроительного производства составляет металлообрабатывающее, то и рассматриваемые вопросы будем с использованием структурных элементов именно этого вида оборудования. Вторым аргументом, обосновывающим такой подход, является то, что в данном оборудовании используются наибольшее число структурных элементов применяемых в остальном оборудовании.

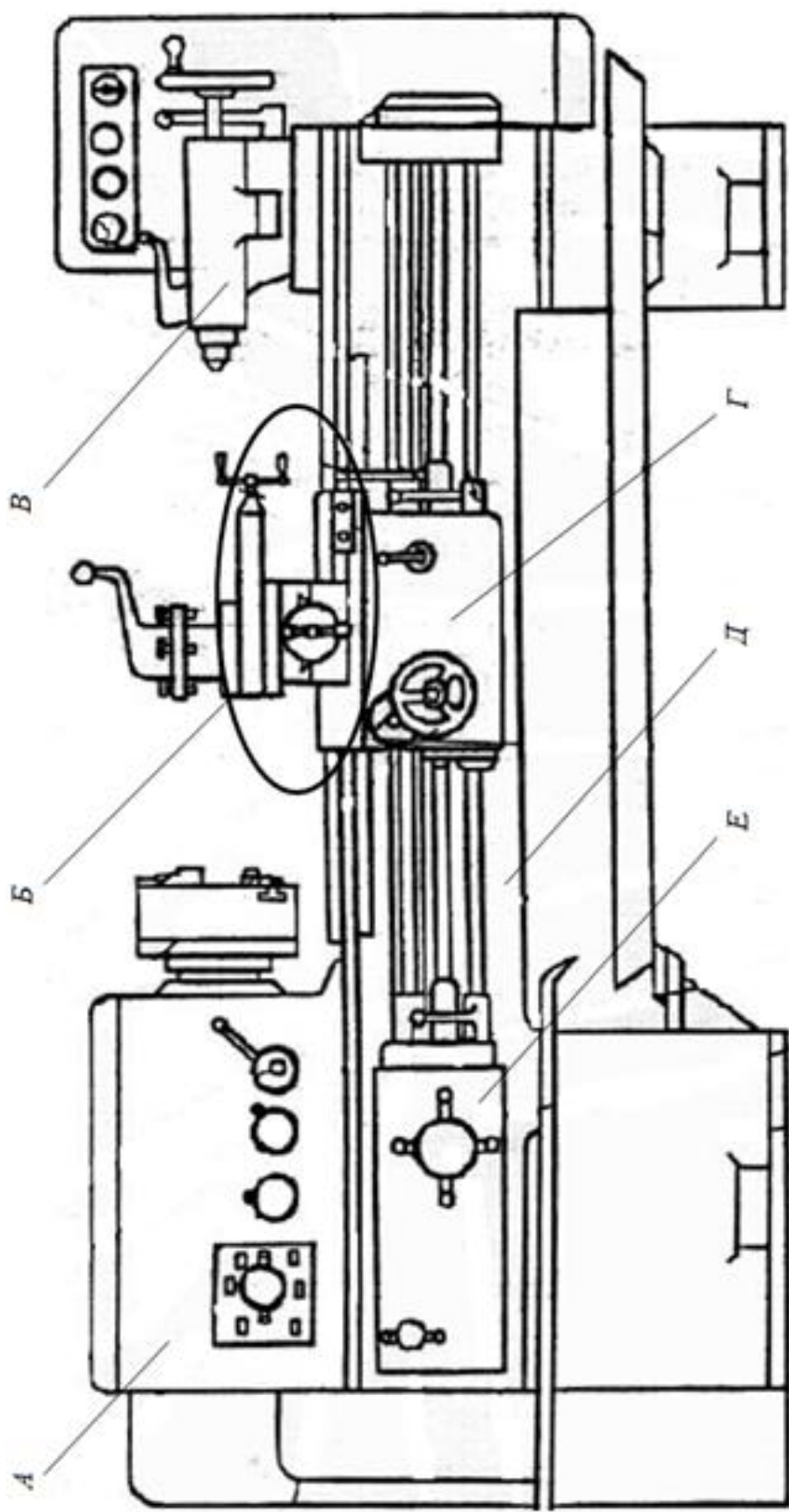
2.2 Некоторые узлы металлообрабатывающего оборудования

Рассмотрим структуру некоторых металлорежущих станков и начнём с одного из самых распространенных – токарно-винторезного станка модели 16К20, внешний

вид которого приведен на рисунке 2.9. На рисунке 2.10 изображен внешний вид вертикально-сверлильного станка модели 2Н125, а на рисунке 2.11 – основные узлы широкоуниверсального консольного вертикально-фрезерного станка.

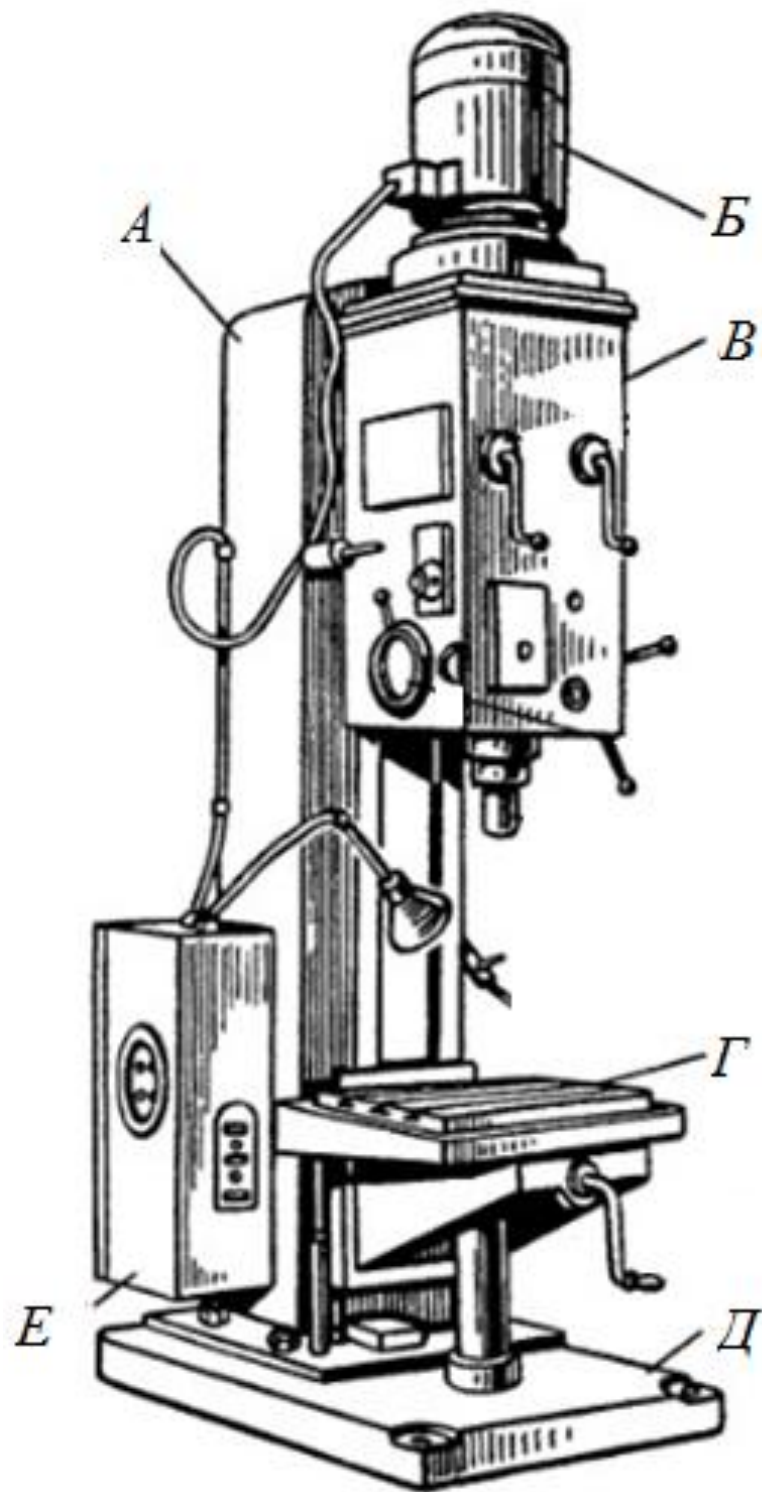
Как видно из рисунков эти станки имеют как и свои специфические для данной группы станков узлы, так и схожие узлы с узлами других групп станков. Примером могут служить коробки скоростей, коробки подач, столы и другие. Всё это относится и к станкам других групп. Несколько отличаются от этих групп станков гидрофицированные станки, к которым относятся станки таких групп как шлифовальные, гидрокопировальные, протяжные. В структуре этих групп станков преобладают гидравлические системы, однако и они используются в станках других групп, что позволяет говорить о некоторой общности узлов, модулей и агрегатов металлорежущих станков различных групп. Отметим, что подобные гидравлические и пневматические элементы применяются не только в металлорежущих станках, но и в кузнечнопрессовом и других видах оборудования, хотя и могут иметь определённые отличия как конструктивные, так и связанные с назначением, условиями эксплуатации, требованиями к точности обработки и другими факторами.

Перейдём к более подробному рассмотрению структуры механизмов, узлов и других структурных элементов металлорежущих станков.



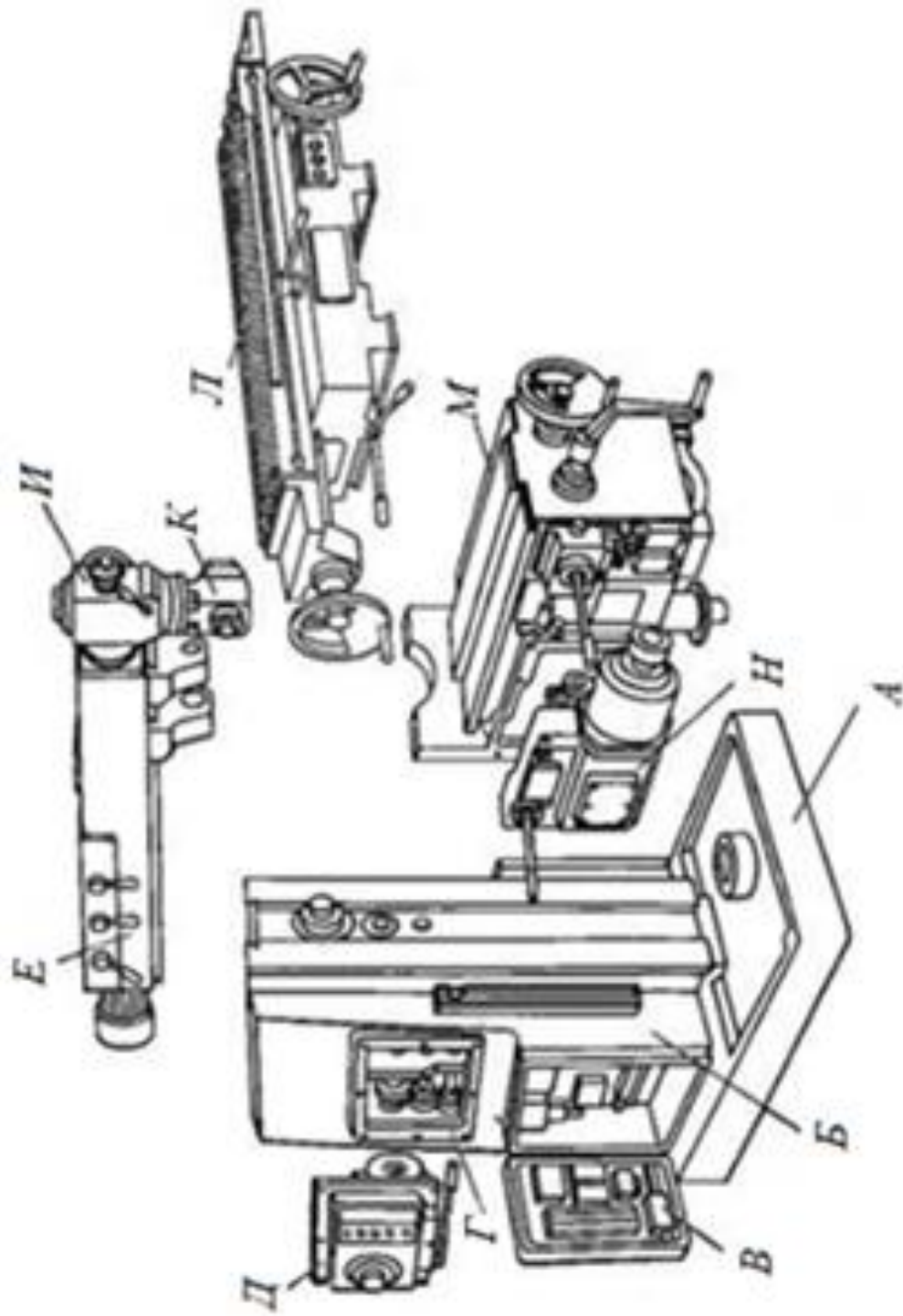
A – передняя (шпиндельная) бабка; *B* – суппорт; *B* – задняя бабка; *Г* – фартук; *Д* – станина; *Е* – коробка подачи.

Рисунок 2.9 – Универсальный токарно-винторезный станок



A – станина (колонна); *Б* – электродвигатель; *В* – сверлильная головка;
Г – стол; *Д* – плита; *Е* – шкаф электрооборудования.

Рисунок 2.10 – Вертикально-сверлильный станок модели 2Н125



А – фундаментная плита; Б – станина (стойка); В – электрооборудование; Г – коробка скоростей;
 Д – коробка переключения скоростей; Е – хобот; И – поворотная головка; К – накладная головка; Л – стол и салазки;
 М – консоль; Н – коробка подач.

Рисунок 2.11 – Основные узлы широкоуниверсального консольного фрезерного станка модели 6P82П

2.3 Базовые узлы и направляющие станков

Требуемое пространственное расположение инструмента и обрабатываемой заготовки под воздействием собственного веса узлов, сил резания и температурных воздействий обеспечивает несущая система станка, которая представляет собой совокупность базовых узлов между инструментом и заготовкой.

Базовые узлы станков это станины, основания, стойки, колонны, а также каретки, суппорты, планшайбы, ползуны, траверсы корпуса шпиндельных бабок и так далее, показанные на рисунках 2.12 и 2.13 [4] .

Корпусные детали различаются формой, габаритами, массой и назначением, которое отражает их функциональное назначение. Их многообразие форм условно делят на три группы: брусья (один габаритный размер больше двух других), пластины (один размер значительно меньше двух других) и коробки (габаритные размеры одного порядка).

Так как все базовые детали по своим характеристикам в значительной мере схожи, то в данном ограничимся рассмотрением основной базовой детали (основного элемента несущей системы станка – станины).

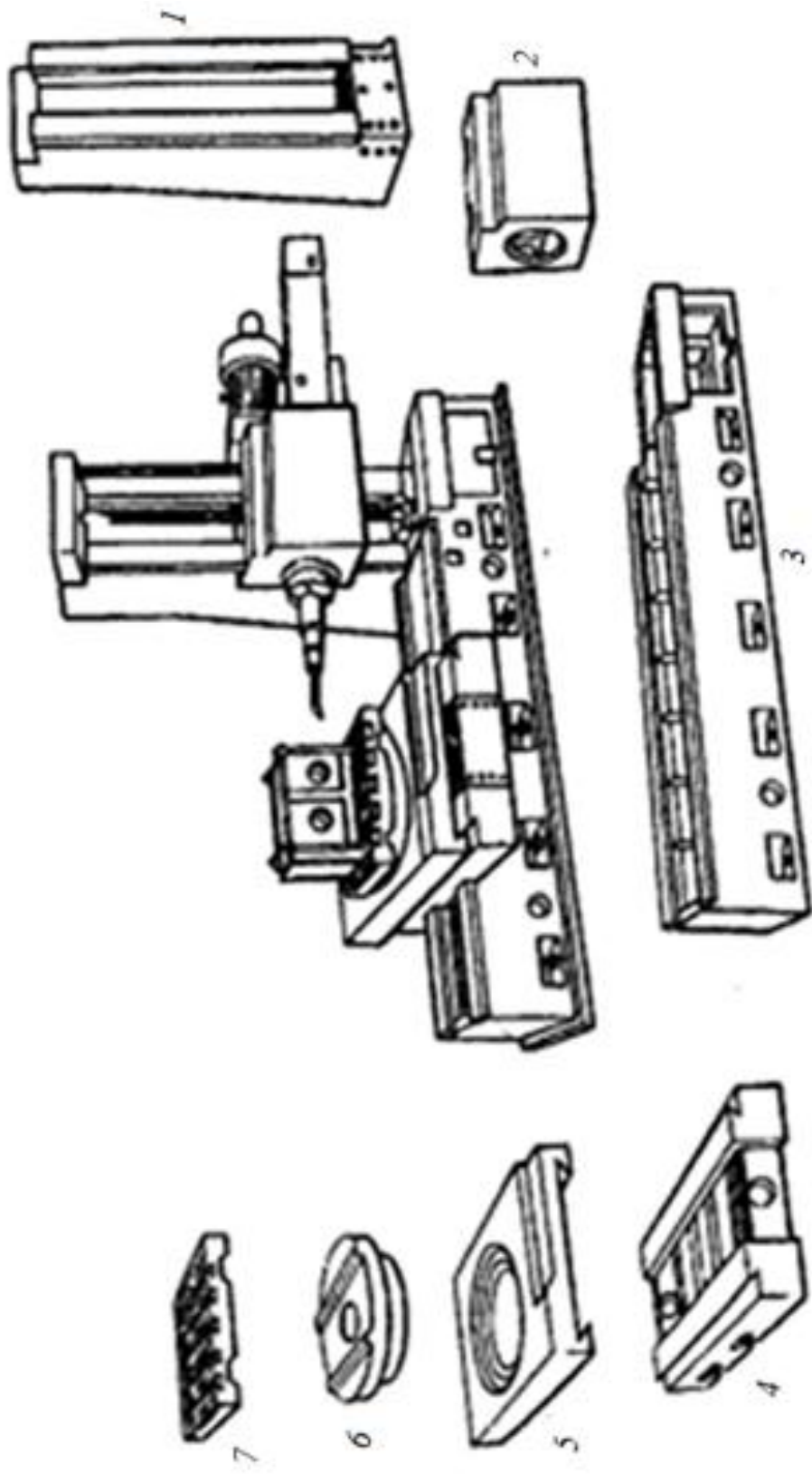
Станины представляют собой один из основных элементов несущей системы любого станка или обрабатывающей машины (в дальнейшем просто – станка), поскольку используется для монтажа деталей и узлов станка, а так же корпусных деталей (поперечин, столов, хоботы, ползуны, суппортов, плит и других элементов несущей системы).

Назначением станины является монтаж на ней корпусных деталей и узлов станка и ориентация и перемещение относительно неё подвижных узлов и деталей. Равно как и другие элементы несущей системы станка, станина в течение заданного срока его эксплуатации должна обеспечивать возможность обработки заготовок с заданными режимами и требуемой точностью. То есть конструкция станины, свойства материала, из которого она изготовлена, и технология её изготовления должны

обеспечивать такие её показатели и свойства как точность жесткость, износостойкость (направляющих), теплостойкость и виброустойчивость.

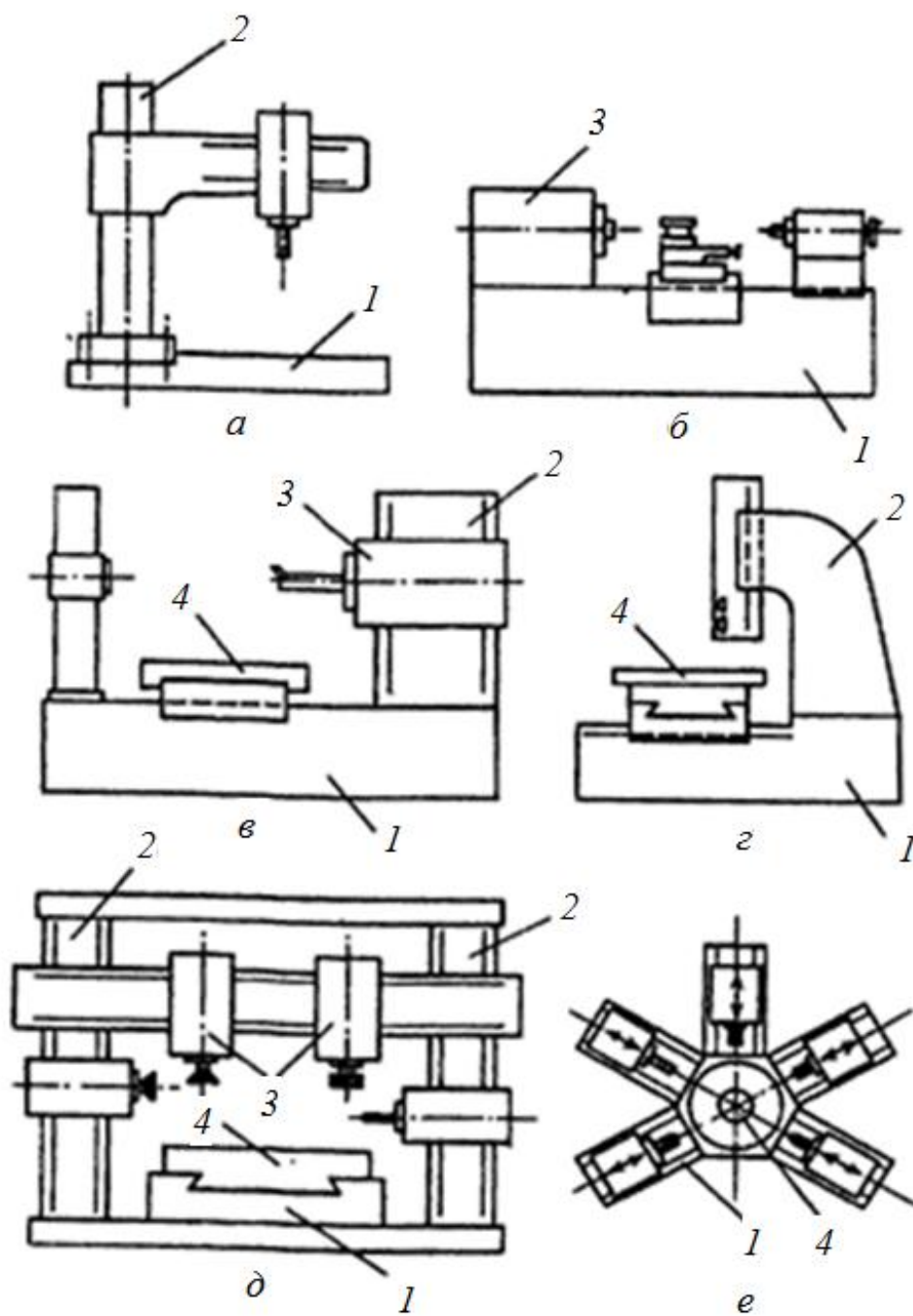
Различают горизонтальные станины и вертикальные (колонны, стойки), имеющие различные формы сечения, изображенные на рисунках 2.14 и 2.15, а примеры их внешнего вида – на рисунке 2.16. Отметим, что формы сечений вертикальных станин обусловлены в основном требованиями к их жесткости, для чего они изготавливаются с двойными стенками или сплошного сечения с замкнутым контуром, увеличенным числом перегородок и ребер. Кроме того, с целью повышения жесткости в них либо уменьшают размеры люков и окон либо исключают их вовсе. На формы сечений горизонтальных станин оказывает влияние значительно большее число факторов. помимо жесткости к ним относятся расположение направляющих, условия размещения резервуаров и удаления отходов (стружка, СОЖ), установкой подвижных и неподвижных узлов, удобством, что немаловажно, проведения ремонтов и другими.

Используемые для изготовления базовых деталей материалы должны обладать свойствами, удовлетворяющими условиям жесткости, виброустойчивости и, соответственно обеспечению стабильности размеров. К основным таким материалам относятся чугуны, низкоуглеродистые стали. Из чугуна изготавливают литые станины, а из стали – сварные. Также для изготовления станин тяжелых станков иногда применяется железобетон и бетон, пример станин, из которых представлен на рисунке 2.17 [4]. Для станин станков высокой точности применяется полимерный бетон, называемый синтеграном, который получают методом литья из гранитной крошки и экологически чистых связующих материалов. В результате получается материал обладающий незначительными температурными деформациями, высокой стабильностью размеров. Демпфирующая способность станин из синтегранов превышает демпфирующую способность станин из традиционного чугуна от 3,5 до 4 раз, значительно снижая шумовые характеристики станка. Бетонные станины в 6 раз эффективнее чугунных гасят вибрации, имея более высокую температурную стабильность с тепловым сопротивлением от 30 до 40 раз больше, чем у чугуна, что обеспечива-



1 – стойка; 2 – шпиндельная бабка; 3 – станина; 4 – нижние салазки; 5 – верхние салазки; 6 – поворотный стол; 7 – монтажная плита (спутник).

Рисунок 2.12 – Базовые детали фрезерно-расточного станка



a – радиально-сверлильный станок; *б* – токарный станок; *в* – горизонтально-расточной станок; *г* – долбежный станок; *д* – продольно-фрезерный станок; *е* – агрегатный станок; *1* – станина; *2* – стойка; *3* – шпиндельная бабка; *4* – стол.

Рисунок 2.13 – Примеры базовых узлов и корпусных деталей станков

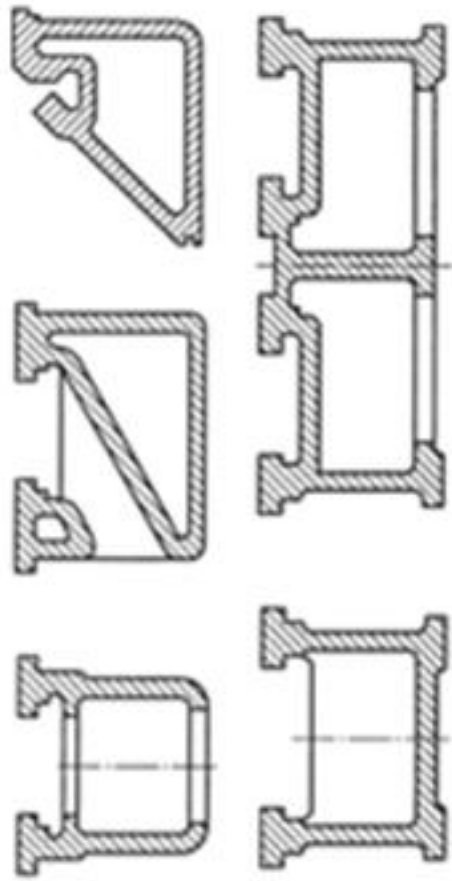


Рисунок 2.14 – Примеры сечений горизонтальных станин

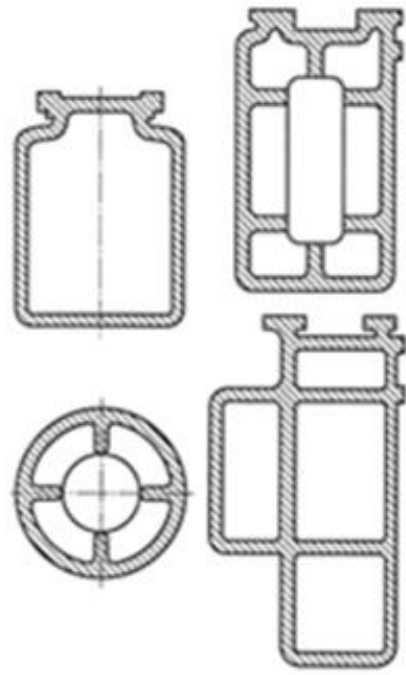
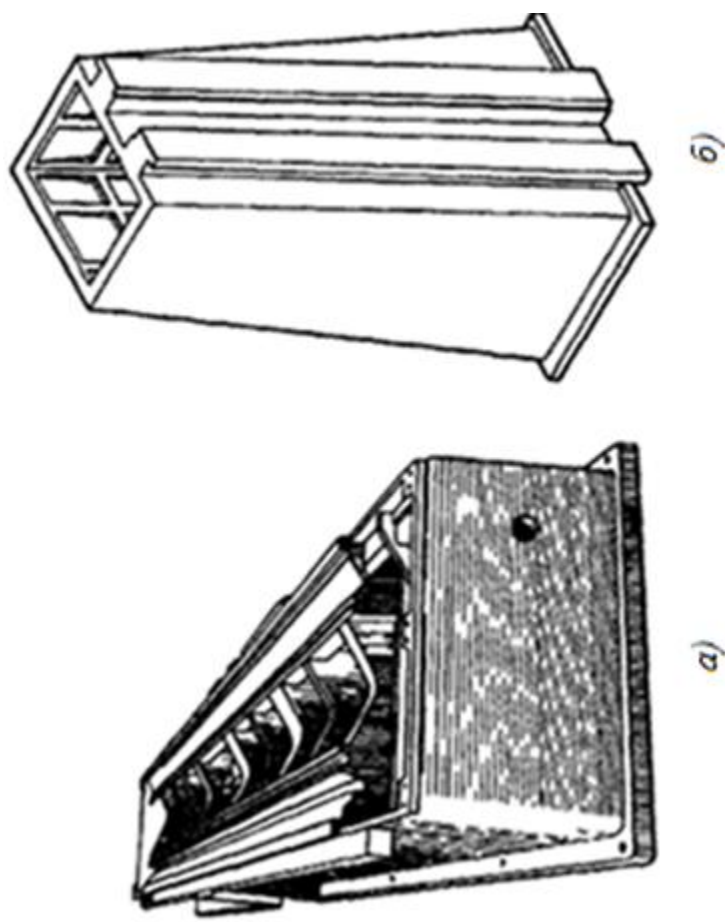


Рисунок 2.15 – Примеры сечений вертикальных станин



a – внешний вид горизонтальной станины токарного станка; *б* – вертикальная станина (стойка).

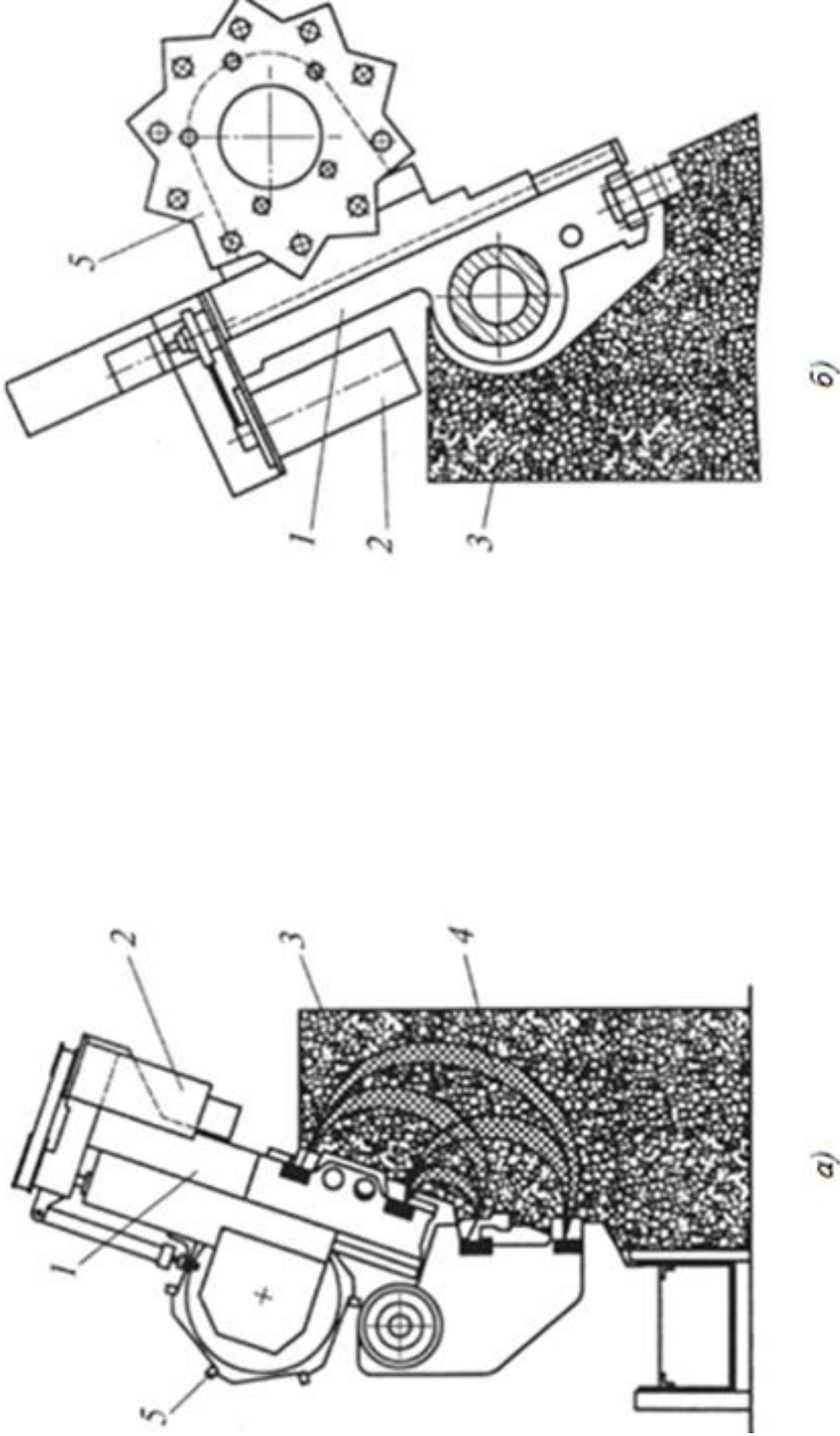
Рисунок 2.16 – Внешний вид горизонтальной и вертикальной станин

ет точность автоматической обработки в пределах от 3 до 6 мкм. Металлические направляющие, как показано на рисунке 2.17, крепятся на металлическом каркасе 4 анкерными болтами.

Для изготовления наиболее распространённых литых чугунных станин наиболее часто используют чугун марки СЧ15, обладающий хорошими литейными свойствами и малым короблением, но имеющий сравнительно низкие механические свойства. Из него изготавливают основания большинства станков, салазки, столы, корпуса задних бабок, тонкостенные отливки с большими габаритными размерами и небольшой массы, а также другие детали сложной конфигурации, для которых недопустимо большое коробление и нет возможности подвергнуть их старению. Для изготовления базовых деталей выполненных за одно целое с направляющими, к которым предъявляются повышенные требования по износостойкости, применяют чугун марки СЧ 21. Хотя и реже, но применяют чугуны марок СЧ 32 и СЧ 36, которые при высокой прочности и износоустойчивости обладают плохими литейными качествами, что не позволяет использовать их для базовых деталей сложной формы и крупных габаритов. Они используются в блоках и плитах многошпиндельных станков, в станинах токарных, револьверных, для базовых деталей станков-автоматов и других интенсивно нагруженных станков.

Кроме названных для изготовления базовых деталей применяют и легированные чугуны с добавлением в них в качестве присадок как никеля, хрома, магния, ванадия, а также других элементов.

Применение низкоуглеродистых сталей для изготовления сварных базовых деталей (в том числе и станин) исключает недостаток литья, связанный с остаточным напряжением, но при этом она используется для изготовления деталей относительно простых форм для станков работающих как при ударных, так и при очень больших нагрузках. Изготавливают сварные конструкции используя, как правило, листовую сталь Ст.3 и Ст.4 относительно небольшой толщины от 8 до 12 мм, а для тонкостенных деталей – от 3 до 6 мм. обусловлено это механическими свойствами стали, модуль упругости которой в два раза превышает модуль упругости чугуна, как видно из таблицы 2.1 [4].



a – железобетонная станина; *б* – бетонная станина; *1* – каретка; *2* – стальная роликовая направляющая каретки; *3* – станина; *4* – металлический каркас; *5* – револьверная головка.

Рисунок 2.17 – Примеры станин из железобетона бетона токарных станков с ЧПУ

Таблица 2.1 – Физические свойства материалов базовых деталей

Физическая характеристика	Чугун серый	Сталь	Бетон цементный	Полимербетон
Удельный вес, Н/дм ³	70 – 72	77 – 79	18 – 24	20 – 24
Модуль упругости, $E \times 10^4$ Н/мм ²	11,3 – 11,6	19,5 – 20,5	1,4 – 4,0	3,6 – 5,0
Коэффициент теплового расширения $\alpha, 10^{-6}$ град ⁻¹	8,0 – 10,4	10 – 13	11 – 14	15 – 18
Теплопроводность, Вт/м×град	45 – 52	80	0,3 – 0,9	0,5 – 1,9
Предел прочности σ_B , Н/мм ²	100 – 300	400 – 1300	5 – 60	15 – 120
Логарифмический декремент затухания колебаний	0,0045	0,0023	0,02	0,02

Направляющие обеспечивают требуемое взаимное расположение узлов станка и правильность их относительное перемещение и восприятие внешних сил. Для координатного перемещения (перемещения узла) направляющие должны обеспечивать только одну степень свободы (подвижности), что реализуется соответствующей конструкцией направляющих или силовым замыканием (с использованием сил тяжести, упругих и других сил).

К основным требованиям к направляющим относятся:

- точность перемещения подвижного узла;
- эксплуатационная долговечность (малый износ);
- достаточно высокая жесткость;
- высокие демпфирующие свойства в направлении, перпендикулярном поверхности скольжения;
- малые силы трения.

Конструктивные требования к направляющим предполагают:

- простоту конструкции и изготовления;
- близость тягового устройства к центру тяжести; возможность регулировки зазора-натяга;
- благоприятное расположение в рабочем пространстве.

Иногда направляющие выполняют как одно целое с базовыми деталями. Однако высокая трудоемкость, сложность операции шабрения при изготовлении таких

направляющих и относительно плохие характеристики пары трения чугун – чугун по износостойкости способствовали замене этих направляющих другими. Сегодня, как видно из схемы на рисунке 2.18, в металлорежущих станках применяются направляющие скольжения, качения и комбинированные.

По виду трения различают направляющие скольжения (полужидкостного трения, жидкостного трения и аэростатические направляющие), направляющие качения и комбинированные. Направляющие качения различают по виду тел качения (шариковые и роликовые).

По характеру трения направляющие скольжения делят на направляющие (полужидкостного трения, жидкостного трения и аэростатические направляющие) и направляющие качения. Направляющие качения различают по виду тел качения (шариковые и роликовые).

Любые типы направляющих, обладая своими достоинствами и недостатками, имеют свою целесообразную область применения. Достаточно часто используют комбинированные направляющие, что позволяет объединить достоинства разных типов и получить суммарный эффект достоинств.

Для классификации направляющих используют такие классификационные признаки как: вид и траектория движения, направление траектории и геометрическая форма направляющих. По виду движения различают направляющие главного движения, направляющие движения подачи и направляющие перестановки сопряженных и вспомогательных деталей и узлов, остающихся неподвижными при выполнении обработки.

По траектории движения различают направляющие прямолинейного и кругового движения. Что касается направления траектории перемещения, то различают горизонтальные, вертикальные и наклонные направляющие. Геометрическая форма направляющих тоже разнообразна. Различают плоские, цилиндрические, призматические и конические направляющие, формы которых представлены на рисунке 2.19. Такие направляющие называют направляющими смешанного трения. Для них характерны высокие и непостоянные по величине силы трения. Кроме того, используют и сочетание перечисленных форм. По дополнительным признакам различают

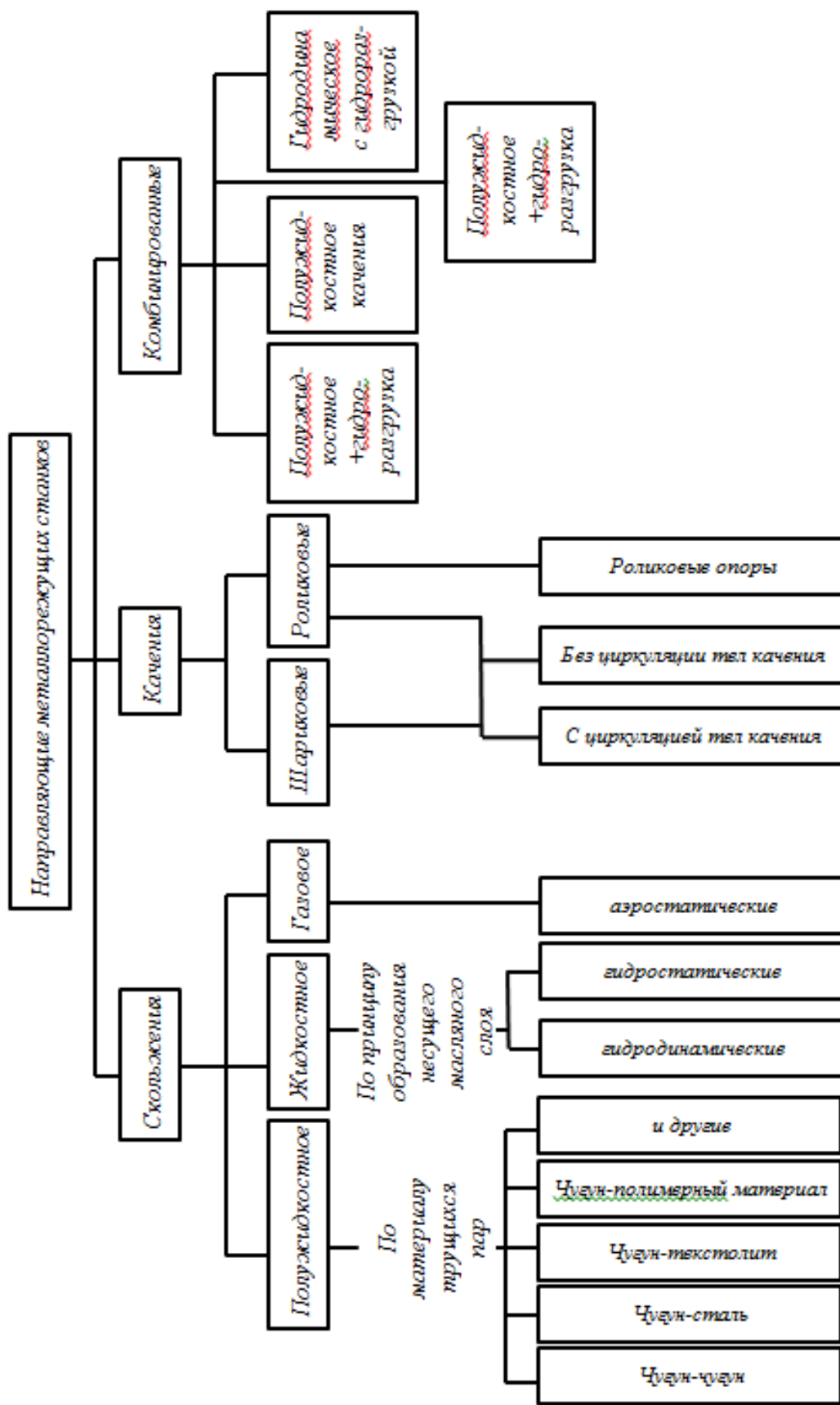


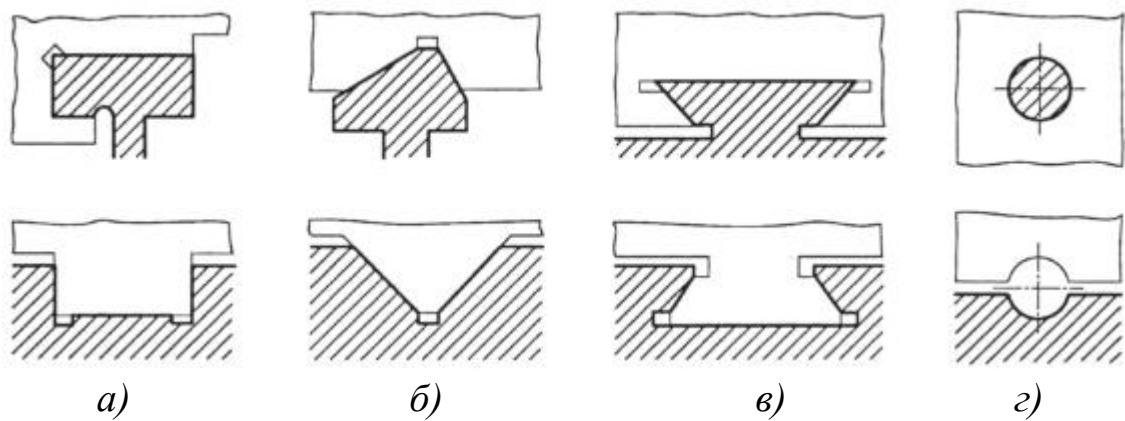
Рисунок 2.18 – Классификация направляющих

замкнутые направляющие, способные воспринимать отрывающие силы и опрокидывающие моменты. По способу выполнения направляющих различают направляющие, выполненные за одно целое с подвижным узлом или станиной либо накладные, прикрепленные к узлу или станине.

Выпуклые по профилю направляющие скольжения станин применяют при малых скоростях перемещений узлов станка, что обусловлено плохой их способностью удерживать смазку. Вогнутые же – применимы для более высоких скоростей перемещения узлов, из-за их лучшего удерживания смазки, хотя они и менее технологичны. Направляющие в виде ласточкина хвоста обладают ещё одним существенным свойством – препятствуют опрокидывающему моменту.

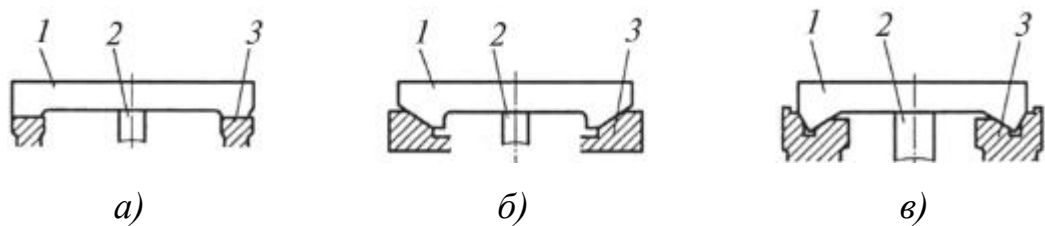
Направляющие скольжения для кругового движения, схемы которых представлены на рисунке 2.20, имеют профили поперечных сечений схожие с профилями направляющих скольжения для прямолинейного перемещения. Плоские направляющие наиболее просты в изготовлении и применяются в легких средних станках. Радиальные усилия, возникающие при резании, воспринимаются только шпиндельным узлом 2 станка. Конические направляющие так же относительно просты, но их существенный недостаток связан с трудностью обеспечения параллельности осей направляющих 3 и опор шпиндельного узла 2. Наиболее часто применяемые V-образные направляющие технологически более сложны в изготовлении. Основная нагрузка в них воспринимается пологой (внутренней) гранью, а между наружными гранями направляющих планшайбы и станины выполнен небольшой зазор, компенсирующий температурные деформации.

При сборке, техническом обслуживании и ремонте направляющих выполняется их регулировка, обеспечивающая начальные зазоры или натяги, соответствующие начальным (заданным) показателям эксплуатационных требований, характеризующих работоспособное состояние узла и машины в целом. С этой целью для направляющих скольжения применяют в соответствии с рисунком 2.21 клинья, планки и другие элементы.



a – плоская; *б* – призматическая; *в* – в форме ласточкина хвоста; *г* – цилиндрическая.

Рисунок 2.19 – Основные формы поперечных сечений направляющих скольжения для прямолинейного перемещения

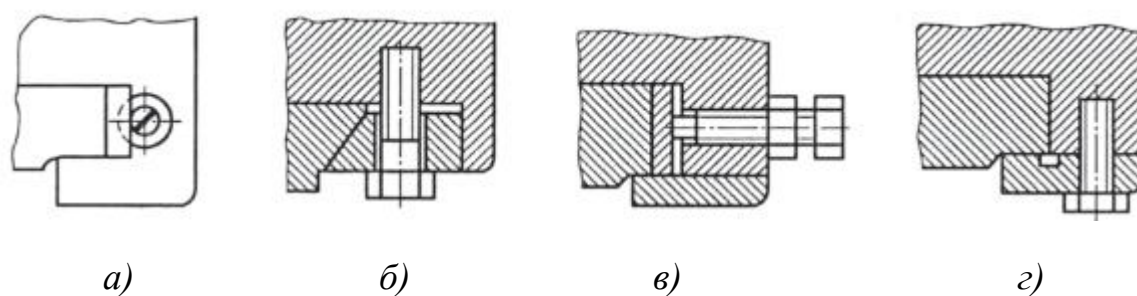


a – плоские; *б* – конические; *в* – V-образные; 1 – планшайба (стол); 2 – шпиндельный узел; 3 – направляющая.

Рисунок 2.20 – Схемы направляющих скольжения для кругового движения

Направляющие скольжения, пример схемы гидростатических направляющих изображен на рисунке 2.22, представляют собой направляющие жидкостного трения, в которых неразрывный масляный слой создается системой регулирования подачи масла под давлением в статическом состоянии ещё до начала перемещения узлов. Для этих направляющих характерно равномерное движения и неограниченная долговечность, что обусловлено разделением перемещающихся друг относительно друга поверхностей слоем смазки. Помимо этого, для них характерны очень малое

трение и, соответственно, малые усилия перемещения, высокая точность, высокая демпфирующая способность и умеренная жесткость, хотя и уступающая жесткости направляющих скольжения и качения. К преимуществам также относятся и малые усилия перемещения. В качестве недостатков выделяют необходимость использования гидравлической аппаратуры, значительное тепловыделение, трудности фиксации и определённые требования к уходу за ними.



a – с продольным клином; *б* – с поперечным клином; *в* – с поджимной планкой; *г* – с накладной пригоняемой планкой.

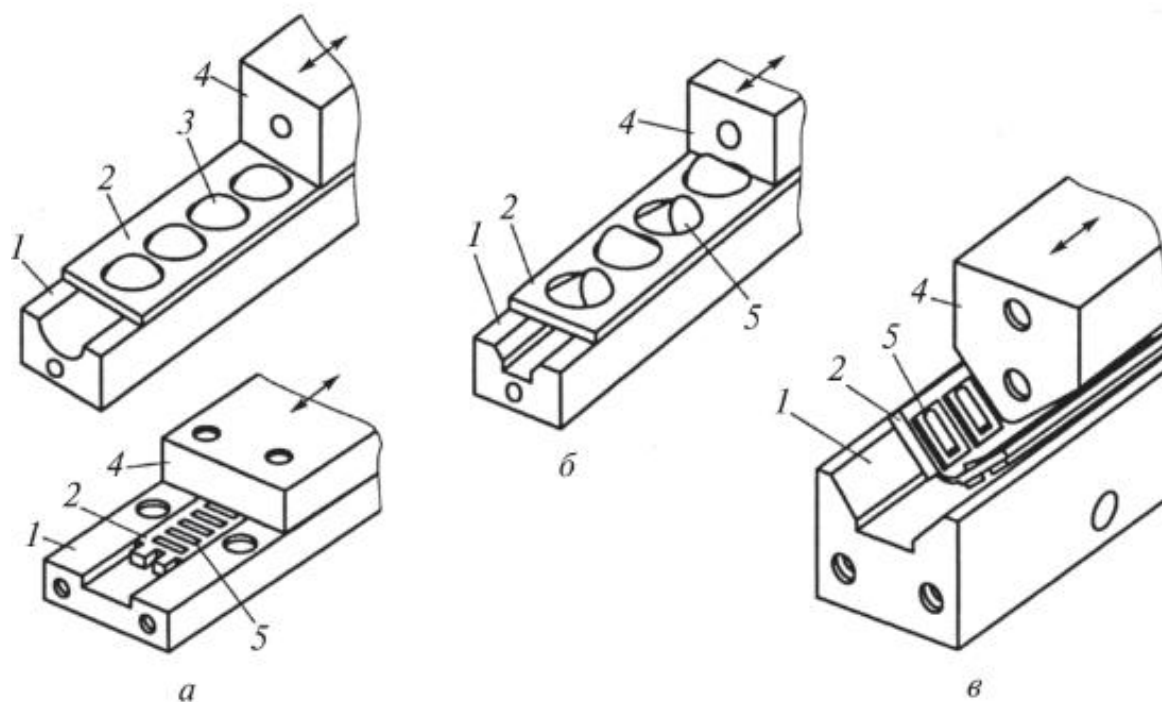
Рисунок 2.21 – Регулировочные элементы направляющих скольжения



Рисунок 2.22 – Схема гидростатических направляющих

В отличие от гидростатических в аэростатических разделяющим слоем является воздух (газ), чем обусловлены и все преимущества этих направляющих, и все недостатки (низкое трение, высокая долговечность и точность позиционирования, надежная фиксация узла после прекращения подачи воздуха, низкие жесткость и нагрузочная способность).

В направляющих качения, схемы которых представлены на рисунке 2.23, широко применяемых сегодня, трение скольжения заменено трением качения, за счёт использования в них промежуточных тел качения (шариков и роликов, обеспечивающих коэффициент трения от 0,003 до 0,005 независимо от скорости движения). Их износостойкость достаточно велика (при обеспечении защиты от загрязнений) и, соответственно – долговечность. Для них характерны равномерность хода (особо важное свойство при малых скоростях движения) и высокая точность перемещений. При этом они обладают высокой стоимостью (из-за использования стальных закаленных направляющих), пониженным демпфированием, повышенной чувствительностью к загрязнениям, а так же трудоемки и сложны при монтаже.



а – плоские; *б* – выпуклые; *в* – вогнутые (V-образные); *1* – направляющие станины; *2* – сепаратор; *3* – тела качения (шарики); *4* – подвижный узел; *5* – тела качения (ролики).

Рисунок – 2.23 – Схемы направляющих качения

Для изготовления направляющих используют различные материалы. Так направляющие скольжения при их изготовлении изготавливаются за одно целое со станиной (или подвижным узлом), изготавливают из серого чугуна. Для повышения износостойкости направляющих их подвергают поверхностной закалке током высокой частоты (ТВЧ) или газоплазменным методом до твердости от 42 до 56 HRC. Такая закалка одной из сопряженных поверхностей позволяет повысить износостойчивость более чем в 2 раза. Использование легирующих добавок для чугунных направляющих позволяет повышать их износостойкость только в сочетании с их последующей закалкой до высокой твердости. Для повышения износостойкости могут использоваться и специальные покрытия. Например, хромирование направляющих твердым хромом слоем от 25 до 50 мкм позволяет повысить твердость до интервала от 68 до 72 HRC, обеспечивая пятикратное повышение износостойкости. При этом коэффициенты трения покоя и движения значительно снижается. Схожие результаты даёт использование сплавов содержащих хром либо молибдена. Покрывать следует только одну из сопрягаемых деталей, как правило, неподвижную. Обусловлено это возможностью схватывания поверхностей пары хром по хрому, несмотря на минимальное значение коэффициента трения.

Накладные направляющие, как правило, изготавливают из стали, в виде отдельных планок с закалкой до твердости, например, от 58 до 63 HRC. Наиболее часто для таких направляющих применяют сталь 40X с закалкой токами высокой частоты (ТВЧ). Кроме перечисленных материалов для изготовления накладных стальных направляющих применяют малоуглеродистые стали 15X, 20, 20X, 20XНМ, 18ХГТ с цементацией и закалкой до высокой твердости в диапазоне от 60 до 65 HRC, азотируемые стали 38ХМЮА, 40ХФ, 30ХН2МА с глубиной азотирования 0,5 мм и закалкой до очень высокой твердости (от 800 до 1000 единиц по шкале Виккерса). При использовании объемной закалкой и отпуска до твердости от 58 до 62 единиц по шкале HRC, хотя и нечасто, но применяют легированные высокоуглеродистые стали типа ШХ15,ХВГ, 9ХС.

Крепление стальных направляющих, выполненных в виде отдельных планок, производят либо используя сварку (к стальным станинам) либо с помощью клея или винтов (к чугунным станинам).

Для нивелирования недостатков направляющих полужидкостного трения разрабатывают и используют, так называемые, антискачковые масла. Например, использование в паре направляющих трения скольжения чугуна по чугуну антискачкового масла ИНС_П обеспечивает коэффициент трения покоя в диапазоне значений от 0,075 до 0,09, когда при использовании обычных масел этот коэффициент принимает значения совершенно иного порядка (от 0,21 до 0,28). С этой же целью используют и накладки их антифрикционных материалов. Так использование полимерных накладок обеспечивает диапазон значений коэффициента трения покоя в интервале от 0,04 до 0,06. В обязательном порядке для исключения такого отрицательного явления как схватывание следует комплектовать пару трения из разнородных материалов, характеризующихся различными составами, структурами и имеющих разную твердость. Хороший результат даёт использование в парах с чугунными и стальными направляющими направляющих из алюминиевой бронзы (БрА9Мц2), оловянистой бронзы (Бр.ОФ 10-1) и других цветных сплавов, например, цинкового сплава (ЦАМ 10-5).

Хорошими перспективами для изготовления накладных направляющих скольжения обладают пластмассы. Современными полимерными материалами, используемыми для изготовления направляющих, являются наполненные фторопласты, антифрикционные эпоксидные компаунды, материалы, основу которых составляют различные смолы, представленные в таблице 2.2 [5].

Помимо перечисленных материалов используют бронзу, цинковый сплав и сочетание различных материалов. Так материалы на основе Фторопласта-4 в паре с чугуном при смазывании даже нелегированными промышленными маслами обеспечивают низкие коэффициенты трения покоя и движения от 0,04 до 0,06 при

Таблица 2.2 – Антифрикционные полимерные композиционные материалы для направляющих

Материал	Марка	Вид изделия и размеры	Результаты стендовых испытаний в паре с чугуном	
			Коэффициент трения со смазкой	Сравнительная интенсивность изнашивания
Наполненный фторопласт	ФЧК15М5-Л-ЭА	Лента 140X1,7 мм активированная с двух сторон	0,062	1
Высокомолекулярный полиэтилен, наполненный: фторопластом и дисульфидом молибдена;	ВМПЭ-122-А ВМПЭ-87-А	тлеющим разрядом в вакууме	0,067 0,069	0,15 0,18
Модифицированный сополимер формальдегида	СФД-ВМ-БС	Пластины 800X300X4 мм	0,14	0,16
Антифрикционный эпоксидный компаунд намазываемый	УП-5-222	Паста	0,2	7,5
	УП-5-251		0,2	2,9
Антифрикционный эпоксидный компаунд: запресовочный литьевой	УП-4-280	Паста	0,23	1,5
	УП-5-250	Литьевая жидкость	0,23	1,5

небольших скоростях движения, высокую плавность перемещений подвижных органов и их точность позиционирования. Схожими свойствами обладает высокомолекулярный полиэтилен. Сополимер формальдегид СФД-ВМ-БС в этих же условиях характеризуется более высоким коэффициентом трения, значения которого составляют от 0,13 до 0,14 и неравномерность движения при неблагоприятных условиях работы. Неравномерность движения проявляется и при использовании для направляющих чугуна, антифрикционных эпоксидных компаундов в виде покрытий толщиной от 1,5 до 2,5 мм, иногда имеющих смазочные канавки, цветных сплавов и смазывании нелегированными маслами в приводах малой жесткости и при небольших скоростях и длине пути. Для исключения указанных явлений смазывание направляющих скольжения производят специальными легированными маслами (антискачковыми).

Отметим, что износостойкость этих полимерных материалов при эксплуатации их без смазочного материала на два порядка превышает износостойкость накладных направляющих толщиной от 4 до 10 мм из цинкового сплава ЦАМ10-5 и бронзы БрА9Мц2. Износостойкость направляющих из наполненного фторопласта марки Ф4К15М5-Л-ЭА, представляющих собой наклеиваемую ленту сечением 1,7×140 мм, на три порядка превышает износостойкость ненаполненного Фторопласта-4. В данном случае износостойкость определяется шероховатостью поверхности сопрягаемой. Например, при значении шероховатости металлической направляющей, равной Ra 0,63 мкм износостойкость выше от 3 до 7 по сравнению со значением шероховатости, равно Ra 1,25 мкм.

Для формовки направляющих из антифрикционных эпоксидных компаундов, выполняемой с высокой точностью, с использованием для этого окончательно обработанных сопряженных металлических направляющих станины пользуются тремя типами антифрикционных эпоксидных компаундов. Это УП-5-250 (литьевая марка применимая в тяжелых и уникальных станках с направляющими большой площади). Она наносится заливкой (методом нанесения полимерного покрытия). Так же используют УП-5-251 (пастообразный) применимый в станках средних размеров и наносимый шпатлеванием. Компаунд УП-4-28, называемый запрессовочным анало-

гичен по применению пастообразному. Областью применения наклеиваемых накладных направляющие из СФД-ВМ-БС являются тяжелые станки.

Накладные направляющие из цветных сплавов либо просто приклеивают, либо приклеивают с дополнительным креплением с помощью винтов. Целесообразность использования таких направляющих обусловлена наличием высоких давлений в них (ползуны карусельных станков) и более высоким модулем упругости сплавов по сравнению с пластмассами. Отметим, что одним из основных условий использования направляющих из цветных сплавов и пластмасс является их надежная защита.

Дополнительные детали, используемые для установки и регулировки необходимых зазоров или натягов, приведенные на рисунке 2.19, целесообразно изготавливать с покрытием из рассмотренных пластмасс либо цветных сплавов.

В качестве рекомендаций отметим, что для обеспечения высоких требований по износостойкости и одновременной равномерности подач целесообразно использовать пары трения образованные наполненным фторопластом и закаленными сталями (предпочтительно) либо чугуном. Направляющие станины обычно подвергают шабрению – сложной и трудоёмкой операции, что обеспечивает точный контакт с ними направляющих столов (кареток). Требованиями к точности контакта направляющих станины с направляющими подвижных органов (столов, кареток) станков повышенной точности средних по массе определено наличие не менее 16 пятен в квадрате со стороной 25 мм для металлических направляющих, что обеспечивается глубиной шабрения 6 мкм, а для полимерных направляющих опорная поверхность должна составлять не менее 70 %, что обеспечивается глубиной шабрения 5 мкм.

2.4 Узлы и механизмы передачи и преобразования движения

Между источниками движения (как правило, электроприводами) и исполнительными и рабочими органами располагаются узлы, модули и агрегаты, решающие конкретные функциональные задачи. К таким задачам относятся преобразование

видов и направления движения, регулирование их параметров, передача движения, обеспечение требуемой точности движения, выполнения целого ряда вспомогательных операций и другие. Передачи вращательного движения широко применяются в механизмах и машинах в силу простоты их конструкций, компактности и способности обеспечивать непрерывное и равномерное движение. По тем же соображениям используемые для регулирования параметров движения узлы (коробки скоростей и подач, механизмы фартуков и другие при использовании нерегулируемых электроприводов) так же создаются на базе передач вращательного движения.

Передача вращательного движения в машинах и механизмах может быть реализована с использованием гибких и жестких передач. К гибким передачам относятся ременные и цепные. Фрикционные и зубчатые передачи относятся к жестким. Такие передачи как ременные и фрикционные используют для передачи крутящего момента силы трения. Передача движения зубчатыми и цепными передачами основана на использовании зацепления. В любой передаче существует ведущее, сообщающее движение, звено, которое принято обозначать нечетными цифрами (1, 3, 5 и так далее), и ведомое, получающее это движение, звено, обозначаемое четными цифрами (2, 4, 6 и так далее).

Гибкие передачи обеспечивают передачу вращения между валами, оси которых могут располагаться как параллельно, так и в разных плоскостях, но перекрещиваются между собой.

В ременной передаче, пример использования которой в приводе токарного станков представлен на рисунке 2.24, промежуточный гибкий элемент (ремень) охватывает два шкива (ведущий и ведомый), закреплённые на валах. Передача полезной нагрузки происходит за счёт сил трения между шкивами и ремнем. Для её создания необходимо произвести натяжение ремня. Ремни в этих передачах могут быть плоскими, клиновидными, поликлиновые, круглыми и зубчатыми. Сами передачи могут быть открытыми, перекрестными и полуперекрестными, схемы которых и поперечные сечения ремней представлены на рисунке 2.25 [6].

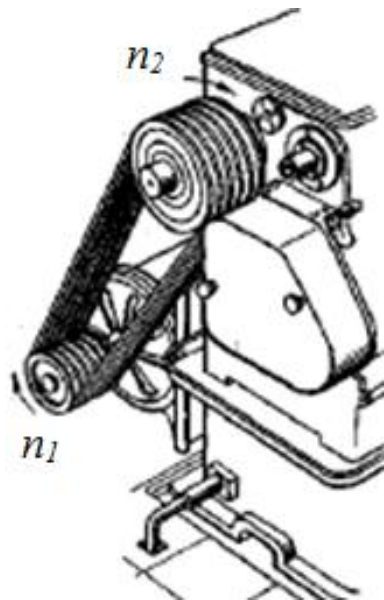
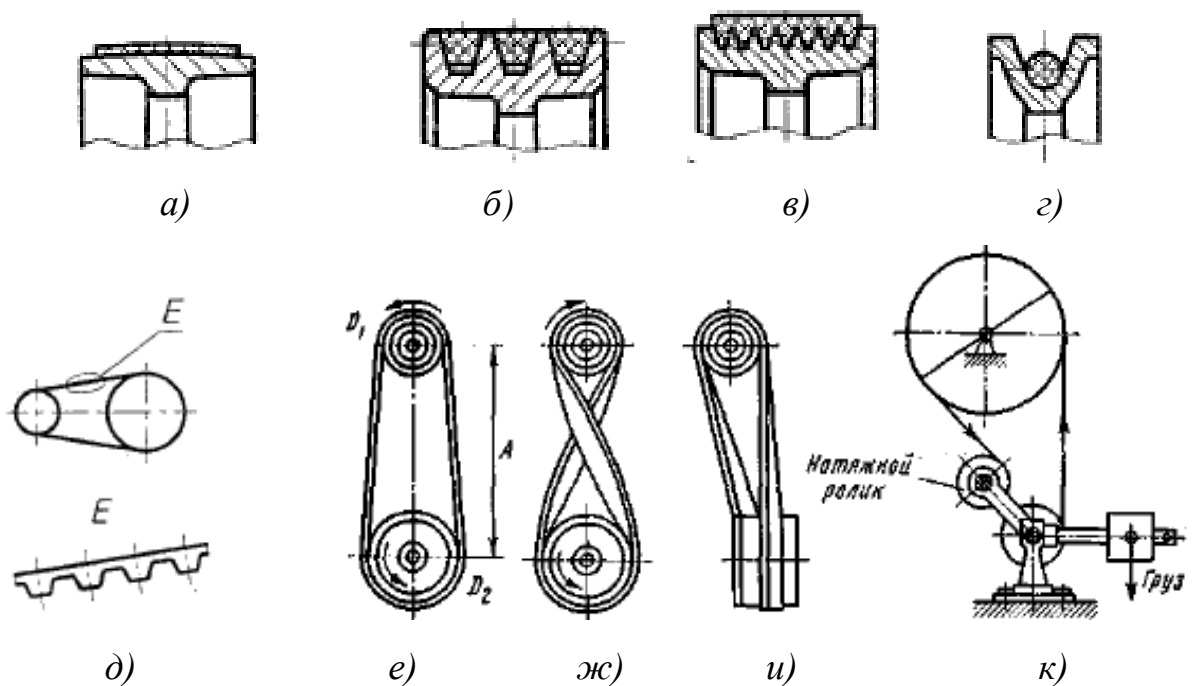


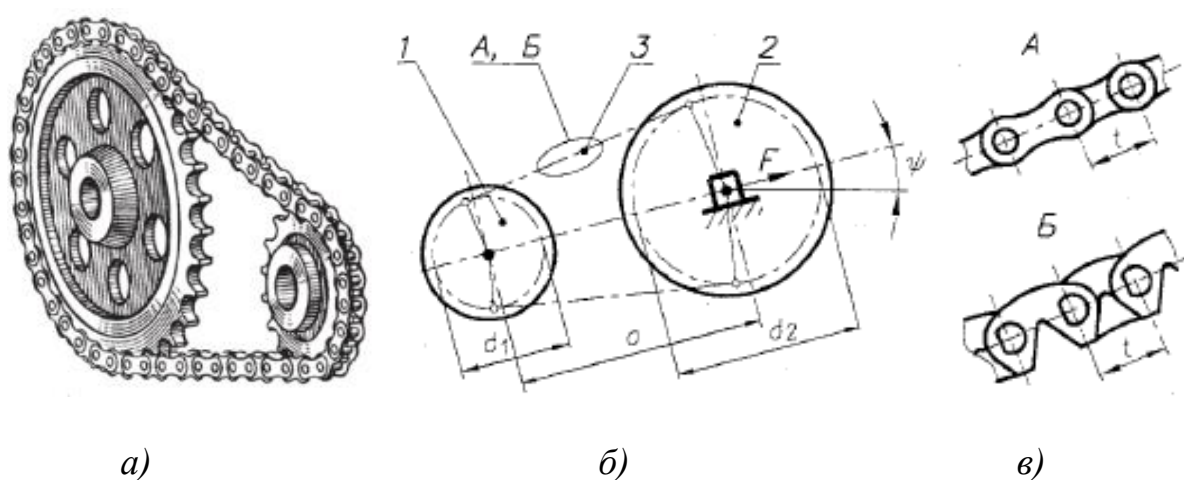
Рисунок 2.24 – Клиноремённая передача привода токарного станка



a – плоский ремень; *б* – клиновой ремень; *в* – поликлиновой ремень; *г* – ремень круглого сечения; *д* – ремень зубчатый; *е* – открытая ремённая передача; *ж* – перекрестная ремённая передача; *и* – полуперекрёстная ремённая передача; *к* – ремённая передача с натяжным роликом.

Рисунок 2.25 – Виды поперечных сечений ремней передач

Цепные передачи схема и элементы, которой изображены на рисунке 2.26, представляет собой замкнутую металлическую шарнирную цепь, охватывающую две звездочки (ведущую и ведомую). Цепь в отличие от ремня не проскальзывает, поскольку передача вращающего момента происходит путём зацепления между звёздочками и цепью, что позволяет использовать такие передачи для передачи значительно большей полезной нагрузки от ремённой передачи. Скорости работы цепных передач достигают значений 30 м/с, а передаточные числа образуют диапазон значений равным 15. При этом коэффициент полезного действия цепных передач достигает иногда 0,98. Однако они отличаются неравномерностью движения. Используют цепные передачи до значений мощностей достигающих 120 кВт на расстояния более 10 метров. Приводные цепи, используемые в цепных передачах, регламентированы ГОСТ 13568-2017.

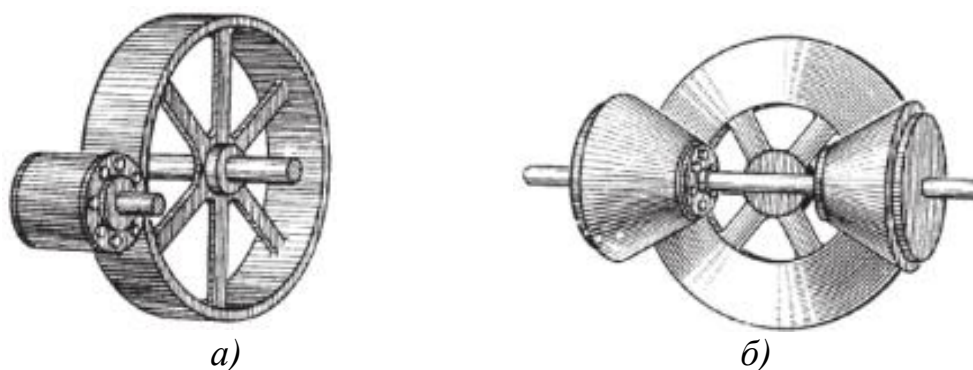


a – внешний вид цепной передачи; *б* – схема цепной передачи; *в* – цепи (*A* – роликовая, *B* – зубчатая); 1– ведущая звездочка; 2 – ведомая звездочка; 3 – цепь приводная; d_1 – делительный диаметр звёздочки 1; d_2 – делительный диаметр звёздочки 2; c – межосевое расстояние; ψ – угол наклона оси звёздочек; F – сила натяжения.

Рисунок 2.26 – Внешний вид, схема и основные параметры цепной передачи

Использование фрикционных передач, относящихся к жестким передачам и применяемых в металлообрабатывающих станках, прессах и других машинах, основывается на передаче вращательного движения за счёт сил трения, путём плотно прижатых друг к другу гладких колес (дисков), имеющих цилиндрическую либо коническую форму, изображенных на рисунке 2.27. Для исключения проскальзывания в этих передачах необходимую силу трения обеспечивают путём нанесения на поверхности трения различных очень прочных материалов, обладающих повышенным коэффициентом трения (фрикционных материалов, например, феродо).

Во фрикционных муфтах, структурная схема которых изображена на рисунке 2.28, передача движения реализуется за счёт нескольких двух дисков, торцевые поверхности которых плотно прижимаются друг к другу. Их количество и диаметральные размеры определяют максимальное значение передаваемой мощности, значение которой прямо пропорционально площади контактов.

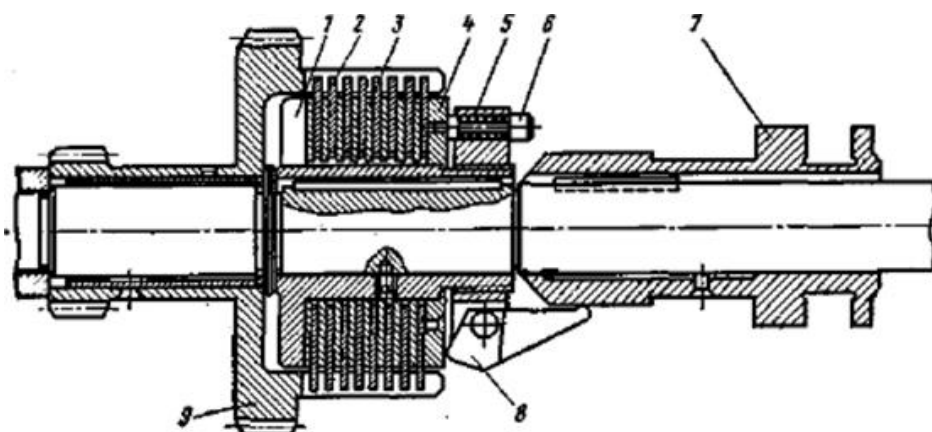


а – цилиндрическая фрикционная передача; *б* – коническая фрикционная передача.

Рисунок 2.27 – Схемы фрикционных передач

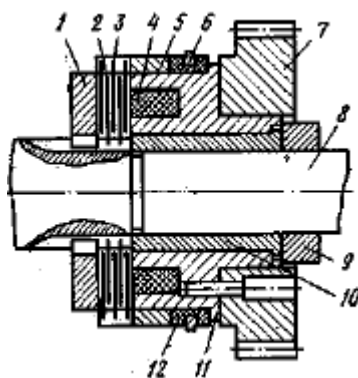
В отличие от рассмотренной фрикционной муфты электромагнитные, структура которых представлена на рисунке 2.29, имеют электромагнитный привод подвижных дисков фрикционных. Конструкция и принцип фрикционных муфт приведенных на рисунке 2.28 обуславливает износ торцевых поверхностей фрикционных

дисков 2 и 3, чем вызвана необходимость периодической настройки зазоров между ними.



1 – фланцевая втулка; 2 – неподвижные фрикционные диски; 3 – подвижные фрикционные диски; 4 – стопорный диск; 5 – гайка; 6 – фиксатор; 7 – подвижная втулка; 8 – кулачок; 9 – зубчатое колесо.

Рисунок 2.28 – Схема многодисковой фрикционной муфты



1 – якорь; 2 – подвижный диск; 3 – неподвижный диск; 4 – катушка электромагнита; 5 – обойма; 6 – контактное кольцо; 7 – зубчатое колесо; 8 – вал ведомый; 9 – стопорное кольцо (от осевого перемещения); 10 – втулка; 11 – корпус муфты; 12 – электроизоляционное кольцо.

Рисунок 2.29 – Схема фрикционной электромагнитной муфты

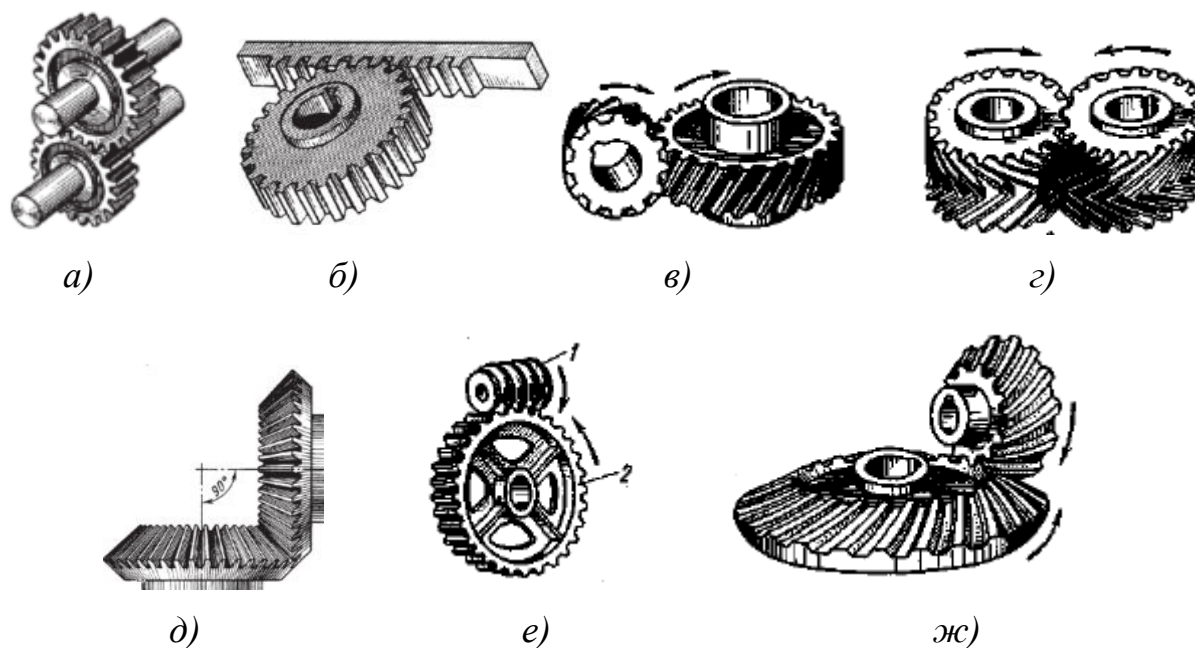
Отличительной особенностью зубчатых передач, относящихся к жестким передачам, является постоянство передаточного числа и возможность передачи больших крутящих моментов и мощностей. Применяются зубчатые передачи, примеры элементов которых приведены на рисунке 2.30, в значительной части промышленного оборудования, являясь самой распространённой передачей. Передача движения происходит путём зацепления двух (ведущего и ведомого) зубчатых колес. При этом зубчатое колесо меньшего диаметра иногда называют шестернёй. Различают зубчатые передачи по форме зубчатых колёс, выделяя цилиндрические, конические и винтовые. Особенностью прямозубых цилиндрических колёс является возможность их установки на валах как подвижно, так и неподвижно чего нельзя реализовать с использованием зубчатых колёс с иной формой зуба, закрепляемых на валах только неподвижно. Прямозубые цилиндрические зубчатые передачи устанавливаются между валами с параллельно расположенными осями. Разновидностью прямозубой цилиндрической передачи является передача зубчатое колесо – рейка, в которой происходит преобразование вращательного движения колеса в прямолинейное движение рейки.

Косозубые цилиндрические передачи обеспечивают возможность передачи движения как между валами с параллельными осями, так и – с пересекающимися. Помимо этого они сочетают повышенную окружную скорость и бесшумность работы при наличии больших передаточных отношений (15:1), а также возможность при соблюдении перечисленных требований использовать зубчатое колесо с малым числом зубьев. Косозубые колёса обеспечивают возможность передачи и большей по абсолютному значению полезной нагрузки по сравнению с прямозубыми передачами.

При работе косозубых передач возникает осевая составляющая, передающаяся на опоры. Этому недостатка лишена шевронная передача, в которой разнонаправленные осевые составляющие компенсируют друг друга, отличающаяся большой прочностью. Применяют шевронные передачи для передачи большой полезной мощности, когда зубчатое зацепление подвержено воздействию значительных удар-

ных нагрузок. При монтаже этих передач вершину угла зубьев направляют в сторону вращения колеса.

Конические зубчатые передачи применяют для передачи движения между валами с пересекающимися осями. Для повышения плавности и бесшумности работы используют конические зубчатые колеса с круговым зубом.

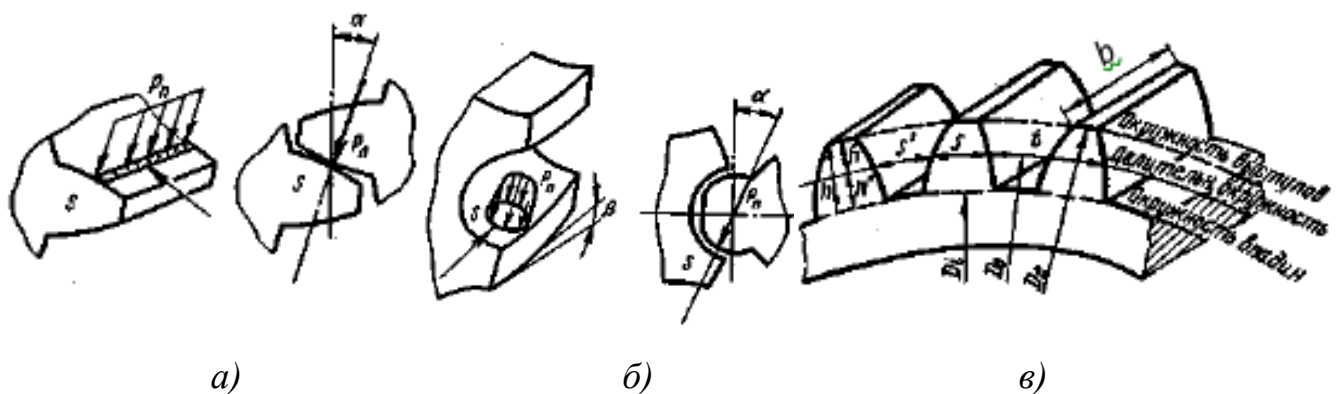


а – зацепление прямозубых цилиндрических колёс; *б* – зацепление прямозубого цилиндрического колеса (*1*) с рейкой (*2*); *в* – зацепление косозубых цилиндрических колёс; *г* – зацепление шевронных цилиндрических колёс; *д* – зацепление конических колёс с прямым зубом; *е* – червячное зацепление (*1* – червяк, *2* – червячное колесо); *ж* – зацепление конических колёс с круговым зубом

Рисунок 2.30 – Примеры зубчатых зацеплений.

Кроме того, зубчатые передачи различают по форме зубьев зубчатых колёс (прямозубые, косозубые, шевронные). По профилю сечения зуба различают эвольвентные зубчатые передачи, циклоидные и передачи М.А. Новикова. Зацепление М.А. Новикова при его большой несущей способности реализуемо только для косозубых передач.

Если эвольвентное зацепление является линейчатым, поскольку контакт зубьев происходит практически по узкой площадке, которая располагается вдоль зуба, как видно из рисунка 2.31, *а*, чем обусловлена относительно низкая его контактная прочность, то в зацеплении Новикова линия контакта зубьев, как показано на рисунке 2.31, *б*, обращается в точку и зубья касаются только в момент прохождения профилей через эту точку. Непрерывность передачи движения обеспечивает винтовая форма зубьев. По этой причине данное зацепление может быть только косозубым с углом наклона β в диапазоне значений от 10° до 30° . При взаимном перекачивании зубьев контактная площадка перемещается вдоль зуба с большой скоростью. Это обеспечивает благоприятные условия для образования устойчивого масляного слоя между контактирующими поверхностями зубьев. В результате происходит снижение трения в передаче почти в два раза и, соответственно, повышение несущей способности зубьев [7]. Ещё один недостаток рассматриваемого зацепления состоит в повышенной его чувствительности к изменению межосевого расстояния и значительным колебаниям нагрузок.



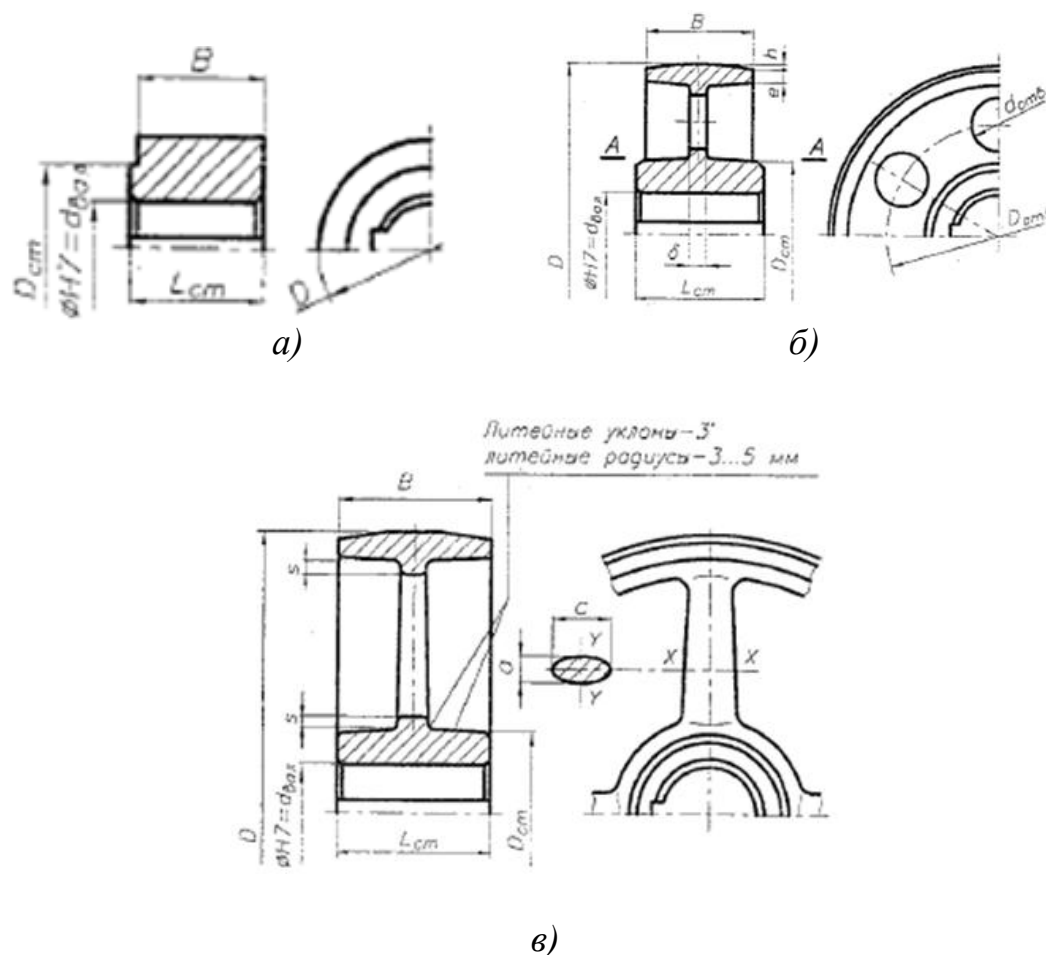
а – площадка контакта при эвольвентном зацеплении; *б* – площадка контакта при зацеплении Новикова; *в* – основные элементы зубчатого колеса (на примере прямозубого цилиндрического с эвольвентным профилем зуба)

Рисунок 2.31 – Схемы контактных площадок и основные элементы зубчатого колеса.

2.5 Детали узлов и механизмов

Шкивы в зависимости от объемов выпуска изготавливают литыми, коваными, штампованными, цельными или сборными. Примеры конструкций шкивов для плоскоремённых передач представлены на рисунке 2.32, а пример установки шкива на валу – на рисунке 2.33.

Выбор варианта конструкции шкива выполняется в функции посадочного диаметра вала $f(d)$. Опыт эксплуатации ременных передач позволил выработать определенные рекомендации для выбора конструкции шкивов, сведенные в таблицу 2.3 [6].



a – монолитная; *б* – дисковая; *в* – со спицами при различных формах обода:
1 – цилиндрическая; *2* – выпуклая; *3* – цилиндрическая с двойной конусностью.

Рисунок 2.32 – Конструкции шкивов для плоскоремённых передач

Таблица 2.3 – Соотношение значений посадочных диаметров валов и конструкций шкивов

Конструкция шкива	Посадочный диаметр вала d , мм
Монолитная	до 90
С диском	от 80 до 200
Со спицами	свыше 180

Значения каждого из параметров элементов конструкций шкивов, указанных на рисунке, приведены в соответствующих таблицах, либо определяется с использование определённых соотношений.

Значения ширины обода в зависимости от ширины ремня $B(b_P)$, приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Ширина обода шкива B , соответствующая ширине ремня, мм.

Ширина		Ширина		Ширина	
ремня b_P	обода B	ремня b_P	обода B	ремня b_P	обода B
20	25±1,0	71	80±1,5	140	160±2,0
25	32±1,0	80	90±1,5	160	180±2,0
32	40±1,0	90	100±1,5	180	200±2,0
40	50±1,0	100	112±1,5	200	224±2,0
50	63±1,0	112	125±1,5	224	250±2,0
63	71±1,0	125	140±1,5	250	280±2,0

Толщину обода шкива для литых шкивов находим из выражения

$$e = 0,005d + 3 \text{ мм}, \quad (2)$$

а для сварных шкивов

$$e = 0,004(B + 0,5 d) + 4 \text{ мм} \quad (3)$$

Изготавливают рабочую поверхность обода цилиндрической, выпуклой либо цилиндрической с двойной конусностью, как показано на рисунке 2.32 позиции a , b и $в$, соответственно.

Величина стрелы выпуклости шкивов h должна соответствовать значениям, приведенным в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Стрела выпуклости h шкивов в зависимости от их диаметра D , мм

Диаметр D	40	45	50	56	63	71	80	90	100	112
Стрела выпуклости h	0,3									
Диаметр D	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355
Стрела выпуклости h	0,4		0,5		0,6		0,8		1,0	
Диаметр D	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	...
Стрела выпуклости h $B \leq 125$ мм	1,0									
$140 \leq B \leq 160$ мм	1,2		1,5							
$180 \leq B \leq 200$ мм	1,2		1,5		2,0					
$224 \leq B$ мм	1,2		1,5		2,0			2,5		

Как правило, выпуклость предусматривают на шкивах большого диаметра. В случае равенства передаточного числа единице выпуклым выполняют ведомый шкив, а для передач, в которых окружная скорость v превышает значения 25 м/с, выпуклыми изготавливают оба шкива.

При определении размеров шкивов дисковой конструкции высоту ребра s принимают примерно равным толщине обода e , мм. Для определения размеров элементов соединения ступицы с венцом используют следующие выражения

$$\delta = (0,60 \div 0,65)(D_{\text{СТ}} - d_{\text{ВАЛ}}), \quad (4)$$

$$D_{\text{ОТВ}} = 0,5(d - 2h - 2e + D_{\text{СТ}}), \quad (5)$$

$$d_{\text{ОТВ}} = (0,3 \dots 0,4)(d - 2h - 2e - D_{\text{СТ}}), \quad (6)$$

где δ – поперечный размер диска в сечении ($\delta \geq 6$ мм) [6];

$D_{\text{СТ}}$ – внешний диаметр ступицы шкива;

$d_{\text{ВАЛ}}$ – посадочный диаметр вала;

$D_{\text{ОТВ}}$ – диаметр расположения осей отверстий в диске;

d – диаметр делительной окружности шкива, в соответствие с рисунком 2.27;

h – стрела выпуклости шкива;

e – толщина обода шкива;

$d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстий в диске;

$\delta, D_{\text{отв}}, d_{\text{отв}}$ – целые числа.

Число отверстий в диске принимается из конструктивных соображений от 4 до 6.

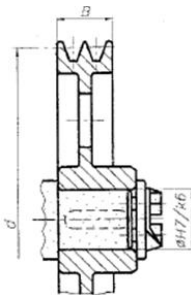


Рисунок 2.33 – Пример установки шкива на валу

Напряжение среза τ диска в сечении А-А определяют, используя выражение,

$$\tau = \frac{2T}{D_{\text{ст}}^2 \pi \delta} \leq [\tau], \quad (7)$$

в котором допустимое значение $[\tau]$ выбирают из таблицы 2.6.

Таблица 2.6 – Допустимы напряжения для некоторых материалов

Материал	$[\sigma_p]$, МПа	$[q]$, Мпа	$[\tau]$, МПа
Сталь	$\frac{\sigma_T}{3}$	$\frac{\sigma_T}{2}$	$0,6[\sigma_p]$
Бронза	от 35 до 45	от 45 до 50	от 30 до 50
Чугун	от 20 до 24	от 60 до 80	от 30 до 50

При определении размеров шкивов со спицами, представленных на рисунках 2.32 и 2.33, число спиц $n_{\text{СП}}$ находят, используя зависимость

$$n_{\text{СП}} = \left(\frac{1}{6} \div \frac{1}{7}\right) \sqrt{D}, \quad (8)$$

где $n_{\text{СП}}$ – целое число не менее 3.

Помимо этого используют понятие расчётного числа спиц $n'_{\text{СП}}$, определяемое как отношение

$$n'_{\text{СП}} = \frac{n_{\text{СП}}}{3}, \quad (9)$$

а также такие выражения как

$$\frac{a}{c} = 0,4, \quad (10)$$

$$F = \frac{2T}{D n'_{\text{СП}}}, \quad (11)$$

$$L = 0,5D, \quad (12)$$

$$M_u = FL. \quad (13)$$

Допустимое напряжение $[\sigma]_u$ принимают равным 30 МПа. Момент сопротивления изгибу W в сечении $Y - Y$ определяют из выражения

$$W_{y-y} = 0,1ac^2 \quad (14)$$

Размер спицы c_1 определяют, используя зависимость

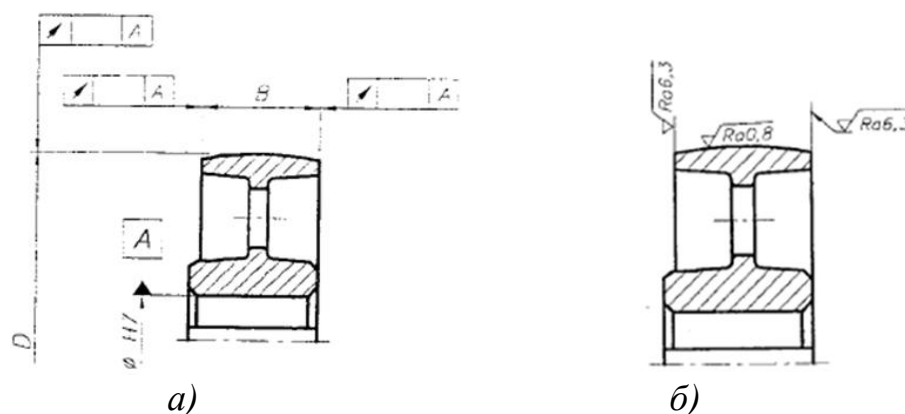
$$c_1 = \sqrt[3]{\frac{10^3 T}{0,013 n_{сп} [\sigma]_u}} \text{ мм} \quad (15)$$

Остальные размеры спиц находят из соотношений

$$c_2 = 0,8c_1, a_1 = 0,4c_1, a_2 = 0,8c_1 \quad (16)$$

Все значения параметров a и c принимают только целыми.

Требования, предъявляемые к отклонениям форм, расположению поверхностей и их шероховатости плоских шкивов, в соответствии с рисунком 2.34, выглядят следующим образом.



a – задание отклонений формы и расположения поверхностей; b – задание шероховатости поверхностей.

Рисунок 2.34 – Отклонения формы, расположения поверхностей шкивов плоскоремённых передач и их шероховатости

Допуск осевого биения ∇ поверхности обода относительно оси посадочного отверстия не должен превышать 8-й степени точности ГОСТ 24643-81. Допуск ра-

диального биения \nearrow поверхности обода относительно оси посадочного отверстия не должен превышать 9-й степени точности ГОСТ 24643-81. Значения допусков, как на осевое, так и радиальное биение приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Допуски осевого и радиального биения обода

Допуск биения, мм			
осевого		радиального	
D шкива, мм	Допуск	D шкива, мм	Допуск
до 160	0,10	до 120	0,10
до 400	0,16	до 260	0,12
до 1000	0,25	до 500	0,16
		до 800	0,20

Неуказанные предельные отклонения размеров обрабатываемых поверхностей задают для: охватывающих – $H14$ и охватываемых – $h14$. Для прочих поверхностей задают значения из диапазона $\pm 0,5 IT14$.

Шероховатость рабочей поверхности шкивов должна иметь значения от 0,8 до 1,6 Ra . Торцевые поверхности обрабатывают до значений шероховатости 6,3 Ra .

Другие обрабатываемые поверхности регламентируются знаком \checkmark , размещённым в правом верхнем углу поля чертежа и должны иметь шероховатость от 6,3 до 12,5 Ra . Не подлежащие по данному чертежу обработке поверхности отмечены знаком \checkmark должны соответствовать требованиям, установленным соответствующим стандартом или техническими условиями, или другим документом, причем на этот документ должна быть приведена ссылка, например, в виде указания сортамента материала в графе 3 основной надписи чертежа по ГОСТ 2.104-2006.

Требования к поверхностям ступиц представлены на рисунке 2.35. Варианты конструкций (типы) посадочных отверстий ступиц показаны на рисунке 2.36.

Для определения внешнего диаметра $D_{СТ}$ ступицы и её длины $L_{СТ}$ пользуются соотношениями

$$D_{СТ} = (1,6 \div 2,0) d_{вал} \quad (17)$$

$$L_{CT} = (1,5 \div 2,0) d_{\text{вал}} \quad (18)$$

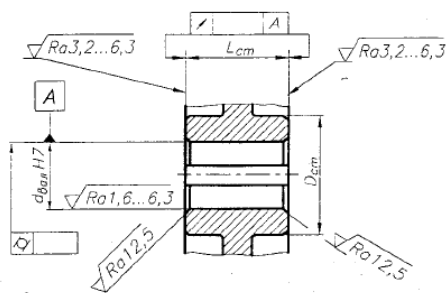
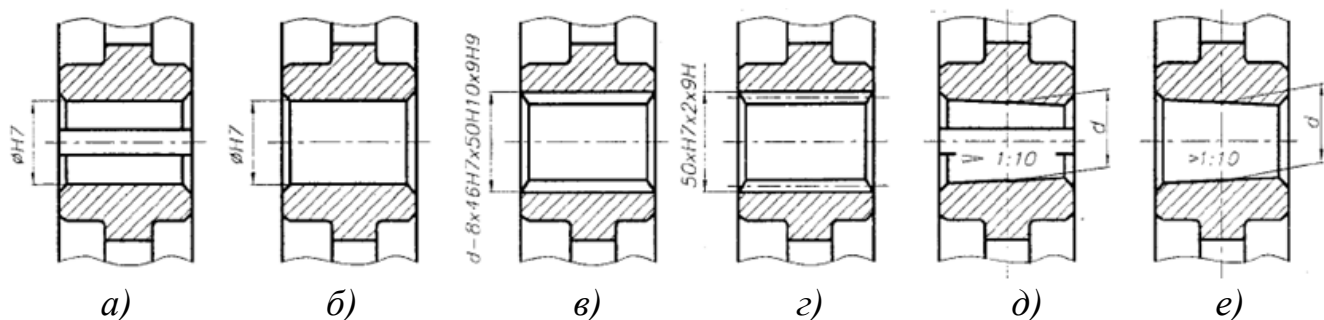


Рисунок 2.35 – Отклонения формы, расположения поверхностей ступиц шкивов плоскоремённых передач и их шероховатости

Отклонения диаметральных размеров отверстий ступиц шкивов ограничивают полем допуска $H7$. Допуск цилиндричности посадочной поверхности отверстия T_{\square} устанавливают равным $0,3$ от отклонения размера поверхности.

Шероховатость поверхности отверстия ступицы обеспечивают от $1,6$ до $6,3$ Ra . Шероховатость боковых поверхностей ступицы обеспечивают на класс ниже шероховатости отверстия.

Пример рабочего чертежа шкива приведен на рисунке 2.37.



a – цилиндрические со шпонкой; b – цилиндрические без шпонки (для прессовых соединений); $в$ – зубчатые (шлицевые) прямобочные; $г$ – зубчатые (шлицевые) эвольвентные; $д$ – конические со шпонкой; e – конические без шпонки.

Рисунок 2.36 – Типы посадочных отверстий ступиц

Шкивы клиноремённых передач отличаются наличием таких конструктивных элементов как канавки, изображённые на рисунке 2.38, характеризующиеся наличием собственных элементов, допусками на их размеры и предъявлением определённых требований к их поверхностям. Для этих шкивов ширину венца определяют, используя выражение

$$M = (z - 1) t + 2f \text{ мм}, \quad (19)$$

где z – число ремней передачи;

t – шаг канавок;

f – расстояние от оси канавки до торца шкива (t и f , как и все размеры профиля канавок являются функцией сечения ремня и определяют по таблице 2.8).

Наружный диаметр шкива d_e считают, используя зависимость

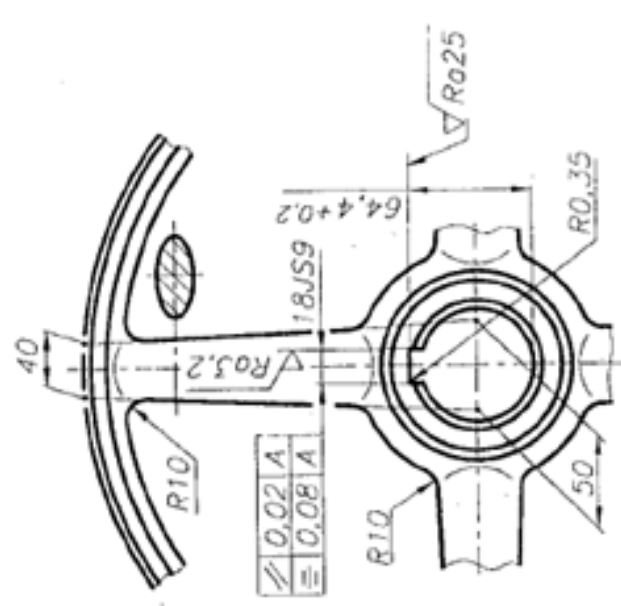
$$d_e = d + 2b \text{ мм}, \quad (20)$$

где b – выбирают из таблицы 2.8.

Рабочие поверхности канавок обрабатывают обеспечивая шероховатость от 0,8 до 1,6 Ra как и радиусы закругления канавки. Для поверхностей фасок обеспечивают шероховатость в диапазоне от 12,5 до 25 Ra . Обработку наружных и торцевых поверхностей таких шкивов выполняют, обеспечивая шероховатость 6,3 Ra .

Допуск биения \nearrow конусной рабочей поверхности канавки шкива не должен превышать на каждые 100 мм диаметра относительно оси вращения 0,20 мм для частот вращения шкива до 800 мин^{-1} , 0,15 мм для частот вращения шкива до 1500 мин^{-1} и 0,10 мм для частот вращения шкива более 1500 мин^{-1} . Допуски осевого и радиального биений \nearrow поверхности обода относительно оси посадочного приведены в таблице 2.7. Предельные отклонения угла канавки шкивов, обработанных резанием, не должны превышать 1° для сечений ремней О, А, Б, и $\pm 30'$ – для сечений ремней В, Г, Д.

V(V)



1. Балансировать статически.
2. Допустимый дисбаланс - 6 г·м.
3. Литейные углы - 3°;
4. h14; H14; ±0.5IT14; -поверхностей ψ . - ±0.5IT16.

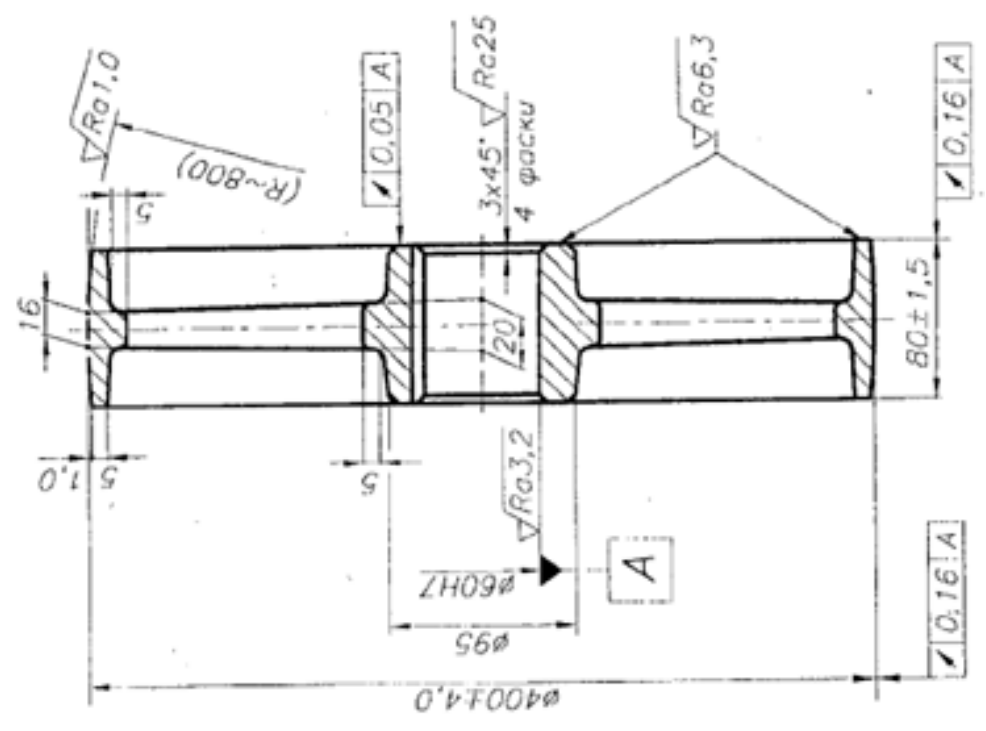
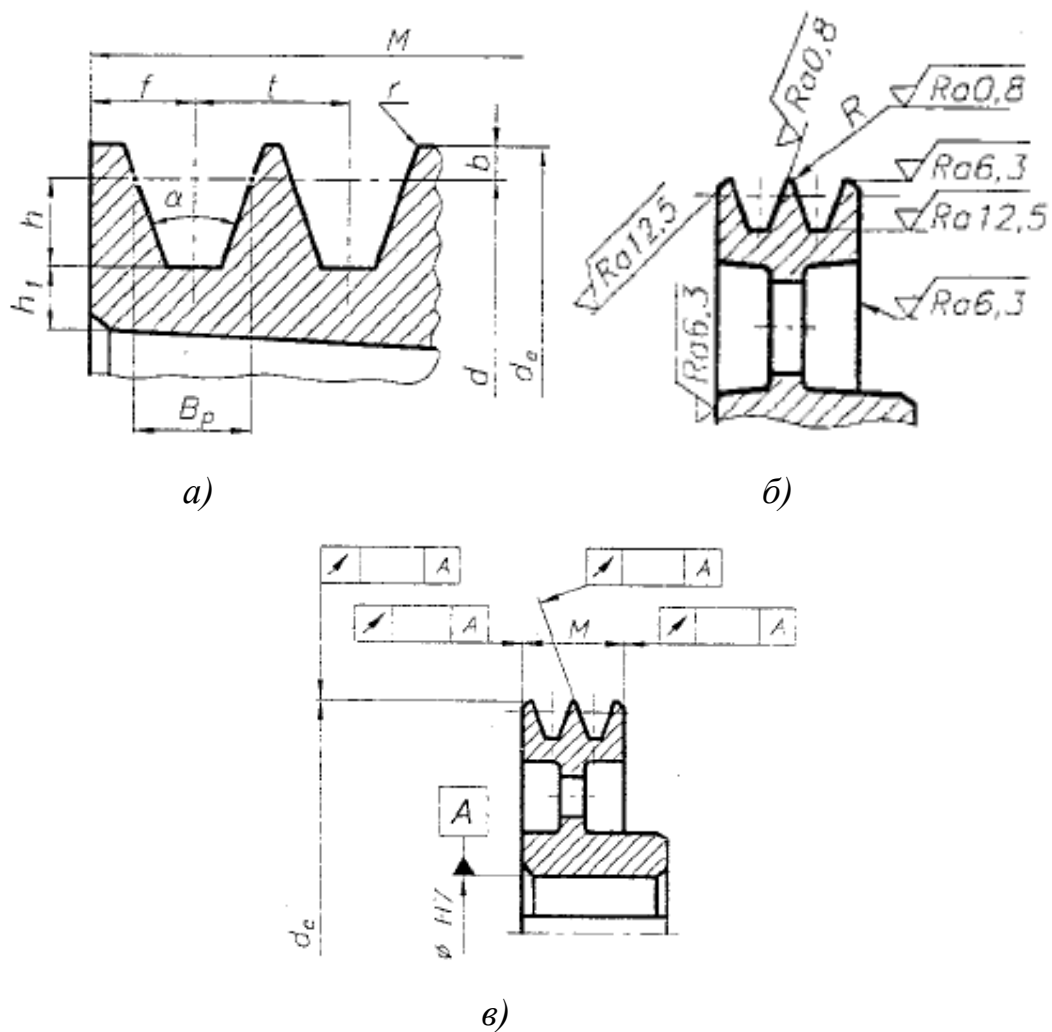


Рисунок 2.37 – Рабочий чертёж шкива плоскоремённой передачи



a – параметры профиля канавок шкива клиноремённой передачи; *б* – шероховатость поверхностей канавок; *в* – отклонения формы и расположения поверхностей.

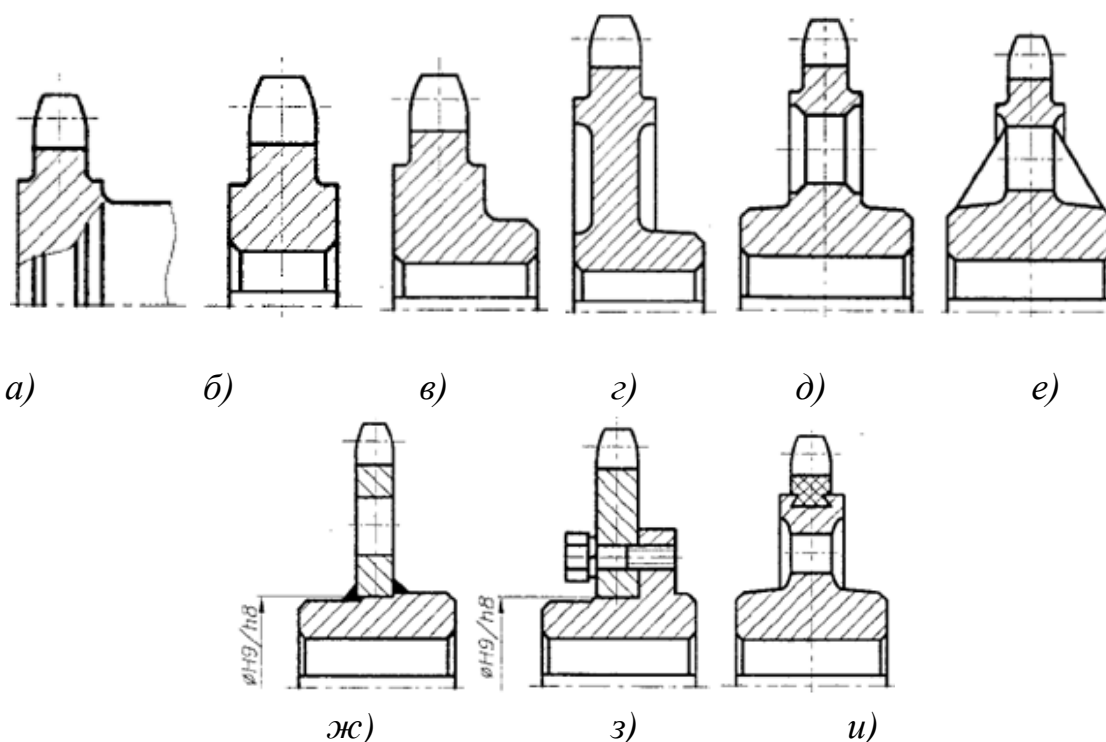
Рисунок 2.38 – Элементы шкивов клиноремённых передач и предъявляемые к ним требования

Конструкции и требования, предъявляемые к зубчатым шкивам достаточно подробно рассмотрены в справочниках, посвящённых конструированию узлов и деталей машин, например [6], поэтому оставим это на самостоятельное изучение обучающихся.

Для изготовления шкивов используют такие чугуны как СЧ15 и СЧ20 (ГОСТ 1412-85), сталь 25Л (ГОСТ 977-88), Ст3 (ГОСТ 380-205).

Чугуны используют для изготовления литых шкивов работающих со скоростями v , не превышающими 30 м/с. Для работы при скоростях v до 40 м/с литые шкивы изготавливают из стали 25Л. При диаметрах шкивов, не превышающих величины 200 мм, для их изготовления применяют прокат Ст3. Для изготовления быстроходных шкивов используют лёгкие сплавы на основе алюминия.

Звёздочки цепных передач, как показано на рисунке 2.39, могут иметь различные конструкции. Они могут быть изготовлены в виде вала-звёздочки (как одно целое) или быть составной или, например, быть однорядной, двухрядной, а то и трёхрядной.



a – вал-звёздочка; *б* – звёздочка без ступицы; *в* – звёздочка со ступицей; *г, д* – звёздочки дисковой конструкции; *е* – звёздочка литая дисковой конструкции с ребрами; *ж* – звёздочка сварная; *з* – звёздочка составная; *и* – звёздочка, венец и ступица которой выполнены из различных материалов.

Рисунок 2.39 – Конструкции звёздочек цепных передач

Конструкции ступиц звёздочек, их размеры и посадочные отверстия аналогичны конструкциям и размерам и отверстиям ступиц шкивов. Для быстроходных

цепных передачах, работающих с окружными скоростями v более 5 м/с, ГОСТ 591-69 устанавливает два профиля зубьев звездочек: без смещения центров дуг впадин и со смещением центров дуг впадин, показанных на рисунке 2.40. ГОСТ 592-81 для приводных цепей, работающих со скоростями v до 5 м/с устанавливает профиль зуба, изображённый на рисунке 2.40, в.

Примеры продольных сечений венцов звёздочек и их основные размеры указаны на рисунке 2.41 (рассмотрим только однорядные). Размеры зубьев венцов звёздочек в продольном сечении определяют, исходя из таких параметров цепей как диаметр ролика d_1 или втулки d_4 (элемента зацепления), принимаемые за $D_{ц}$, наибольшая высота пластины h , расстояние между внутренними пластинами цепи b_1 и расстояние между рядами цепи A (при количестве рядов цепи более одного), регламентируемых ГОСТ 13568-2017. Наименьший радиус закругления зуба r_3 определяют из выражения

$$r_3 = 1,70D_{ц} , \quad (21)$$

расстояние от вершины зуба до линии центров дуг закругления h_3 –

$$h_3 = 0,80D_{ц} , \quad (22)$$

для определения наибольшего диаметра обода D_c и ширины зуба звёздочки используют зависимости

$$D_c = t \operatorname{ctg} \frac{180^\circ}{z} - 1,3h , \quad (23)$$

для однорядной

$$b_1' = kb_1 - k_1 \text{ мм} , \quad (24)$$

где k и k_1 – коэффициенты учитывающий количество рядов зубьев звёздочки (для однорядной звёздочки их значение составляет 0,93 и 0,15 мм, соответственно, для двух- и трёхрядной – 0,90 и тоже 0,15 мм, а для многорядной – 0,86 и 0,30 мм.

Ширина венца B_n , толщина обода δ и толщина диска c находятся из выражений (24), (25) и (26).

$$B_n = (z - 1)A + b'_n, \quad (25)$$

$$\delta = 1,5 (D_e - d_g), \quad (26)$$

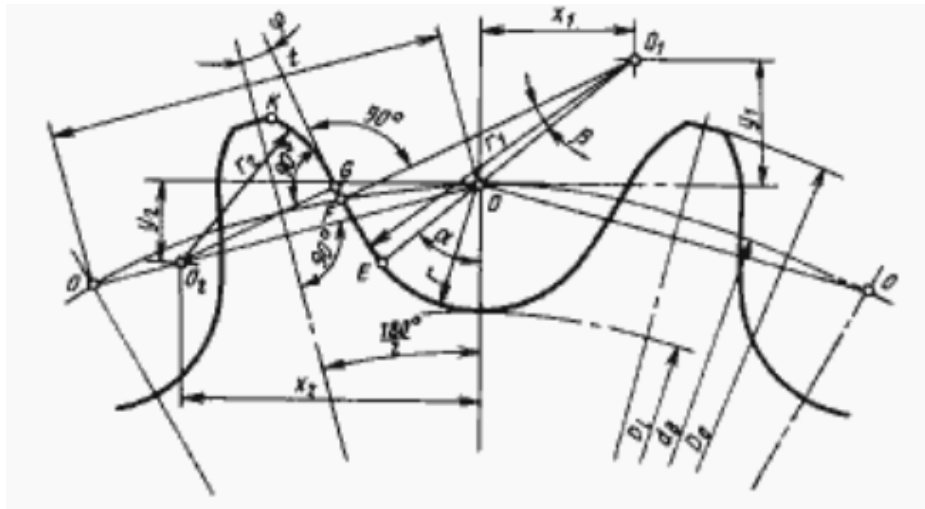
где d_g – диаметр делительной окружности.

$$c = (1,2 \div 1,3)\delta \quad (27)$$

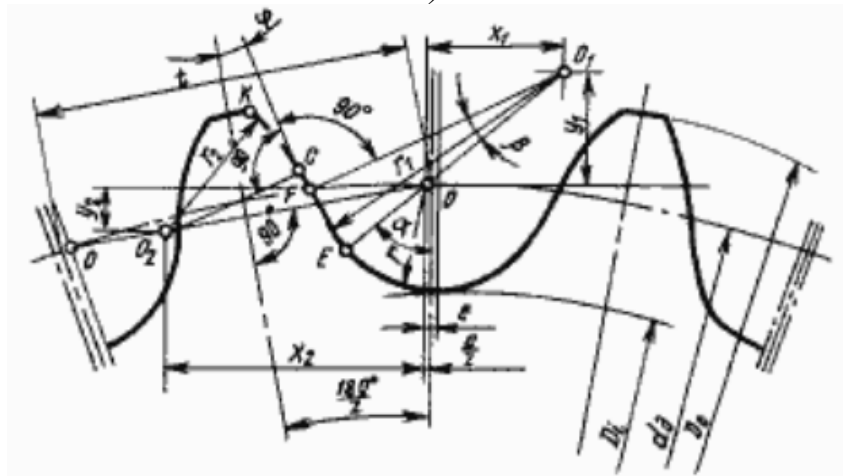
Радиус закругления r_4 принимают равным 1,6 мм для значений шагов не превышающих 35 мм и 2,5 мм – для значений шагов более 35 мм.

Рассмотренные размеры зубьев определяют (рассчитывают) с точностью до первого знака после запятой. Размер же b_1 для однорядных звёздочек можно округлять в меньшую сторону до 1мм. Значение наибольшего диаметра обода звёздочки тоже следует округлять целого значения, а в случаях, когда значение d не превышает 150 мм наибольший диаметр обода допустимо увеличивать на 0,1 от h .

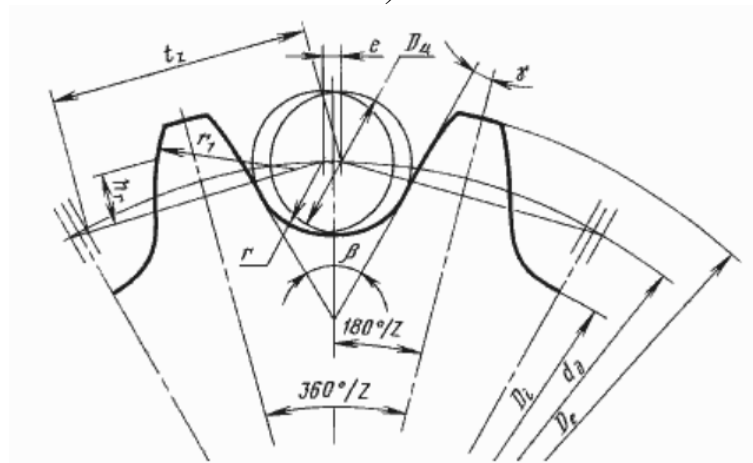
Предельные отклонения размеров зубьев и венцов звёздочек, а так же допуски формы и расположения поверхностей зубьев установлены ГОСТ 591-69. Шероховатости поверхностей зубьев также регламентированы данным стандартом. Так параметр, шероховатость поверхности зубьев Ra при окружной скорости не более 8 м/с ограничивается значением 6,3 мкм, а для работы со скоростями свыше 8 м/с этот параметр должен быть не хуже 3.2 мкм.



а)



б)



в)

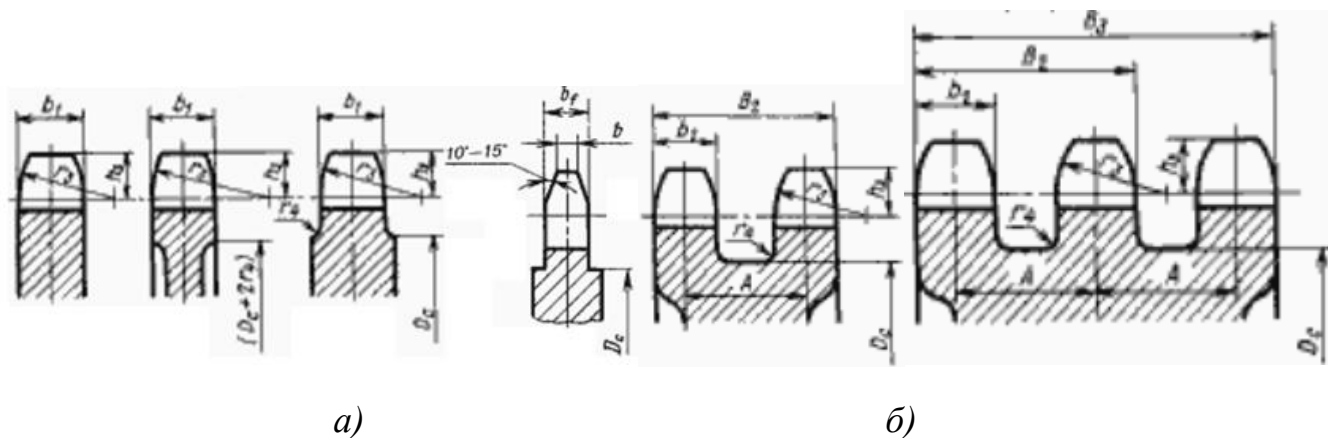
а – без смещения центров дуг впадин; б – со смещением центров дуг впадин;
в – однозаходная звёздочка с геометрической характеристикой зацепления $\lambda < 2,2$,
тип 1.

Рисунок 2.40 – Профили зубьев приводных звездочек

Для изготовления звёздочек используют различные стали. Например, для изготовления ведущих и ведомых звёздочек, работающих без ударных нагрузок используют Ст.15 и Ст.20 подвергающиеся цементации с последующей закалкой до твёрдости от 45 до 50 HRC. Для обеспечения работы этих звёздочек в передачах с ударными нагрузками применяют Ст.15X и Ст.20X, которые так же цементируют и закаляют, но уже с обеспечением твёрдости от 55 до 60 HRC. Для обеспечения работоспособности цепных передач при больших нагрузках и подвергаемых большому износу обе звёздочки в них изготавливают из Ст.40, Ст.50, а также сталей 45Г, 50Г и 45Г2, подвергая их в последствие закалке, обеспечивая твёрдость от 50 до 55 HRC. Стали 40X, 40ХН, 45ХН с закалкой до твёрдости от 50 до 55 HRC применяют для изготовления ведущих и ведомых звёздочек для передач повышенной точности, работающих с большими нагрузками и повышенными скоростями. При средней нагрузке передач звёздочки производят из сталей 230 – 450 и 270 – 480. Эти звёздочки тоже подвергают закаливанию, но до твёрдости от 40 до 50 HRC. При работе с малыми скоростями и без ударных нагрузок для изготовления ведомых звёздочек применяют стали 200 и 250. Эти звёздочки закаляют, обеспечивая твёрдость от 320 до 430 НВ.

К основным характеристикам зубчатых колёс относятся делительную (начальную) окружность, окружность выступов (вершин зубьев), и окружность впадин. Каждая из этих окружностей имеет свой диаметр, носящий одно с ней название (делительный, выступов и впадин, соответственно). Также к основным характеристикам зубчатых колёс относятся шаг зубчатого зацепления, обозначаемый t , и модуль – m .

Делительной, или начальной, окружностью зуб делится по высоте на две неравные части, верхняя из которых носит название головки зуба, высоту которой принято обозначать h' , а нижнюю называют ножкой зуба, её высоту обозначают h'' . Высота зуба h представляет собой сумму размеров головки и ножки зуба. Обозначают делительный (начальный) диаметр $D(D_w)$. Диаметр выступов обозначают D_o , а диаметр впадин D_f .



a – сечения венцов звёздочек различного конструктивного исполнения; *б* – размеры зубьев и венцов.

Рисунок 2.41 – Продольные сечения однорядных венцов звёздочек и их основные размеры

Основным параметром зубчатых колёс является модуль. Модуль представляет собой длину дуги делительной окружности, приходящаяся на один зуб колеса. Для косозубых колёс используют понятия нормального, торцевого и осевого модулей. Значения модулей, приведённые в таблице 2.8, регламентированы ГОСТ 9563-60. Все перечисленные параметры прямозубого цилиндрического колеса с эвольвентным зацеплением связаны между собой через модуль следующими зависимостями

$$t = m\pi \quad (28)$$

$$h' = m \quad (29)$$

$$h'' = 1,25m \quad (30)$$

$$h = 2,25m \quad (31)$$

$$D_w' = mz \quad (32)$$

$$D_o = D_w + 2h' = m(z + 2) \quad (33)$$

$$D_f = D_w - 2h'' = m(z - 2,5) \quad (34)$$

Таблица 2.8 – Значения нормальных модулей m_n зубчатых колёс

Ряд	Модули m_n , мм														
1	1,0	1,25	1,5	2,0	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25
2	1,125	1,375	1,75	2,25	2,75	3,5	4,5	5,5	7,0	9,0	11	14	18	22	

Из приведённых рядов допускается для автомобильной промышленности применение таких модулей как 3,25; 3,75 и 4,25 мм, а для тракторной – модуля 6,5 мм.

Основной материал для изготовления зубчатых колес это сталь, с последующей термообработкой, хотя используют и чугун. Сталь в сравнении с другими материалами наилучшим образом обеспечивает усталостную контактную и изгибную прочность зубьев. Также для изготовления я зубчатых колес используют чугун, сплавы цветных материалов и пластмассы. Для изготовления колёс тихоходных зубчатых передач используют чугун и углеродистые стали. Для быстроходных передач используют легированные стали. Колёса из углеродистой стали после механической обработки подвергают цементации с последующей закалкой, а зубчатые колёса для быстроходных передач после термообработки дополнительно шлифуют или притирают. В качестве термической обработки может быть использована процедура поверхностной закалки с использованием токов высокой частоты (ТВЧ). Перечисленные виды обработки обеспечивают повышение прочности и износостойкости зубчатых колёс.

В зависимости от твердости рабочих поверхностей стальных зубьев различают:

- колеса нормализованные, улучшенные, имеющие твёрдость до 350 НВ;

– колеса закаленные, цементированные, нитроцементированные, азотированные, цианированные, твердость которых превышает значение 350 НВ.

Чистовое нарезание зубчатых колес, твердость которых по Бринеллю не превышает 350 НВ, производят после окончательной термообработки. В этом случае получают высокую точность изготовления зубьев без использования дорогих отделочных операций. В этом случае зубья хорошо прирабатываются, не подвергаясь хрупкому разрушению при динамических нагрузках. Такие колеса используют при малой и средней степени нагруженности и в передачах, использующих колёса больших размеров, термообработка которых затруднительна. Чистовое нарезание колёс, твердость которых должна превышать значение 350 НВ, нарезают перед окончательной термообработкой, но по причине коробления зубьев при термообработке, происходит искажение точности их геометрии. Исправляют это на отделочных операциях, применяемых для термически обработанных до высокой твердости зубьев и использующих специальное дорогостоящее оборудование. Такими операциями являются шлифование, притирка и обкатка. В результате растёт стоимость этих колёс. В ряде случаев компенсировать влияние термообработки на геометрию зуба пытаются ужесточением норм точности (на одну или две степени) на предшествующих ей операциях. Также прибегают к использованию сталей устойчивых к короблению. Использование колёс с высокой твердостью обеспечивает повышение усталостной контактной прочности зубьев, следствием чего является возможность повышения нагрузочной способности передач. В конечном итоге снижаются габаритные размеры передач, повышается износостойкость и сопротивление заеданию зубьев. Технологическим недостатком таких колёс является плохая притираемость их рабочих поверхностей, что, соответственно сказывается приработке передачи и повышении требований к точности их изготовления.

В отличие от сталей из чугунов изготавливают, как правило, колёса крупногабаритных открытых передач, окружная скорость v которых не превышает значения, равного 1 м/с и способных работать при недостатке смазки, хорошо преодолевая заедание. Кроме того, они дешевле. Этим обусловлено достаточно широкое применение высокопрочных чугунов для колёс закрытых передач. Существенный недоста-

ток колёс из чугуна, обусловлен пониженной изгибной прочностью материала и особенно при наличии ударных нагрузок.

Необходимо отметить, что современное машиностроение при относительно небольшой передаваемой полезной нагрузке достаточно широко использует для изготовления зубчатых колёс различные пластики (полиамиды, текстолит, древесно-слоистых пластиков (ДСП) и другие), способные гасить колебания, обеспечивая бесшумность работы, за счёт амортизации ударных нагрузок.

На выбор материалов зубчатых колёс их вид и термическую обработку влияют различные факторы, к которым относятся условия эксплуатации, технологические возможности производителя, тип производства и, конечно же, необходимый технический уровень продукции.

Многолетний опыт изготовления и эксплуатации зубчатых колёс позволил выработать определённые рекомендации практического характера по используемым материалам и их термообработке, представленные в различной справочной литературе и, в частности, [8], [9].

Для открытых зубчатых передач, работающих с небольшой степенью нагруженности при v не превышающей 1 м/с и допускающих приработку зубьев из-за несоосности валов передачи в условиях индивидуального производства рекомендуются такие стали как Ст5, Ст6 (ГОСТ 380-2005); 35,40,45 (ГОСТ 1050-2013); 35Л,40Л (ГОСТ 977-88). Для зубчатых колёс названных передач изготовленных из перечисленных материалов рекомендуется выполнение нормализации с обеспечением твердости в диапазоне от 170 до 270 НВ.

Колёса закрытых зубчатых передачи, условия эксплуатации которых отличаются от предыдущих лишь возможностью повышения нагруженности до средней степени, рекомендуют изготавливать из материалов приведённых в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Рекомендуемые материалы для изготовления зубчатых колёс

Материал шестерни	Материал колеса
45	35, 40Л, 45Л, Ст5
55	40, 45, 45Л, Ст6
40Х	55, 40ХЛ
40ХН	40Х, 45Х

В качестве термообработки для шестерён рекомендуют использовать улучшение для обеспечения твёрдости от 260 до 300 НВ и аналогично для колёс, но с обеспечением твёрдости от 230 до 260 НВ. Также допускается использование для изготовления колёс и шестерён, одинаковых марок сталей.

При изготовлении зубчатых колёс в условиях мелкосерийного производства для эксплуатации с ранее описанными параметрами рекомендуется применять такие материалы как: 45, 40Х, 40ХН, 35ХМ, 35ХГС, 38ХС, 45ХНМ (ГОСТ 4543-2016). Необходимые эксплуатационные механические параметры шестерён могут быть обеспечены путём применения термической обработки в виде улучшения и объемной закалки либо закалки (током высокой частоты) ТВЧ и пламенной закалки до твердости от 45 до 53 НRC. Что касается термической обработки колёс, то их тоже подвергают улучшению до обеспечения твёрдости от 270 до 300 НВ. Так же допускается изготавливать как колесо, так и шестерню из одного и того же материала. Выполняя закалку ТВЧ и пламенную закалку необходимо обеспечить глубину закаленного слоя не менее чем 1,5 мм. Необходимо учитывать, что недостатками использования перечисленных сталей при указанных видах термической обработки являются их повышенная чувствительность к концентраторам напряжений и склонность к образованию трещин.

При серийном типе производства используют одинаковые марки сталей, как для шестерён, так и для колёс – 45, 50, 50Г, 40Х, 40ХН, 40ХН2МА, 38ХС, равно как и одинаковую термообработку для шестерни и для колеса в виде улучшения и закалки ТВЧ (объемная закалка, пламенная закалка) с обеспечением твердости от 45 до 53 НRC. Глубина закаленного слоя при этом должна быть не менее 1,5 мм. Полученные таким образом зубчатые колёса унаследуют от материалов, из которых они изготовлены повышенную чувствительность к концентраторам напряжений и небольшие деформации соответствующей термической обработке.

При работе без перегрузок для передач малой и средней степени нагруженности колёса и шестерни изготавливают из сталей 38ХНЗМФА, 38Х2МЮА, 40ХН2МА, 40Х2ИЮА, 38Х2Ю и подвергают азотированию, обеспечивая твёрдость поверхностей от 550 до 800 НV (от 55 до 70 НRC). При этом как недостаток сталей с

высокой поверхностной твердостью в процессе азотирования проявляются небольшие деформации.

При выпуске в серийном и массовом производствах передач средней степени нагруженности, зубья колёс которых не шлифуются, шестерни изготавливают из сталей 20, 20Х, 25ХГТ, 25ХТМ, 20ХН2М, 12ХНЗА, 18ХГТ, 20ХГТ, 20ХГНР, 20ХГР с последующим улучшением, нитроцементацией и закалкой для обеспечения твердости от 56 до 62 HRC. Как уже отмечалось, обусловленное термической обработкой (ТО) снижение геометрической точности зубьев компенсируют ужесточением на одну или две степени норм точности их механической обработки на предшествующих операциях. В таком случае обеспечивается высокая износостойкость и поверхностная твердость зубьев, а также небольшие деформации при ТО. Но при этом проявляется хрупкость рабочих поверхностей. Для колёс используют стали: 45, 50, 50Г, 40Х, 40ХН, 40ХН2МА, 38ХС последующей ТО виде улучшения и закалки ТВЧ (объемная закалка, пламенная закалка) с обеспечением твердости от 45 до 53 HRC. Глубина закаленного слоя при этом должна быть не менее 1,5 мм.

Для изготовления колёс зубчатых передач средней и высокой степени нагруженности с нешлифованными зубьями при их массовом производстве принято использовать такие материалы как: АЦ45, АЦ50Х, АЦ5Х, АЦ25ХГТ. После механической обработки колёса подвергают объемной закалке до твердости от 45 до 53 HRC. Понижение геометрической точности зубьев колёс в результате ТО компенсируют, как уже говорилось, ужесточением норм точности на механических операциях. При этом стали приобретают такое технологическое свойство как улучшенная обрабатываемость.

Для колёс зубчатых передач высокой степени нагруженности с нешлифованными зубьями в массовом производстве применяют такие материалы как: 15Х, 20Х, 12ХНЗА, 15ХФ, 12ХН2, 20ХН, 20ХНЗА, 25ХГМ, 18ХГТ, 20ХГТ, 20ХГР, 30ХГР, 20ХГНР, 18ХНВА, 20ХГСА, причём одинаковые как для шестерён, так и для колёс. Следующая за механической, термическая обработка включает в себя улучшение, цементацию и закалку, формируя твердость от 56 до 62 HRC. При этом формируют глубину цементированного слоя не менее $0,15m$ (m – модуль), округляя

расчетное значение до десятых долей мм (но не более чем 2,1 мм). Снижение геометрической точности зубьев в результате термической обработки компенсируют ужесточением норм точности на предшествующих операциях по механической обработке. Данная технология обеспечивает высокую несущую способность зубьев при средних деформациях в процессе улучшения цементации и закалки. В данном случае используются и такие материалы как 25ХНТЦ, 25ХГСНТ, 18ХНМФА, 25ХГМФА, 15ХГНТРА, 25ХНГМЮА, 25Х ГНМТ, 14ХГСН2МА с аналогичной последующей термической обработкой и обеспечением такой же твердости. Однако при этом стали являются экономнолегированными и обеспечивающими высокую контактную прочность, но более низкую стоимость.

Для изготовления колёс ответственных зубчатых передач, работающих с высокой степенью нагруженности, со шлифованными зубьями в условиях массового производства применяют одинаковые, как для шестерни, так и для колеса материалы: 12Х2Н4А, 18Х2Н4МА, 18Х2Н4ВА, 20Х2Н4А, 14ХГСН2МА. В этом случае процедура термообработки подразумевает улучшение, цементацию и закалку. В результате обеспечивается твердость поверхностей от 57 до 62 HRC. Глубина цементированного слоя в данном случае должна составлять не менее 0,15*m*, с округлением до десятых долей мм, но не должна превышать величины, равной 2,0 мм. При обеспечении высокой несущей способности зубьев колёс в данном случае проявляется склонность к образованию трещин.

Для зубчатых колёс и передач установлено 12 степеней точности колёс и передач, причем степени 1 и 2 допусками не регламентированы. Обозначаются они в порядке убывания точности цифрами от 1 до 12. Для каждой степени ГОСТ 1643-81 (при значении модуля от 1 мм и выше) эвольвентных цилиндрических передач внешнего и внутреннего зацепления при диаметрах до 6300 мм и ширине венца не более 1250 мм, а так же ГОСТ 9178-81 (при значении модуля до единицы) регламентируют нормы кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев. Для конических зубчатых передач со средними и малыми значениями модулей допуски регламентируются ГОСТ 1758-81 и ГОСТ 9368-81, соответственно. ГОСТ 3675-81 и ГОСТ 9774-81 распространяются на цилиндрические и червячные передачи пере-

численных модулей. Данные нормы могут применяться комбинационно исходя из предусмотренных стандартом правил. Например, нормы плавности работы могут быть не более чем на две степени точнее или на одну степень грубее норм кинематической точности; Нормы контакта зубьев могут назначаться любой степени, более точной, чем нормы плавности работы. Чтобы исключить возможность заклинивания зубьев в зацеплении необходимо обеспечить гарантированный боковой зазор. При этом зазор определяется не только степенью точности, но и одним из шести видов сопряжений, которые устанавливаются нулевой, весьма малый, малый, уменьшенный, нормальный и увеличенный зазоры и обозначаются H, F, D, C, B, A, соответственно.

Помимо вида сопряжения устанавливается допуск на боковой зазор из предусмотренных стандартами и обозначаемых в порядке возрастания его величины буквами h, d, c, b, a, z, y, x. Как правило, сопряжениям H и F соответствует допуск на боковой зазор h, a D, C, B, A – d, c, b, a. Однако можно изменять виды допуска, используя при этом z, y, x.

Что касается требований к шероховатости рабочей поверхности зубьев, то её значения в зависимости от степени точности приведены в таблице 2.10 [10].

Таблица 2.10 – Требования к шероховатости рабочих поверхностей зубьев

Степень точности	3	4	5	6	7	8	9
<i>Ra</i> , мкм (не более)	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	-	-
<i>Rz</i> , мкм (не более)	-	-	-	-	-	20	40

Вал представляет собой деталь машины, вращающуюся в опорах (подшипниках качения или скольжения) и служащую для передачи крутящего момента, жестко закреплённым на нём деталям (колёсам, шкивам, полумуфтам и так далее). По конструкции валы делятся на прямые, коленчатые, шлицевые, валы-шестерни и другим. Особую группу составляют гибкие валы. Валы могут быть гладкими или ступенчатыми. Образование ступеней связано с различной напряженностью посадок отдельных сечений, а также условиями изготовления и удобства сборки. Длинные валы могут состоять из отдельных частей, соединенных муфтами. Как валы, так и оси могут быть сплошными или полыми. Полые конструкции применяются для

уменьшения массы или при необходимости размещения внутри других деталей или механизмов.

В процессе работы валы испытывают различные нагрузки, такие как изгиб, кручение, обусловленными передаваемыми нагрузками, а при наличии осевых нагрузок также работают на растяжение или сжатие.

Участки осей и валов, используемые для их закрепления в опорах качения или скольжения принято называть цапфами, если они воспринимают радиальные нагрузки, и – пятами при восприятии осевых нагрузок. Концевые цапфы, закрепляемые в подшипниках скольжения, называют шипами, а цапфы, расположенные на некотором расстоянии от концов валов (осей, далее валов), называют шейками.

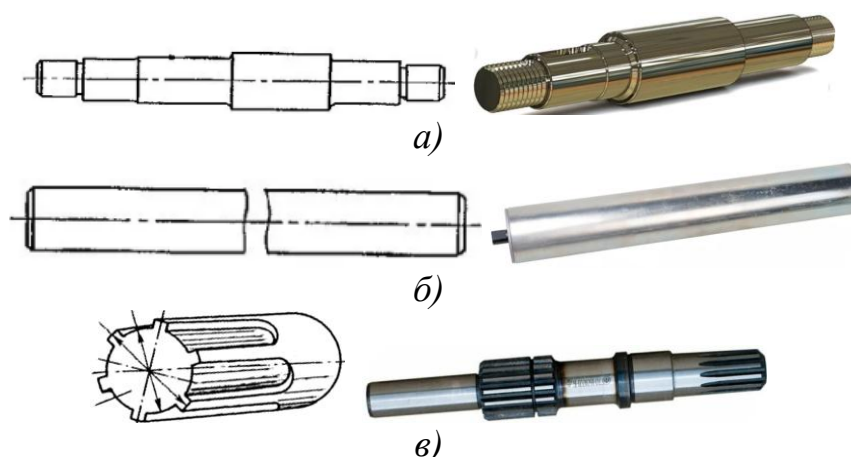
Участки валов, предназначенные для закрепления передающих вращающий момент деталей, выполняют цилиндрическими либо коническими. Конические посадочные поверхности используют с целью облегчения процедуры установки на вал и снятия с него тяжелых деталей, когда требуется повышенная точность центрирования деталей.

Конструкции валов весьма разнообразны и определяются способом крепления на них деталей, типом и размерами подшипников, используемых в качестве опор, технологией изготовления и сборки. Как уже отмечалось, валы могут быть гладкими, ступенчатыми, шлицевыми, схемы и внешний вид которых показаны на рисунке 2.42.

Во многих станках применяются шлицевые валы – с неглубокими продольными канавками на поверхности. Канавки чередуются с выступами, называемыми шлицами. Шлицы могут быть прямобочные (прямоугольные), регламентированные ГОСТ 1139-80 и эвольвентные с углом профиля 30° , регламентируемые ГОСТ 6033-80. В ступицах деталей, сопрягаемых с этими валами, выполняют такие же шлицы, что обеспечивает возможность перемещения детали вдоль оси вала.

Шлицевые соединения более сложные по конструкции и в изготовлении, в отличие от шпоночных. Однако, при этом они позволяют более точно закрепить деталь на валу и обеспечивают передачу существенно больших вращающих моментов при меньших поперечных габаритах вала, по сравнению со шпоночными соедине-

ниями. Помимо этого данный вид соединения является более долговечным и износостойким.



a – схема и внешний вид ступенчатых валов; *б* – схема и внешний вид гладких валов; *в* – схема и внешний вид шлицевых валов.

Рисунок 2.42 – Примеры конструкций валов

Для изготовления слабо и средненагруженных валов применяют стали Ст3, Ст4, 25,30,35 и аналогичные им без дополнительной термообработки. Иногда применяют такие стали как 40, 45, 45Х и другие такого же типа с последующим улучшением. Для тяжело нагруженных валов используют стали 40ХН, 40ХНМА и 30ХГС и другие стали, обладающие такими же свойствами, с дополнительной закалкой. При наличии повышенных требованиях к твердости поверхностей, например, у таких валов как шлицевые, для изготовления валов используют стали подвергающиеся цементированию таких марок как 20Х и 12ХНЗА или азотированию – марки 38ХМЮА и 38ХМЮА. Для изготовления валов-шестерен материал выбирают исходя из требований шестерне. Определённые требования по твёрдости предъявляют к участкам входных и выходных валов, предназначенным для установки уплотнений. Их подвергают закалке на глубину h от 0,3 до 0,4 мм до твёрдости от 45 до 48 HRC, для чего используют соответствующие марки стали.

Поскольку различные поверхности валов предназначаются для выполнения различных функций, то требования к их характеристикам тоже различны. Так, до-

пуски на диаметральные размеры поверхностей, используемых для установки на них подшипников качения, в соответствии с классами точности подшипников (0, 6, 5, 4, 2) регламентируемыми ГОСТ 520-89. Подшипники качения на вал устанавливаются в системе отверстия. Для установки подшипника в отверстие корпуса пользуются системой основного вала. Допуски на основной размер колец подшипников установлены отрицательные относительно нулевой линии при постоянном равенстве верхнего отклонения нулю.

В соответствии с квалитетами и классами точности подшипников, для наиболее распространённых в общем машиностроении 0, 6 и 5 классов используют следующие обозначения полей допусков посадочных диаметров колец подшипников:

- для наружного диаметра – *l0, l6, и l5*;
- для диаметра отверстия – *L0, L6 и L5*.

Посадки, используемые при монтаже подшипников на вал и в корпус, приведены в таблице 2.11. Из представленного ряда посадок используют рекомендуемые, которые выделены.

Таблица 2.11 – Рекомендуемые посадки подшипников

Посадки для основных отклонений																	
вала										отверстия							
<u>L0</u>	<u>L0</u>	<u>L0</u>	<u>L0</u>	<u>L0</u>	<u>L0</u>	<u>L0</u>	<u>L0</u>	<u>L0</u>	<u>L0</u>	<u>G7</u>	<u>H7</u>	<u>J_s7</u>	<u>J7</u>	<u>K7</u>	<u>M7</u>	<u>N7</u>	<u>P7</u>
<i>f6</i>	<i>g6</i>	<i>h6</i>	<i>j_s6</i>	<i>j6</i>	<i>k6</i>	<i>m6</i>	<i>n6</i>	<i>p6</i>	<i>r6</i>	<i>l0</i>	<i>l0</i>	<i>l0</i>	<i>l0</i>	<i>l0</i>	<i>l0</i>	<i>l0</i>	<i>l0</i>
		<u>L0</u>							<u>L0</u>	<u>E8</u>	<u>H8</u>						
		<i>h7</i>							<i>r7</i>	<i>l0</i>	<i>l0</i>						
<u>L6</u>	<u>L6</u>	<u>L6</u>	<u>L6</u>	<u>L6</u>	<u>L6</u>	<u>L6</u>	<u>L6</u>	<u>L6</u>	<u>L6</u>	<u>G7</u>	<u>H7</u>	<u>J_s7</u>	<u>J7</u>	<u>K7</u>	<u>M7</u>	<u>N7</u>	<u>P7</u>
<i>f6</i>	<i>g6</i>	<i>h6</i>	<i>j_s6</i>	<i>j6</i>	<i>k6</i>	<i>m6</i>	<i>n6</i>	<i>p6</i>	<i>r6</i>	<i>l6</i>	<i>l6</i>	<i>l6</i>	<i>l6</i>	<i>l6</i>	<i>l6</i>	<i>l6</i>	<i>l6</i>
		<u>L6</u>							<u>L6</u>	<u>E8</u>	<u>H8</u>						
		<i>h6</i>							<i>r7</i>	<i>l6</i>	<i>l6</i>						

Из приведённой таблицы следуют соответствующие поля допусков на обрабатываемые размеры поверхностей валов и корпусных отверстий используемых под установку подшипников.

Шероховатость посадочных поверхностей под подшипники на валах и в корпусах, изготовленных из стали и чугуна не должны превышать значений, приведённых в таблице 2.12 (ГОСТ 3325-85).

Таблица 2.12 – Шероховатость поверхностей посадочных мест подшипников

Посадочные поверхности	Классы точности подшипников	Параметр шероховатости R_a , мкм	
		диаметров подшипников до 80 мм	диаметров подшипников свыше 80 до 500 мм
Валов	0,	$Ra1,6$	$Ra3,2$
	6,5	$Ra0,8$	$Ra1,6$
Отверстий корпусов (сталь/чугун)	0,	$Ra1,6/3,2$	$Ra3,2/6,3$
	6,5	$Ra0,8/1,6$	$Ra1,6/3,2$
Опорных торцов запле- чиков валов и корпусов	0,	$Ra3,2$	$Ra3,2$
	6,5	$Ra1,6$	

При установке подшипников на закрепительных или стяжных втулках шероховатость посадочных поверхностей валов для подшипников не должен превышать $R_a 3,2$ мкм.

Допуски на размеры поверхностей валов, предназначенных для закрепления на них зубчатых колёс, зависят от нагрузки и требований монтажа. Так для обычных соединений при диаметральном размере поверхности, не превышающей 100 мм, используется поле допуска на диаметральный размер $p6$, а при диаметре от ста миллиметров и более – $r6$ и $s6$. Если данная конструкция будет испытывать ударные нагрузки, то для диаметров менее ста миллиметров устанавливают поле допуска $r6$, а для больших диаметров – $s6$. При частой сборке (разборке) соединения устанавливают поля допусков $k6$, $m6$ и $h7$.

Поверхности валов используемые для установки на них ступиц зубчатых колёс должны обрабатываться с шероховатостью не хуже $Ra1,6$ для диаметров до 80 мм, включительно, и $Ra3,2$ если диаметр превышаем 80 мм.

Под установку муфт, при обычной нагрузке соединений на диаметральные размеры поверхностей применяют поля допусков j_s6 , $k6$, $m6$, и $n6$. При наличии ударных нагрузок в соединениях устанавливают поля допусков $p6$, $r6$, $h6$ и $h7$.

Для свободных (необозначенных) размеров граничные отклонения устанавливаются по $h14$, $H14$ и $\pm 0,5IT14$.

Поверхности валов используемые для установки на них ступиц муфт, колес и элементов незубчатых передач и других деталей необходимо обрабатывать с шероховатостью, значение которой для валов диаметрами до 80 мм, включительно, не должна превышать значения $Ra 3,2$, а для валов большего диаметра – $Ra 6,3$.

Торцевые поверхности уступов (заплечиков) вала для установки подшипников качения, ступиц колес, муфт и других элементов устанавливается на класс ниже шероховатости поверхностей, на которые устанавливаются эти детали.

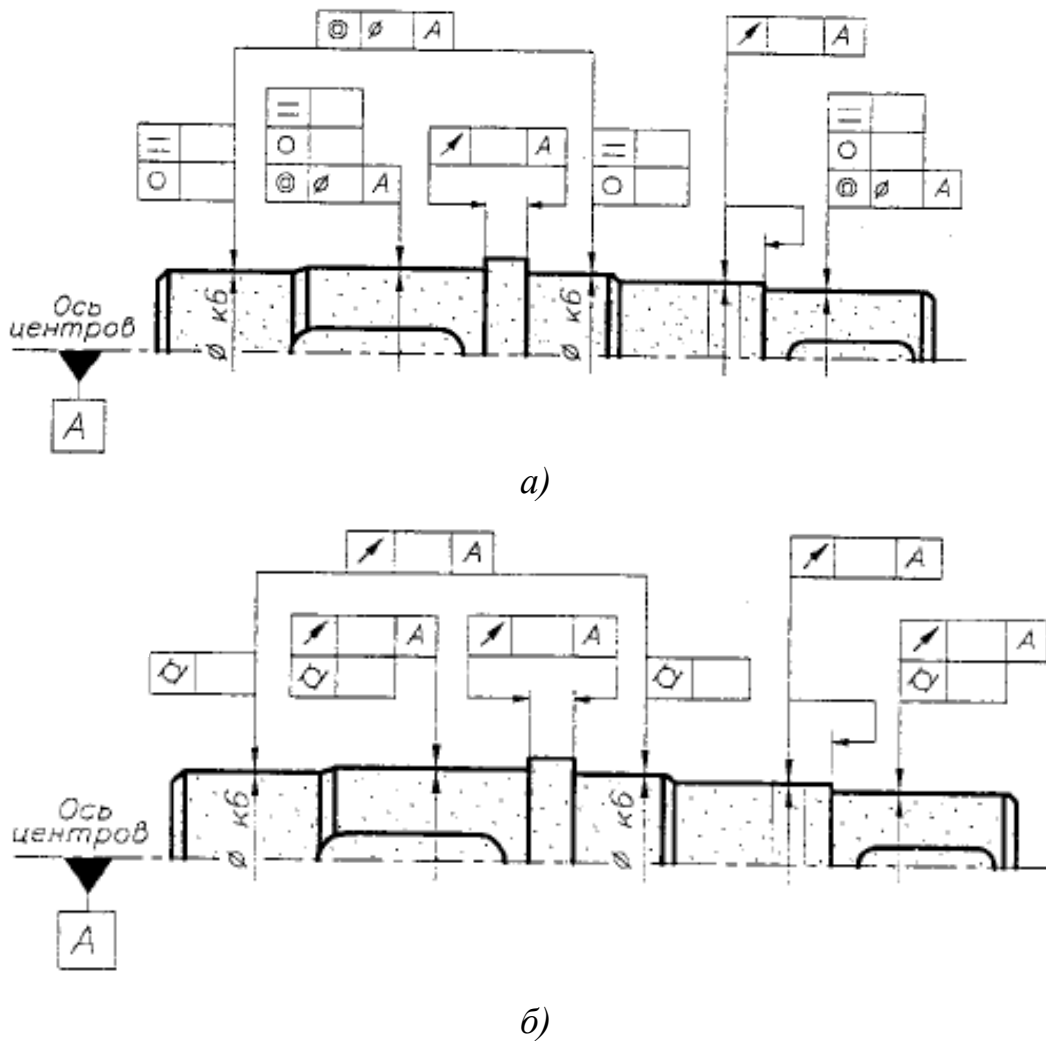
Шероховатость поверхностей вала, взаимодействующих с резиновыми манжетами должна находиться в диапазоне от 0,1 до 0,2 Ra . При использовании войлочных уплотнений работающих на скоростях не более чем 4 м/с шероховатость поверхности вала должна быть равна $Ra 1,6$, а при скоростях превышающих значение 4 м/с, но не более 6 м/с поверхность должна иметь шероховатость равную $Ra 0,8$.

Допуски форм и расположения поверхностей, показанные на рисунке 2.43, устанавливаются для следующих поверхностей. Для поверхностей под установку подшипников качения, чтобы ограничить отклонения геометрической формы дорожек качения колец подшипников регламентированных ГОСТ 3325-85, задают допуски круглости посадочных мест, профиля продольного сечения или цилиндричности либо допуск соосности посадочных поверхностей относительно их общей оси. ГОСТ 3325-85 позволяет вместо допуска соосности на чертежах валов и корпусов задавать допуск радиального биения посадочных мест относительно тех же баз.

Эти же допуски задают на поверхностях установки шкивов, звездочек, муфт, червячных и зубчатых колес с целью ограничения концентрации давлений в местах расположения этих деталей. Допуски круглости и профиля продольного сечения принимают равными между собой и равными $T_o = T_{\pm} = 0,3$ от отклонения размера поверхности. Допуски соосности устанавливают для обеспечения норм кинематической точности и норм контакта зубчатых и червячных передач. Допуски соосности на поверхностях установки полумуфт, шкивов, звездочек устанавливают для снижения дисбаланса вала и всей сборочной единицы в целом. Величину отклоне-

ния от допустимой соосности определяют как функцию от частоты его вращения ($T = f(n) = 48/n$, мм). задают этот допуск для валов работающих на частотах превышающих значение 1000 мин^{-1} . Для валов, работающих на частотах не превышающих данную величину, допуска соосности для перечисленных поверхностей не задают.

Аналогично определяют и задают допуски радиального биения для поверхностей валов, для ограничения амплитуд колебаний кромок манжет и уменьшения их износа.



а) – с использованием знаков \odot , \circ и $\odot\emptyset$; б) – с использованием знаков \swarrow и $\swarrow\emptyset$

Рисунок 2.43 – Обозначение допусков форм и расположения поверхностей валов

Чтобы уменьшить перекос колец подшипников и искажение геометрической формы дорожки внутреннего кольца подшипника задают допуск торцевого биения поверхностей уступов (заплечиков) вала задают для поверхностей уступов. Их устанавливают, в соответствии со степенями, для узких червячных и зубчатых колес, когда отношение линейного размера к диаметральному размеру не достигает значения 0,8. В других случаях допуск торцевого биения не устанавливается.

Контрольные вопросы

- 1 Что вам известно о механизмах машин?
- 2 Расскажите о механизмах для реверсирования движения.
- 3 Расскажите о механизмах ступенчатого изменения скорости вращательного движения.
- 4 Расскажите о механизмах бесступенчатого изменения скорости вращательного движения.
- 5 Что вы можете рассказать о конструкциях и работе механизмов преобразования вращательного движения в прямолинейное поступательное?
- 6 Что вам известно о механизмах для получения прерывистых (дискретных) движений?
- 7 Поясните назначение и работу прочих механизмов.
- 8 Расскажите о разновидностях механизмов ручного управления и поясните как они работают.
- 9 Что такое и как используются УГО?
- 10 Что вам известно о токарно-винторезном станке модели 16К20?
- 11 Расскажите о станке модели 2Н125.
- 12 Расскажите о станке модели 6Р82Ш.
- 13 Расскажите о базовых узлах станков.

14 Что вам известно о станинах станков?

15 Что такое направляющие и как они различаются?

16 Расскажите об особенностях работы направляющих и предъявляемых к ним требованиям.

17 Что вы можете рассказать о материалах применяемых для изготовления станин?

18 Расскажите о материалах для изготовления направляющих.

19 Что вы можете рассказать о видах передач?

20 Расскажите о конструкциях шкивов и предъявляемых к ним требованиях.

21 Расскажите о конструкциях звёздочек и предъявляемых к ним требованиях.

22 Расскажите о фрикционных передачах.

22 Что вы можете о разновидностях зубчатых колёс и материалах, используемых для их изготовления?

23 Расскажите о конструкциях зубчатых колёс и требованиях предъявляемых к ним.

24 Что вам известно о валах?

25 Расскажите о конструкциях валов.

26 Материалы для изготовления валов.

27 Что вы знаете о шероховатости поверхностей валов и её назначении?

28 Назначение допусков форм и расположения поверхностей валов.

29 Определение требуемых допусков форм и расположения поверхностей валов.

30 Расскажите о нормативной документации регламентирующей параметры ступиц.

3 Дефекты деталей узлов и механизмов

3.1 Повреждения направляющих станков

Как, практически, и все узлы деталей машин направляющие станков в значительной степени подвержены абразивному износу, который является для них основным видом износа. Его причиной является трение. Усугубление данного процесса обусловлено попаданием на поверхности направляющих элементов окружающей и технологической среды и её отходов в виде абразива, металлической стружки, окалины, пыли и других. Кроме того, данному виду износа способствует плохое смазывание, способствующее возникновению схватывания, в результате чего на поверхностях возникают задиры, существенно снижающие долговечность направляющих (особенно в парах трения «чугун по чугуну»), показанные на рисунке 3.1. Задиры относят к наиболее тяжёлым повреждениям, серьёзно снижающим долговечность оборудования в целом.

Отметим, что плохое смазывание возникает при ухудшении характеристик смазки, вызванных работой оборудования на предельных режимах (высокое удельное давление в зоне контакта поверхностей при больших скоростях скольжения приводит к росту тепловыделений и снижению несущей способности смазки). Другими причинами, способствующими возникновению дефектов, являются:

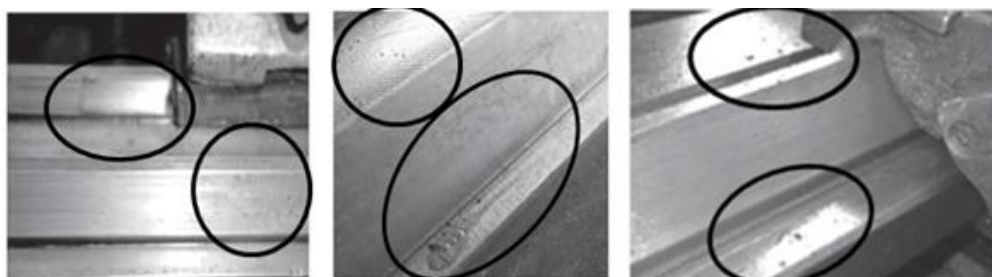


Рисунок 3.1 – Внешний вид направляющих металлорежущих станков с износом и повреждениями

- отсутствие защиты открытых направляющих (попадает стружка и пыль);
- свойства и количество смазки;
- отсутствие условий для образования масляных клиньев достаточной несущей способности при малых скоростях;
- неравномерность и переменность эксплуатации различных участков направляющих (по длине), что является причиной увеличения интенсивности изнашивания из-за постоянного возобновления периодов приработки данных участков (характеризующихся высокой интенсивностью изнашивания), способствующей улучшению условий износа, обусловленного наличием частиц этого износа и загрязнения их свойствами и наличием смазки (результат – сухое трение на чистых поверхностях и задиры). Например, у оборудования токарной группы, в мелкосерийном производстве и при типовых требованиях к условиям эксплуатации износ продольных направляющих из незакалённого чугуна СЧ 21 составляет от 0,03...0,12 мм/год, а с ростом серийности производства скорость износа увеличивается от 2 до 3,2 раз. [11]. По данным тех же и других авторов скорость изнашивания направляющих салазок превышает скорость изнашивания направляющих станины приблизительно в 1,5 раза. Так двухлетняя эксплуатация токарных станков при двухсменном режиме работы примерно 50 % незакалённых направляющих имели дефекты в виде износа и задиров, глубина которых составляла от 0,25 до 0,4мм. Для направляющих тяжелого оборудования из незакалённого чугуна этот параметр после аналогичного срока эксплуатации способен достигать более 2 мм и повышенную интенсивность проявления при увеличении в результате последующей эксплуатации глубины до 4 мм, а ширины до десятков мм [12, 13].

Проявляется износ направляющих неравномерностью и скачкообразностью при перемещениях узлов станков (суппорт, стол, бабки и других), уменьшением точности перемещения и позиционирования узлов, снижением качества обрабатываемых поверхностей и появлением на них через равные промежутки выступов или впадин [11].

3.2 Повреждения валов

Эксплуатация валов и осей приводит к изнашиванию различных их функциональных элементов, таких как шлицы, шпоночные канавки, посадочные места подшипников на валу, изображенные на рисунке 3.2 и относящиеся к основным видам изнашивания, крепёжные резьбы, центровые отверстия. Кроме перечисленных могут возникать дефекты под действием изгибающих и крутящих моментов.

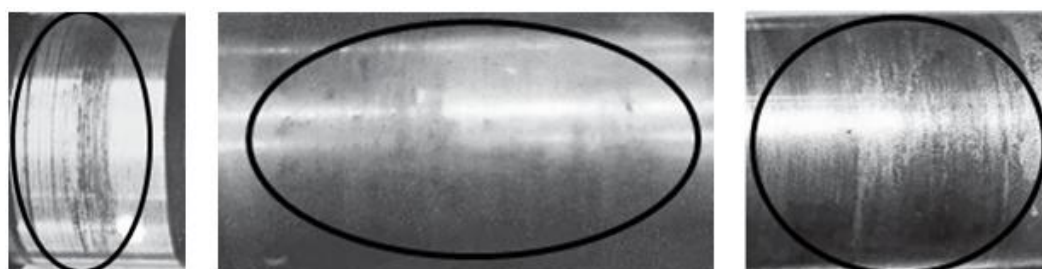


Рисунок 3.2 – Внешний вид посадочных поверхностей валов, подвергшихся износу

Причинами износа являются механические разрушения неровностей зацепляющихся друг за друга, усталостное разрушение в результате повторных механических воздействий неровностей, переменное давление смазки, отслаивание оксидных пленок, формирование которых осуществляется в процессе трения, механическое разрушение, сварившихся под действием высокой температуры, обусловленной трением, неровностей, одновременное действие коррозии и относительного перемещения, контактирующих с валом деталей (посадка с натягом – фреттинг-коррозия) [11].

Рассмотренный вид износа валов проявляется как глухой стук в местах сопряжений валов и деталей, усиливающийся по мере увеличения износа. Другим проявлением износа посадочных поверхностей шпинделя по причине увеличения зазора между шейкой шпинделя и его подшипниками являются следы дробления на

поверхностях обрабатываемых деталей, закреплённых в шпинделе или форма обрабатываемой детали. Коническая форма свидетельствует об износе шейки под передним подшипником шпинделя, а овальная об износе промежуточной либо задней шейки.

К другим повреждениям валов относятся повреждения их шлицевых и шпоночных участков, изображённые на рисунках 3.3 и 3.4. На этих участках возникают такие повреждения как задиры, смятие и изнашивание боковых поверхностей шлицев. Причина таких повреждений кроется в проявлении несоосности оси шлицевого вала и оси зубчатого колеса под действием нагрузки.

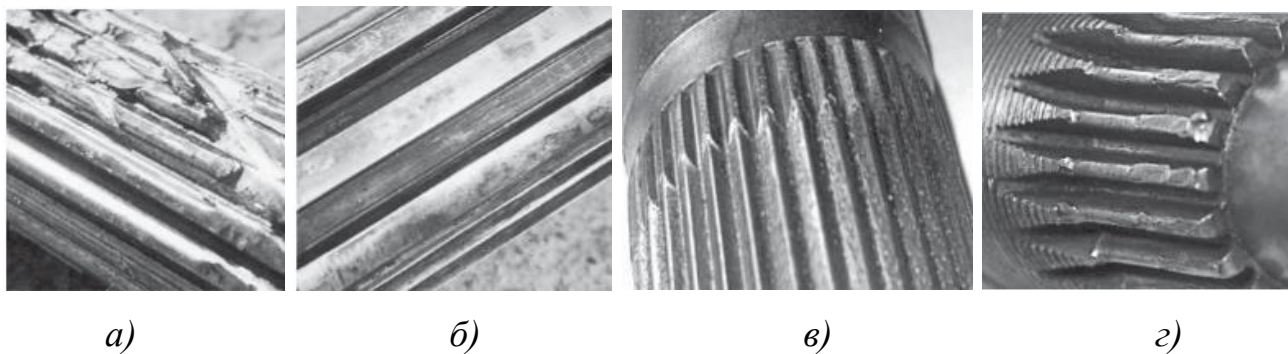
Повышению износа шлицевых соединений станков способствуют такие причины как:

- неравномерное распределение нагрузки между шлицами, в результате действия увеличенных радиальных нагрузок (проявляется в парах паразитное зубчатое колесо – ось, приводной вал — шкив и подобные им);
- работа зубчатых колес, постоянно работающие на высоких оборотах (большое количество циклов нагружения);
- высокие давления на рабочих поверхностях;
- увеличенный перекося зубчатых колес при их консольном закреплении.

Использование фрикционных муфт на незакалённых валах, а так же шлицевого соединения приводного вала со шкивом значительно снижают долговечность шлицевых соединений. Скорость изнашивания незакалённых боковых поверхностей шлицев валов и зубчатых колес в приводах главного движения металлорежущих станков, зависящая от условий эксплуатации составляет от 0,01 до 0,04 мм/год.

Суть повреждений шпоночных пазов состоит в изменении их ширины в результате износа и последующем смятии кромок под воздействием ударных нагрузок, рост которых обусловлен увеличением зазора в соединении.

Распознаётся износ шлицевых и шпоночных соединений по глухим, резким толчкам, проявляющимся при смене направления вращения или прямолинейного движения или по заеданию и повышенному шуму при переключении передач.



а) – смятие; б) – износ боковых поверхностей; в) – износ профиля; г) – деформация.

Рисунок 3.3 – Внешний вид изношенных и повреждённых шлицев валов

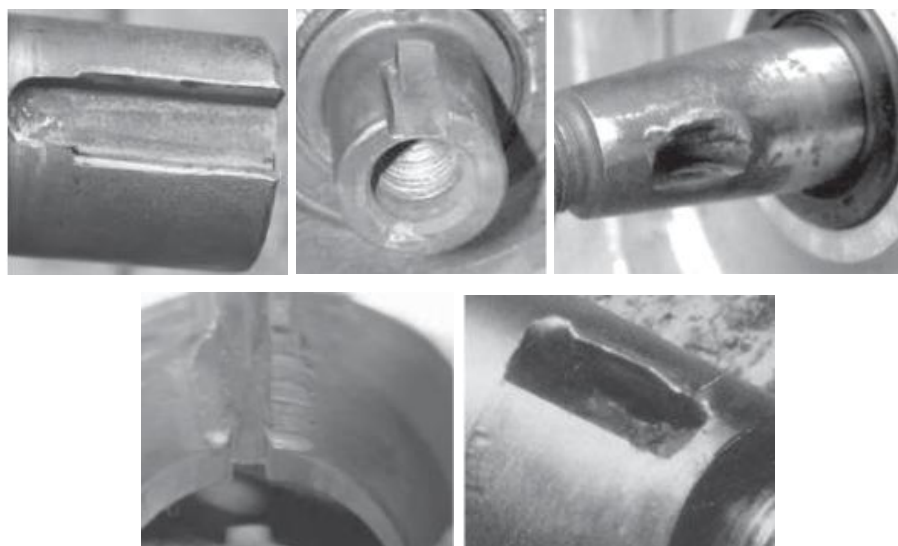


Рисунок 3.4 – Внешний вид повреждений шпоночных пазов валов

3.3 Повреждения зубчатых колёс и шкивов ременных передач

К основным повреждениям зубчатых колес относятся нарушение геометрических размеров зуба и качества его поверхности (по причине изнашивания), появление трещин, выкрашивание и поломка зубьев, износ торцов зубьев подвижных блоков зубчатых колес, трещины в спицах ободу и ступице, ослабление посадки

венца на ободе, деформирование шпоночного паза и шлицев, износ отверстий ступиц и закруглений торцов зубьев.

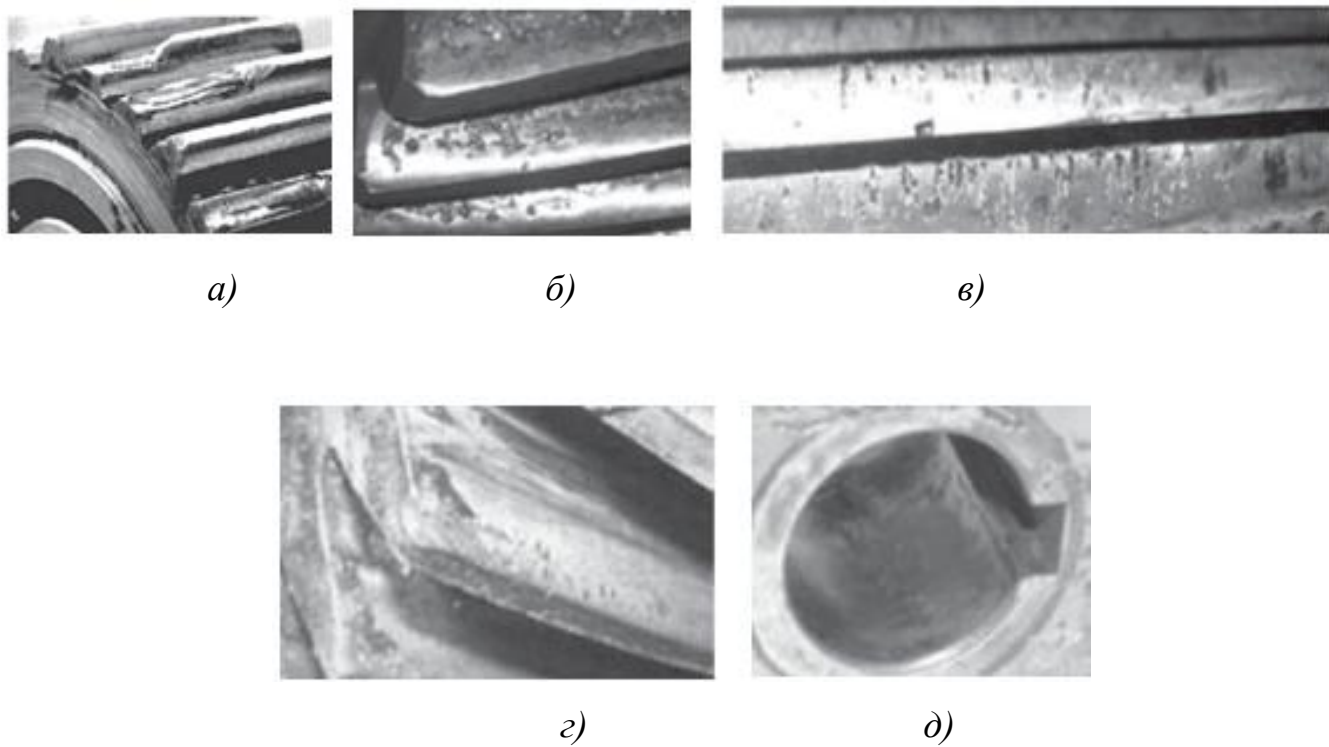
Наибольшая доля в общем балансе повреждений зубчатых колёс приходится на привода главного движения металлорежущих станков, что обусловлено их максимальными окружными скоростями и наибольшей нагрузкой. Опыт эксплуатации зубчатых колёс свидетельствует о том, что причины замены зубчатых колёс в приводах главного движения распределяется таким образом:

- от 82 до 88 % связаны с повреждениями и износом (до 1,2...1,6 мм в год) торцовых поверхностей зубьев;
- от 7 до 10 % вызваны поломкой зубьев;
- от 2 до 6 % обусловлены износом;
- от 1,5 до 2,5 % меняют по причине усталостного выкрашивания.

Элементы повреждений и износа зубьев, попадая в смазку, становятся причиной протекания абразивного износа в других сопряжениях деталей привода (шлицевые участки валов, подшипники, защитные уплотнения и целый ряд других) и в других узлах машин. По данным некоторых авторов [14, 15], скорость износа зубьев способна достигать значений от 0,01 до 0,045 мм/год.

Проявляются повреждения зубчатых колёс по звонкими и резкими толчками, проявляющимися во время включения передач и при смене направления вращения либо повышенным шумом в процессе работы зубчатых передач, а визуально проявляется в быстром загрязнении масла в картерах. При обработке заготовок на токарных станках на их поверхностях через равные промежутки появляются кольцевые выступы или впадины, обусловленные износом зубьев реечного колеса и рейки в механизме фартука [14], как видно из иллюстрации на рисунке 3.6.

Примеры, иллюстрирующие износ рабочих поверхностей шкивов ремённых передач приведены на рисунке 3.7. Основной износ шкивов клиновидных передач приходится на рабочие поверхности клиновых канавок. В случае критического износа ремень может контактировать с дном канавки, что приведёт к выходу передачи из работоспособного состояния.



a – трещины и изломы зубьев; *б* – выкрашивание рабочей поверхности; *в* – вы-рывы металла на вершинах зубьев; *г* – пластические сдвиги на рабочей поверхности зубчатой передачи; *д* – износ отверстия ступицы.

Рисунок 3.5 – Виды повреждений зубчатых колёс

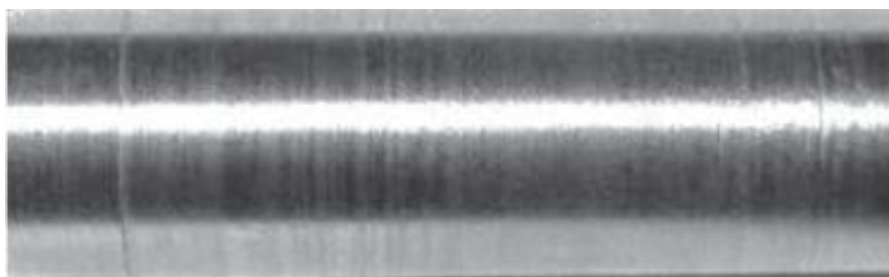
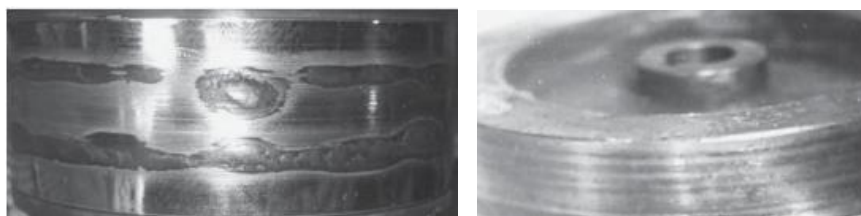


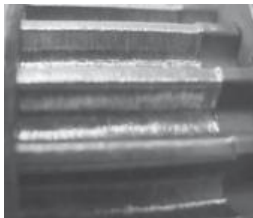
Рисунок 3.6 – Пример обработки цилиндрической поверхности при износе зубьев реечного колеса и рейки токарного станка



a)



б)



в)



г)

a – плоскоременной передачи; *б* – клиноременной передачи; *в* – передачи зубчатым ремнем; *г* – износ посадочного отверстия.

Рисунок 3.7 – Примеры износа рабочих поверхностей шкивов ремённых передач

Эксплуатация плоскоременных передач приводит к износу у шкивов поверхности обода. Это становится причиной проскальзывания ремня, а значит потере передаваемой мощности. Шкивы клиноременных и плоскоременных передач характеризуются наличием таких общих повреждений как надлом края обода шкива, изнашивание его посадочного отверстия, возникновение дисбаланса шкива, деформация шпоночного пала, появление трещин на спицах.

Контрольные вопросы

- 1 Что вы можете рассказать о природе повреждений направляющих?
- 2 Расскажите о дефектах направляющих и их проявлениях.

3 Как появляются дефекты на поверхностях валов?

4 Какие повреждения поверхностей валов являются наиболее характерными и как они проявляются?

5 Расскажите о повреждениях шкивов.

6 Расскажите о повреждениях зубчатых колёс.

7 Как могут быть диагностированы повреждения зубчатых колёс?

8 Как могут быть диагностированы повреждения шкивов ремённых передач?

Список использованных источников

- 1 Грундиг, К.Г. Проектирование промышленных предприятий: Принципы. Методы. Практика / Клаус-Гарольд Грундиг; Пер. с нем. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 340 с.
- 2 Сергель, Н. Н. Технологическое оборудование машиностроительных предприятий: Учебное пособие / Сергель Н.Н. – Москва :НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2013. - 732 с. (Высшее образование: Бакалавриат) ISBN 978-5-16-006465-9. – Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/391619> (дата обращения: 12.12.2020). – Режим доступа: по подписке.
- 3 Ансеров, Ю. М. Машины и оборудование машиностроительных предприятий: Учебник для инженерно-экономических специальностей вузов/Ю. М. Ансеров, В. А. Салтыков, В. Г. Семин. – Л.: Политехника, 1991. – 365 с. – ISBN 5-7325-0195-9
- 4 Станочное оборудование автоматизированного производства [Текст] : в 2 т.: [учебник для студентов вузов машиностроительных специальностей] / под ред. В. В. Бушуева . – М. : Станкин, 1993-1994, Т. 1 : . – , 1993.– 584 с. – ISBN 5-7028-0028-1.
- 5 Вереина, Л.И. Конструкции и наладка токарных станков : учебное пособие / Л.И. Вереина, М.М. Краснов ; под общ. ред. Л.И. Вереиной. – Москва : ИНФРА-М, 2021. – 480 с. – ISBN 978-5-16-013960-9
- 6 Курмаз, Л.В. Конструирование узлов и деталей машин: Справочное учебно-методическое пособие/Л.В. Курмаз, О.Л. Курмаз. – М: Высш. шк., 2007. – 455 с. – ISBN 978-5-06-005725-6
- 7 Гельберг, Б.Т. Ремонт промышленного оборудования: учебник / Б.Т. Гельберг, Г.Д. Пекелис. – М. : «Высшая школа», 1977. – 292 с. – ISBN5-7695-2767-6
- 8 Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин : учеб. Пособие для студ. высш. учеб. заведений / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. 9-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 496 с.

9 Антонюк, В.Е. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач. Учебное пособие. / В.Е. Антонюк, М.М. Канне, В.Е. Старжинский и др. – Мн.: УП «Технопринт». 2003. – 766 с

10 Допуски и посадки. Справочник. В 2-х ч. Ч.2/Под ред. В.Д. Мягкова. 5-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1978 – 545 с.

11 Богуцкий, В.Б. Эксплуатация, обслуживание и диагностика технологических машин : учебное пособие/ В.Б. Богуцкий, Л.Б. Шрон, Э.Э. Ягьяев. – Москва: ИНФРА-М, 2020. – 356 с. – ISBN 978-5-16-014425-2

12 Богуцкий В.В. Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт металлообрабатывающего оборудования [Текст]: учеб. пособие/ В.Б. Богуцкий, Л.Б. Шрон; под общ. ред. Ю.К. Новосёлова. – Севастополь: Изд-во Сев НТУ. 2007. – 295 с.

13 Тулинов А.Б. Восстановление направляющих скольжения технологического оборудования композиционными материалами [Текст] / А.Б. Тулинов, В.Я. Иванов // Сб. науч. тр. «Современные технологии в горном машиностроении». – М.: МГГУ, 2014. – С. 51-57.

14 Бондаренко Е.В. Техническая эксплуатация и ремонт технологического оборудования | Текст] / Е.В. Бондаренко |и др.]. – Оренбург: ИНК ГОУ ОГУ. 2011. – 307 с.

15 Будькова ИЛ. Зарубежный опыт организации ремонта на щк'дириятях на примере Японии [Текст] / И.Л. Будькова, А.В. Саранчук// Экономические науки. – 2014. – № 24. – С. 1-4.

Приложение А

(справочное)

Основные условные графические обозначения, используемые на кинематических и гидравлических схемах

А.1 Условные обозначения на кинематических схемах

На рисунках А.1.1 и А.1.2 представлены наиболее употребляемые в станкостроении условные графические обозначения для кинематических схем:

- 1 – общее обозначение двигателя без уточнения типа;
- 2 – общее обозначение электродвигателя ¹;
- 3 – электродвигатель на лапах;
- 4 – электродвигатель фланцевый;
- 5 – электродвигатель встроенный;
- 6 – вал, ось, стержень, шатун и т. п.;
- 7 – конец шпинделя для центровых работ;
- 8 – конец шпинделя для патронных работ;
- 9 – копей шпинделя для работ с цанговым патроном;
- 10 – конец шпинделя для сверлильных работ;
- 11 – копей шпинделя для расточных работ с планшайбой;
- 12 – конец шпинделя для фрезерных работ;
- 13 – конец шпинделя для кругло-, плоско- и резьбошлифовальных работ;
- 14 – ходовой винт для передачи движения;
- 15 – неразъемная маточная ганка скольжения;
- 16 – неразъемная маточная гайка с шариками;

¹ При наличии на схеме электродвигателей и генераторов к условному обозначению соответственно добавляются буквы М и Г.

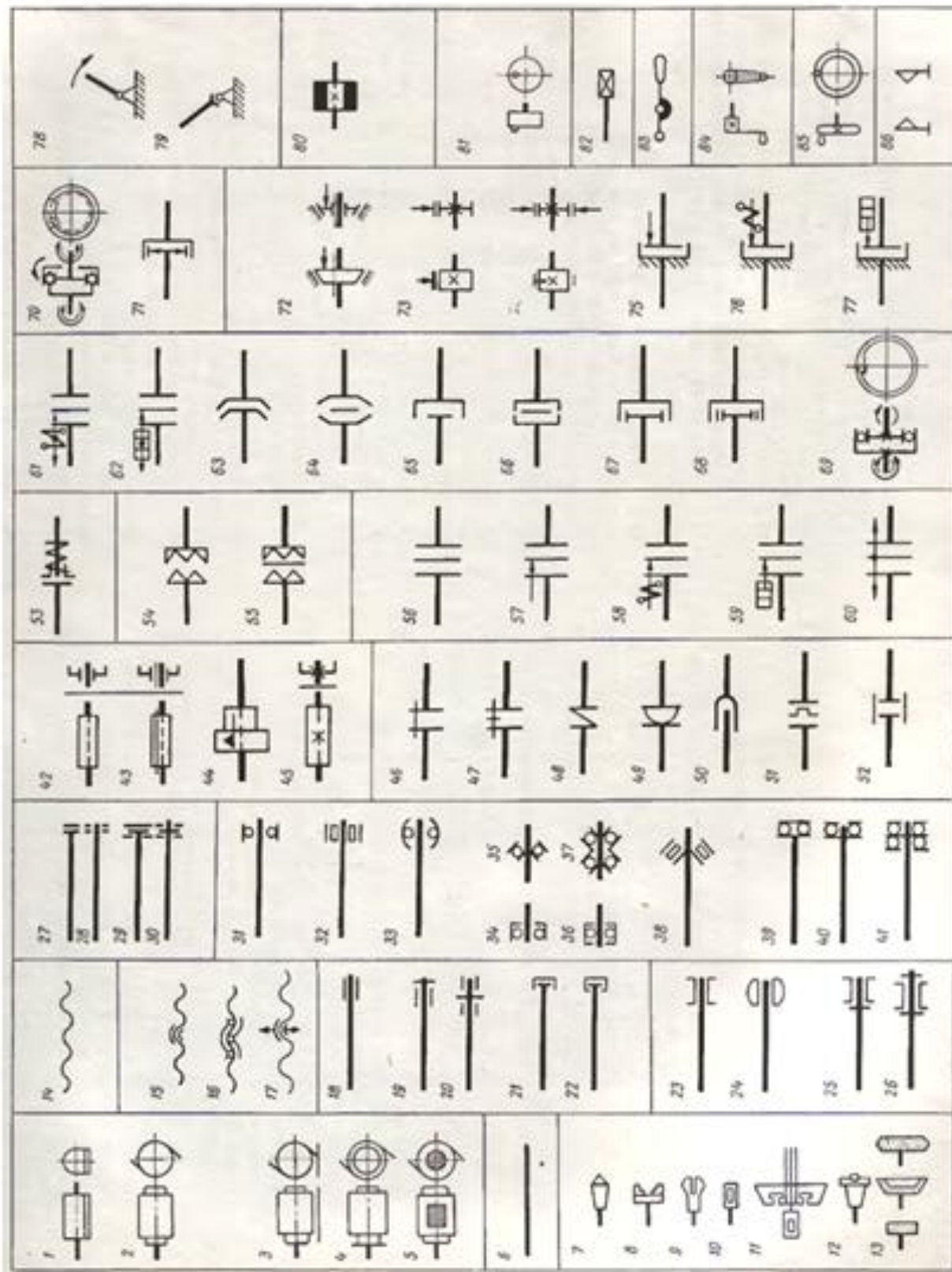


Рисунок А.1.1 – Условные обозначения структурных элементов на кинематических схемах

- 17– разъемная маточная ганка скольжения;
- 18– радиальный подшипник без уточнения типа;
- 19 – радиально-упорный односторонний подшипник без уточнения типа;
- 20 – радиально-упорный двусторонний подшипник без уточнения типа;
- 21 – упорный односторонний подшипник без уточнения типа;
- 22 – упорный двусторонний подшипник без уточнения типа;
- 23 – радиальный подшипник скольжения;
- 24 – радиальный самоустанавливающийся подшипник скольжения;
- 25 – радиально-упорный односторонний подшипник скольжения;
- 26 – радиально-упорный двусторонний подшипник скольжения;
- 27 и 28 – упорные односторонние подшипники скольжения;
- 29 и 30 – упорные двусторонние подшипники скольжения;
- 31 – радиальный подшипник качения (общее обозначение);
- 32 – радиальный роликовый подшипник;
- 33 – радиальный самоустанавливающийся подшипник качения;
- 34 и 35 – радиально-упорный роликовый односторонний подшипник;
- 36 – радиально-упорные двусторонние подшипники качения;
- 37 и 40 – упорные односторонние подшипники качения;
- 41 – упорный двусторонний подшипник качения;
- 42 – свободное для вращения соединение детали с валом;
- 43 – подвижное вдоль оси соединение детали с валом;
- 44 – соединение детали с валом посредством вытяжной шпонки;
- 45 – глухое, неподвижное соединение детали с валом;
- 46 – глухое жесткое соединение двух соосных валов;
- 47 – глухое соединение валов с предохранением от перегрузки;
- 48 – эластичное соединение двух соосных валов;
- 49 – шарнирное соединение валов;
- 50 – телескопическое соединение валов;
- 51 – соединение двух валов посредством плавающей муфты;
- 52 – соединение двух валов посредством зубчатой муфты;

- 53 – соединение двух валов предохранительной муфтой;
- 54 – кулачковая односторонняя муфта сцепления;
- 55 – кулачковая двусторонняя муфта сцепления;
- 56 – фрикционная муфта сцепления (без уточнения вида и типа);
- 57 – фрикционная односторонняя муфта (общее обозначение);
- 58 – фрикционная односторонняя электромагнитная муфта;
- 59 – фрикционная односторонняя гидравлическая или пневматическая муфта (общее обозначение);
- 60 – фрикционная двусторонняя муфта (общее обозначение);
- 61 – фрикционная двусторонняя электромагнитная муфта;
- 62 – фрикционная двусторонняя гидравлическая или пневматическая муфта (общее обозначение);
- 63 – фрикционная конусная односторонняя муфта;
- 64 – фрикционная конусная двусторонняя муфта;
- 65 – фрикционная дисковая односторонняя муфта;
- 66 – фрикционная дисковая двусторонняя муфта;
- 67 – фрикционная муфта с колодками,
- 68 – фрикционная муфта с разжимным кольцом;
- 69 – самовыключающая односторонняя муфта обгона;
- 70 – самовыключающая двусторонняя муфта обгона;
- 71 – самовыключающая центробежная муфта;
- 72 – тормоз конусный;
- 73 – тормоз колодочный;
- 74 – тормоз ленточный;
- 75 – тормоз дисковый;
- 76 – тормоз дисковый электромагнитный;
- 77 – тормоз дисковый гидравлический или пневматический;
- 78 – шарнирное соединение стержня с неподвижной опорой с движением только в плоскости чертежа;

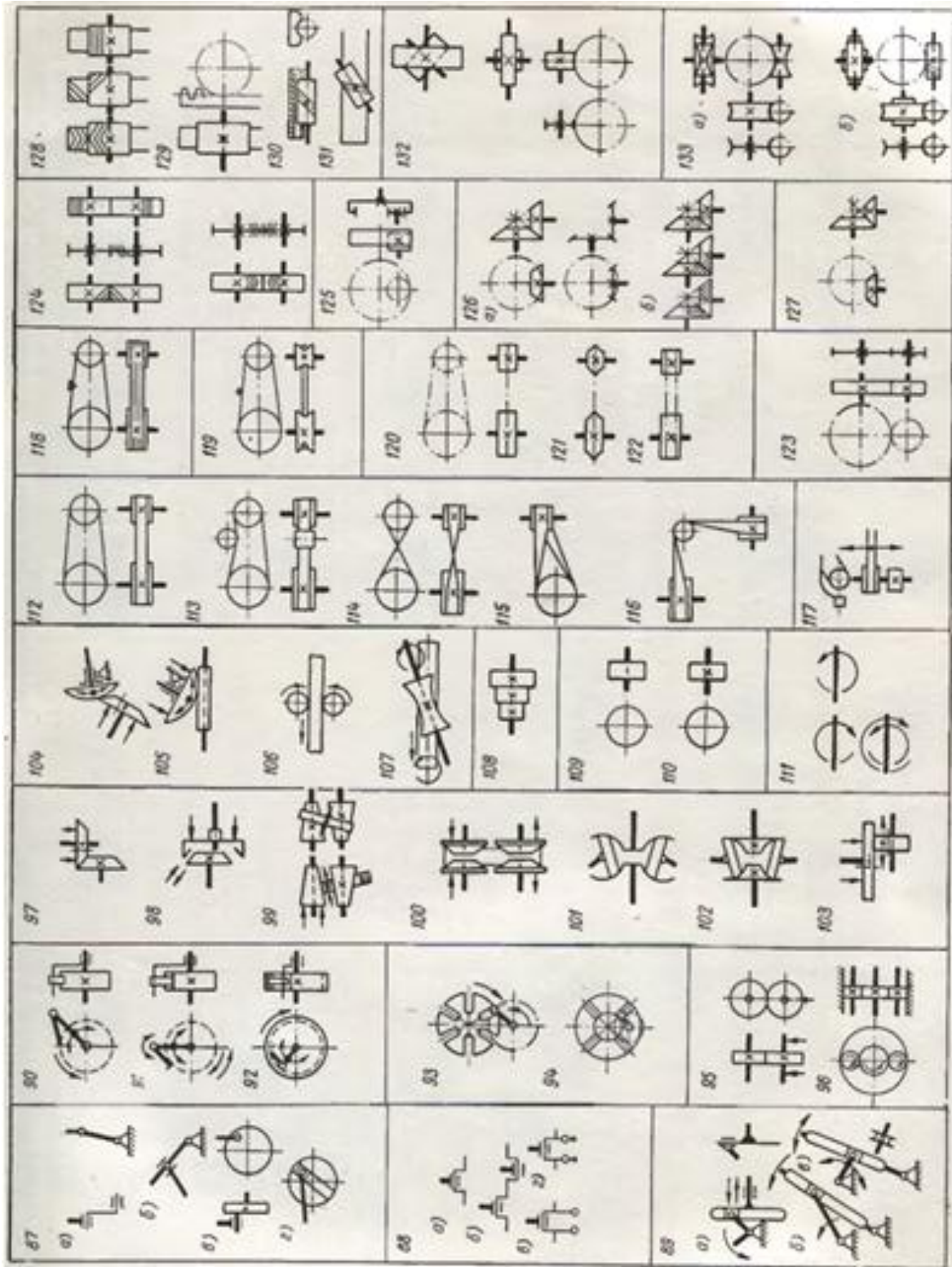


Рисунок А.1.2 – Условные обозначения структурных элементов на кинематических схемах

- 79 – соединение стержня с опорой шаровым шарниром;
- 80 – маховик, жестко установленный на валу;
- 81 – эксцентрик, установленный на конце вала;
- 82 – конец вала под съемную рукоятку;
- 83 – рычаг переключения;
- 84 – рукоятка, закрепленная на конце вала;
- 85 – маховичок, закреплённый на конце вала;
- 86 – передвижные упоры;
- 87 *а* и 87 *в* – шарнирное соединение кривошипа постоянного радиуса с шатуном;
- 87 *б* и 87 *г* – шарнирное соединение кривошипа переменного радиуса с шатуном;
- 88 *а* – шарнирное соединение одноколенного вала с шатуном;
- 88 *б* – шарнирное соединение многоколенного вала с шатуном;
- 88 *в* – коленвал с жестким противовесом;
- 88 *г* – коленвал с маятниковым противовесом;
- 89 *а* – кривошипно-кулисный механизм с поступательно движущейся кулисой;
- 89 *б* – кривошипно-кулисный механизм с вращающейся кулисой;
- 89 *в* – кривошипно-кулисный механизм с качающейся кулисой;
- 90 – односторонний храповой зубчатый механизм с наружным зацеплением;
- 91 – двусторонний храповой зубчатый механизм с наружным зацеплением;
- 92 – односторонний храповой зубчатый механизм с внутренним зацеплением;
- 93 – мальтийский механизм с радиальным расположением пазов с наружным зацеплением.
- 94 – мальтийский механизм с радиальным расположением пазов с внутренним зацеплением;
- 95 – фрикционная передача с цилиндрическими роликами наружного зацепления (контакта);

- 96 – фрикционная передача с цилиндрическими роликами внутреннего зацепления (контакта);
- 97 – фрикционная передача с коническими роликами наружного зацепления;
- 98 – регулируемая фрикционная передача с коническими роликами внутреннего зацепления;
- 99 – регулируемая фрикционная передача с коническими шкивами и промежуточным кольцом;
- 100 – регулируемая фрикционная передача с подвижными коническими шкивами и клиновым ремнем;
- 101 – регулируемая фрикционная передача с тороидными шкивами и поворотными сферическими роликами;
- 102 – регулируемая фрикционная передача с полутороидными шкивами (типа Светозарова);
- 103 – регулируемая торцовая фрикционная передача;
- 104 – регулируемая фрикционная передача со сферическими и коническими роликами;
- 105 – регулируемая фрикционная передача со сферическими и цилиндрическими роликами;
- 106 – фрикционная передача с цилиндрическими роликами;
- 107 – фрикционная передача с гиперболоидными роликами;
- 108 – шкив ступенчатый, закрепленный на валу;
- 109 – шкив холостой на валу;
- 110 – шкив рабочий, закрепленный на валу;
- 111 – указатели вращения вала соответственно: по часовой стрелке, против часовой стрелки и в обе стороны;
- 112 – открытая передача плоским ремнем;
- 113 – открытая передача плоским ремнем с натяжным роликом;
- 114 – перекрестная передача плоским ремнем;
- 115 – полуперекрестная передача плоским ремнем;
- 116 – угловая передача плоским ремнем;

- 117 – отводка ремня плоскоременной передачи;
- 118 – передача клиновидными (текстропными) ремнями;
- 119 – передача круглым ремнем или шнуром;
- 120 – общее обозначение цепной передачи без уточнения типа;
- 121 – роликовая цепная передача;
- 122 – бесшумная (зубчатая) цепная передача;
- 123 – цилиндрическая зубчатая передача с внешним зацеплением (общее обозначение);
- 124 – цилиндрическая зубчатая передача с внешним зацеплением между параллельными валами, соответственно с косыми, прямыми и шевронными зубьями;
- 125 – цилиндрическая зубчатая передача с внутренним зацеплением между параллельными валами (общее обозначение);
- 126 – коническая зубчатая передача между пересекающимися валами (общее обозначение без уточнения типа);
- 127 – коническая зубчатая передача соответственно с прямыми, спиральными и круговыми зубьями;
- 128 – коническая гипоидная зубчатая передача;
- 129 – зубчатая реечная передача, соответственно с шевронными, косыми и прямыми зубьями;
- 130 – общее обозначение зубчатой реечной передачи;
- 131 – реечная передача с червячной рейкой и червяком;
- 132 – реечная передача с зубчатой рейкой и червяком;
- 133 – винтовая зубчатая передача соответственно под прямым или острым углом;
- 133 *a* – червячная глобоидная передача;
- 133 *б* – червячная передача с цилиндрическим червяком.

А.2 Условные обозначения на гидравлических схемах

На рисунке А.2 приведены наиболее употребляемые в станкостроении условные графические обозначения для кинематических схем:

- 1 – общее обозначение нерегулируемого насоса без указания вида и типа;
- 2 – общее обозначение регулируемого насоса без указания вида и типа;
- 3 – насос лопастной (роторно-пластинчатый) двойного действия нерегулируемый типов Г12-2, 714-2;
- 4 – насосы лопастные (роторно-пластинчатые) сдвоенные с различной производительностью;
- 5 – насос шестеренный нерегулируемый типа П 1-1;
- 6 – насос радиально-поршневой нерегулируемый;
- 7 – насос радиально-поршневой регулируемый типов НПР, НПМ, НПЧМ, НПД и НПС;
- 8 – насос и гидродвигатель аксиально-поршневые (с наклонной шайбой) нерегулируемые;
- 9 – насос и гидродвигатель аксиально-поршневые (с наклонной шайбой) регулируемые типов 11Д и 11Р;
- 10 – общее обозначение нерегулируемого гидродвигателя без указания типа;
- 11 – общее обозначение регулируемого гидродвигателя без указания типа;
- 12 – гидроцилиндр плунжерный;
- 13 – гидроцилиндр телескопический;
- 14 – гидроцилиндр одностороннего действия;
- 15 – гидроцилиндр двустороннего действия;
- 16 – гидроцилиндр с двусторонним штоком;
- 17 – гидроцилиндр с дифференциальным штоком;
- 18 *IS*—гидроцилиндр одностороннего действия с возвратом поршня со штоком пружиной;
- 19 – серводвигатель (моментный гидроцилиндр);

- 20 – аппарат (основной символ);
- 21 – золотник типов Г73-2. БГ73-5 с управлением от электромагнита;
- 22 – золотник с ручным управлением типа Г74-1;
- 23 – золотник с управлениями от кулачка типа Г74-2;
- 24 – клапан обратный тина Г51-2;
- 25 – напорный золотник типа Г54-1;
- 26 – напорный золотник типа Г06-2 с обратным клапаном;
- 27 – двухходовой золотник тина Г74-3 с обратным клапаном;
- 28 – клапан предохранительный типа Г52-1 с переливным золотником;
- 29 – клапан редукционный тина Г57-1 с регулятором;
- 30 – кран четырёхходовой типа Г71-21;
- 31 – кран четырехходовой трехпозиционный типа 2Г71-21;
- 32 – кран трехходовой (трехканальный);
- 33 – крап двухходовой (проходной);
- 34 –демпфер (нерегулируемое сопротивление);
- 35 – дроссель (нерегулируемое сопротивление) типов Г77-1 и Г77-3;
- 36 – дроссель с регулятором типов Г55-2. Г55-3;
- 37 – общее обозначение фильтра;
- 38 – фильтр пластинчатый;
- 39 – фильтр сетчатый;
- 40 – реле давления;
- 41 – гидроаккумулятор пневматический;
- 42 – манометр;
- 43 – соединение труб;
- 44 – пересечения труб без соединения;
- 45 – заглушка в трубопроводе;
- 46 – резервуар (бак);
- 47 – слив;
- 48 – дренаж.

