

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология металлов»

**Н. К. Толочко, Л. Е. Сергеев**

## ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением высших  
учебных заведений Республики Беларусь по образованию в области  
сельского хозяйства в качестве пособия для студентов высших  
учебных заведений группы специальностей 74-06 Агроинженерия*

Под общей редакцией Н. К. Толочко

Минск  
БГАТУ  
2011

УДК 631.3(075.8)  
ББК 34.751я7  
Т52

Рецензенты:

кафедра «Технология машиностроения» Белорусского национального  
технического университета (заведующий кафедрой доктор технических наук,  
профессор *В. К. Шелез*);  
заведующий лабораторией равновесных систем ГНУ «Физико-технический  
институт НАН Беларуси», доктор технических наук, профессор *В. А. Зеленин*

**Толочко, Н. К.**  
Т52 Основы технологии сельскохозяйственного машиностроения :  
пособие / Н. К. Толочко, Л. Е. Сергеев; под ред. Н. К. Толочко. –  
Минск : БГАТУ, 2011. – 304 с. : ил.  
ISBN 978-985-519-341-9.

Изложены основные положения технологии сельскохозяйственного машиностроения. Дана общая характеристика изделий машиностроения, производственного и технологического процессов, типов производства. Рассмотрены вопросы технического нормирования и эффективности производства, его автоматизации, охраны труда на предприятиях машиностроения. Представлены основы теории размерных цепей и базирования, расчета припусков на механическую обработку. Описаны методы обеспечения точности изготовления и качества поверхности изделий, порядок проектирования технологических процессов механической обработки и сборки, особенности изготовления типовых деталей и узлов сельскохозяйственной техники.

Для студентов технических специальностей сельскохозяйственных высших учебных заведений.

УДК 631.3(075.8)  
ББК 34.751.я7

ISBN 978-985-519-341-9

© БГАТУ, 2011

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Рост масштабов механизации сельского хозяйства, широкое использование современных сельскохозяйственных машин требует от инженеров АПК владения основами технологии сельскохозяйственного машиностроения, которая, являясь одним из направлений технологии машиностроения, имеет ряд особенностей, обусловленных необходимостью обеспечения высоких эксплуатационных характеристик машин, работающих в условиях значительных механических нагрузок и воздействий окружающей среды.

В данной работе излагаются основные положения технологии сельскохозяйственного машиностроения, знание которых необходимо инженерам АПК в их профессиональной деятельности.

В первом разделе дана общая характеристика машиностроительного производства, в частности, рассмотрены следующие вопросы: виды изделий и технологий машиностроения, производственный и технологический процессы и типы машиностроительного производства, техническое нормирование и эффективность машиностроительного производства, охрана труда на предприятиях машиностроения. Во втором разделе представлены основы теории размерных цепей и базирования, расчета припусков на механическую обработку; описаны методы обеспечения точности изготовления и качества поверхности изделий машиностроения. В третьем разделе приведены основные сведения о проектировании технологических процессов машиностроительного производства, включая процессы механической обработки и сборки. В четвертом и пятом разделах рассмотрены особенности изготовления типовых деталей и узлов сельскохозяйственной техники. Шестой раздел посвящен вопросам автоматизации машиностроительного производства.

Учебный материал изложен в конспективной форме, что значительно упрощает его изучение студентами. Схемы, таблицы и рисунки облегчают усвоение учебного материала.

При составлении конспекта лекций была использована литература [1...8], список которой приведен в конце данной работы.

## РАЗДЕЛ 1

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

---

#### 1.1. ИЗДЕЛИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

##### 1.1.1. Машина как объект производства

**Машиностроение** – комплекс отраслей промышленности, основным предназначением которых является изготовление машин различного функционального назначения (к машиностроительным отраслям также принято относить отрасли промышленности, занимающиеся изготовлением оборонной продукции, а также некоторых видов предметов потребления).

**Технология машиностроения** – 1) совокупность методов изготовления машин; 2) учение о методах изготовления машин.

**Машина** – устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии и производства работ.

Машины могут быть самоходными или стационарными.

В зависимости от выполняемых функций различают два класса машин: **энергетические машины**, осуществляющие преобразование любого вида энергии в механическую энергию и наоборот, и **рабочие машины**, которые, в свою очередь, подразделяются на **технологические машины**, осуществляющие изменение размеров, формы и свойств обрабатываемых предметов, и **транспортные машины**, осуществляющие изменение положения обрабатываемых предметов.

Разновидностью технологических машин, используемых в машиностроении, являются **станки** (токарные, фрезерные, шлифовальные и др.), служащие для обработки различных материалов.

К типичным транспортным машинам, используемым в машиностроении, относятся конвейеры (сборочные, служащие для удаления стружки и т. п.).

В конструктивном отношении машина представляет собой механизм или сочетание механизмов. **Механизм** (винтовой, зубчатый, карданный, кривошипный и др.) – система звеньев, преобразующих движение одних звеньев в движение других. Технологическая машина содержит следующие основные части: двигатель, трансмиссия и рабочий орган.

**Двигатель** (энергосиловое устройство) – разновидность энергетических машин; часть рабочей машины, преобразующая любой вид энергии в механическую энергию. В самоходных технологических машинах, а также в транспортных машинах преимущественно применяются двигатели внутреннего сгорания, в стационарных технологических машинах – как двигатели внутреннего сгорания, так и электродвигатели. Двигатели могут быть также самостоятельными устройствами, которые изготавливаются как отдельные изделия, но предназначены для работы в комплексе с другими устройствами (агрегатами или орудиями).

**Трансмиссия** (силовой привод, силовая передача) – часть рабочей машины, соединяющая двигатель с рабочими органами технологических машин или с ведущими колесами транспортных машин. В общем случае трансмиссия предназначена для передачи крутящего момента от двигателя к рабочим органам или колесам, а также для изменения параметров движения (тяговых усилий, скоростей и направления движения).

**Рабочий орган** – часть технологической машины (агрегата или орудия), посредством которой машина (агрегат или орудие) выполняет полезную работу в соответствии со своим функциональным назначением; рабочий орган непосредственно воздействует на обрабатываемые предметы.

**Агрегат** – часть технологической машины, которая не имеет двигателя и состоит только из трансмиссии и орудия. Агрегаты подразделяются на прицепные, навесные и стационарные. Агрегаты могут быть также самостоятельными устройствами, которые изготавливаются как отдельные изделия, но предназначены для работы в комплексе с двигателем.

**Орудие** – часть технологической машины (агрегата), который содержит рабочий орган (несколько рабочих органов) и не имеет ни двигателя, ни трансмиссии. Орудия подразделяются на прицепные и навесные. Орудия могут быть также самостоятельными устройствами, которые изготавливаются как отдельные изделия, но работают в комплексе с двигателем и трансмиссией (приводные орудия)

или в комплексе с тяговой машиной, с которой они соединяются с помощью тягово-сцепного приспособления (бесприводные орудия). В простейшем случае орудие конструктивно может представлять собой только один рабочий орган.

Исключительно большую роль в сельском хозяйстве играют тракторы – самоходные машины, служащие для приведения в действие связанных с ними прицепных и навесных агрегатов или орудий, а также для привода стационарных агрегатов.

Тракторы в комплексе с навесными или прицепными агрегатами или орудиями образуют самоходные технологические машины. К самоходным технологическим машинам, работающим самостоятельно (без трактора), относятся уборочные комбайны (например, зерноуборочные, кормоуборочные), автомобильные разбрасыватели удобрений и др.

К стационарным технологическим машинам относятся зерноочистительные машины, зерносушилки, кормоприготовительные машины (например, соломосилосорезки, корнеклубнерезки, кормодробилки) и др.

К прицепным агрегатам относятся картофелесажалки, сеялки, пресс-подборщики и др., навесным – косилки, жатки, опрыскиватели и т. д.

Орудия – плуги, бороны, грабли, лушпильники, культиваторы, катки и др.

Рабочие органы – лемеха плугов, диски культиваторов, зубья борон и т. п.

Машины, а также их составные части в процессе производства являются изделиями.

**Изделие** – предмет или совокупность предметов производства, подлежащих изготовлению на данном предприятии.

К изделиям относятся заготовки, детали и сборочные единицы (узлы).

**Заготовка** – изделие, используемое для изготовления детали.

**Деталь** – изделие, изготовленное без применения сборочных операций из однородного материала (гайка, вал, шестерня, литой корпус и т. п.).

**Сборочная единица (узел)** – изделие, составные части которого подлежат соединению между собой в процессе сборочных операций (коробка скоростей, суппорт, бабка, другие узлы, собранные путем свинчивания, клепки, склеивания, сварки и т. д.).

Заготовки получают в результате переработки исходных материалов, сырья или полуфабрикатов. **Материалы** – любые вещества, которые используются или пригодны к использованию для решения практических задач. **Сырье** – материалы, ранее полученные в результате осуществления определенных воздействий и требующие дальнейшей переработки (например, добытая руда). **Полуфабрикаты** – сырье, которое подвергалось переработке, но не может быть использовано как готовый продукт,

Детали получают в результате обработки заготовок.

Сборочные единицы получают в результате сборки деталей.

При сборке особое значение имеют **базовые детали**, обладающие базовыми поверхностями, с помощью которых другие детали и сборочные единицы ориентируются относительно друг друга. Обычно сборка начинается с базовых деталей, роль которых, как правило, играют корпусные детали. При сборке, кроме базовых деталей, также используются **базовые сборочные единицы (базовые узлы)**.

Группы деталей, необходимых для сборки изделия, объединяются в **сборочный комплект**.

Два и более специализированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций, образуют **комплекс** (например, доильная установка, точная линия станков). Как правило, в сборочном процессе используются **комплектующие изделия** – приобретаемые со стороны детали и сборочные единицы.

Особое место в сборочном процессе занимают **агрегаты** – унифицированные узлы, обладающие полной взаимозаменяемостью и возможностью отдельной сборки.

### 1.1.2. Функциональное назначение изделий машиностроения

Каждое изделие машиностроения имеет свое, строго определенное **функциональное (служебное) назначение**, характеризующееся набором конкретных функций, выполнение которых должно обеспечивать данное изделие, или, другими словами, набором конкретных задач, которые должны решаться с помощью данного изделия.

При формулировке функционального назначения изделия указываются основная задача, требующая решения, и условия, при

которых она решается. Например, при формулировке функционального назначения автомобиля указывается не только основная задача – перевозка грузов, но и характер грузов, их масса и объем, расстояние и скорость перевозки, состояние дорог, а также другие сведения, касающиеся условий перевозки.

Функциональное назначение изделия описывают системой количественных показателей, определяющих его конкретные функции, условия работы и т. д. Формулировка функционального назначения изделия является важнейшим документом в задании на проектирование конструкции и технологического процесса изготовления изделия.

Сборочные единицы (машины), как правило, предназначаются для осуществления механических движений с целью преобразования энергии и производства работ. В свою очередь, детали предназначаются для выполнения определенных функций, вытекающих из функционального назначения сборочных единиц. Например, корпусные детали, станины, кронштейны и т. п. выполняют несущую функцию и служат для крепления других деталей или сборочных единиц; валы служат для передачи крутящего момента и установки на них деталей и т. д.

### 1.1.3. Качество изделий машиностроения

Изделия машиностроения (как и любая другая продукция) характеризуются качеством, определяющим меру полезности изделий.

**Качество изделий машиностроения** – совокупность свойств изделий, обуславливающих их способность выполнять свое функциональное назначение в заданных условиях эксплуатации.

Для оценки качества изделий используются показатели качества. Они подразделяются на эксплуатационные и производственно-технические показатели (рис. 1.1). Показатели качества могут быть комплексными и единичными.

К основным эксплуатационным показателям качества относятся показатели назначения, надежность и эргономичность.

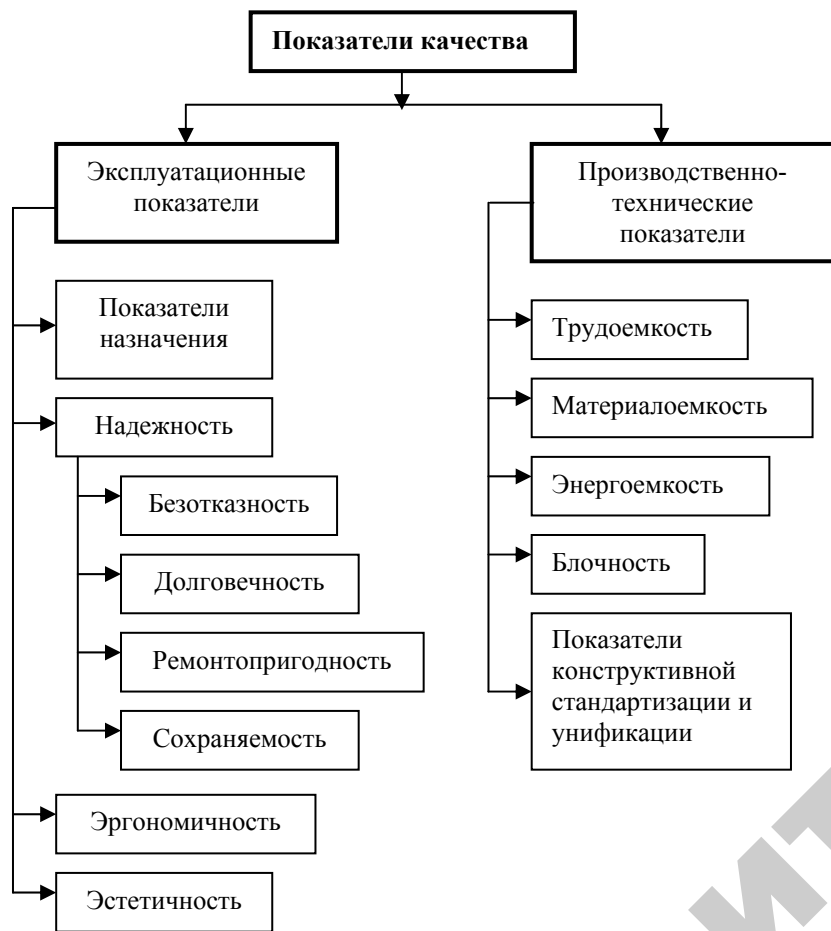


Рис. 1.1. Показатели качества изделий машиностроения

**Показатели назначения** характеризуют степень соответствия изделия его функциональному назначению. Типичными показателями назначения являются мощность, производительность, коэффициент полезного действия и т. п.

**Надежность** – свойство изделия сохранять в течение определенного времени в установленных пределах значения параметров, характеризующих способность изделия выполнять требуемые

функции при заданных условиях эксплуатации, технического обслуживания, хранения и транспортирования. К таким параметрам относятся кинематические и динамические параметры, параметры прочности, точности функционирования, производительности, скорости и т. п.

Надежность, являясь комплексным свойством изделия, включает такие его свойства как безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость.

**Безотказность** – свойство изделия непрерывно сохранять работоспособность в течение определенного времени или при выполнении определенного объема работ без вынужденных перерывов (например, без перерывов на ремонт). Показателями безотказности являются вероятность безотказной работы, средняя наработка на отказ, интенсивность отказов и т. п.

**Долговечность** – свойство изделия сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, при котором изделие выходит из строя и нуждается в ремонте. Показателями долговечности являются ресурс, средний срок службы, срок службы до списания и т. п.

**Ремонтпригодность** – свойство изделия, заключающееся в его приспособленности к проведению работ по техническому обслуживанию и ремонту этого изделия. Показателями ремонтпригодности являются вероятность и среднее время восстановления, трудоемкость технического обслуживания и ремонта и т. п.

**Сохраняемость** – свойство изделия сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих его способность выполнять требуемые функции, в течение и после хранения или транспортирования. Показателем сохраняемости являются срок сохраняемости.

**Эргономичность** характеризует способность работы изделия в системе «человек – машина» с учетом приспособляемости изделия к антропометрическим, биомеханическим, физиологическим и психологическим свойствам человека, проявляющимся в производственных процессах.

**Эстетичность** характеризует соответствие изделия требованиям технической эстетики. Показателями технической эстетики изделия являются композиционная целостность формы, функциональная целесообразность формы, качество наружной поверхности, качество внутренней отделки и др.

К основным производственно-техническим показателям качества относятся трудоемкость, материалоемкость, энергоемкость, блочность и показатели конструктивной стандартизации и унификации.

**Трудоемкость** характеризует затраты труда на изготовление единицы продукции.

**Материалоемкость** характеризует затраты материалов на изготовление единицы продукции.

**Энергоемкость** характеризует затраты энергии на изготовление единицы продукции.

**Блочность (сборность)** характеризует трудоемкость монтажа изделия. Коэффициент блочности определяется по формуле:

$$k = N_y/N_o, \quad (1.1)$$

где  $N_y$  и  $N_o$  – число унифицированных составных частей и общее число составных частей изделия соответственно.

**Показатели конструктивной стандартизации и унификации** определяют степень конструктивного единообразия проектируемых и изготавливаемых изделий. К показателям конструктивной стандартизации и унификации относятся следующие:

- коэффициент применяемости

$$K_{np} = (n - n_o)/n, \quad (1.2)$$

- коэффициент повторяемости

$$K_n = N/n, \quad (1.3)$$

- коэффициент насыщенности

$$K_n = (N - n)/n, \quad (1.4)$$

где  $n$  и  $n_o$  – общее число типоразмеров и число оригинальных типоразмеров составных частей изделия соответственно,

$N$  – общее число составных частей изделия.

Качество деталей дополнительно характеризуют следующими показателями:

- **точность изготовления** (степень соответствия действительных параметров изделия их расчетным значениям, в частности, степень отклонения действительных размеров, формы и взаимного расположения поверхностей от заданных значений),

- **рельеф поверхности** (степень ее шероховатости и волнистости),

- **физико-химическое состояние материала** (его компонентный и фазовый состав, физико-химические свойства),
- **физико-механическое состояние материала** (его прочность, твердость, упругость, хрупкость и т. п.),
- **состояние поверхностных слоев** (физико-химическое и физико-механическое состояние материала поверхности).

#### 1.1.4. Технологичность изделий машиностроения

Любые изделия (в том числе и изделия машиностроения) характеризуются технологичностью конструкции, которая рассматривается как особый показатель их качества.

**Технологичность конструкции изделия** – совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат временных, материальных и трудовых ресурсов при производстве, эксплуатации или ремонте для заданных показателей качества и условий выполнения работ.

Различают производственную, эксплуатационную и ремонтную технологичность.

**Производственная технологичность конструкции изделия** связана с сокращением ресурсов на:

- конструкторскую подготовку производства, т. е. на разработку конструкции изделия и оформление соответствующей конструкторской документации;
- технологическую подготовку производства, т. е. на разработку технологических процессов изготовления изделия и оформление соответствующей технологической документации, а также на разработку, изготовление или приобретение необходимого технологического оборудования и оснастки;
- изготовление изделия.

**Эксплуатационная технологичность конструкции изделия** связана с сокращением ресурсов на:

- подготовку изделия к эксплуатации;
- техническое обслуживание изделия;
- текущий (планово-предупредительный) ремонт изделия;
- утилизацию изделия после окончания его срока эксплуатации.

**Ремонтная технологичность конструкции изделия** связана с сокращением ресурсов на все виды ремонта, кроме текущего (планово-предупредительного) ремонта.

С понятием технологичности конструкции связаны понятия технологической рациональности конструкции и конструктивно-технологической преемственности.

**Технологическая рациональность конструкции** характеризуется возможностью изготовления и эксплуатации изделия при использовании имеющихся в распоряжении ресурсов.

**Конструктивно-технологическая преемственность** – необходимая связь между новыми и старыми конструкторскими и технологическими решениями; является одним из главных принципов обеспечения технической подготовки производства, позволяет должным образом организовать конструкторское и технологическое проектирование, максимально использовать все лучшее, что создано в ходе научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических разработок, освоено в производственных условиях и проверено в эксплуатации.

Технологичность конструкции изделий оценивается на основании анализа выполнения технологических требований, предъявляемых к изделиям, а также к деталям, поверхностям деталей и заготовкам. В частности:

- конструкция изделий должна характеризоваться простой компоновкой и состоять из минимального числа деталей и узлов; должна допускать возможность сборки из предварительно собранных узлов;
- детали и узлы должны быть преимущественно стандартными, нормализованными и унифицированными; они должны быть простыми по конфигурации и предусматривать возможность их быстрой и надежной установки в процессе обработки, а также возможность использования для нее высокоэффективного оборудования и инструмента;
- материалы, точность и шероховатость поверхностей деталей должны быть обоснованы их функциональным назначением;
- заготовки должны иметь простую (преимущественно симметричную) форму и свободно извлекаться из штампов или литейных форм и т. д.

Для количественной оценки технологичности конструкции изделий используются базовые показатели (трудоемкость, материалоемкость и себестоимость изделий), которые определяются на основе учета статистических данных о ранее созданных аналогичных конструкциях. Относительно базовых показателей рассчитывается **уровень технологичности конструкции изделий**, численно равный отношению достигнутого проектного уровня технологичности к базовому уровню.

Так, **уровень технологичности конструкции изделия по трудоемкости** определяется по формуле:

$$K_T = T/T_B, \quad (1.5)$$

где  $T$  и  $T_B$  – достигнутая проектная и базовая трудоемкости изготовления изделия.

**Уровень технологичности конструкции изделия по материалоемкости** определяется по формуле:

$$K_M = M/M_B, \quad (1.6)$$

где  $M$  и  $M_B$  – достигнутая проектная и базовая материалоемкости изделия.

**Уровень технологичности конструкции изделия по себестоимости** определяется по формуле:

$$K_C = C/C_B, \quad (1.7)$$

где  $C$  и  $C_B$  – достигнутая проектная и базовая себестоимости изделия.

Для количественной оценки технологичности конструкции изделий используются также дополнительные показатели. К ним, в частности, относятся:

**уровень технологичности конструкции изделия по точности**

$$K_{Tч} = K_{Tч}/K_{TчБ}, \quad (1.8)$$

где  $K_{Tч}$  и  $K_{TчБ}$  – достигнутый проектный и базовый коэффициенты точности обработки;

**уровень технологичности конструкции изделия по шероховатости поверхности**

$$K_{Ш} = K_{Ш}/K_{ШБ}, \quad (1.9)$$

где  $K_{Ш}$  и  $K_{ШБ}$  – достигнутый проектный и базовый коэффициенты шероховатости поверхности.

Коэффициент точности обработки деталей определяется по формуле:

$$K_{Tч,Д} = 1 - 1/T_{cp}, \quad (1.10)$$

где  $T_{cp}$  – средний квалитет точности обработки деталей ( $T = IT$ ).

Коэффициент шероховатости поверхности деталей определяется по формуле:

$$K_{Ш} = 1 - 1/Ш_{cp}, \quad (1.11)$$

где  $Ш_{cp}$  – среднее значение параметра шероховатости ( $Ш = Ra$ ).

Кроме того, для количественной оценки технологичности конструкции изделий дополнительно используются еще и следующие показатели:

*коэффициент унификации деталей*

$$K_{у} = D_{у}/D, \quad (1.12)$$

где  $D_{у}$  и  $D$  – число унифицированных деталей и общее число деталей соответственно;

*коэффициент применения типовых технологических процессов*

$$K_{ТП} = Q_{Т}/Q, \quad (1.13)$$

где  $Q_{Т}$  и  $Q$  – число типовых технологических процессов и общее число технологических процессов соответственно.

## 1.2. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ

### 1.2.1. Производственный процесс

**Производственный процесс** – совокупность отдельных процессов, связанных с изготовлением изделий на данном предприятии.

Производственные процессы подразделяются на основные, вспомогательные и обслуживающие. Основной производственный процесс непосредственно связан с изготовлением изделий.

Вспомогательный производственный процесс способствует нормальному осуществлению основного процесса и связан с обеспечением основного процесса оборудованием, приспособлениями

и инструментом, исходными материалами, сырьем и полуфабрикатами, комплектующими изделиями, топливно-энергетическими ресурсами и т. п.

Обслуживающий производственный процесс способствует нормальному осуществлению основного и вспомогательного процессов и связан с оказанием различных услуг (транспортных, по логистике и т. п.).

В свою очередь, основные производственные процессы подразделяются на подготовительные, преобразующие и заключительные. Для машиностроительного производства это, соответственно, заготовительные процессы, связанные с получением заготовок, обрабатывающие процессы, связанные с изготовлением деталей, и сборочные процессы, связанные с изготовлением машин (рис. 1.2).

### 1.2.2. Технологический процесс

**Технологический процесс** – часть производственного процесса, связанная с целенаправленным изменением размеров, формы и свойств предметов труда и их контролем.

Ведущее место в машиностроении занимают технологические процессы получения заготовок, обработки заготовок (изготовления деталей) и сборки деталей (изготовления узлов машин и машин в целом).

**Технологический процесс получения заготовок** – часть производственного процесса, связанная с изготовлением заготовок путем переработки исходных материалов, сырья или полуфабрикатов.

**Технологический процесс обработки** – часть производственного процесса, связанная с изменением размеров, формы или свойств материала обрабатываемых заготовок и приводящая к получению деталей.

**Технологический процесс сборки** – часть производственного процесса, связанная со сборкой узлов и машин.

Технологический процесс выполняется на рабочих местах.

**Рабочее место** – участок производственной площади, оборудованный в соответствии с выполняемой на нем работой.

Технологический процесс реализуется с помощью средств технологического оснащения, к которым относятся технологическое оборудование и технологическая оснастка.





Рис. 1.2. Структурная схема производственного процесса на машиностроительном предприятии

**Технологическое оборудование** – технологическое оснащение, в котором для выполнения определенной части технологического

процесса размещаются материалы, полуфабрикаты или заготовки, а также средства воздействия на них (станки, гальванические ванны, сборочные и испытательные стенды и т.п.).

**Технологическая оснастка** – средства технологического оснащения, дополняющие технологическое оборудование для выполнения определенной части технологического процесса. К технологической оснастке относятся приспособления и инструменты.

**Приспособление** – вспомогательное устройство, используемое для изготовления заготовок, деталей и сборочных единиц.

**Инструмент** – орудие труда или исполнительный орган машины, используемый для изготовления заготовок, деталей и сборочных единиц.

Технологический процесс состоит из технологических операций (рис. 1.3).

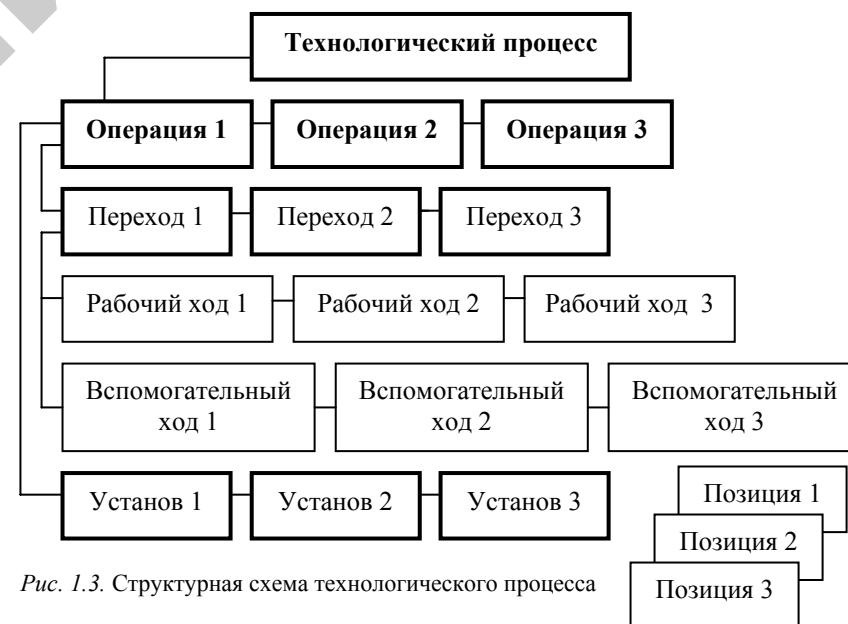


Рис. 1.3. Структурная схема технологического процесса

**Операция** – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте одним рабочим (или бригадой)

непрерывно. Основными структурными элементами операций являются переходы и установы, а также позиции (рис. 1.3).

**Переход** – часть операции, выполняемая одним и тем же инструментом (с одним и тем же приспособлением) без изменения технологического оборудования и технологического режима (рис 1.4).

При механической обработке переход характеризуется съемом слоя металла, осуществляемым одним и тем же инструментом при неизменной его установке и неизменном режиме обработки.

Переходы состоят из рабочих и вспомогательных ходов (проходов).

**Рабочий ход (проход)** – часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств заготовки.

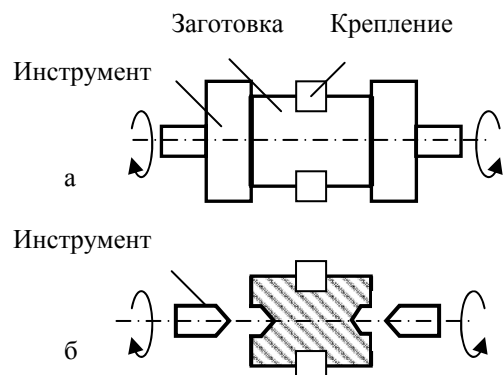


Рис. 1.4. Схема обработки торцов валика в два перехода в один установ и в одной позиции:

- а – одновременное параллельное фрезерование торцов валика,
- б – одновременное сверление на обоих торцах валика центровых отверстий (центрование)

При механической обработке переход делят на несколько рабочих ходов (в тех случаях, когда за один ход нельзя снять весь слой металла, подлежащий удалению в данном переходе).

**Вспомогательный ход (проход)** – часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, необходимого для подготовки рабочего хода.

**Установ** – часть операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки или собираемой сборочной единицы.

**Позиция** – фиксированное положение, занимаемое закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции.

На рисунке 1.4 показана схема обработки торцов валика в два перехода: сначала выполняется одновременное параллельное фрезерование торцов валика (1-й переход), затем – одновременное сверление на обоих торцах валика центровых отверстий (2-й переход). Обработка осуществляется в один установ, т.е. при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки. В процессе обработки закрепленная заготовка занимает одну и ту же позицию.

На рисунке 1.5 показана схема последовательного центрования того же валика в один переход, т.е. одним и тем же инструментом. Обработка ведется в два установа и в двух позициях: сначала осуществляют сверление одного торца, затем заготовку снимают, поворачивают и снова закрепляют, после чего осуществляют сверление другого торца.

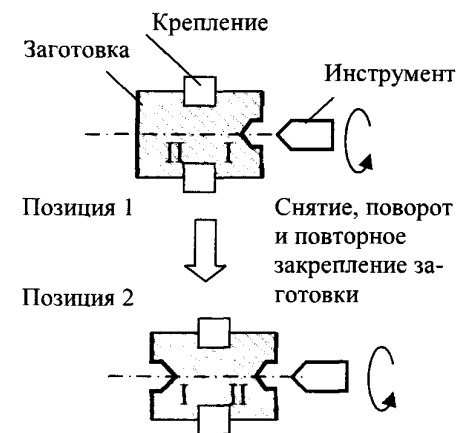


Рис. 1.5. Схема центрования валика в один переход в два установа и в двух позициях

На рисунке 1.6 показана схема обработки отверстия, которая осуществляется в три перехода: 1-й – сверление отверстия, 2-й – растачивание отверстия и 3-й – растачивание выточки. Если бы отверстие после сверления растачивалось предварительно начерно, а затем с изменением режима резания – начисто, то операция состояла бы из четырех переходов. Здесь так же, как и в случае, представленном на рисунке 1.4, обработка осуществляется в один установ, а закрепленная заготовка занимает одну и ту же позицию.

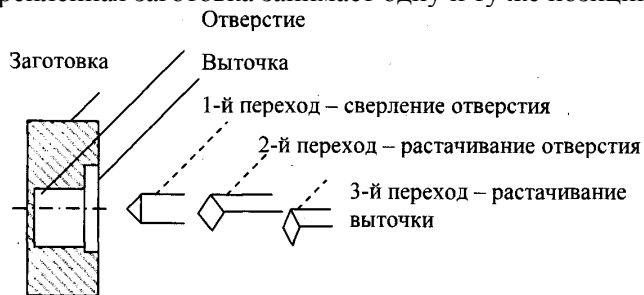


Рис. 1.6. Схема обработки отверстия в три перехода в один установ и в одной позиции

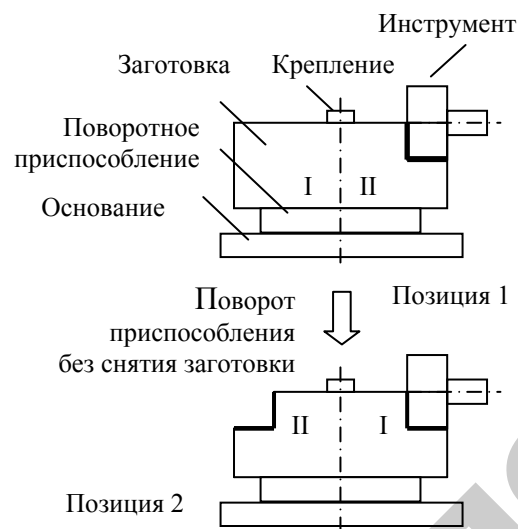


Рис. 1.7. Схема обработки уступов в один переход в один установ и в двух позициях

На рисунке 1.7 показана схема обработки в один установ уступов заготовки с двух сторон (I и II) с использованием поворотного приспособления.

Обработка выполняется в один переход, т. е. без смены инструмента. Если уступы обрабатывают без поворотного приспособления, то вначале обрабатывают уступ с одной стороны, затем за-

готовку снимают, поворачивают и снова закрепляют, после чего обрабатывают уступ с другой стороны. В результате обработка уступов выполняется в два установа (рис. 1.8).

На схемах (рис. 1.7 и рис. 1.8) обработка выполняется в двух позициях. В первом случае (рис. 1.7) смена позиций осуществляется путем поворота приспособления с закрепленной на нем заготовкой, т. е. в один установ, что более производительнее, чем во втором случае, когда смена позиций осуществляется путем снятия, переустановки и повторного закрепления заготовки, т. е. в два установа (рис. 1.8).

Рабочий во время реализации технологического процесса использует определенные *приемы* – действия, необходимые для выполнения части операции (например, установка или снятия детали, пуск или остановка станка, изменение режима работы станка и т. п.).

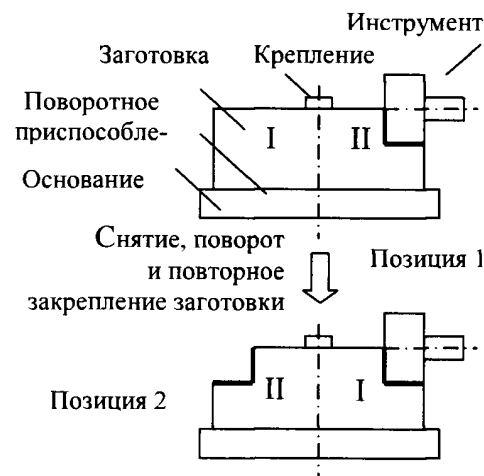


Рис. 1.8. Схема обработки уступов в один переход в два установа и в двух позициях

### 1.2.3. Параметры производственного и технологического процессов

Производственный процесс, а также технологический процесс (как часть производственного процесса), характеризуются следующими основными параметрами: производственная программа, производственный цикл, цикл технологической операции, такт выпуска, ритм выпуска

**Производственная программа** – основная составная часть бизнес-плана развития предприятия (цеха, участка), определяющая объем и состав продукции, которая должна быть выпущена в плановом периоде. Производственная программа включает перечень наименований изготавливаемых изделий разных типов с указанием объема и срока выпуска по каждому наименованию. Под производственной программой также понимается программа выпуска изделий определенного типа за данный период.

**Производственный цикл** – интервал времени от начала производственного процесса до его окончания применительно к изделию определенного типа. Производственный цикл состоит из рабочего времени и времени перерывов в изготовлении изделия.

**Цикл технологической операции** – интервал времени от начала периодически повторяющейся операции до ее окончания независимо от числа одновременно изготавливаемых изделий. Например, на станке обрабатывается заготовка в течение 10 мин, после чего начинается обработка следующей заготовки. Таким образом, цикл операции обработки составляет 10 минут.

**Такт выпуска** – интервал времени, через который периодически выпускается изделие определенного типа (деталь, сборочная единица). Такт выпуска  $t_e$  рассчитывается по формуле  $t_e = \Phi/N$ , где  $\Phi$  – время, затраченное на изготовление изделий (фонд времени работы оборудования в рассматриваемом периоде – год, месяц, смена и т. д.),  $N$  – число изделий, изготовленных за это время (программа выпуска изделий). Например, за 10 мин обработано 5 заготовок; таким образом, такт выпуска  $t_e = \Phi/N = 10/5 = 2$  мин/шт.

**Ритм выпуска** – количество изделий определенного типа, выпускаемых в единицу времени. Ритм выпуска  $R$  – величина, обратная такту выпуска:  $R = 1/t_e$  (для предыдущего примера  $R = 1/t_e = N/\Phi = 5/10 = 0,5$  шт/мин.).

#### 1.2.4. Классификация производственных процессов

Производственные процессы по форме их организации подразделяются на непоточные и поточные. Последние подразделяются на непрерывно-поточные и переменнo-поточные.

**Непоточная организация производства** имеет место тогда, когда технологическое оборудование размещается группами (по ви-

дам). Например, организуют участки токарных, фрезерных, сверлильных, шлифовальных и др. видов работ, а изделия в процессе их изготовления перемещаются с одного участка на другой. При этом периоды обработки изделий на каждом участке  $T_i$  являются различными, т. е. технологический процесс осуществляется с меняющейся величиной такта по каждой операции (рис. 1.9).

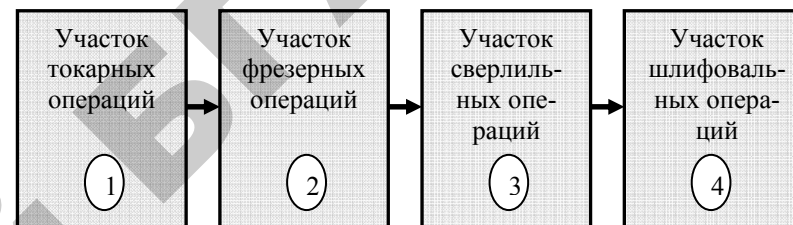


Рис. 1.9. Схема непоточной организации производства ( $T_1 \neq T_2 \neq T_3 \neq T_4$ )

**Непрерывно-поточная организация производства** имеет место тогда, когда технологическое оборудование размещается в последовательности выполнения операций технологического процесса в виде поточных линий. При этом на каждой линии производятся изделия одного типа, которые в процессе изготовления находятся в непрерывном движении вдоль линии, перемещаясь от одного рабочего места к другому через приблизительно одинаковые периоды  $T_i$ , т. е. технологический процесс осуществляется с постоянной величиной такта по каждой операции (рис. 1.10).

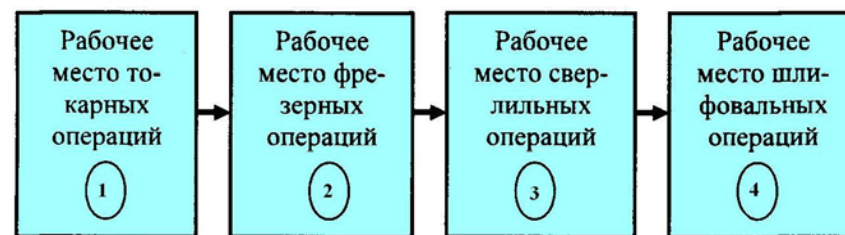


Рис. 1.10. Схема непрерывно-поточной организации производства ( $T_1 \approx T_2 \approx T_3 \approx T_4 \approx T_n$ ).

**Переменно-поточная организация производства** имеет место тогда, когда технологическое оборудование размещается в виде поточных линий (как и при непрерывно-поточной организации). Однако при этом изготовление однотипных изделий на каждой линии ведется не непрерывно, а в течение определенного периода времени (например, смены), после чего оборудование переналаживается для изготовления изделий другого типа (рис. 1.11).

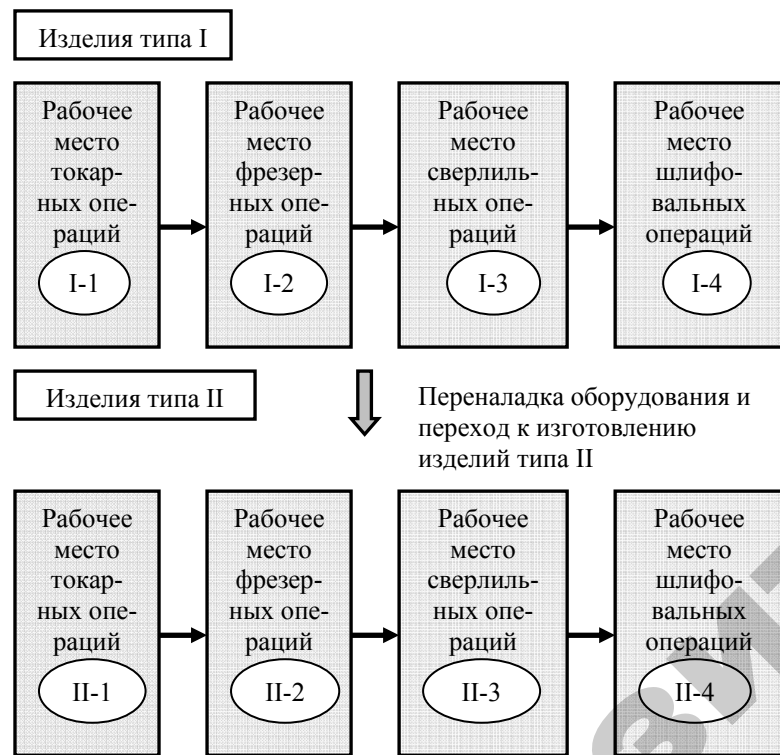


Рис. 1.11. Схема переменно-поточной организации производства ( $T_{I-1} \approx T_{I-2} \approx T_{I-3} \approx T_{I-4} \approx T_{I-6}$ ;  $T_{II-1} \approx T_{II-2} \approx T_{II-3} \approx T_{II-4} \approx T_{II-6}$ ;  $T_{I-6} \neq T_{II-6}$ )

### 1.2.5. Классификация технологических процессов

По количеству типов изготавливаемых изделий, а также по общности присущих им конструктивных и технологических признаков различают единичные, типовые и групповые технологические процессы.

**Единичный технологический процесс** разрабатывается для изготовления изделий одного типа, отличающихся оригинальностью и не имеющих общих конструктивных и технологических признаков с изделиями, ранее изготавливаемыми на данном предприятии.

**Типовой технологический процесс** разрабатывается для изготовления группы изделий разных типов с общими конструктивными и технологическими признаками. Этот процесс характеризуется общностью содержания и последовательностью выполняемых технологических операций для всех типов изготавливаемых изделий.

**Групповой технологический процесс** разрабатывается для изготовления группы изделий разных типов с различными конструктивными, но общими технологическими признаками. Этот процесс имеет место при обработке заготовок различной конфигурации, когда групповые технологические операции выполняются на специализированных рабочих местах с соблюдением общей для всех типов изготавливаемых изделий последовательности операций.

По степени новизны используемых методов и средств изготовления изделий единичные, типовые и групповые технологические процессы подразделяются на перспективные и рабочие.

**Перспективный технологический процесс** предполагает для своего осуществления использование новых методов и средств, которые предстоит освоить на предприятии.

**Рабочий технологический процесс** выполняется на основе использования методов и средств, освоенных на предприятии, по рабочей технической (конструкторской и технологической) документации, разработанной на предприятии.

По характеру используемой технической документации рабочие технологические процессы могут быть проектными, стандартными и временными.

**Проектный технологический процесс** выполняется по проектной технической документации, носящей предварительный характер.

**Стандартный технологический процесс** выполняется по технической документации, разработанной на основе стандартов.

**Временный технологический процесс** выполняется по технической документации, носящей временный характер и используемой в течение ограниченного периода времени из-за отсутствия необходимого оборудования (например, в связи с его ремонтом или заменой более совершенным и экономичным).

Рабочий технологический процесс разрабатывается на основе типового технологического процесса.

По количеству типов выполняемых операций различают простые технологические процессы (например, включающие только операции механической обработки) и комплексные технологические процессы (включающие операции механической обработки в сочетании с операциями термической обработки, очистки поверхностей и т. п.).

### 1.3. ТИПЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Производство классифицируется по видам и типам.

**Вид производства** – классификационная категория производства, выделяемая по признаку применяемого метода изготовления изделий (например, литейное, сварочное, термическое).

**Тип производства** – классификационная категория производства, выделяемая по ряду признаков (широта и стабильность номенклатуры, регулярность и объем выпуска продукции; степень детализации разработки технологических процессов; степень универсальности/специализации технологического оборудования; степень механизации и автоматизации технологических процессов; форма организации технологических процессов и др.).

Различают следующие типы производства: единичное, серийное и массовое. Серийное производство разделяют на мелко-, средне- и крупносерийное.

**Единичное производство** характеризуется нестабильной номенклатурой продукции, которая выпускается нерегулярно и малыми объемами. Это приводит к ограничению возможностей использования стандартизированных конструктивно-технологических решений. При этом в выпускаемой продукции велик удельный вес оригинальных деталей и мал удельный вес унифицированных деталей. Поскольку выполняемые заказы, как правило, не повторяются, то затраты на подробную разработку технологических процессов экономически не оправданы и технологические процессы разрабатываются в укрупненном виде. По этой же причине обычно стре-

мятся использовать универсальное оборудование, а также универсальные приспособления и универсальный инструмент. Отсутствие специальных приспособлений и инструмента делает невозможным или экономически невыгодным обеспечение требуемой точности размеров некоторых деталей, что увеличивает число подгоночных работ (как правило, выполняемых вручную) в процессе сборки.

В единичном производстве обычно применяется **концентрация технологических операций**, когда несколько простых переходов объединяются в одну операцию. Соответственно, технологический процесс, построенный по принципу концентрации операций, состоит из небольшого числа сложных многопереходных операций.

Различают **последовательную концентрацию операций**, когда переходы выполняются последовательно, и **параллельную концентрацию операций** (переходы выполняются параллельно).

На рисунке 1.12, а показана схема обработки вала с последовательной концентрацией операций. Операция обработки – продольное точение четырех шеек вала осуществляется на универсальном токарном станке одним резцом в четыре последовательных перехода (1-1, 1-2, 1-3, 1-4).

На рисунке 1.12, б показана схема обработки вала с параллельной концентрацией операций. Та же операция обработки – продольное точение четырех шеек вала осуществляется на многолезцовом токарном станке одновременно четырьмя резцами (1, 2, 3, 4) в один переход.

Для единичного производства, при котором на каждом рабочем месте выполняются разнообразные операции при отсутствии периодического их повторения, характерна непоточная организация производства.

Применение в единичном производстве универсального оборудования, приспособлений и инструмента требует высокой квалификации рабочих. Выполнение работ на универсальном оборудовании без специальных приспособлений и инструмента, низкий уровень механизации и автоматизации, большая доля ручного труда вызывают значительное снижение производительности труда и повышение себестоимости продукции.

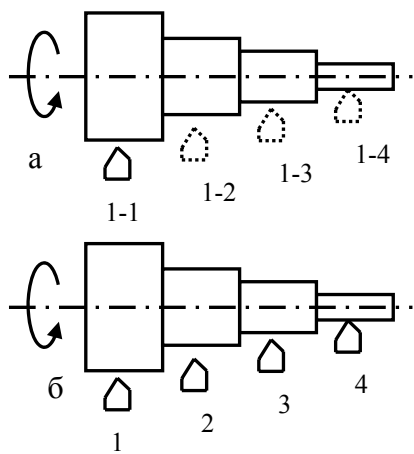


Рис. 1.12. Схемы обработки вала с последовательной (а) и параллельной (б) концентрацией операций

### Массовое производство

характеризуется стабильной номенклатурой продукции, которая непрерывно выпускается в течение продолжительного периода времени большим объемом. Выпуск большого количества модификаций изделий является важнейшей особенностью массового производства. Например, автомобиль или трактор может иметь множество модификаций (по комплектации различными приборами, цвету и т. д.). Это создает экономическую целесообразность использования стандартизованных конструктивно-технологических решений, существенного увеличения удельного веса унифицированных деталей. Становятся экономически оправданной подробная разработка технологических процессов, для реализации которых широко используются специальное оборудование, специальные приспособления и инструмент, а также средства механизации и автоматизации, что, в свою очередь, позволяет обеспечить высокую точность изготовления деталей и их взаимозаменяемость.

В массовом производстве обычно применяется **дифференциация технологических операций**, когда операции дробятся на большое число простых переходов. Соответственно, технологический процесс, построенный по принципу дифференциации операций, состоит из большого числа простых операций. Дифференциация операций в условиях массового производства позволяет проводить все операции технологического процесса в едином ритме на простых узкоспециализированных станках, связанных конвейером или встроенных в автоматическую линию.

На рисунке 1.13 показана схема обработки вала с дифференциацией операций. Технологический процесс состоит из трех однопроходных операций: обработка двух цилиндрических шеек вала (операции 1 и 2) и обработка конусообразного перехода между шейками (операция 3).

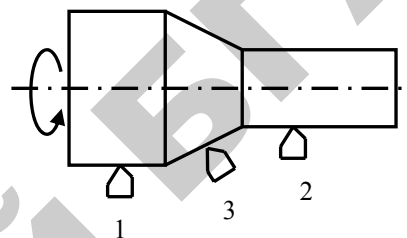


Рис. 1.13. Схема обработки вала с дифференциацией операций

Для массового производства, при котором на каждом рабочем месте выполняется только одна, закрепленная за ним непрерывно повторяющаяся операция, характерна непрерывно-поточная организация производства. Для данного производства также характерна низкая квалификация рабочих, высокая производительность труда и низкая себестоимость продукции.

Обычно массовое производство трудно перестроить на изготовление новых изделий, что является его недостатком. Как правило, смена выпускаемых изделий в массовом производстве сопровождается реконструкцией цеха или всего предприятия.

**Серийное производство** по технологическим и производственным характеристикам занимает промежуточное положение между единичным производством и массовым. Серийное производство характеризуется довольно стабильной номенклатурой продукции, выпускаемой периодически повторяющимися партиями и сравнительно большим объемом.

**Производственная партия** в механообрабатывающем производстве – это группа заготовок одного наименования и типоразмера, запускаемых в обработку одновременно или непрерывно в течение определенного интервала времени (группа одновременно изготавливаемых деталей).

Величина производственной партии (число деталей в партии) рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{парт}} = \frac{ND_{\text{скл}}}{\Phi_{\text{д}}}, \quad (1.14)$$

где  $N$  – годовая программа выпуска деталей;

$D_{\text{скл}}$  – необходимый запас деталей на складе (для крупных деталей  $D_{\text{скл}} = 2 \dots 3$ , для мелких –  $D_{\text{скл}} = 5 \dots 10$ );

$\Phi_{\text{д}}$  – действительный (рабочий) годовой фонд времени (число рабочих дней в году). При пятидневной рабочей неделе  $\Phi_{\text{д}} = 252$  дня.

В серийном производстве применяется универсальное и специальное оборудование и заняты рабочие средней квалификации. Производительность труда в серийном производстве более высокая, а себестоимость продукции более низкая, чем в единичном производстве. Особенности серийного производства обуславливают экономическую целесообразность выпуска продукции по циклически повторяющемуся графику.

В крупносерийном производстве обычно применяется дифференциация технологических операций, а в мелкосерийном – их концентрация. Для серийного производства характерна переменнo-поточная организация производства.

Сравнительная характеристика разных типов производства представлена в таблице 1.1.

Для определения типа производства может быть использован **коэффициент закрепления операций**, который равен числу различных операций по обработке одной или нескольких деталей, закрепленных за одним рабочим местом, в течение планового периода. Данный коэффициент определяется по формуле:

$$K_{\text{зо}} = \frac{N_{\text{o}}}{N_{\text{м}}}, \quad (1.15)$$

где  $N_{\text{o}}$  – число операций,

$N_{\text{м}}$  – число рабочих мест, на которых выполняются данные операции.

Таблица 1.1

Типы производства и их характеристика

Характеристика типа производства	Типы производства		
	единичное	серийное	массовое
Широта и стабильность номенклатуры, регулярность и объем выпуска продукции	Широкая и нестабильная номенклатура продукции, выпускаемой не регулярно и малым объемом	Ограниченная и сравнительно стабильная номенклатура продукции, выпускаемой периодически повторяющимися партиями и довольно большим объемом	Узкая и стабильная номенклатура продукции, выпускаемой непрерывно в течение продолжительного периода времени и большим объемом
Степень детализации разработки техпроцессов	Низкая	Довольно высокая	Высокая
Степень универсальности / специализации технологического оборудования	Применяется преимущественно универсальное оборудование	Применяется универсальное и специальное оборудование	Применяется преимущественно специальное оборудование
Уровень механизации и автоматизации техпроцессов	Низкий	Довольно высокий	Высокий
Степень дифференциации / концентрации технологических операций	Применяется преимущественно концентрация операций	Применяется концентрация и дифференциация операций	Применяется преимущественно дифференциация операций
Доминирующая форма организации производства	Непоточное производство	Переменно-поточное производство	Непрерывно-поточное производство
Квалификация рабочих	Высокая	Средняя	Низкая
Производительность труда	Низкая	Довольно высокая	Высокая
Себестоимость продукции	Высокая	Довольно низкая	Низкая



Для разных типов производства характерны соответствующие значения  $K_{30}$  (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Значения коэффициента закрепления операций  $K_{30}$

Тип производства	Значения $K_{30}$
Массовое	$K_{30} = 1$
Крупносерийное	$1 < K_{30} \leq 10$
Среднесерийное	$10 < K_{30} \leq 20$
Мелкосерийное	$20 < K_{30} \leq 40$
Единичное	$K_{30} > 40$

Тип производства также характеризуется объемом выпуска и массой деталей (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Зависимость типа производства от объема выпуска деталей массой М

Тип производства	Годовой объем выпуска деталей (шт.)		
	крупных ( $M > 50$ кг)	средних ( $1 \text{ кг} < M \leq 50$ кг)	мелких ( $M < 1$ кг)
Единичное	До 5	До 10	До 100
Серийное	5...1000	10...5000	100...50 000
Массовое	Свыше 1000	Свыше 5000	Свыше 50 000

Серийность производства может быть определена по величине производственной партии деталей с учетом их массы (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Зависимость серийности производства от величины партии деталей массой М

Серийность производства	Величина партии деталей (шт.)		
	крупных	средних	мелких
Мелкосерийное	2...5	5...25	10...50
Среднесерийное	6...25	26...200	51...300
Крупносерийное	Свыше 25	Свыше 200	Свыше 300

## 1.4. РАЗНОВИДНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

### 1.4.1. Технологии получения заготовок

В машиностроительном производстве применяются преимущественно металлические заготовки, получаемые с использованием различных технологий (обработки давлением, литейных и др.)

**Технологии обработки давлением** – технологии получения фасонных металлических заготовок путем изменения формы исходных заготовок за счет пластической деформации в результате приложения к ним внешних сил.

Технологии обработки давлением подразделяются на два основных вида (рис. 1.14).

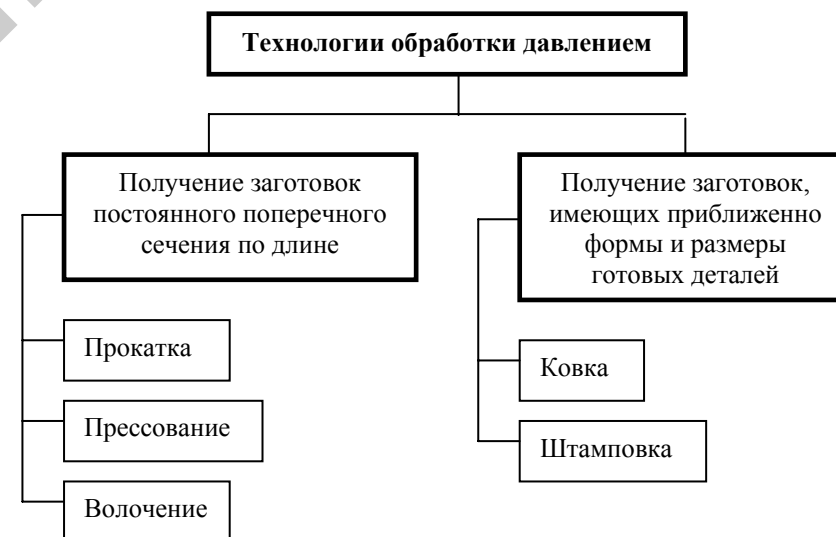


Рис. 1.14. Разновидности технологий обработки давлением

Первый вид – технологии получения заготовок постоянного поперечного сечения по длине (прутков, проволоки, лент, листов). К этим технологиям относятся прокатка, прессование, волочение.

Второй – технологии получения заготовок, имеющих приближенно формы и размеры готовых деталей (ковка, штамповка).

**Прокатка** – обработка металлов давлением, при которой металл деформируется вращающимися гладкими или имеющими канавки (выточки) валками.

**Ковка** – обработка металлов давлением, при которой нагретая заготовка испытывает многократное воздействие со стороны ударного инструмента, в результате чего она, деформируясь, постепенно приобретает заданную форму и размеры. Кованые заготовки простой конфигурации получают свободной ковкой, сравнительно сложной конфигурации – ковкой в подкладных штампах.

**Штамповка** – обработка металлов давлением, при которой происходит принудительное перераспределение металла заготовки под ударным воздействием с заполнением полости инструмента – штампа. Разновидности штамповки: горячая объемная штамповка (с предварительным нагревом заготовки), холодная объемная штамповка и листовая штамповка (без предварительного нагрева заготовки).

**Прессование** – обработка металлов давлением, при которой металл выдавливается из замкнутой полости через отверстие инструмента (матрицы).

**Волочение** – обработка металлов давлением, при которой деформация заготовки в холодном состоянии осуществляется за счет ее протягивания через постепенно сужающееся отверстие в инструменте (волоке или фильере).

**Литейные технологии** – технологии получения фасонных металлических отливок путем заливки расплавленного металла в литейную форму с последующим затвердеванием этого металла, охлаждением отливки в форме и извлечением отливки из формы с последующей отделкой.

Литейные технологии (рис. 1.5) подразделяются на следующие два основных вида:

1) технологии литья в разовые литейные формы (литье в песчаные и оболочковые формы, литье по выплавляемым моделям и газифицируемым моделям, литье в керамические формы);

2) технологии литья в постоянные литейные формы (кокильное литье, литье под давлением, центробежное и непрерывное литье, литье вакуумным всасыванием, литье выжиманием, литье жидкой прокаткой, литье жидкой штамповкой, литье намораживанием, электрошлаковое литье).



Рис. 1.15. Разновидности литейных технологий

**Литье в песчаные формы** – получение отливки свободной заливкой расплавленного металла в разовую разъемную толстостенную литейную форму, изготовленную из песчано-глинистой смеси по многократно используемой модельной оснастке.

**Литье в оболочковые формы** – получение отливки свободной заливкой расплавленного металла в разовую разъемную тонкостенную литейную форму, изготовленную из песчано-смоляной смеси с термореактивным связующим по многократно используемой металлической нагреваемой модельной оснастке.

**Литье по выплавляемым моделям** – получение отливки заливкой расплавленного металла в разовую неразъемную тонкостенную литейную форму, изготовленную из керамической суспензии по разовым моделям из легкоплавких компонентов (парафина, стеарина, воска и др.), выплавляемым в процессе заливки расплава в форму.

**Литье по газифицируемым моделям** – получение отливок свободной заливкой расплавленного металла в разовую неразъемную тонкостенную литейную форму, изготовленную из керамической суспензии по разовым моделям из вспенивающихся полимеров (полистирола), выжигаемым в процессе заливки расплава в форму.

**Литье в керамические формы** – получение отливки свободной заливкой расплавленного металла в разовую неразъемную тонкостенную литейную форму, изготовленную из керамической суспензии по многократно используемой модельной оснастке (керамические формы выдерживают до 10 отливок, т. е. относятся к разряду полупостоянных литейных форм).

**Кокильное литье** – получение отливки свободной заливкой расплавленного металла в многократно используемую разъемную или неразъемную металлическую литейную форму (кокиль).

**Литье под давлением** – получение отливки заливкой расплавленного металла под давлением, создаваемым сжатым воздухом или поршнем, в многократно используемую разъемную металлическую пресс-форму с последующей кристаллизацией расплава также под давлением.

**Центробежное литье** – получение отливки заливкой расплавленного металла под действием центробежных сил в многократно используемую разъемную вращающуюся металлическую форму.

**Непрерывное литье** – получение протяженной отливки свободной непрерывной заливкой расплавленного металла в многократно используемую неразъемную водоохлаждаемую графитовую или металлическую литейную форму-кристаллизатор и вытягиванием из нее сформированной части отливки.

**Литье вакуумным всасыванием** – получение отливки всасыванием расплавленного металла в многократно используемую разреженную (вакуумированную) неразъемную водоохлаждаемую графитовую или металлическую литейную форму-кристаллизатор.

**Литье выжиманием** – получение тонкостенной отливки свободной заливкой расплавленного металла в многократно используемую разъемную металлическую форму, состоящую из двух прижимаемых друг к другу полуформ – неподвижной и подвижной.

**Литье жидкой прокаткой** – получение отливки свободной непрерывной заливкой расплавленного металла в многократно используемый неразъемный металлический металлоприемник, прилегающий к вращающимся водоохлаждаемым металлическим валкам, вытягивающим расплав.

**Литье жидкой штамповкой** – получение отливки свободной заливкой расплавленного металла в многократно используемую неразъемную металлическую пресс-форму с последующей кристаллизацией расплава под давлением, создаваемым пуансоном.

**Литье намораживанием** – получение отливки путем вытягивания расплавленного металла на металлическую затравку из кристаллизатора через профилированное отверстие, которое создано либо в формообразующем устройстве, частично погруженном в расплав, либо в дне кристаллизатора.

**Электрошлаковое литье** – получение отливки путем переплава расходуемого электрода в водоохлаждаемой металлической литейной форме-кристаллизаторе.

#### 1.4.2. Технологии изготовления деталей

В машиностроительном производстве для изготовления деталей используются преимущественно технологии механической обработки заготовок. Основными из этих технологий являются технологии обработки металлов резанием и пластическим деформированием (рис. 1.16).

**Обработка резанием** заключается в срезании режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки для достижения необходимой геометрии формы, точности размеров, взаиморасположения и шероховатости поверхности изготавливаемой детали.

Основными видами обработки металлов резанием являются следующие: обрезка и распиловка, точение, сверление, строгание, протягивание, фрезерование, резьбонарезание, зубонарезание, шлифование, отделочная обработка.

**Обрезка и распиловка** – обрезка концов заготовок и распиливание заготовок на части.

Обрезка и распиловка производятся на станках следующих типов:

- сверлильно-отрезные станки (для отрезки концов заготовок осей и валов и их центрирования);
- распиловочные станки (для распиливания и раскроя заготовок);
- круглопильные станки (для распиловки и раскроя заготовок круглой (дисковой) пилой);
- другие типы станков.

**Точение** – обработка резанием наружных, внутренних и торцовых поверхностей заготовок типа тел вращения, а также спиральных и винтовых поверхностей заготовок с помощью резцов.

Разновидности точения:

- *обтачивание* – обработка наружных поверхностей,
- *расточивание* – обработка внутренних поверхностей,
- *подрезание* – обработка плоских торцовых поверхностей,
- *разрезание* – разделение заготовки на части или отрезка готовой детали от заготовки (пруткового проката).

Точение производится на станках токарной группы. К ним относятся:

- токарно-револьверные – станки с поворотной револьверной головкой (вместо задней бабки), в гнездах которой располагаются обрабатывающие инструменты;

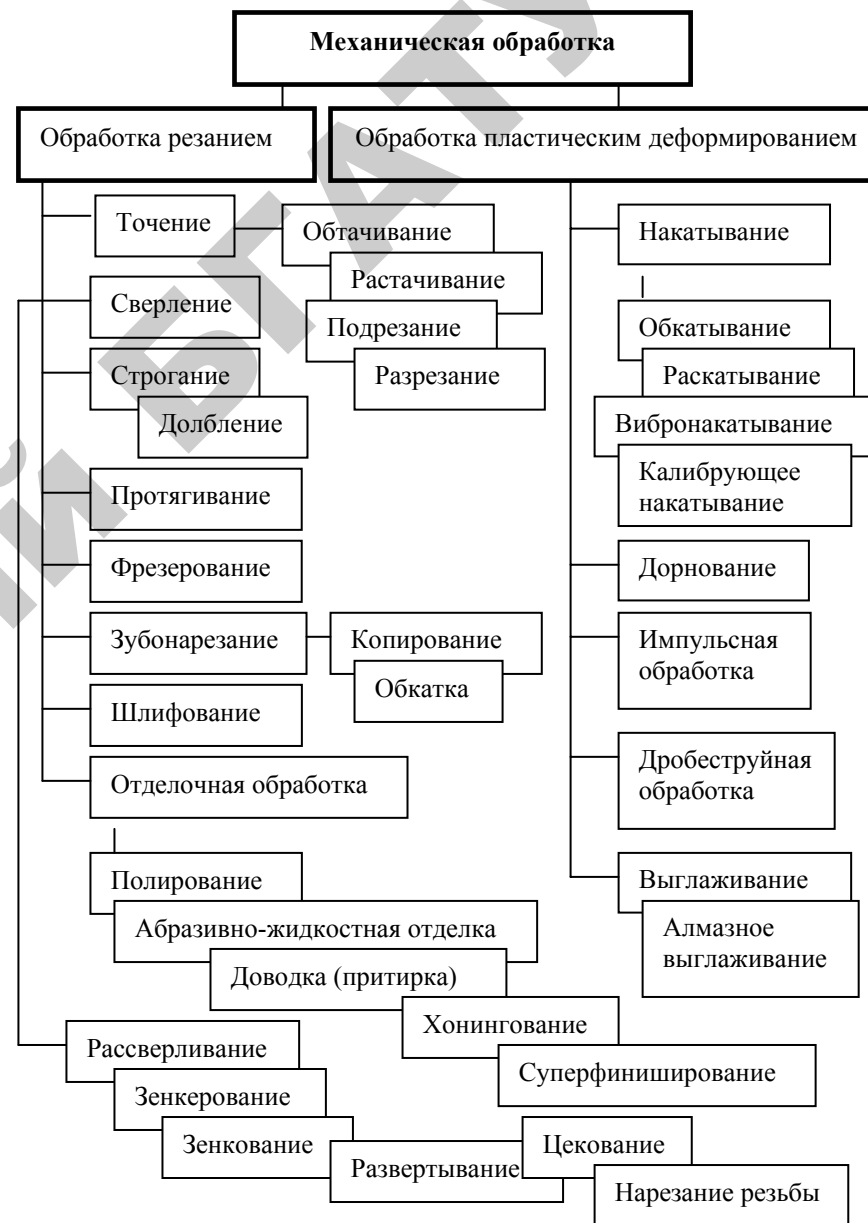


Рис. 1.16. Разновидности технологий механической обработки

- токарно-карусельные – станки для обработки крупных заготовок с малой высотой и большим диаметром;
- копировально-токарные – станки для обработки криволинейных поверхностей по копиру;
- лоботокарные – с горизонтальным расположением шпинделя для изготовления деталей большого диаметра и малой длины;
- другие типы станков.

**Сверление** – формирование сквозного или глухого отверстия в заготовке снятием стружки с помощью сверла.

Разновидности сверления:

- *рассверливание* – обработка предварительно полученного отверстия для увеличения его диаметра с помощью сверла большего диаметра;
- *зенкерование* – обработка отверстия для повышения его точности и уменьшения шероховатости его поверхности с помощью многолезвийного режущего инструмента – зенкера;
- *зенкование* – обработка предварительно полученного отверстия для формирования в нем цилиндрического или конического углубления под головки винтов, болтов, заклепок и т. п. с помощью многолезвийного режущего инструмента – зенковки;
- *развертывание* – окончательная обработка цилиндрического или конического отверстия для повышения его точности и уменьшения шероховатости его поверхности с помощью многолезвийного режущего инструмента – развертки;
- *цекование* – обработка торцевой поверхности отверстия для достижения перпендикулярности плоской торцевой поверхности к оси отверстия с помощью режущего инструмента – цековки;
- *нарезание резьбы* – обработка внутренней поверхности цилиндрического отверстия для формирования в нем винтовой канавки с помощью режущего инструмента – метчика.

Сверление производится на станках сверлильно-расточной группы. К ним относятся:

- вертикально-сверлильные – станки с вертикальным расположением оси шпинделя;
- горизонтально-сверлильные – станки с горизонтальным расположением оси шпинделя;

- радиально-сверлильные – станки для обработки отверстий в крупногабаритных деталях со сверлильной головкой (бабкой), расположенной на поворотной поперечине;
- горизонтально-расточные – с горизонтальным расположением оси шпинделя;
- координатно-расточные – станки для обработки отверстий с точными линейными и угловыми координатами, для разметки и контроля высокоточных заготовок и деталей;
- алмазно-расточные – для тонкого отделочного растачивания отверстий алмазными или твердосплавными резцами при высоких скоростях резания, малых подачах и глубинах резания;
- другие типы станков.

**Строгание** – обработка резанием плоских и фасонных поверхностей с прямолинейными образующими при возвратно-поступательном движении заготовки или режущего инструмента и прямолинейном периодическом движении подачи в направлении, перпендикулярном движению заготовки или режущего инструмента.

Разновидностью строгания является долбление – обработка резанием при вертикальном возвратно-поступательном движении режущего инструмента и прямолинейном периодическом движении подачи.

**Протягивание** – обработка резанием внутренних и наружных поверхностей с прямолинейными образующими для повышения точности формы и размеров поверхности с помощью многолезвийного режущего инструмента (протяжки), совершающего прямолинейное движение относительно неподвижной заготовки (при протягивании отсутствует движение подачи, а снятие слоя металла обеспечивается тем, что размер каждого последующего зуба протяжки больше предыдущего).

Строгание и протягивание производятся на станках строгально-протяжной группы. К ним относятся:

- продольно-строгальные – главное движение совершает заготовка, а периодическое движение подачи – инструмент;
- поперечно-строгальные – главное движение совершает инструмент, а периодическое движение подачи – заготовка;
- кромкострогальные – станки для обработки прямолинейных кромок заготовок;

- долбежные – станки для долбления с вертикально расположенным ползуном;
- горизонтально-протяжные – станки для внутреннего протягивания, с горизонтальным перемещением инструментов – протяжек;
- вертикально-протяжные – станки для обработки наружных поверхностей различных профилей, с возвратно-поступательным вертикальным перемещением инструментов – протяжек;
- карусельно-протяжные – станки для протягивания поверхностей, очерченных радиусом круга;
- другие типы станков.

**Фрезерование** – обработка резанием поверхностей, при которой многолезвийный режущий инструмент – фреза совершает вращательное движение, а заготовка – поступательное.

Фрезерование производится на станках фрезерной группы. К ним относятся:

- вертикально-фрезерные – с вертикальным расположением оси шпинделя;
- горизонтально-фрезерные – с горизонтальным расположением оси шпинделя;
- продольно-фрезерные – станки для обработки поверхностей на крупных и длинномерных заготовках
- копировально-фрезерные – станки для обработки криволинейных поверхностей по копиру;
- бесконсольные вертикально-фрезерные – станки с крестообразными направляющими стола, не имеющего вертикальной подачи;
- барабанно-фрезерные – с установкой заготовок на гранях вращающегося барабана для одновременной обработки двух торцовых поверхностей, а также фрезерования пазов;
- карусельно-фрезерные – станки для обработки плоских элементов заготовок непрерывным фрезерованием;
- шлицефрезерные – станки для обработки шлицевых поверхностей по методу обкатки червячной фрезой;
- гравировальные – станки с приспособлением для гравирования;
- другие типы станков.

**Резьбонарезание** – обработка резанием поверхностей тел вращения для профилирования резьбы; производится на станках следующих типов:

- токарно-винторезные – с задней бабкой, ходовым винтом и ходовым валом; для точения, растачивания, нарезания резьбы преимущественно на деталях типа тел вращения;
- резьботокарные – станки без ходового вала; для нарезания резьбы резьбовыми резцами и гребенками;
- резьбофрезерные – станки для нарезания длинной резьбы дисковой фрезой или короткой резьбы гребенкой;
- болтонарезные – станки для нарезания резьбы на болтах, винтах, шпильках;
- гайконарезные – станки для нарезания резьбы на гайках;
- другие типы станков.

**Зубонарезание** – обработка резанием фасонных поверхностей для профилирования зубьев.

Разновидности зубонарезания:

- *копирование* – нарезание зубчатых колес режущим инструментом – дисковой или торцовой модульной фрезой, профиль режущей части которого соответствует профилю впадины зуба нарезаемого колеса
- *обкатка (огибание)* – нарезание зубчатых колес режущим инструментом – червячной модульной фрезой, зубонарезным долбяком или зубострогальным резцом, который находится в зацеплении с нарезаемым колесом и профиль режущей части которого соответствует профилю зуба сопряженной рейки или сопряженного колеса

Зубонарезание производится на зубообрабатывающих станках. К ним относятся:

- зубодолбежные – станки с ползуном, имеющим возвратно-поступательное и вращательное движение, согласованное с круговой подачей заготовки, для нарезания зубчатых колес с прямыми и винтовыми зубьями;
- зубофрезерные – станки для нарезания фрезами прямозубых и косозубых цилиндрических зубчатых колес наружного зацепления, а также червячных колес;
- рейкофрезерные – станки для нарезания зубьев реек фрезами;

- зубострогальные – станки для нарезания зубьев прямозубых конических зубчатых колес специальными резцами;
- зубопротяжные – станки для нарезания цилиндрических зубчатых колес наружного зацепления вращающейся дисковой протяжкой;
- зубонакатные – станки для накатывания зубьев методом пластического деформирования с целью формообразования и упрочнения;
- зубозакругляющие – станки для закругления торцов зубьев специальными фрезами;
- зубошлифовальные – станки для обработки рабочих поверхностей зубьев абразивным кругом;
- зубопритирочные – станки для обработки цилиндрических колес в процессе зацепления их с вращающимися зубчатыми колесами-притирами (с применением специальной пасты);
- зубошевинговальные – станки для окончательной обработки предварительно нарезанных цилиндрических или конических зубчатых колес специальным инструментом – шевером;
- другие типы станков.

**Шлифование** – чистовая или отделочная обработка резанием (в сочетании с пластическим деформированием) поверхностей с помощью абразивного инструмента.

**Отделочная обработка** осуществляется для уменьшения шероховатости предварительно обработанных поверхностей.

Разновидности отделочной обработки резанием:

- *полирование* – отделочная обработка резанием (в сочетании с пластическим деформированием и химической обработкой) поверхностей до получения зеркального блеска, осуществляемая с помощью мелкозернистых абразивных материалов или полировальных паст, наносимых на быстровращающиеся эластичные круги или быстроколеблющиеся эластичные щетки, а также с помощью быстродвижущихся бесконечных абразивных лент;
- *абразивно-жидкостная отделка* – отделочная обработка резанием фасонных поверхностей с помощью мелкозернистых абразивных порошков, взвешенных в жидкости;
- *доводка (притирка)* – отделочная обработка резанием (в сочетании с пластическим деформированием и химической обработкой) поверхностей для получения зеркального блеска и улучшения кон-

такта сопрягающихся поверхностей, осуществляемая с помощью мелкозернистых абразивных порошков со связующей жидкостью или притирочных паст, наносимых на притиры;

- *хонингование* – отделочная обработка резанием поверхностей отверстий с помощью мелкозернистых абразивных брусков, совершающих вращательное движение;
- *суперфиниширование* – отделочная обработка резанием поверхностей с помощью мелкозернистых абразивных брусков, совершающих колебательное движение.

Шлифование и отделочная обработка производятся на шлифовальных и отделочных станках. К ним относятся:

- плоскошлифовальные – станки для плоского шлифования периферией или торцом шлифовального круга;
- круглошлифовальные – станки для обработки наружных цилиндрических, конических, фасонных и плоских (торцовых) поверхностей заготовок, установленных на центрах или закрепленных в патроне;
- внутришлифовальные – станки для внутреннего шлифования поверхностей;
- обдирочные шлифовальные – станки для предварительной (черновой) обработки заготовок;
- шлицешлифовальные – станки для чистовой обработки шлицевых поверхностей абразивными кругами;
- заточные – станки для заточки;
- притирочные (доводочные) – станки для доводки поверхностей деталей;
- полировальные – станки для полирования поверхностей деталей;
- бесцентрово-шлифовальные – станки для наружного и внутреннего шлифования, когда обрабатываемая деталь, расположенная между шлифовальными кругами с перекрещивающимися осями, вращается за счет сил трения и перемещается за счет осевой составляющей силы резания;
- отделочные – станки для заключительной (финишной) обработки заготовок;
- хонинговальные – станки для отделочной обработки отверстий инструментом – хонем, имеющим, помимо вращательного движения, возвратно-поступательное движение вдоль своей оси;

- шевинговальные – станки для отделочной обработки отверстий инструментом – шевером;
- другие типы станков.

**Обработка пластическим деформированием** – отделочная и упрочняющая обработка поверхностей. Она заключается в воздействии на поверхность твердым деформирующим инструментом, в результате чего сминаются выступающие части рельефа, приводящие к уменьшению шероховатости, а также происходят структурные превращения и развиваются остаточные напряжения сжатия в приповерхностном слое металла, что приводит к упрочнению поверхности.

Основными видами обработки пластическим деформированием являются накатывание, дорнование, импульсная обработка, дробеструйная обработка, выглаживание.

**Накатывание** – обработка пластическим деформированием поверхностей с помощью ротационного (роликового или шарикового) инструмента.

Разновидности накатывания:

- *обкатывание* – обработка наружных поверхностей;
- *раскатывание* – обработка внутренних поверхностей;
- *вибронакатывание* – накатывание с помощью ротационного инструмента, совершающего вибрации и, тем самым, оставляющего на обрабатываемой поверхности синусоидальный след, что обеспечивает повышение износостойкости;
- *калибрующее накатывание* – обработка накатыванием, обеспечивающая повышение точности формы и размеров деталей.

**Дорнование** – обработка пластическим деформированием поверхностей отверстий с помощью дорна, протягиваемого (проталкиваемого) через отверстие.

**Импульсная обработка** – обработка пластическим деформированием поверхностей с помощью инструментов ударного действия (кулачково-ударного, центробежно-ударного или ультразвукового).

**Дробеструйная обработка** – обработка пластическим деформированием поверхностей под действием ударов дроби.

**Выглаживание** – обработка пластическим деформированием поверхностей за счет скольжения деформирующего инструмента по обрабатываемой поверхности.

Разновидностью данного вида обработки является *алмазное выглаживание* – выглаживание неровностей поверхности скользящим по ней алмазным инструментом.

### 1.4.3. Технологии сборки машин

По конструктивной сложности сборочных единиц сборка подразделяется на следующие виды:

- **общая сборка**, объектом которой является изделие в целом (рис. 1.17),
- **узловая сборка**, объектом которой являются сборочные единицы (узлы), входящие в изделие в качестве составных частей (рис. 1.18).

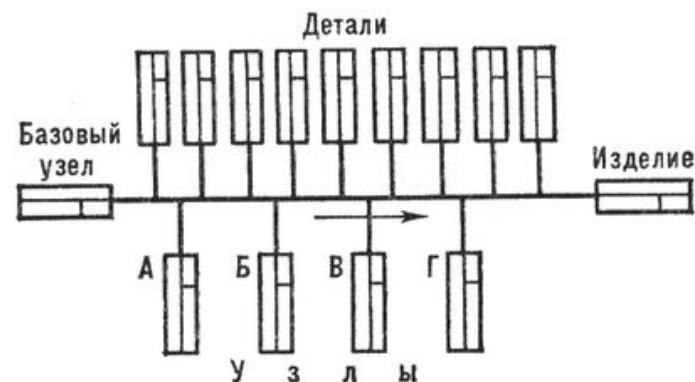


Рис. 1.17. Технологическая схема общей сборки машин

По стадиям процесса различают следующие виды сборки:

- **предварительная сборка** – сборка заготовок, составных частей или изделия в целом, которые в последующем подлежат разборке; выполняется с целью проверки точности размеров соединяемых деталей или сборочных единиц;
- **промежуточная сборка** – сборка заготовок для их дальнейшей совместной обработки;



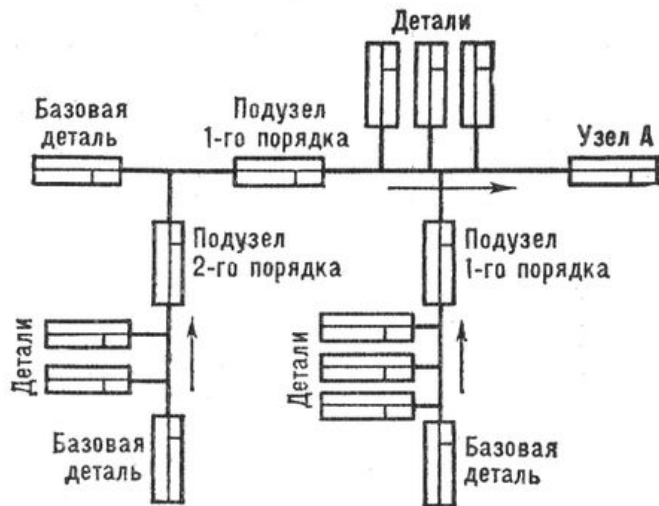


Рис. 1.18. Технологическая схема узловой сборки машин

- **сборка под сварку** – сборка заготовок для их последующего соединения сваркой;

- **окончательная сборка** – сборка изделия или его составных частей, после которой не предусмотрена последующая разборка.

По типу соединений различают следующие виды сборки:

- **сборка посредством разъемных соединений**, когда последующая разборка выполняется без нарушения целостности составных частей изделия или его функциональных свойств;

- **сборка посредством неразъемных соединений**, когда последующая разборка выполняется с нарушением целостности составных частей изделия или его функциональных свойств;

- **сборка посредством подвижных соединений**, когда имеется возможность относительного перемещения составных частей изделия;

- **сборка посредством неподвижных соединений**, когда отсутствует возможность относительного перемещения составных частей изделия.

С учетом особенностей метода образования соединений сборка подразделяется на следующие виды:

- **слесарная сборка** – сборка изделия или его составных частей, выполняемая с помощью слесарно-сборочных операций;

- **монтаж** – установка изделия или его составных частей на месте использования;

- **электромонтаж** – монтаж электроизделий или их составных частей, имеющих токоведущие части.

Кроме того, принято обозначать различные виды сборки по названию процесса соединения составных частей изделия (например, сборку посредством сварки именуют сваркой, посредством пайки – пайкой и т. д.).

Сборка изделия в целом или его отдельного узла начинается с установки базовой детали на стенд или рабочее место. К базовой детали в соответствии с установленным порядком сборки последовательно присоединяют остальные детали.

Различают следующие организационные формы сборки:

- **стационарная (стендовая) сборка**, когда собираемые детали и узлы подаются на один сборочный пост (стенд);

- **подвижная сборка**, когда собираемые детали и узлы последовательно перемещаются по разным постам, каждый из которых оснащен специальным оборудованием и инструментом, необходимым для выполнения определенных сборочных работ.

## 1.5. ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

### 1.5.1. Техническое нормирование

**Техническое нормирование** – установление технически обоснованных норм (технических норм) расхода производственных ресурсов (энергии, сырья, материалов, инструмента, рабочего времени и т. д.).

При проектировании технологических процессов важно установить технические нормы времени для каждой технологической операции.

**Техническая норма времени** – регламентированное время, необходимое для выполнения определенной операции, которое устанавливается расчетным путем для наиболее благоприятных условий данного производства при рациональном использовании труда рабочих и технологического оборудования с учетом передового производственного опыта.

Техническая норма времени на выполнение операции, связанной с изготовлением одного изделия  $T$  (обработкой одной заготовки или сборкой одной сборочной единицы), определяется как **норма штучного времени или штучное время**  $\tau_{шт}$  ( $T \equiv \tau_{шт}$ ), которое рассчитывается по формуле:

$$\tau_{шт} = \tau_{осн} + \tau_{в} + \tau_{орг} + \tau_{т} + \tau_{п}, \quad (1.16)$$

где:  $\tau_{осн}$  – **основное (технологическое) время**, затрачиваемое непосредственно на изготовление изделия (изменение формы, размеров и качества поверхности заготовки в случае механической обработки или изменение взаимного положения деталей и их соединение в случае сборки);

$\tau_{в}$  – **вспомогательное время**, затрачиваемое на вспомогательные действия рабочего, непосредственно связанные с основной работой (установка, закрепление и снятие обрабатываемой заготовки, пуск и остановка станка, измерения, изменение режимов работы и т. п.);

$\tau_{орг}$  – **время организационного обслуживания рабочего места**, затрачиваемое на уход за рабочим местом в течение смены (раскладка и уборка инструмента; осмотр, очистка и смазка оборудования и т. п.);

$\tau_{т}$  – **время технического обслуживания рабочего места**, затрачиваемое на уход за рабочим местом в процессе выполнения работы (подналадка станка; смена, правка, заточка инструмента; удаление стружки во время работы и т. п.);

$\tau_{п}$  – **время перерывов в работе**, включая перерывы па отдых (если он предусмотрен условиями работы) и личные физиологические потребности.

В структуре штучного времени доминирующим является основное (технологическое) время, для расчета которого применительно к конкретным видам обработки используются различные формулы, имеющиеся в справочной технической литературе. В частности, при механической обработке на станках основное время определяется по формуле

$$\tau_{осн} = \frac{Li}{s_M} = \frac{(l + l_{вп} + l_{неп})i}{ns_o}, \quad (1.17)$$

где  $L$  – расчетная длина обработки (длина перемещения заготовки или инструмента в направлении подачи), мм;

$l$  – длина обрабатываемой поверхности, мм;

$l_{вп}$  – длина врезания инструмента, мм;

$l_{неп}$  – длина перебега (схода) инструмента в направлении подачи, мм;  $i$  – число проходов;

$s_M = ns_o$  – величина относительного перемещения заготовки или инструмента в направлении подачи в одну минуту, мм/мин, где  $n$  – частота вращения (шпинделя, фрезы и т.п.);  $s_o$  – подача на один оборот (заготовки, фрезы и т. п.) (рис. 1.19).

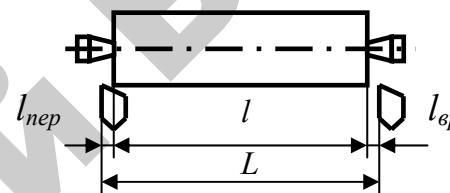


Рис. 1.19. Длина обработки (рабочего хода инструмента)

Если обработке подвергается не одна заготовка, а партия заготовок, то дополнительно рассчитывается подготовительно-заключительное время  $\tau_{п.з.}$ , затрачиваемое рабочим на подготовку к обработке партии заготовок (ознакомление с работой, получение

материалов, получение и установка инструментов и приспособлений, наладка станка и т. п.), а также на выполнение действий, связанных с окончанием обработки партии заготовок (съем со станка и возврат инструментов и приспособлений, сдача обработанных заготовок). При этом техническая норма времени на операцию, связанную с обработкой партии заготовок, с учетом подготовительно-заключительного времени, определяется по формуле:

$$T_{п} = \tau_{шт} N_{парм} + \tau_{п.з.}, \quad (1.18)$$

где  $N_{парм}$  – число заготовок в партии.

При нормировании времени операций, связанных с обработкой партии заготовок, устанавливается штучно-калькуляционное время, необходимое для обработки одной заготовки. Оно определяется по формуле:

$$\tau_{шт.к.} = \frac{T_{п}}{N_{парм}} = \tau_{шт} + \frac{\tau_{п.з.}}{N_{парм}}. \quad (1.19)$$

При этом для каждой операции устанавливается и норма выработки – регламентированное количество изделий, которое должно быть обработано или изготовлено в единицу времени (минуту, час, смену). Норма выработки – величина, обратная норме времени.

Норма выработки за смену рассчитывается по формуле:

$$H_g = \frac{T_{см}}{\tau_{ум}}, \quad (1.20)$$

где  $T_{см}$  – продолжительность рабочей смены.

Техническая норма времени используется для оценки важнейших показателей эффективности производства – производительности труда и себестоимости.

### 1.5.2. Показатели эффективности

К показателям эффективности машиностроительного производства относятся производительность, себестоимость, трудоемкость, а также коэффициенты основного времени, использования материала и загрузки оборудования.

**Производительность** определяется количеством изделий, произведенных в единицу времени, и рассчитывается по формулам (1.21)...(1.23).

В натуральном выражении производительность определяется по формуле:

$$П = \frac{\sum_{i=1}^k N_i}{F} \quad \text{или} \quad П_n = \frac{\sum_{i=1}^k N_i}{Fn}, \quad (1.21)$$

где  $N_i$  – количество изделий  $i$ -го наименования, изготовленных за год предприятием (цехом, участком);

$F$  – годовой фонд времени, ч;

$k$  – число наименований изделий;

$n$  – число работающих на предприятии (в цехе, участке).

В денежном выражении производительность определяется:

а) всей продукции – по формуле:

$$П = \frac{\sum_{i=1}^k N_i C_i}{F} \quad \text{или} \quad П_n = \frac{\sum_{i=1}^k N_i C_i}{Fn}, \quad (1.22)$$

б) нормативно чистой продукции – по формуле:

$$П = \frac{\sum_{i=1}^k N_i (C_i - C_{Pi})}{F} \quad \text{или} \quad П_n = \frac{\sum_{i=1}^k N_i (C_i - C_{Pi})}{Fn}, \quad (1.23)$$

где  $C_i$  – цена продаваемых изделий  $i$ -го наименования,

$C_{Pi}$  – цена покупных деталей и материалов на изделие  $i$ -го наименования.

Производительность зависит от уровней технологической оснащенности производства и организации производственной деятельности, квалификации работников и их заинтересованности (материальной и моральной) в результатах труда.

Для оценки эффективности технологического процесса используется технологическая производительность, которая зависит только от уровня технологической оснащенности производства (функциональных характеристик технологического оборудования, уровня автоматизации и т. п.).

Технологическая производительность рассчитывается по формуле:

$$П_T = \frac{\Phi_D \cdot 60}{t_g}, \quad (1.24)$$

где  $\Phi_D$  – действительный (рабочий) годовой фонд времени, ч;

$t_g$  – такт выпуска изделий, определяемый штучно-калькуляционным временем наиболее трудоемкой операции технологического процесса.

Такт выпуска изделий определяется по формуле:

$$t_g = \frac{\tau_{ум.к.макс}}{K}, \quad (1.25)$$

где  $K$  – количество рабочих мест в производстве изделия на самой трудоемкой операции.

Себестоимость определяется затратами в денежном выражении на материалы, средства производства и заработную плату, связанные с изготовлением изделий.

Для оценки эффективности технологического процесса используется технологическая себестоимость, которая включает в себя только затраты, связанные с выполнением технологического процесса.

Технологическая себестоимость рассчитывается по формуле:

$$C_T = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ст.ч.i} + C_{осн.i} + C_{тр.ч.i}) T_{ум.к.i}}{60}, \quad (1.26)$$

где  $C_{ст.ч.i}$  – стоимость одного станко-часа на  $i$ -й операции,

$C_{осн.i}$  – стоимость одного использования технологической оснастки на  $i$ -й операции,

$C_{тр.ч.i}$  – тарифная ставка работы рабочего на  $i$ -й операции,

$T_{ум.к.i}$  – штучно-калькуляционное время, затрачиваемое на  $i$ -ю операцию, мин.

Трудоёмкость технологического процесса обработки определяется по формуле

$$T_{мно} = \sum_{i=1}^n t_i, \quad (1.27)$$

где  $t_i$  – трудоёмкость  $i$ -ой операции обработки,  $n$  – число операций.

При поточном производстве трудоёмкость технологического процесса обработки определяется по формуле:

$$T_{мно} = t_n n, \quad (1.28)$$

где  $t_i$  – такт выпуска.

Коэффициент основного времени

$$K_{ос} = \tau_o / \tau_{ум}, \quad (1.29)$$

где  $\tau_o$  – основное (машинное) время;

$\tau_{ум}$  – штучное время.

Коэффициент использования материала

$$K_{ум} = M_D / M_3, \quad (1.30)$$

где  $M_D$  и  $M_3$  – масса соответственно готовой детали и заготовки (для массового производства  $K_{ум} = 0,85$ , для серийного производства  $K_{ум} = 0,7$ );

Коэффициент загрузки оборудования

$$K_{зо} = C_p / C_\phi, \quad (1.31)$$

где  $C_p$  и  $C_\phi$  – число станков соответственно расчетное и фактическое (для массового производства  $K_{зо} = 0,85 \dots 0,9$ , для серийного производства  $K_{зо} = 0,6 \dots 0,7$ ).

## 1.6. ОХРАНА ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ

### 1.6.1. Опасные и вредные производственные факторы

При выполнении технологических процессов в цехах механической обработки и сборки могут иметь место различные производственные факторы, оказывающие опасное и вредное воздействие на работников.

#### Опасные и вредные факторы механической обработки:

- физические факторы (движущиеся машины и механизмы, изделия, заготовки, материалы и инструмент; острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования; аэрозоли фиброгенного действия (пыли); неудовлетворительный микроклимат рабочей зоны; повышенная температура поверхностей оборудования, режущего инструмента, обрабатываемых деталей; опасный уровень напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; повышенные уровни шумов и вибраций на рабочем месте; пожаро- и взрывоопасность);
- химические факторы общетоксического, раздражающего, канцерогенного воздействия на организм работника;
- факторы трудового процесса (тяжесть и напряженность труда, а также его монотонность).

Кроме того, ряд специфических опасных и вредных факторов может иметь место при работе на металлообрабатывающих станках

различных типов. Так, при работе на станках токарной, сверлильной, фрезерной групп опасное и вредное воздействие могут оказывать мелкая стружка и аэрозоли смазочно-охлаждающей жидкости; отлетающие кусочки металла обрабатываемых деталей. Работа на шлифовальных станках, кроме того, может характеризоваться наличием абразивной пыли и отлетающих кусочков абразивного материала.

Следует отметить, что механическая обработка металлов часто сочетается с термической обработкой, при которой возможен повышенный уровень электромагнитного излучения (ультрафиолетового, видимого, инфракрасного, лазерного, микроволнового, радиочастотного); повышенная напряженность магнитного поля.

### **Опасные и вредные факторы сборки**

При выполнении сборочных работ (как и при механической обработке) могут иметь место следующие опасные и вредные факторы: движущиеся машины и механизмы, детали и узлы, материалы, инструмент; острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях деталей, инструмента и оборудования; повышенная запыленность и загазованность помещений; воздействие электрического тока; повышенные уровни шума и вибраций; пожаро- и взрывоопасность, в частности, при работе с клеями, герметиками, лакокрасочными материалами и др.

Особенно опасными и вредными являются работы по сборке с применением сварки, которые характеризуются наличием комплекса таких производственных факторов, как сварочная пыль и газы, интенсивное световое излучение, высокая температура, воздействие электрического тока и электрической дуги.

### **Ограничение влияния опасных и вредных производственных факторов**

При проведении работ, сопровождающихся воздействием на людей опасных и вредных производственных факторов, необходимо принимать меры по ограничению влияния этих факторов на работников. На предприятии должен быть составлен перечень профессий и работ, к которым предъявляются дополнительные требования по безопасности труда, а также перечень работ повышенной опасности, на проведение которых оформляется наряд-допуск.

Рациональная организация труда, как условие поддержания длительной работоспособности работников, должна сопровождаться созданием оптимальных санитарно-гигиенических, физиологических, психологических условий труда на каждом рабочем месте. К числу организационных мер предупреждения утомляемости работающих относятся ритмичность труда, сменный характер труда, совмещение профессий, смена выполняемых работ, паузы и перерывы в работе, использование комнат отдыха, психологической разгрузки и т. д.

Особое внимание следует уделять вопросам охраны труда при работе на технологическом оборудовании. Применяемое на предприятии производственное оборудование должно соответствовать требованиям стандартов безопасности труда, быть безопасным при монтаже и эксплуатации (как отдельно, так и в составе комплексов и технологических систем), а также при ремонте, демонтаже, транспортировании и хранении.

Безопасность производственного оборудования должна обеспечиваться выбором принципов действия, конструктивных схем и элементов конструкций; применением средств механизации, автоматизации, дистанционного управления, а также средств защиты; выполнением эргономических требований; включением требований безопасности в техническую документацию на монтаж, эксплуатацию, ремонт, транспортирование и хранение оборудования.

Производственное оборудование при эксплуатации не должно загрязнять окружающую среду выбросами вредных веществ выше установленных норм. Оно должно быть пожаро- и взрывобезопасным. Оборудование (в установленных для него режимах и условиях эксплуатации) не должно создавать опасности для здоровья и жизни работников при воздействии влажности, солнечной радиации, механических колебаний, изменений атмосферного давления, температуры и т. д.

Технологические процессы следует выполнять только на том оборудовании, которое указано в технологической документации, и по технологическим режимам в пределах допустимых параметров оборудования без его перегрузок.

Оборудование, работающее с выделением паров, пыли, аэрозолей, газов, следует располагать в отдельных изолированных и хорошо вентилируемых помещениях.

Электрооборудование должны соответствовать установленным правилам устройства и эксплуатации электроустановок.

Оборудование, при работе которого создается шум, превышающий предельно допустимые нормы, должно быть оборудовано устройствами подавления шума или снижения его до уровня соответствующих санитарных норм.

Конструкция оборудования, имеющего газо-, паро-, пневмо-, гидро- и другие системы, должна быть выполнена в соответствии с требованиями безопасности для этих систем.

Движущиеся части оборудования, если они являются источниками опасности, должны быть ограждены, за исключением частей, ограждение которых невозможно по их функциональному назначению. Элементы производственного оборудования не должны иметь травмоопасных углов, острых кромок, неровных поверхностей и т. д.

Смазка оборудования должна производиться в соответствии с эксплуатационной документацией и инструкциями завода-изготовителя. Система смазки должна иметь устройства (щитки, сборники, коробки, противни, поддоны и т. п.), предупреждающие разбрызгивание и разливание масел.

Для ухода за оборудованием должны выдаваться в достаточном количестве обтирочные материалы, проверенные на отсутствие стружки, проволоки и других предметов, могущих вызвать порезы и уколы рук работающего.

При транспортировке и складировании сырья и материалов должны применяться способы, которые максимально устраняют ручные операции, опасность получения травм, физические перенапряжения работников, а также их непосредственный контакт с вредными веществами, загрязнение воздушной среды рабочей зоны и территории предприятия.

Поступающие на предприятие материалы, заготовки и полуфабрикаты должны не оказывать вредного воздействия на работающих, сопровождаться сертификатами и паспортами поставщиков, а опасные и вредные вещества – также токсикологической характеристикой.

### **1.6.2. Учет требований охраны труда при проектировании и организации технологических процессов**

При проектировании и организации технологических процессов следует обеспечивать выполнение требований охраны труда и при необходимости вносить коррективы в структуру и характер технологических процессов с учетом наличия опасных и вредных производственных факторов.

### **Общие требования к технологическим процессам**

При проектировании и организации технологических процессов следует предусматривать:

- устранение непосредственного контакта работников с оказывающими на них вредное воздействие исходными материалами, заготовками, полуфабрикатами, готовой продукцией и отходами производства, а также своевременное их удаление и обезвреживание;
- замену технологических процессов и операций, связанных с возникновением опасных и вредных производственных факторов процессами и операциями, при которых эти факторы отсутствуют или имеют меньшую интенсивность;
- комплексную механизацию и автоматизацию, дистанционное управление операциями и процессами при наличии в них опасных и вредных производственных факторов;
- герметизацию оборудования;
- рациональную организацию и безопасные приемы труда, а также организацию отдыха работников;
- систему контроля технологических процессов и управления ими, обеспечивающую защиту работников и аварийное отключение производственного оборудования;
- своевременное получение информации о возникновении опасных ситуаций на отдельных технологических операциях.

Требования безопасности к технологическим процессам должны быть изложены в технологической документации, где должны быть указаны технологическое оборудование, приспособления и инструменты, подъемно-транспортные устройства и способы безопасного ведения работ с ними.

При проектировании и организации технологических процессов необходимо учитывать требования норм технологического проектирования, санитарных норм, нормативных документов по организации труда, нормативных правовых актов по охране труда и других нормативных документов органов контроля и надзора. В частности, следует обеспечивать:

- доведение до минимальных значений выделений вредных веществ в воздух помещений, атмосферу и сточные воды, а также выделений тепла и влаги в производственные помещения;
- минимальные уровни шума, вибрации, ультразвука, электромагнитных волн радиочастот, статического электричества и ионизирующих излучений или их отсутствие;

- снижение физических нагрузок работающих, напряжения их внимания и предупреждение утомления.

Технологические процессы, при которых применяются или образуются вещества повышенной опасности, должны проводиться непрерывным, замкнутым циклом при применении комплексной автоматизации с максимально возможным исключением ручных операций.

Технологические процессы с применением или образованием вредных газов, паров и жидкостей должны исключать их контакты с работниками, что должно достигаться путем:

- организации непрерывных, замкнутых циклов, осуществляемых в герметичной аппаратуре при исключении ручных операций;
- автоматического или дистанционного управления процессами;
- установки укрытий с аспирацией в местах выделения вредных веществ.

Технологические процессы, сопровождающиеся выделением тепла (конвективного, лучистого), следует осуществлять с использованием автоматического или дистанционного управления.

При проектировании и организации технологических процессов, вызывающих вибрацию, необходимо:

- предусматривать возможность замены этих процессов на свободные от вибраций или обеспечивать уровни вибрации в допустимых санитарными нормами пределах;
- применять дистанционное управление, исключающее передачу вибрации на рабочее место;
- обеспечивать виброизоляцию рабочего места;
- ограничивать продолжительность контакта работника с виброопасным оборудованием;
- обеспечивать контроль вибрационных характеристик оборудования;
- создавать благоприятные климатические условия на рабочих местах, оснащенных оборудованием, генерирующим вибрацию.

При работе с виброинструментом масса оборудования, удерживаемая руками работника, не должна превышать 10 кг, а сила нажима – 196 Н.

Технологические процессы, вызывающие шум, должны заменяться процессами, у которых шумовые характеристики соответст-

вуют требованиям санитарных норм. Для этого шумы в источнике их образования следует уменьшать (путем замены ударных процессов безударными, металлических деталей деталями из материалов с большим акустическим сопротивлением, подшипников качения подшипниками скольжения, возвратно-поступательного движения вращательным, ременных передач клиноременными, прямозубых передач косозубыми или шевронными и т. д.).

### **Требования к технологическим процессам термической обработки**

Технологические процессы термической и химико-термической обработки металлов должны предусматривать:

- устранение непосредственного контакта работников с химическими веществами, материалами, деталями и отходами производства, оказывающими на людей вредное воздействие;
- применение комплексной механизации и автоматизации, дистанционного управления (контроля) и регулирования параметров технологических процессов (температуры, давления в рабочем пространстве печи, содержания компонентов в газовой среде и т. д.);
- соблюдение установленной периодичности чистки баков для закалки, а также нагревательных печей.

При термической и химико-термической обработке металлов должны применяться только те химические вещества (кислоты, соли, щелочи и т. п.) и материалы (бензин, керосин, масла и т. п.), на которые имеются нормативные акты.

Применяемые в технологических процессах горючие материалы (жидкости, газы и твердые вещества) должны иметь установленные пожароопасные параметры.

Применение новых видов топлива, нагревательных, охладительных и защитных сред, карбюраторов и других химических веществ допускается только после их согласования с органами санитарно-эпидемиологического надзора.

Для всех термических процессов (где это возможно по условиям технологии) следует исключать пламенный нагрев, заменяя его электрическим. При невозможности этого для нагрева следует использовать газообразное топливо.

Детали, подаваемые на термическую обработку, должны быть чистыми и не иметь следов загрязнений и смазки.

### **Требования к технологическому оборудованию**

Технологическое оборудование должно соответствовать требованиям безопасности в течение всего срока эксплуатации.

Технологическое оборудование должно быть снабжено централизованной системой смазки. Если такая система отсутствует, то заполняемые вручную масленки должны располагаться вне опасных зон, в местах удобных для обслуживания.

Технологическое оборудование, на котором при обработке материалов (например, при абразивной обработке, а также резании чугуна, графита, пластмассы и других неметаллических материалов), образуются пыль, мелкая стружка, вредные для здоровья аэрозоли и газы, концентрация которых в рабочей зоне превышает предельно допустимые нормы, должно оснащаться приемниками пыли, стружки, газов и отсасывающими устройствами (аспирационными установками), обеспечивающими полное удаление из зоны обработки загрязненного воздуха и его очистку.

Электрооборудование должно соответствовать установленным правилам устройства и эксплуатации электроустановок, а применяемые электрические машины, аппараты, приборы и другое электрооборудование, а также напряжение электрических сетей – классификации цехов по электро-, пожаро- и взрывобезопасности.

### **Требования к исходным материалам**

При проектировании и организации технологических процессов необходимо соблюдать следующие правила использования исходных материалов:

- использование новых материалов в производстве допускается только после получения разрешения органов санитарно-эпидемиологического надзора;
- используемые материалы не должны оказывать вредного воздействия на работников;
- при необходимости использования материалов, оказывающих вредное воздействие на организм человека, должна быть разработана соответствующая нормативно-техническая документация и проведены организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические и другие мероприятия, предотвращающие нанесение ущерба здоровью работающих;

- все применяемые вредные вещества должны иметь установленные ПДК в воздухе рабочей зоны;

- при работах с вредными веществами должны использоваться средства защиты работников в соответствии с инструкциями по работе с этими веществами;

- в технологических процессах рекомендуется применять безопасные в пожарном отношении жидкости и материалы (по согласованию с органами пожарного надзора могут применяться горючие жидкости и материалы, которые должны иметь установленные пожароопасные параметры, оговоренные в отраслевой нормативно-технической документации).

### **Требования к перемещению грузов**

При выполнении технологических процессов перемещение грузов (материалов, заготовок, деталей, узлов, машин) массой более 20 кг или на расстояние более 25 м должно производиться подъемно-транспортными устройствами или другими средствами механизации.

В технологических процессах крупносерийного и массового производств должны применяться средства для непрерывного транспортирования грузов (транспортёры, конвейеры, рольганги).

### **Требования к режиму труда**

Для поддержания на протяжении смены работоспособности работников должно быть установлено рациональное чередование периодов труда и отдыха, определяющееся производственными условиями, характером выполняемой работы, ее тяжестью и напряженностью.

Особое внимание должно уделяться организации режима труда при наличии опасных и вредных производственных факторов. В частности, для работников, работающих на машинах, генерирующих вибрацию, режимы труда должны определяться в соответствии с установленными положениями о режиме труда работников виброопасных профессий предприятий и организаций машиностроения. Согласно этим положениям:

- суммарное время работы в контакте с ручными машинами, вызывающими вибрацию в пределах санитарных норм, не должно превышать 2/3 рабочей смены, при этом продолжительность одно-разового непрерывного воздействия вибрации не должна превышать 15...20 мин (с чередованием другими видами работ);



- регламентированные перерывы должны устанавливаться продолжительностью по 20 мин через 1...2 часа после начала смены (для отдыха и специальной производственной гимнастики) и 30 мин через 2 часа после обеденного перерыва (для проведения физиотерапевтических процедур); время регламентированных перерывов включается в норму выработки.

При наличии для работников виброопасных профессий других неблагоприятных факторов (шум, температура, излучение, токсичные вещества и др.), значения которых превышают санитарные нормы, должен устанавливаться режим труда и отдыха с учетом степени неблагоприятного воздействия всего комплекса факторов.

## 1.7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

**Технологическая документация** – комплект текстовых и графических документов, содержащих сведения о технологическом процессе изготовления (или ремонта) изделия. Технологическая документация обеспечивает участников производства информацией, необходимой для выполнения технологического процесса. Типы и формы технологических документов устанавливаются стандартами (в машиностроении стандартами установлена единая система технологической документации – ЕСТД).

К технологическим документам относятся:

1) **маршрутная карта** (МК) – описание технологического процесса по всем его операциям различных видов в их технологической последовательности с указанием данных об оборудовании и оснастке, материальных и трудовых нормативов;

2) **операционная карта** (ОК) – описание технологической операции с указанием переходов, режимов обработки и данных о средствах технологического оснащения;

3) **карта эскизов** (КЭ) – эскизы, схемы и таблицы, необходимые для выполнения технологического процесса, операции или перехода;

4) **технологическая инструкция** (ТИ) – описание технологических процессов, приемов выполнения работ, правил эксплуатации средств технологического оснащения, описание физических и химических явлений, возникающих при отдельных операциях (ТИ используется для сокращения объема разрабатываемой технологической документации);

5) **комплекточная карта** (КК) – данные о деталях, сборочных единицах и материалах, входящих в комплект собираемого изделия;

6) **ведомость оснастки** (ВО) – перечень технологической оснастки, необходимой для выполнения технологического процесса (операции).

В массовом и крупносерийном производстве вместо МК используется **карта технологического процесса** (КТП), которая содержит описание технологического процесса по всем операциям одного вида, выполняемых в технологической последовательности, с указанием данных об оборудовании и оснастке, материальных и трудовых нормативах.

Для типового технологического процесса разрабатываются **карта типового технологического процесса** (КТТП) и **карта типовой операции** (КТО).

Сведения о составе и комплектности технологических документов, необходимых для изготовления (или ремонта) конкретного изделия, вносятся в **ведомость технологических документов** (ВТД).

Маршрутные карты составляют в тех случаях, когда технологические процессы не разрабатывают подробно, а ограничиваются установлением порядка и перечня маршрутных операций (с указанием станков, приспособлений, инструмента и числа рабочих, необходимых для выполнения намеченных операций, а также времени на операции, установленного по аналогии или путем приближенных подсчетов).

Для более подробной разработки технологических процессов в дополнение к маршрутным картам на каждую операцию составляют операционные карты. В них указывается то, как надо выполнять отдельные переходы, с какими режимами, нормы времени и т. д. Кроме того, составляют карты эскизов, в том числе: эскизы (чертежи) технологических наладок по операциям или переходам и позициям, иллюстрирующие положение и крепление детали при обработке, положение, крепление и тип инструмента; применяемое приспособление и обрабатываемую поверхность.

К технологической документации также относятся: рабочие чертежи деталей и сборочные чертежи изделий с указанием технологических размеров, допусков, посадок и значений шероховатости обработки, необходимые для разработки технологических процессов, а также чертежи приспособлений, специального обрабатывающего, вспомогательного (крепежно-зажимного) и измерительного инструмента и т. д.

Составление технологической документации является завершающим этапом проектирования технологического процесса изготовления изделия. В результате составления технологической документации инженерно-технический персонал и рабочие получают необходимые данные и инструкции для реализации разработанного технологического процесса на предприятии, включая сведения о необходимых средствах производства (оборудовании, оснастке и инструменте) для изготовления изделий, их трудоемкости и себестоимости. Все это служит основой для организации снабжения предприятия основными и вспомогательными материалами, календарного планирования, технического контроля, инструментального и транспортного обеспечения, а также для определения производственных площадей, энергетических ресурсов и потребности в рабочей силе.

Для проектирования технологического процесса изготовления изделия необходимо располагать определенной исходной информацией (базовой, руководящей и справочной).

*Базовая информация* включает данные, содержащиеся в конструкторской документации (конструкторских чертежах) и технических условиях на изготовление изделий, а также объем планового задания выпуска изделий и сроки его выполнения.

*Руководящая информация* включает закрепленные стандартами требования к технологическому процессу, оборудованию и оснастке, производственные инструкции, документацию по технике безопасности и производственной санитарии, сведения по выбору технологических нормативов (режимов обработки, припусков, норм расхода материалов) и т. п.

*Справочная информация* состоит из описаний прогрессивных процессов изготовления изделия, каталогов, паспортов, справочников, альбомов компоновок технологического оборудования и оснастки, планировок производственных участков, методик расчета экономической эффективности, технологических классификаторов деталей и операций и проч.

## РАЗДЕЛ 2

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

---

#### 2.1. РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

##### 2.1.1. Разновидности размерных цепей

При конструировании изделий и проектировании технологических процессов их изготовления, а также при выборе методов и средств измерения возникает необходимость проведения размерного анализа, т. е. определения взаимосвязанных размеров изделий и установления допустимых погрешностей определения этих размеров (допусков). Для этого производят построение размерных цепей и их последующий расчет.

*Размерная цепь* – совокупность расположенных по замкнутому контуру размеров, которые определяют взаимное положение поверхностей или осей отдельной детали (или нескольких деталей, находящихся в сборочном соединении), и непосредственно участвуют в решении конструкторских задач, направленных на обеспечение служебного назначения изделий, либо технологических и измерительных задач, направленных на обеспечение точности изготовления изделий. Размерные цепи обозначаются прописными буквами русского алфавита (например, А, Б, В и т. д.).

Размеры, образующие размерную цепь, называют звеньями размерной цепи, одно из которых в данной размерной цепи является замыкающим (исходным), а все остальные – составляющими.

*Замыкающее (исходное) звено* размерной цепи – звено, получающееся последним или первым (исходным) при построении размерной цепи. Замыкающее (исходное) звено отмечается значком  $\Delta$  (например,  $A_{\Delta}$ ). Обычно на конструкторских чертежах деталей размер замыкающего звена не указывается.

**Составляющее звено** размерной цепи – звено, функционально связанное с замыкающим звеном (изменение размеров составляющего звена вызывает соответствующее изменение замыкающего звена).

В зависимости от влияния на замыкающее звено составляющие звенья подразделяются на увеличивающие и уменьшающие.

**Увеличивающее звено** – составляющее звено, при увеличении которого замыкающее звено увеличивается. Увеличивающее звено отмечается стрелкой слева направо над буквой, например,  $\vec{A}$ .

**Уменьшающее звено** – составляющее звено, при увеличении которого замыкающее звено уменьшается. Уменьшающее звено отмечается стрелкой справа налево над буквой, например,  $\bar{A}$ .

По характеру решаемой задачи размерные цепи подразделяются на конструкторские, технологические и измерительные.

Конструкторская размерная цепь определяет расстояние между поверхностями (осями) или угол их относительного поворота в конструируемых изделиях.

Технологическая размерная цепь определяет расстояние между поверхностями (осями) или угол их относительного поворота в изготавливаемых изделиях. При обработке заготовок технологическая размерная цепь связывает размеры обрабатываемой заготовки на разных стадиях технологического процесса обработки и размеры готовой детали. При сборке деталей технологическая размерная цепь связывает размеры собираемых деталей на разных стадиях технологического процесса сборки и размеры готовой сборочной единицы. Технологическая размерная цепь объединяет размерные цепи изготавливаемых изделий, а также размерные цепи технологического оборудования и оснастки, с помощью которых изделия изготавливаются.

Измерительная размерная цепь определяет расстояние между поверхностями (осями) или угол их относительного поворота в изделиях при контроле их размеров.

По месту в изделии размерные цепи подразделяются на детальные и сборочные. Детальная размерная цепь состоит из звеньев, которые принадлежат только одной детали. Сборочная размерная цепь состоит из звеньев, которые принадлежат разным деталям, находящимся в сборочном соединении.

По расположению звеньев размерные цепи подразделяются на линейные, угловые, плоские и пространственные.

Линейная размерная цепь состоит из звеньев, которые представляют собой линейные размеры, расположенные на одной линии или на нескольких параллельных линиях.

Угловая размерная цепь состоит из звеньев, которые представляют собой угловые размеры.

Плоская размерная цепь состоит из звеньев, которые представляют собой линейные размеры, расположенные в одной плоскости или в нескольких параллельных плоскостях.

Пространственная размерная цепь состоит из звеньев, которые представляют собой линейные размеры, расположенные произвольно в пространстве (на непараллельных линиях или в непараллельных плоскостях).

На рисунках 2.1 и 2.2 показаны примеры построения схем простейших линейных размерных цепей.

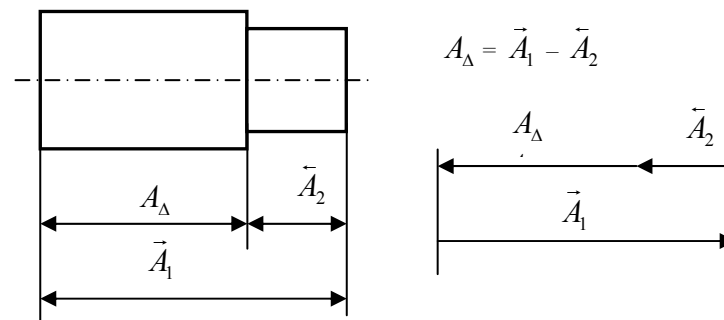


Рис. 2.1. Конструкторская размерная цепь, определяющая расстояние  $A_{\Delta}$  между торцевыми поверхностями детали

### 2.1.2. Методы расчета размерных цепей

Расчет размерных цепей сводится к решению одной из двух задач: прямой (проектной) или обратной (проверочной) задачи.

**Прямая (проектная) задача** предполагает определение параметров составляющих звеньев по заданным параметрам замыкающего звена. Решение прямой задачи сводится к расчету размеров и допусков составляющих звеньев по заданному размеру и допуску замыкающего звена, которое в этом случае является исходным.

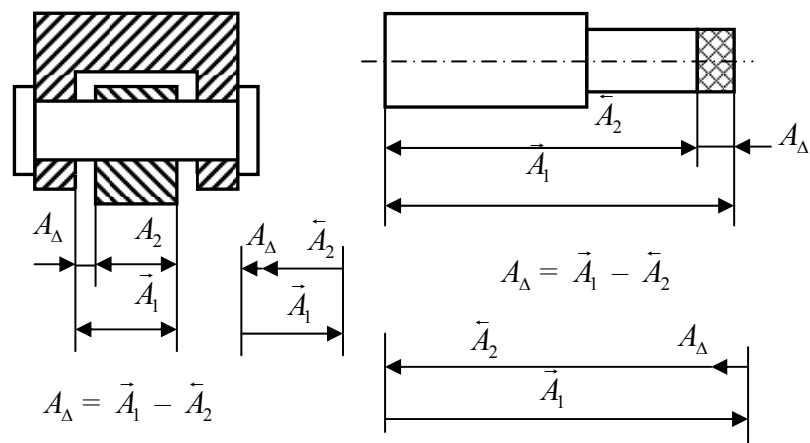


Рис. 2..2. Линейные размерные цепи:

- а – конструкторская размерная цепь определяющая зазор  $A_{\Delta}$  между деталями шарнирного соединения;  
 б – технологическая размерная цепь, определяющая припуск на механическую обработку заготовки  $A_{\Delta}$ ,  
 где  $A_1$  – максимальная длина заготовки,  $A_2$  – минимальная длина заготовки,  $A_{\Delta}$  – припуск

Допуск замыкающего звена размерной цепи устанавливается следующим образом: исходя из служебного назначения (в конструкторской цепи); в соответствии с допуском, который необходимо получить в результате осуществления технологического процесса (в технологической цепи); с учетом требуемой точности измерения (в измерительной цепи).

**Обратная (проверочная) задача** предполагает определение параметров замыкающего звена по заданным параметрам составляющих звеньев. Решение обратной задачи сводится к расчету размера и допуска замыкающего звена по заданным размерам и допускам составляющих звеньев.

В ходе решения обратной задачи определяются также параметры одного из составляющих звеньев по известным параметрам остальных составляющих звеньев и замыкающего звена.

Расчет размерных цепей осуществляют с помощью метода «максимума – минимума» и вероятностного метода.

**Метод «максимума – минимума»** предполагает выполнение расчета размерных цепей с учетом только предельных отклонений составляющих звеньев.

**Вероятностный метод** предполагает выполнение расчета размерных цепей с учетом вероятности различных сочетаний возможных отклонений (в пределах их допуска) составляющих звеньев.

Первоначальной стадией размерного анализа является выявление размерной цепи, которое начинается с нахождения ее замыкающего звена (с учетом поставленной задачи – конструкторской, технологической или измерительной). Затем строится схема размерной цепи, с учетом которой составляется ее уравнение, имеющее в общем случае следующий вид:

$$A_{\Delta} + \xi_1 A_1 + \xi_2 A_2 + \xi_3 A_3 + \dots + \xi_n A_n = 0. \quad (2.1)$$

где  $n$  – общее число составляющих звеньев цепи,  $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_n$  – передаточные соотношения, которые играют роль коэффициентов, характеризующих степень влияния размера составляющих звеньев на размер замыкающего звена (с учетом установленных допусков).

Передаточные соотношения численно равны проекциям составляющих звеньев на направление замыкающего звена, которые берутся со знаком «плюс» (для увеличивающихся звеньев) и со знаком «минус» (для уменьшающихся звеньев). В случае линейных цепей  $\xi = 1$  для увеличивающихся звеньев и  $\xi = -1$  для уменьшающихся звеньев. В случае плоских цепей, характеризующихся наличием непараллельных линейных звеньев, передаточные отношения изменяются в пределах  $0 \leq \xi \leq 1$  (для увеличивающихся звеньев) и  $1 \leq \xi \leq 0$  (для уменьшающихся звеньев).

На рисунке 2.3 показан пример приведения плоской размерной цепи к линейной.

Приведенная цепь включает составляющие звенья  $A_1', A_2', A_3'$ , которые представляют собой проекции звеньев  $A_1, A_2, A_3$  исходной цепи на направление замыкающего звена:

$$A_1' = A_1 \sin \beta, \quad A_2' = A_2 \cos \beta, \quad A_3' = A_3 \sin \beta. \quad (2.2)$$

С учетом соотношений (2.1.2) уравнение размерной цепи (2.1.1) можно записать в виде:

$$A_{\Delta} + \xi_1 A_1 + \xi_2 A_2 + \xi_3 A_3 = 0, \quad (2.3)$$

где  $\xi_1 = \sin \beta$ ,  $\xi_2 = \cos \beta$ ,  $\xi_3 = -\sin \beta$ .

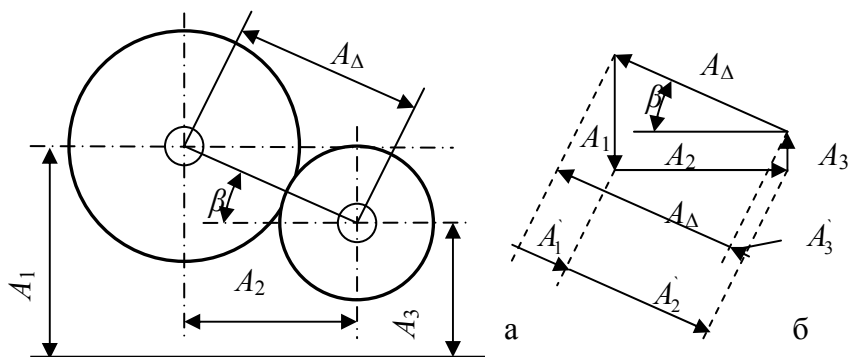


Рис. 2.3. Плоская размерная цепь (а) и ее приведение к линейной цепи (б)

Подобным образом осуществляется приведение пространственной размерной цепи к плоской.

На практике чаще всего встречаются линейные размерные цепи. Из них наиболее простыми являются размерные цепи для диаметральных размеров сопрягаемых поверхностей, состоящих из трех звеньев: диаметр вала, диаметр отверстия и зазор (натяг). Методы расчета таких цепей разработаны наиболее полно.

## 2.2. БАЗИРОВАНИЕ

### 2.2.1. Разновидности баз

**Базирование** – придание заготовке, детали или сборочной единице требуемого положения относительно выбранной системы координат. В машиностроении различают базирование при механической обработке заготовок и базирование при сборке деталей.

**Базирование при механической обработке заготовок** – придание заготовке требуемого положения относительно элементов станка или приспособления, определяющих траектории движения подачи обрабатывающего инструмента.

**Базирование при сборке деталей** – придание детали или сборочной единице требуемого положения относительно других деталей собираемого изделия.

**База** – поверхность или сочетание поверхностей, линия (ось) или точка, принадлежащие изделию и используемые для базирования (рис. 2.4).

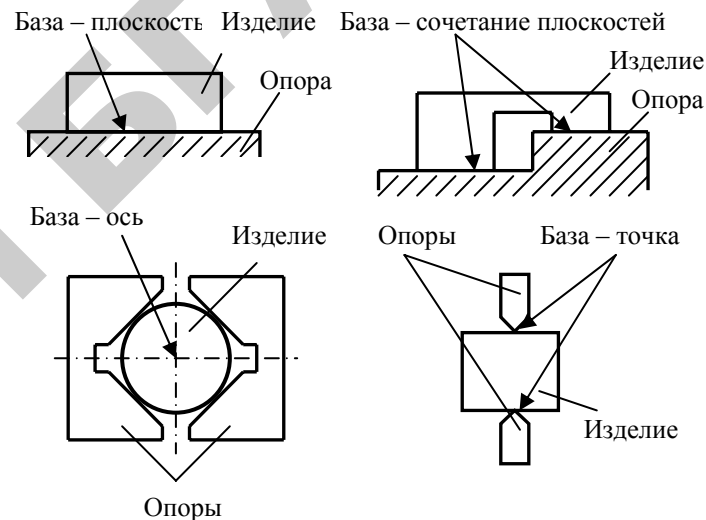


Рис. 2.4. Схематическое пояснение понятия базы

**Опорная точка** – точка жесткого контакта изделия с определенными элементами – опорами станка или приспособления, каждая из которых лишает изделие одной степени свободы.

Для изображения опорных точек на схемах базирования используются следующие символы:

- (на видах спереди и сбоку);
- (на виде сверху).

Любое твердое тело (если его рассматривать в системе трех взаимно перпендикулярных осей) имеет шесть степеней свободы: три перемещения вдоль осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и три перемещения при повороте относительно этих осей (рис. 2.5). Соответственно, положение твердого тела в пространстве определяется шестью координатами или шестью опорными точками (**правило шести точек**).

**Базирующая поверхность** – поверхность изделия, участвующая в базировании по опорным точкам.

Изделие, контактируя своими базами с опорами станка или приспособления, получает требуемое для механической обработки или сборки положение (для его сохранения в процессе обработки или сборки изделие закрепляют).

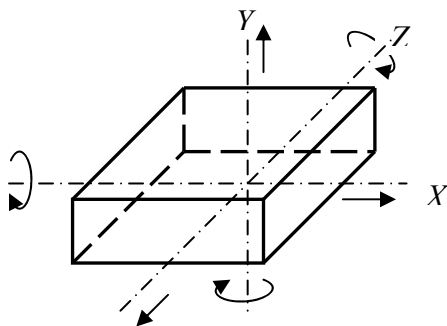


Рис. 2.5. Степени свободы твердого тела в пространстве

**Закрепление при механической обработке** – приложение сил к заготовке для обеспечения ее неподвижности относительно станка или приспособления при действии сил со стороны обрабатывающего инструмента.

**Закрепление при сборке** – приложение сил к присоединяемой детали или сборочной единице для обеспечения ее неподвижности относительно другой детали или сборочной единицы.

**Установка** изделия на станок или в приспособление – совокупность процессов базирования и закрепления заготовки, детали или сборочной единицы.

Опоры, зажимы и установочные устройства, используемые для установки изделий, обозначаются специальными символами (рис. 2.6).

Базы классифицируются (рис.2.7) по следующим признакам:

- по назначению (конструкторская, технологическая, измерительная);
- по числу лишаемых степеней свободы (установочная, направляющая, опорная);
- по характеру проявления (явная, скрытая).

**Конструкторская база** – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии.

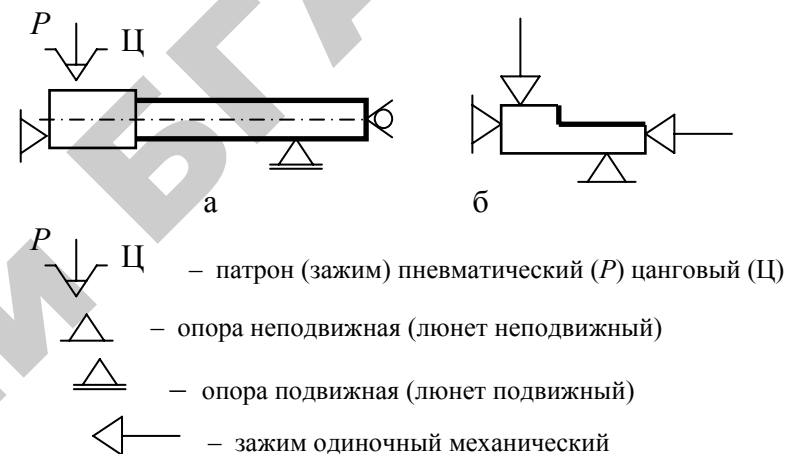


Рис. 2.6. Примеры обозначения опор и зажимов для установки изделий при механической обработке:  
а – схема точения, б – схема фрезерования

Конструкторские базы подразделяются на основные и вспомогательные.

**Основная конструкторская база** – база, принадлежащая детали или сборочной единице и используемая для определения ее положения в изделии.

**Вспомогательная конструкторская база** – база, принадлежащая изделию и используемая для определения положения присоединяемой к нему детали или сборочной единицы.

**Технологическая база** – база, используемая для определения положения изделия в процессе изготовления или ремонта.

Различают технологические базы, используемые при механической обработке и при сборке.



Рис. 2.7. Классификация баз

*Технологическая база, используемая при механической обработке*, – база заготовки, относительно которой ориентируются поверхности заготовки, обрабатываемые на станке.

*Технологическая база, используемая при сборке*, – база детали или сборочной единицы, относительно которой ориентируются другие детали или сборочные единицы изделия.

Технологические базы, используемые при механической обработке, подразделяются на контактные, настроечные и поверочные.

**Контактная технологическая база** – поверхность заготовки, непосредственно соприкасающаяся с соответствующей установочной поверхностью станка или приспособления.

**Настроечная технологическая база** – поверхность заготовки, по отношению к которой ориентируются обрабатываемые поверхности при данном установе и связанная с этими поверхностями непосредственными размерами.

**Поверочная технологическая база** – поверхность, линия или точка заготовки или детали, по отношению к которой производится выверка положения заготовки на станке или установки инструмента при обработке заготовки, а также выверки положения других деталей или сборочных единиц при сборке изделия.

*Измерительная база* – база, используемая для определения относительного положения изделия и средств измерения.

*Установочная база* – поверхность изделия, контактирующая с тремя опорными точками станка или приспособления.

Установочными базами могут быть плоские поверхности, наружные и внутренние цилиндрические поверхности, торцовые поверхности, поверхности центровых гнезд, конические, криволинейные поверхности (например, поверхности зубьев зубчатых колес, резьбы) и т. д.

В качестве установочных баз могут служить обработанные и необработанные поверхности. Необработанные поверхности, принимаемые в качестве баз на начальных операциях обработки, называются черновыми базами. Обработанные поверхности, принимаемые в качестве баз для последующих операций, называются чистовыми базами.

Установочная база может быть основной или вспомогательной.

**Основная установочная база** – поверхность детали, которая служит для установки детали при обработке и сопрягается с другой деталью, совместно работающей в собранном изделии, или оказывает влияние на работу данной детали в собранном изделии. Например, в зубчатом колесе отверстие является основной установочной базой, поскольку поверхность отверстия сопрягается с валом, на который насаживается колесо и, кроме того, при обработке колесо базируется отверстием на оправке. Благодаря этому достигается совпадение оси отверстия с осью наружной цилиндрической поверхности и начальной окружности зубьев колеса, что обеспечивает его правильную работу в собранном узле.

**Вспомогательная установочная база** – поверхность детали, которая служит только для ее установки при обработке, не сопрягается с другой деталью, совместно работающей в собранном изделии, и не оказывает влияния на работу данной детали в собранном изделии. Примером вспомогательных баз являются центровые отверстия валов, используемые только при обработке, поскольку по конструкции они не требуются.

**Направляющая база** – поверхность изделия, контактирующая с двумя опорными точками станка или приспособления.

**Опорная база** – поверхность изделия, контактирующая с одной опорной точкой станка или приспособления.

Для изделий с цилиндрическими поверхностями дополнительно различают двойные направляющие и опорные базы.

**Двойная направляющая база** – цилиндрическая поверхность изделия, контактирующая с четырьмя опорными точками станка или приспособления.

**Двойная опорная база** – цилиндрическая поверхность изделия, контактирующая с двумя опорными точками станка или приспособления.

При базировании призматического изделия (рис. 2.8) установочной базой является поверхность  $A$ , несущая на себе три опорные точки 1, 2 и 3, направляющей базой – поверхность  $B$ , несущая на себе две опорные точки 4 и 5, и опорной базой – поверхность  $C$ , несущая на себе одну опорную точку 6.

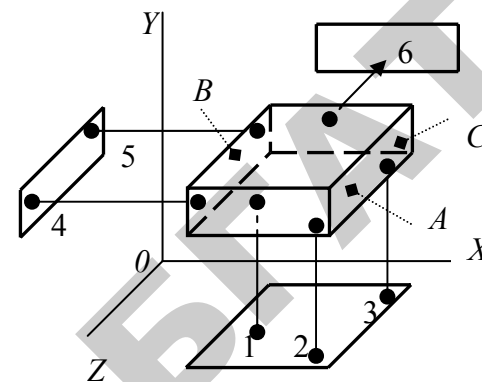


Рис. 2.8. Базирующие поверхности и опорные точки призматического изделия

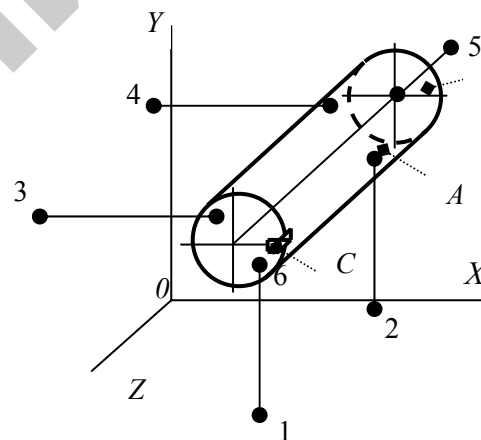


Рис. 2.9. Базирующие поверхности и опорные точки цилиндрического изделия

При базировании цилиндрического изделия (рис. 2.9) необходимо обеспечить два жестких контакта цилиндрической поверхности  $A$  с плоскостью  $XOZ$  и два жестких контакта этой же поверхности с плоскостью  $YOZ$ , т. е. определить четыре опорные точки для лишения изделия, соответственно, четырех степеней свободы, а именно: возможности линейных и угловых перемещений относительно оси  $X$  (опорные точки 1 и 2) и оси  $Y$  (опорные точки 3 и 4). Кроме того, необходимо определить опорную точку, чтобы обеспечить жесткий контакт торца  $B$  с плоскостью  $XOY$  для устранения возможности перемещения изделия вдоль оси  $Z$  (опорная точка 5), а также опорную точку, которая может быть расположена на поверхности шпоночной канавки, для устранения возможности вращения изделия вокруг собственной оси  $Z$  (опорная точка 6). Цилиндрическая поверхность  $A$ , несущая на себе четыре опорных точки, является двойной направляющей базой. Поверхность торца  $B$  и поверхность шпоночной канавки  $C$  являются опорными базами.



При базировании цилиндрического изделия малой длины типа диска (рис. 2.10) цилиндрическая поверхность уже не может нести на себе четыре опорные точки и играть роль двойной направляющей базы. Сравнительно большие размеры торцевой поверхности делают возможным размещение на ней трех опорных точек. В этом случае торцевая поверхность *A* диска, несущая на себе три опорные точки 1, 2 и 3, является установочной базой, цилиндрическая поверхность *B*, несущая на себе две опорные точки 4 и 5, является двойной опорной базой, а поверхность шпоночной канавки *C* играет роль опорной базы, на которой может быть расположена опорная точка 6.

**Явная (материальная) база** – поверхность, линия или точка, которая принадлежит реальному изделию.

**Скрытая (условная) база** – поверхность, линия или точка, которая не принадлежит реальному изделию, а является воображаемой.

Явные базы обычно применяют при базировании заготовок, подлежащих механической обработке, и деталей, подлежащих сборке. Скрытые базы чаще всего применяют при проектировании изделий, что позволяет исключить из расчетов неизбежные погрешности реальных поверхностей, снижающие точность базирования. Иногда скрытые базы также применяют для повышения точности базирования при механической обработке и сборке. В этом случае скрытые базы материализуют различными устройствами (отвесами, коллиматорами, центрирующими устройствами и т. п.), а на схемах базирования показывают расположение опорных точек на поверхностях не только явных, но и скрытых баз.

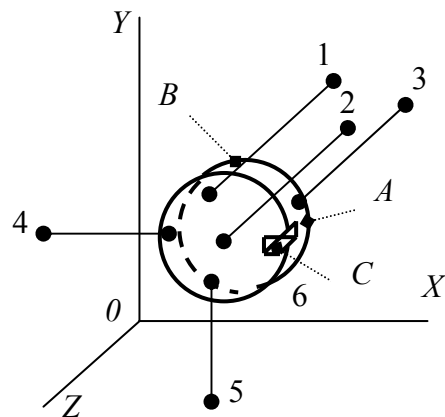


Рис. 2.10. Базирующие поверхности и опорные точки дисковидного изделия

Иногда скрытые базы также применяют для повышения точности базирования при механической обработке и сборке. В этом случае скрытые базы материализуют различными устройствами (отвесами, коллиматорами, центрирующими устройствами и т. п.), а на схемах базирования показывают расположение опорных точек на поверхностях не только явных, но и скрытых баз.

Указание скрытых баз на схеме базирования способствует созданию требуемой конструкции приспособления, обеспечивающей закрепление изделия при минимальной погрешности базирования. Скрытые базы особенно полезны при использовании центрирующих зажимов. На рисунке 2.11, а показана схема базирования втулки по явной базе. Эта схема реализуется с помощью жесткой цилиндрической оправки с гайкой (рис. 2.11, б). Однако при этом возникает погрешность базирования, равная величине зазора между отверстием втулки и оправкой, что вызывает эксцентриситет и биение обработанной наружной поверхности. На рисунке 2.11, в приведена схема базирования втулки по скрытой базе (осевой линии). Эта схема реализуется с помощью беззазорной оправки (например, разжимной или цилиндрической оправки с прессовой посадкой), что исключает погрешность базирования (рис. 2.11, г).

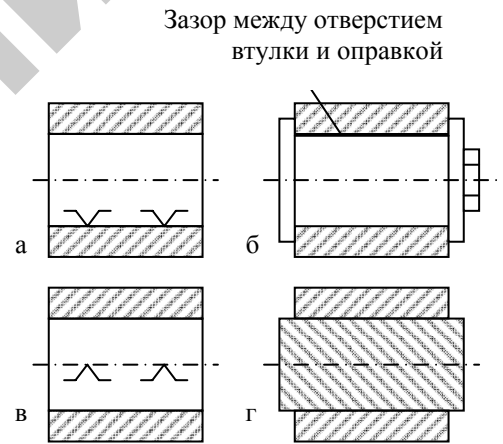


Рис. 2.11. Базирование втулки по явной базе (а, б) и скрытой базе (в, г)

На рисунке 2.12 показаны примеры базирования при механической обработке заготовок. При точении заготовки, установленной в патроне (рис. 2.12, а), для получения размера *a* используется упор, закрепляемый на расстоянии  $f = a + t$  от опорной (контактной) базы *A* и ограничивающий подачу резца. При фрезеровании заготовки (рис. 2.12, б) для получения размера *a* фреза устанавливается относительно установочной базы (плоскости *A*), а для получения размера *b* фреза устанавливается относительно направляющей базы (плоскости *B*), причем размер *b* определяется как разность расстояния *c* от плоскости *B* до оси фрезы и ее радиуса:  $b = c - (d_f/2)$ , где  $d_f$  – диаметр фрезы.

### 2.2.2. Методы базирования

Проектирование технологического процесса механической обработки заготовки начинается с определения последовательности и методов обработки отдельных поверхностей заготовки. Одновременно решается вопрос о выборе технологических баз. Производится выбор технологической базы первой операции – черновой технологической базы.

При выборе черновой технологической базы следует руководствоваться следующими положениями:

- в качестве черновой технологической базы должна выбираться необработанная поверхность, относительно которой после первой операции могут быть обработаны поверхности, используемые в качестве других (чистовых) технологических баз при последующих операциях обработки;

- для обеспечения точной ориентировки и надежного закрепления заготовки черновая технологическая база должна представлять собой поверхность с достаточно протяженными размерами, обработанную со сравнительно высокой точностью и малой шероховатостью; на этой поверхности не

должны быть расположены прибыли в отливках, а также швы, возникшие в местах разъемов опок пресс-форм, в отливках и поковках.

После выбора черновой технологической базы производится выбор чистовых технологических баз для всех последующих операций проектируемого технологического процесса механической обработки. При этом для обеспечения точности обработки следует соблюдать принципы единства (совмещения) и постоянства (неизменности) баз.

Принцип единства баз заключается в том, что при выборе технологических баз для точной обработки заготовки следует выбирать такие поверхности заготовки, которые одновременно являются конструкторскими и измерительными базами, а также используются в качестве баз при сборке изделий.

При совмещении этих баз уменьшается погрешность, связанная с установкой детали, отпадает необходимость дополнительной выверки детали. Несоблюдение этого правила влечет за собой потерю взаимозаменяемости деталей и требует дополнительной индивидуальной их подгонки или резко снижает качество изделия.

На рисунке 2.13 показаны возможные варианты базирования заготовки при фрезеровании.

В первом варианте базирования (рис. 2.13, а) при выполнении размера  $b$  плоскость  $A$  выбрана в качестве контактной технологической базы – этой плоскостью заготовка непосредственно устанавливается на станок. В данном случае технологическая база не совпадает с конструкторской и измерительной базами, роль которых играет плоскость  $B$ . Соответственно, при выполнении размера  $b$  возникает погрешность базирования, равная допуску на размер  $c$ , величина которого выдержана на предыдущих операциях обработки заготовки.

Во втором варианте базирования (рис. 2.13, б) при выполнении размера  $a$  плоскость  $B$  выбрана в качестве настроечной технологической базы. В данном случае технологическая база является одновременно и конструкторской базой, и измерительной базой. Соответственно, при выполнении размера  $a$  погрешность базирования равна нулю.

Возможен также вариант базирования, когда фрезерование уступа осуществляется одновременно с фрезерованием плоскости  $B$  с помощью комплекта фрез. Сначала при обработке плоскости  $B$  на размер  $c$  плоскость  $A$  является контактной технологической базой (как в первом варианте). Затем (при обработке уступа на размер  $b$ )

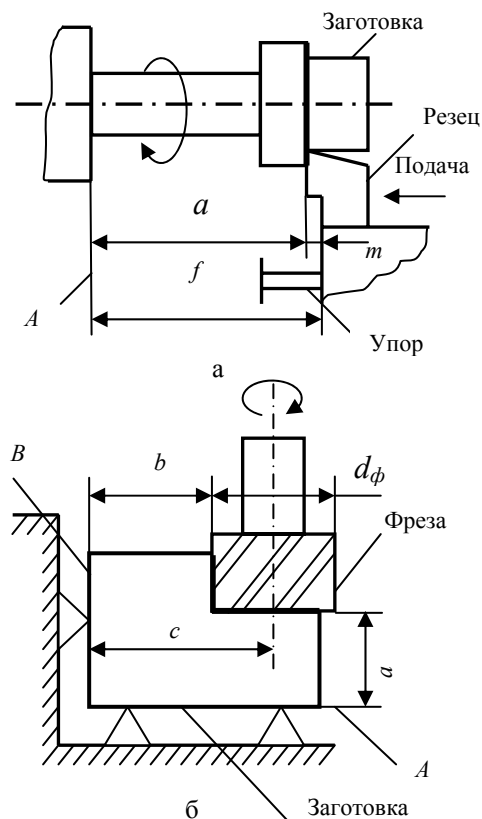


Рис. 2.12. Схемы настройки станка:  
а – точение, б – фрезерование

плоскость  $B$  является настроечной технологической базой (как во втором варианте базирования). При этом погрешность базирования равна нулю, поскольку размер  $b$  выдерживается без пересчетов, т. е. не зависит от размера  $c$ .

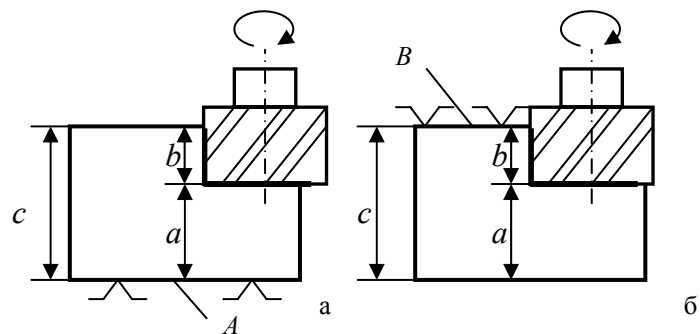


Рис. 2.13. Установка заготовки при фрезеровании

На рисунке 2.14 показана схема возникновения погрешности базирования при установке цилиндрической заготовки в призме.

При выполнении размера  $h$  погрешность базирования определяется разностью предельных размеров:

$$\epsilon_{\delta h} = h_{max} - h_{min} = CB_1 - CB_2. \quad (2.4)$$

Значения  $CB_1$  и  $CB_2$  определяются геометрически:

$$CB_1 = CO_1 - O_1B_1 = \frac{O_1K_1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - O_1B_1 = \frac{D_{max}}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right), \quad (2.5)$$

$$CB_2 = \frac{D_{min}}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right), \quad (2.6)$$

где  $\alpha$  — угол призмы,  $h_{max}$  и  $h_{min}$  — соответственно максимальное и минимальное значение выполняемого размера заготовки,  $D_{max}$  и  $D_{min}$  — соответственно максимальный и минимальный диаметр заготовки.

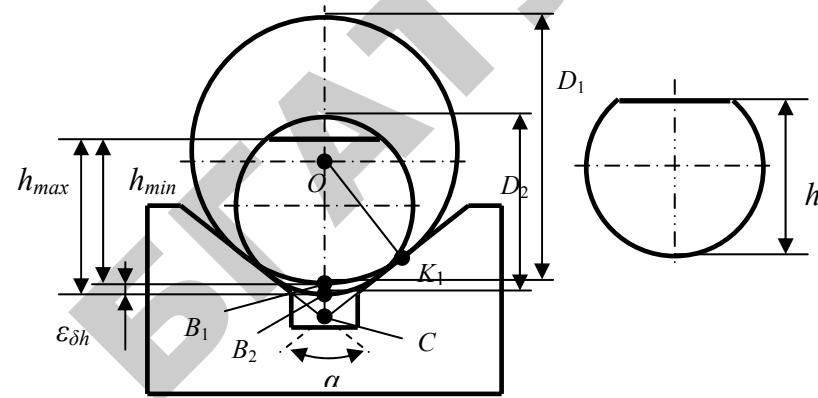


Рис. 2.14. Установка цилиндрической заготовки в призме

Подставляя (2.5) и (2.6) в (2.4), получаем

$$\epsilon_{\delta h} = \frac{T_D}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right), \quad (2.7)$$

где  $T_D$  — допуск на диаметр заготовки.

Из формулы (2.7) следует, что при установке цилиндрической заготовки в призме погрешность базирования уменьшается с увеличением угла призмы  $\alpha$  и становится равной нулю ( $\epsilon_{\delta h} = 0$ ) при  $\alpha = 180^\circ$ , что соответствует установке цилиндрической заготовки на плоскость.

Принцип постоянства баз заключается в том, что при дроблении технологического процесса на отдельные операции следует стремиться к использованию одной и той же технологической базы, не прибегая без необходимости к смене технологических баз (не считая смены черновой технологической базы).

Переход от одной базы к другой всегда связан с возникновением дополнительных погрешностей, обусловленных погрешностью взаимного расположения баз.

На рисунке 2.15 показаны возможные варианты базирования пластины при сверлении двух отверстий.

В первом варианте базирования при сверлении большего отверстия в качестве технологической базы выбирается поверхность *A*, при сверлении меньшего отверстия – поверхность *B*. В этом случае имеет место отклонение расстояния *c* между осями отверстий на величину, соответствующую погрешности взаимного расположения поверхностей *A* и *B*, т. е. допуску на размер *L*.

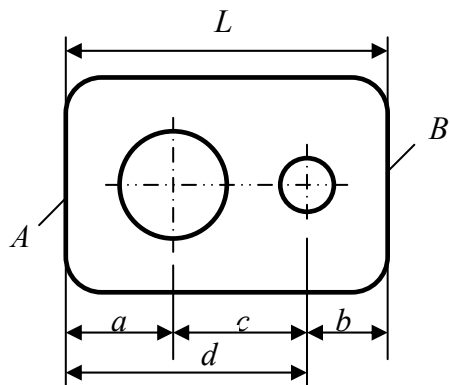


Рис. 2.15. Пластина с отверстиями

Во втором варианте базирования при сверлении обоих отверстий используется одна и та же технологическая база (поверхность *A*), благодаря чему отклонение расстояния *c* между осями отверстий, имевшее место в первой случае, исключается.

При выборе чистовых технологических баз рекомендуется руководствоваться следующими положениями:

- для обеспечения возможности использования всех полей конструкторских допусков (без перерасчета размеров, ведущих к ужесточению этих допусков) необходимо использовать основные базы (использование вспомогательных баз возможно только для обработки поверхностей с малыми допусками);
- при проектировании технологического процесса по принципу концентрации операций целесообразно использовать настроечные базы, а по принципу дифференциации операций – опорные базы.

## 2.3. ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

### 2.3.1. Разновидности припусков

**Припуск** – толщина дополнительного поверхностного слоя материала, оставляемого у заготовки, который удаляется при выполнении технологического процесса механической обработки резани-

ем для обеспечения заданных точности размеров и качества поверхности получаемой детали.

Необходимость установления припусков связана с несовершенством технологий изготовления заготовок. В результате этого:

1) точность заготовок оказывается недостаточной, т. е. их размеры не соответствуют размерам готовых деталей, в частности, форма отдельных поверхностей заготовок (в силу особенностей технологии получения) имеет уклоны, радиусы закругления и т. д.;

2) поверхность заготовок имеет значительную шероховатость;

3) структура поверхностного слоя характеризуется дефектностью (наличием трещин, коррозии и других структурных несовершенств). Так, у поковок дефектный слой составляет 1,5...3 мм (обезуглерожен), у отливок из серого чугуна – 1...2 мм (состоит из перлитной корки с включениями формовочного песка), у штамповок – 0,5...1,5 мм, у горячекатаного проката – 0,5...1 мм, у стальных отливок – 1...3 мм.

Припуски подразделяются на промежуточные (переходные и операционные) и общие.

**Переходный припуск** – толщина слоя материала, удаляемого с заготовки при выполнении одного технологического перехода. Переходный припуск на обработку равен разности размеров заготовки, полученных при выполнении данного и предшествующего переходов.

**Операционный припуск** – толщина слоя материала, удаляемого с заготовки при выполнении одной технологической операции; определяется как сумма припусков на всех переходах, выполняемых в рамках данной операции. Операционный припуск на обработку равен разности размеров заготовки, полученных при выполнении данной и предшествующей операций.

**Общий припуск** – толщина слоя материала, удаляемого с заготовки при выполнении технологического процесса. Определяется как сумма припусков на все операции, выполняемые в рамках данного технологического процесса, т. е.

$$Z_o = \sum_{i=1}^n Z_i, \quad (2.8)$$

где  $Z_i$  – припуск на обработку для  $i$ -й операции,  $n$  – количество операций.

Общий припуск на обработку равен разности между исходным размером заготовки  $A_{заг}$  и размером обработанной детали  $A_{дет}$ .

$$Z_o = A_{заг} - A_{дет}. \quad (2.9)$$

Общий припуск зависит от ряда факторов. В частности, масштаба (типа) производства, размеров и формы заготовки, свойств ее материала, способа получения (поковка, отливка и т. д.), жесткости заготовки, толщины дефектного поверхностного слоя, состояния оборудования, на котором ведут обработку и проч.

Различают номинальные, минимальные и максимальные припуски.

**Номинальный припуск**  $Z_{i \text{ ном}}$  – разность между номинальным размером заготовки до обработки  $A_{(i-1) \text{ ном}}$  и номинальным размером заготовки после обработки на данной операции (переходе)  $A_{i \text{ ном}}$ .

$$Z_{i \text{ ном}} = A_{(i-1) \text{ ном}} - A_{i \text{ ном}}. \quad (2.10)$$

**Минимальный припуск**  $Z_{i \text{ мин}}$  – разность между минимальным предельным размером заготовки до обработки  $A_{(i-1) \text{ мин}}$  и максимальным предельным размером заготовки после обработки на данной операции (переходе)  $A_{i \text{ max}}$ .

$$Z_{i \text{ мин}} = A_{(i-1) \text{ мин}} - A_{i \text{ max}}. \quad (2.11)$$

**Максимальный припуск**  $Z_{i \text{ max}}$  – разность между максимальным предельным размером заготовки до обработки  $A_{(i-1) \text{ max}}$  и минимальным предельным размером заготовки после обработки на данной операции (переходе)  $A_{i \text{ мин}}$ .

$$Z_{i \text{ max}} = A_{(i-1) \text{ max}} - A_{i \text{ мин}}. \quad (2.12)$$

**Допуск припуска**  $TZ$  – разность между максимальным и минимальным значениями припуска, которая равна сумме допусков на обработку заготовки для предшествующей ( $TA_{i-1}$ ) операции (перехода) и последующей ( $TA_i$ ) операции (перехода).

$$\begin{aligned} TZ &= Z_{i \text{ max}} - Z_{i \text{ мин}} = (A_{(i-1) \text{ max}} - A_{i \text{ мин}}) - (A_{(i-1) \text{ мин}} - A_{i \text{ max}}) = \\ &= (A_{(i-1) \text{ max}} - A_{(i-1) \text{ мин}}) + (A_{i \text{ max}} - A_{i \text{ мин}}) = TA_{i-1} + TA_i. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Из (2.13) для определения максимального припуска можно получить следующую формулу:

$$Z_{i \text{ max}} = Z_{i \text{ мин}} + TA_{i-1} + TA_i. \quad (2.14)$$

Назначение припусков на обработку заготовки производится одновременно с установлением допусков размеров ее обрабатываемых поверхностей. На рисунке 2.16 в качестве примера показана схема расположения припусков и допусков на обработку заготовки вала точением и последующим шлифованием.

Установление правильных припусков является ответственной технико-экономической задачей. Назначение чрезмерно больших припусков ведет к потерям материала, превращаемого в стружку; к увеличению трудоемкости и энергоемкости обработки, расхода режущего инструмента; потребности в оборудовании и рабочей силе; к затруднению построения операций на настроенных станках; к снижению точности обработки из-за повышения упругих отжатий в технологической системе и усложнению приспособлений.

В свою очередь, назначение чрезмерно малых припусков не обеспечивает удаления дефектных слоев материала и достижения требуемой точности и шероховатости поверхностей получаемых деталей, а также вызывает повышение требований к точности заготовок, что приводит к их удорожанию.

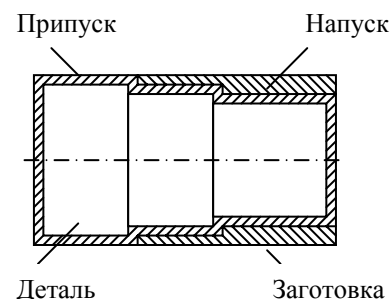


Рис. 2.17. Схематическое изображение припуска и напуска

Для удобства изготовления деталей и снижения себестоимости заготовок часто на их отдельных поверхностях, кроме припуска оставляется дополнительный слой материала – напуск (рис. 2.17).

Припуски могут быть симметричными (двухсторонними) и несимметричными (односторонними).

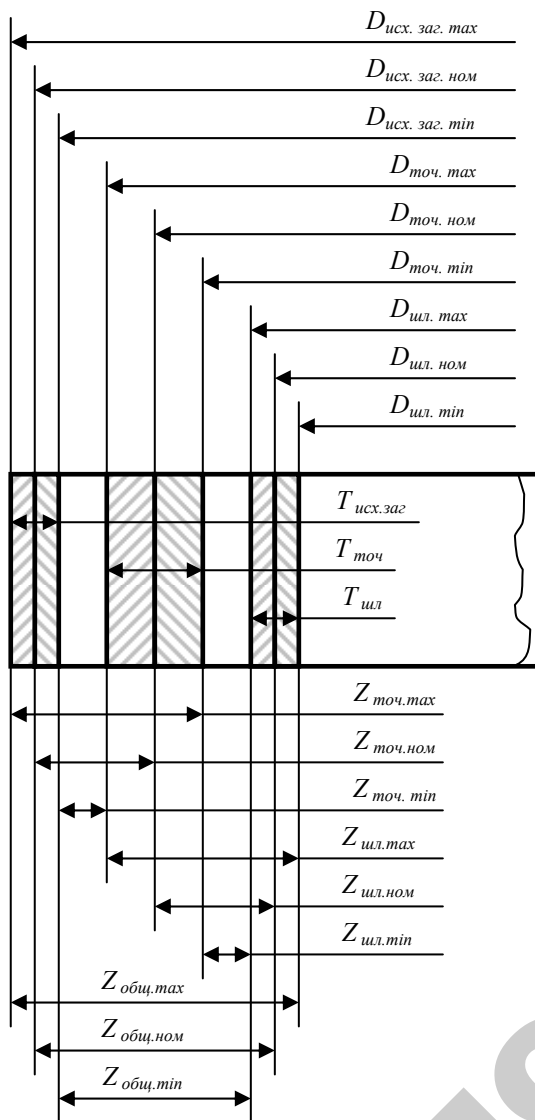


Рис. 2.16. Схема расположения припусков и допусков на обработку заготовки вала точением и шлифованием

На схеме, показанной на рисунке 2.16, приведены следующие обозначения:  
 $D_{исх. заг. max}$ ,  $D_{исх. заг. ном}$ ,  $D_{исх. заг. min}$  – исходные диаметры заготовки (соответственно максимальный, номинальный и минимальный);

$D_{точ. max}$ ,  $D_{точ. ном}$ ,  $D_{точ. min}$  – диаметры заготовки после точения (соответственно максимальный, номинальный и минимальный);

$D_{шл. max}$ ,  $D_{шл. ном}$ ,  $D_{шл. min}$  – диаметры заготовки после шлифования (соответственно максимальный, номинальный и минимальный);

$Z_{точ. max}$ ,  $Z_{точ. ном}$ ,  $Z_{точ. min}$  – припуски на точение (соответственно максимальный, номинальный и минимальный);

$Z_{шл. max}$ ,  $Z_{шл. ном}$ ,  $Z_{шл. min}$  – припуски на шлифование (соответственно максимальный, номинальный и минимальный);

$Z_{общ. max}$ ,  $Z_{общ. ном}$ ,  $Z_{общ. min}$  – общие припуски (соответственно максимальный, номинальный и минимальный);

$T_{исх. заг}$  – допуск исходных размеров заготовки;

$T_{точ}$ ,  $T_{шл}$  – допуски размеров заготовки при точении и шлифовании.

**Симметричный припуск** устанавливается для параллельно обрабатываемых поверхностей заготовки, подлежащих одинаковой обработке по числу и характеру операций, например, припуск на наружные и внутренние поверхности тел вращения (вал и отверстие) или на припуск две противоположащие параллельные плоские поверхности.

**Несимметричный припуск** устанавливается для отдельно расположенных плоскостей заготовки или для последовательно обрабатываемых ее противоположных плоскостей.

### 2.3.2. Методы расчета припусков

В машиностроении применяют два метода определения припусков: опытно-статистический (обычно используется в условиях единичного и мелкосерийного производства) и расчетно-аналитический (обычно используется в условиях крупносерийного и массового производства)

**Опытно-статистический метод** определения припусков предусматривает назначение общих и промежуточных припусков по справочным таблицам, составленным на основе обобщения и систематизации производственных данных. Основное преимущество метода заключается в сокращении времени проектирования технологического процесса. Существенные недостатки метода заключаются в том, что припуски назначаются без учета конкретных осо-

бенностей технологических процессов (например, общие припуски назначают без учета схемы установки заготовки и погрешностей предшествующей обработки). Как следствие, припуски завышаются. Завышенный припуск ориентирован на условия обработки, при которых обеспечивается работа без брака.

**Расчетно-аналитический метод** назначения припусков предусматривает проведение анализа факторов, влияющих на припуски предшествующей и выполняемой операций технологического процесса обработки. К таким факторам относятся:

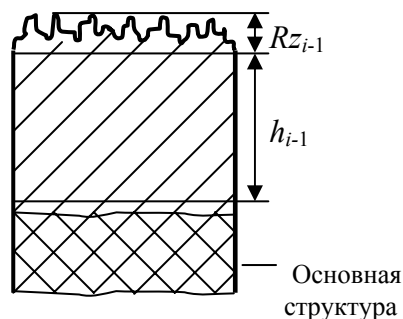


Рис. 2.18. Параметры поверхностного слоя заготовки  $Rz_{i-1}$  и  $h_{i-1}$

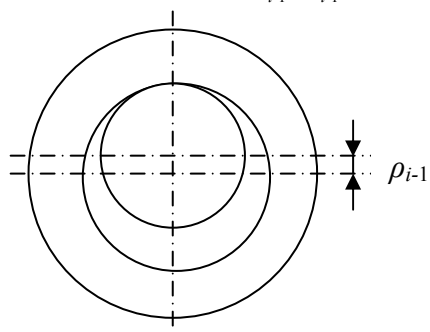


Рис. 2.19. Несоосность наружной поверхности и отверстия втулки  $\rho_{i-1}$

- высота шероховатости  $Rz_{i-1}$ , полученная на предшествующей операции (переходе) обработки данной поверхности (при выполнении первой операции (перехода) величину  $Rz_{i-1}$  принимают по исходной заготовке) (рис. 2.18);

- глубина дефектного поверхностного слоя  $h_{i-1}$ , полученная на предшествующей операции (переходе) обработки данной поверхности заготовки (рис. 2.18);

- суммарное (пространственное) отклонение  $\rho_{i-1}$  расположения обрабатываемой поверхности относительно базовых поверхностей заготовки, полученное на предшествующей операции (переходе) обработки данной поверхности (рисунки 2.19, 2.20 и 2.21);

- погрешность  $\varepsilon_i$  установки заготовки, возникающая на  $i$ -й операции (переходе) (рис. 2.22).

Расчет припусков на обработку начинается с определения минимального припуска, который вычисляется путем суммирования факторов  $Rz_{i-1}$ ,  $h_{i-1}$ ,  $\rho_{i-1}$  и  $\varepsilon_i$ . Факторы  $\rho_{i-1}$  и  $\varepsilon_i$  являются векторными величинами, поэтому при их суммировании следует учитывать правило сложения векторов.

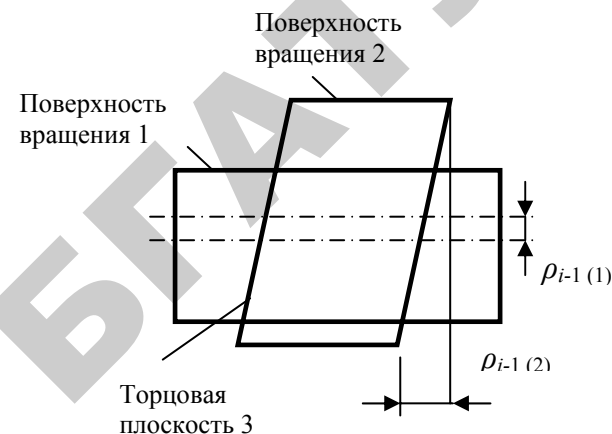


Рис. 2.20. Несоосность наружных поверхностей вращения 1 и 2 ступенчатого вала  $\rho_{i-1(1)}$  и неперпендикулярность торцовой поверхности 3 оси базовых центровочных отверстий  $\rho_{i-1(2)}$

При обработке отдельно расположенных плоскостей или при последовательной обработке противоположных плоскостей векторы  $\rho_{i-1}$  и  $\varepsilon_i$  суммируются арифметически, поскольку они коллинеарны (параллельны) и направлены перпендикулярно обрабатываемой поверхности. Соответственно, припуск на одну сторону рассчитывается по формуле:

$$Z_{i \min} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i. \quad (2.15)$$

При параллельной обработке двух противоположных плоскостей припуск на две стороны рассчитывается по формуле:

$$2Z_{i \min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i). \quad (2.16)$$

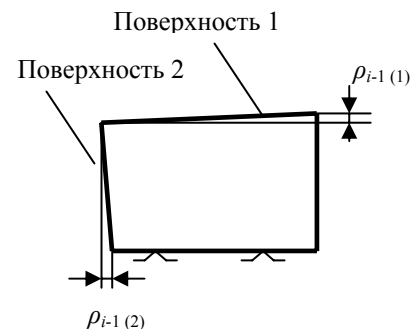


Рис. 2.21. Непараллельность обрабатываемой поверхности 1 и базовой поверхности  $\rho_{i-1(1)}$  и неперпендикулярность обрабатываемой поверхности 2 и базовой поверхности  $\rho_{i-1(2)}$

При обработке наружных и внутренних поверхностей вращения векторы  $\rho_{i-1}$  и  $\varepsilon_i$  могут принимать любое угловое положение, поэтому их суммирование выполняется по правилу квадратного корня:

$$\rho_{i-1} + \varepsilon_i = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}.$$

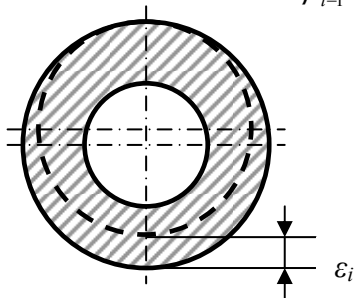


Рис. 2.22. Смещение обрабатываемой поверхности относительно базовой  $\varepsilon_i$ , происходящее при обработке заготовки из-за неточности ее установки на оправке

Следовательно, припуск на диаметр при обработке наружных и внутренних поверхностей вращения рассчитывается по формуле:

$$2Z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}). \quad (2.17)$$

На основе приведенных общих формул (2.15), (2.16) и (2.17) можно рассчитать припуски для ряда отдельных случаев обработки, когда некоторые составляющие могут быть исключены из этих формул. В частности:

- при обтачивании цилиндрической поверхности заготовки, установленной в центрах, слагаемое  $\varepsilon_i$  в формуле (2.17) можно принять равным нулю; соответственно

$$2Z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1}); \quad (2.18)$$

- при шлифовании заготовок после поверхностной упрочняющей обработки поверхностный слой необходимо по возможности сохранить и, следовательно, слагаемое  $h_{i-1}$  следует исключить из расчетных формул (2.15) и (2.17); соответственно

$$Z_{i\min} = Rz_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i; \quad (2.19)$$

$$2Z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}); \quad (2.20)$$

- при развертывании плавающей разверткой и протягивании отверстий смещения оси не устраняются, т. е.  $\rho_{i-1} = 0$  и в этом случае погрешности установки нет ( $\varepsilon_i = 0$ ); соответственно, формула (10) принимает вид

$$2Z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1}); \quad (2.21)$$

- при суперфинишировании и полировании цилиндрической поверхности, когда уменьшается лишь шероховатость поверхности, припуск определяется только высотой шероховатости обрабатываемой поверхности. В этом случае формула (2.3.10) сводится к виду

$$2Z_{i\min} = 2Rz_{i-1}. \quad (2.22)$$

При расчете минимальных припусков следует руководствоваться следующими положениями:

- припуск  $Z_{i\min}$  для валов всегда отсчитываются от их наименьших размеров, а для отверстий – от наибольших;
- погрешности размеров и формы заготовок (конусность, бочкообразность, выпуклость и т. п.), полученные на предшествующих технологических операциях (переходах) и не всегда находящиеся в пределах допуска, припуском  $Z_{i\min}$  не учитываются, поскольку сами способствуют увеличению его значения;
- принятое для дальнейших расчетов значение припуска  $Z_{i\min}$  не должно быть меньше такого значения, при котором процесс резания становится неустойчивым.

После того, как установлены значения минимальных припусков, производятся расчеты промежуточных припусков и исходных размеров (минимальных, номинальных и максимальных) заготовок.

Если в соответствии с принятым технологическим процессом поверхность обрабатывается за несколько (операций) переходов, то припуски определяются в направлении «от детали к заготовке». Сначала определяется припуск на отделочный переход, затем чистой и, наконец, черновой.

Зная количество операций (переходов) по обработке поверхности заготовки и припуски, необходимые для выполнения каждой



операции (перехода), можно определить межпереходные размеры, размер исходной заготовки и значение общего припуска на обработку. Выполнение этих расчетов упрощается при использовании схем расположения припусков и допусков (рис. 2.16).

Следует отметить, что между предварительной и чистовой обработками суммарный припуск распределяется, как правило, следующим образом: 60 % суммарного припуска приходится на предварительную обработку и 40 % – на чистовую (или 45 % – на предварительную обработку, 30 % – на получистовую и 25 % – на чистовую обработку).

Если заготовка имеет напуск, то он удаляется в первую очередь, после чего заготовка обрабатывается без напуска и припуски определяют в обычном порядке.

## 2.4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ

### 2.4.1. Точность механической обработки

**Точность механической обработки** – степень соответствия детали, изготовленной в результате механической обработки, требованиям ее чертежа по размерам.

Точность механической обработки характеризуется отклонениями размеров детали и взаимного расположения ее поверхностей и осей (например, нарушениями требуемой параллельности, перпендикулярности, концентричности, симметричности и т. д.), а также формы. Эти отклонения характеризуются, например, нарушениями требуемой округлости, цилиндричности или же возникновением непредусмотренной овальности, огранки, бочкообразности, седлообразности, изогнутости, конусности, вогнутости, выпуклости и т. п.

Следует отметить, что невозможно обеспечить абсолютную точность механической обработки. Поэтому на практике приходится сознательно использовать регламентированные допустимые отклонения размеров изготавливаемой детали от заданных номинальных размеров, т. е. работать в пределах определенных допусков, представляющих собой разность между предельными размерами (наибольшим и наименьшим).

С повышением точности изготовления детали увеличиваются трудоемкость и себестоимость механической обработки, поэтому обработку ведут не с достижимой, а с экономической точностью.

**Достижимая точность механической обработки** – точность, которую могут достичь при обработке заготовки в особых, наиболее благоприятных условиях, необычных для данного производства, высококвалифицированные рабочие, при значительном увеличении на нее затрат времени и не считаясь с себестоимостью обработки.

**Экономическая точность механической обработки** – точность, которая при минимальной себестоимости обработки достигается рабочими нормальной квалификации, соответствующей характеру работы, в нормальных производственных условиях, предусматривающих работу на исправных станках с применением необходимых приспособлений и инструментов при нормальных затратах времени.

В процессе изготовления деталей необходимо учитывать следующие **технологические факторы погрешностей механической обработки**:

- геометрические погрешности станка и инструмента;
- деформации технологической системы «станок – приспособление – инструмент – заготовка» под действием сил резания или температуры;
- погрешности настройки станка;
- погрешности установки заготовок;
- перераспределение внутренних напряжений в заготовках при обработке.

**Геометрические погрешности станка** обусловлены погрешностями изготовления станка, ошибками, допущенными при его монтаже, а также износом деталей станка.

Погрешности изготовления станка регламентируются стандартными нормами точности, определяющими допуски на размеры его деталей и узлов. Особенно строгими являются требования к допустимым погрешностям изготовления станка, влияющим на положение направляющих, для которых, например, отклонения от прямолинейности, плоскостности и параллельности направляющих не должны быть больше 0,02 мм на длине 1000 мм.

Ошибки при монтаже станка приводят к его деформации под действием массы или в результате оседания фундамента.

Степень износа трущихся деталей станка (станин, ходовых винтов, направляющих и проч.), вызывающего изменение их взаимного положения, зависит от обрабатываемого материала, а также от геометрии, параметров заточки и режимов работы режущего инструмента.

Уменьшение геометрических погрешностей станка обеспечивается повышением качества монтажных работ, своевременным выполнением планово-предупредительных ремонтов. Для уменьшения износа деталей станка следует повышать их износостойкость путем улучшения прочностных свойств материала деталей и качества обработки их поверхности.

**Геометрические погрешности инструмента** являются следствием погрешностей его изготовления и износа.

Погрешности изготовления инструмента регламентируются стандартными нормами точности, определяющими допуски на его размеры. Особенно строгими являются требования к погрешности мерного инструмента (сверла, зенкеры, развертки, протяжки, метчики, плашки, дорны и проч.). Поэтому для обеспечения требуемой точности размеров обрабатываемых отверстий и резьбы следует применять мерный инструмент соответствующих классов точности.

Износ режущего инструмента оказывает наибольшее влияние на точность обработки (особенно такого инструмента, степень износа которого зависит от обрабатываемого материала, а также от материала, геометрии, параметров заточки и режимов работы этого инструмента).

Уменьшение износа инструмента также как и деталей станка достигается повышением его износостойкости путем улучшения прочностных свойств материала инструмента и качества обработки его поверхности.

**Деформации технологической системы под действием сил резания** обусловлены недостаточной жесткостью технологической системы. При этом под жесткостью понимается способность системы сопротивляться действию внешних сил, стремящихся вызвать ее упругие перемещения (отжатия).

Упругие перемещения технологической системы  $Y_{m.c.}$  складываются из упругих перемещений составляющих ее элементов.

$$Y_{m.c.} = Y_{cm} + Y_{np} + Y_{unc} + Y_{zag}, \quad (2.23)$$

где  $Y_{cm}$ ,  $Y_{np}$ ,  $Y_{unc}$ ,  $Y_{zag}$  – упругие перемещения станка, приспособления, инструмента и заготовки соответственно.

Жесткость каждого из элементов технологической системы определяется отношением

$$j = P_y/Y, \quad (2.24)$$

где  $P_y$  – составляющая силы резания, направленная по нормали к обрабатываемой поверхности,  $Y$  – перемещение элемента системы в этом же направлении.

На рисунке 2.23 показана схема перемещений заготовки и инструмента под действием силы резания при продольном точении поверхности вала на первоначально настроенном станке.

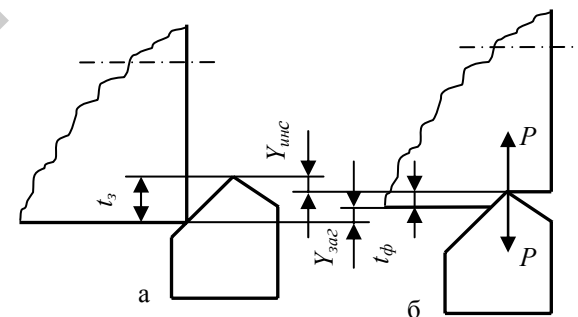


Рис. 2.23. Схема смещений технологической системы под действием сил резания: а – исходное состояние, б – смещенное состояние

Как видно из схемы, фактическая глубина резания

$$t_{ф} = t_3 - (Y_{unc} + Y_{zag}), \quad (2.25)$$

где  $t_3$  – заданная глубина резания.

Погрешность получаемого размера  $Y$  равна сумме перемещений  $Y_{unc}$  и  $Y_{zag}$ .

$$Y = Y_{unc} + Y_{zag} = t_3 - t_{ф}. \quad (2.26)$$

С учетом (2.24) выражение (2.23) для упругих перемещений технологической системы можно представить в виде

$$Y_{m.c.} = \frac{P_y}{j_{m.c.}} = \frac{P_y}{j_{cm}} + \frac{P_y}{j_{np}} + \frac{P_y}{j_{unc}} + \frac{P_y}{j_{zag}}, \quad (2.27)$$

где  $j_{cm}$ ,  $j_{np}$ ,  $j_{unc}$ ,  $j_{zag}$  – жесткость станка, приспособления, инструмента и заготовки соответственно.

Величина, обратная жесткости, называется податливостью, под которой понимается способность системы упруго деформироваться под действием внешних сил.

Податливость каждого из элементов технологической системы определяется отношением

$$\omega = 1/j = Y/P_y. \quad (2.28)$$

Податливость технологической системы  $\omega_{m.c.}$  равна сумме податливостей составляющих ее элементов.

$$\omega_{m.c.} = (Y_{cm} + Y_{np} + Y_{unc} + Y_{zag})/P_y = \omega_{cm} + \omega_{np} + \omega_{unc} + \omega_{zag}. \quad (2.29)$$

С учетом (2.29) жесткость технологической системы определяется выражением

$$1/j_{m.c.} = 1/j_{cm} + 1/j_{np} + 1/j_{cm} + 1/j_{cm}. \quad (2.30)$$

Причинами упругих перемещений технологической системы могут быть:

а) собственные упругие деформации элементов системы (например, деталей шпиндельной бабки, суппорта, задней бабки, станины и т. д.);

б) контактные деформации соприкасающихся поверхностей и наличие зазоров в стыках и соединениях деталей и узлов (например, у фрезерного станка – между направляющими стола и каретки, между нижними направляющими каретки и салазками, между направляющими салазок и консолью и т. д.).

Упругие перемещения характеризуются неравномерностью, которая является причиной изменения формы и размеров обрабатываемых заготовок и объясняется нестабильностью силы резания из-за неравномерной глубины резания, непостоянством размеров и механических свойств заготовок в партии, затуплением инструмента в результате износа. Неоднородная жесткость различных элементов системы, а также нестабильность силы резания вызывают вибрации системы, которые влияют на шероховатость обрабатываемой поверхности.

Жесткость станков регламентируется стандартами, но в процессе эксплуатации станков она может изменяться. Так, жесткость новых станков в 2...4 раза превышает жесткость изношенных станков и составляет в среднем  $(2..5) \cdot 10^4$  Н/мм.

Для уменьшения деформаций технологической системы под действием сил резания необходимо повышать ее жесткость. Это достигается следующим:

- созданием жесткой конструкции узлов станка, изготовлением деталей станка из более прочных и твердых материалов;
- сокращением общего числа звеньев системы;
- уменьшением волнистости и шероховатости соприкасающихся поверхностей за счет повышения качества механической обработки (шлифования, шабрения, притирки, обкатки роликами);
- тщательной пригонкой сопрягаемых поверхностей за счет повышения качества сборки;
- обеспечением стабильных условий эксплуатации системы за счет предварительного прогрева ее элементов, непрерывной и равномерной подачи смазки к узлам трения, создания постоянных зажимных усилий всех элементов системы и т. д.;
- повышением качества технического обслуживания и ремонта эксплуатируемого оборудования.

Кроме того, следует обеспечить равномерность жесткости по всей длине резания (особенно в случае обработки длиномерных заготовок). Для этого используют специальные приспособления (например, подвижные люнеты, которые закрепляются на суппорте станка и перемещаются вместе с ним, играя, таким образом, роль дополнительной опоры для вращающихся длиномерных валов).

Тепловые деформации технологической системы обусловлены неоднородными тепловыми нагрузками, которые могут быть вызваны различными причинами.

В станках наибольшая теплота выделяется в зоне резания, откуда она частично отводится смазочно-охлаждающими жидкостями. Кроме того, нагрев различных элементов станков происходит из-за трения деталей в подвижных сочленениях, а также за счет вихревых токов в электрических устройствах. Многие элементы станков нагреваются неравномерно, вследствие чего их правильная форма нарушается. Нагрев заготовки вызывает увеличение ее размеров и,

как следствие, рост глубины резания. В результате этого с заготовки снимается припуск, который больше расчетного припуска. Тепловые деформации резцов приводят к изменению размеров изготавливаемых деталей в партии, а в случае крупных деталей – к погрешностям формы обрабатываемой поверхности. Тепловые деформации технологической системы также могут быть вызваны тепловым излучением, исходящим от нагретого оборудования, источников освещения и отопления помещений.

Уменьшение погрешностей, вызванных тепловыми деформациями технологической системы, достигается корректировкой положения режущего инструмента относительно заготовки в процессе и после нагрева технологической системы, а также организацией технологических операций с равным основным временем обработки и временем перерывов. Последнее осуществляется с целью обеспечения одинаковых условий термических воздействий на детали и, как следствие, сокращения величины рассеяния размеров деталей в партии.

**Погрешности настройки станка** возникают в процессе установки и закрепления режущего инструмента, а также приспособлений и элементов станка (упоров, кулачков, сменных шестерен и др.), определяющих взаимное расположение обрабатываемой заготовки и режущего инструмента.

Погрешности настройки постоянно возникают в связи с изменением положения вновь устанавливаемого инструмента относительно заготовки при замене изношенного инструмента. Погрешности настройки, связанные с установкой и закреплением инструмента, особенно сильно влияют на точность обработки в случае использования фасонных (профильных) инструментов (фасонные резцы и фрезы, резбонарезной и зубообрабатывающий инструмент, профильные абразивные круги и проч.). Например, точно изготовленный резец для нарезания метрической резьбы, но установленный с ошибками относительно оси вращения шпинделя, будет нарезать резьбу с несимметричным профилем.

Погрешности настройки оцениваются расстоянием между настроечными размерами (максимальным и минимальным) при установке инструмента на станок и зависят от используемых методов настройки инструмента. Основными из них являются метод настройки станка по пробным деталям (динамический метод) и метод настройки станка по эталонам (статический метод).

Метод настройки станка по пробным деталям используется, в основном, при единичном и мелкосерийном производстве. Согласно этому методу пробную заготовку устанавливают на станок, после чего подводят режущий инструмент к обрабатываемой поверхности и снимают с нее пробную стружку. Затем измеряют полученный размер, определяют его отклонение от заданного на чертеже значения и корректируют положение режущего инструмента по шкале лимба станка. Последовательной обработкой нескольких пробных заготовок, сопровождаемой необходимыми измерениями, устанавливаются рабочие настроечные размеры.

Погрешность настройки по пробным деталям зависит от погрешностей измерения пробных заготовок и регулирования положения инструмента.

Данный метод настройки позволяет достигать высокой точности обработки, используя неточное оборудование или неточные заготовки; исключать или уменьшать влияние износа режущего инструмента на точность обработки, правильно распределять припуски на обработку путем соответствующей разметки. К недостаткам метода относятся большая трудоемкость и высокая себестоимость, а также сильная зависимость точности обработки от квалификации рабочих и качества их работы.

Метод настройки станка по эталонам используется, в основном, при серийном и массовом производстве. Согласно этому методу эталонную деталь устанавливают в специальные приспособления на заранее выбранные базовые поверхности на неработающем станке, после чего подводят режущий инструмент к обрабатываемой поверхности и определяют его положение с помощью специальных калибров.

Погрешность настройки по эталонам зависит от погрешностей изготовления эталона и выверки положения инструмента по эталону.

Данный метод настройки (в отличие от метода пробных ходов и промеров) позволяет исключить потери времени на разметку и выверку заготовок, а также на осуществление пробных ходов и промеров. Этот метод ослабляет зависимость точности обработки от квалификации рабочих и качества их работы; обеспечивает более рациональное использование рабочей силы.

С целью уменьшения погрешностей настройки станков, прежде всего, в серийном и массовом производстве для настройки станков

применяют более точные измерительные приборы и средства регулирования положения инструмента, обеспечивают правильное использование и хранение применяемой эталонной оснастки (эталонных деталей, калибров, шаблонов).

**Погрешности установки заготовок** включают погрешности базирования и закрепления заготовок (т. е. отклонения положения изделия, фактически достигнутого при базировании и закреплении, от требуемого положения), а также погрешности, вызываемые неточностями приспособлений.

Вследствие погрешностей базирования и закрепления заготовки ее положение изменяется, что вызывает отклонение величины выполняемого размера и взаимного положения обрабатываемых поверхностей.

Погрешности базирования обусловлены неточностями определения баз. Погрешности закрепления связаны с деформациями заготовки под действием усилия закрепления. Например, тонкостенное кольцо при закреплении в трехкулачковом патроне деформируется и утрачивает первоначальную круглую форму.

Уменьшение погрешностей установки заготовок достигается совмещением технологических баз с конструкторскими и измерительными базами; более качественной предварительной обработкой установочных базовых поверхностей заготовки; применением механизированных приводов к зажимным устройствам, обеспечивающим постоянство силы зажима; более качественным изготовлением приспособлений и тщательной их установкой на станке.

Перераспределение внутренних напряжений в заготовках при их обработке происходит из-за изменения характера остаточных напряжений под действием неоднородного нагрева или охлаждения, а также при деформации. Остаточные напряжения возникают в заготовках во время их получения и последующей обработки. В зависимости от применяемого технологического процесса различают литейные, ковочные, термические, сварочные и другие остаточные напряжения, в частности, образующиеся от наклепа.

Для уменьшения перераспределения внутренних напряжений в заготовках при их обработке следует совершенствовать технологические процессы получения и обработки заготовок с целью совершенствования их структуры.

Особым технологическим фактором погрешностей механической обработки является технологическая наследственность, которая прояв-

ляется в зависимости точности данной обработки от точности предшествующей обработки. Например, точность чистовой обработки зависит от точности черновой обработки, которая, в свою очередь, зависит от точности получения исходной заготовки.

Погрешности механической обработки по характеру проявления подразделяются на систематические и случайные.

**Систематические погрешности** механической обработки могут быть постоянными (например, возникающими вследствие погрешности в размере режущего инструмента, в результате неточности профиля фасонного резца или погрешности настройки станка) либо переменными, изменяющимися по определенному закону (например, вызываемыми износом инструмента или тепловыми деформациями технологической системы). Такие погрешности поддаются прогнозированию с помощью аналитических расчетов.

**Случайные погрешности** механической обработки возникают без определенной закономерности и их невозможно предвидеть. Они могут быть связаны с конкретными методами обработки и вызваны, например, погрешностями установки заготовки или настройки станка, а также перераспределением внутренних напряжений в заготовке в процессе ее обработки. Такие погрешности анализируются с помощью методов математической статистики.

Систематические и случайные погрешности образуют суммарную погрешность. Суммарная систематическая погрешность определяется по формуле:

$$\Delta_{\text{сум}} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots, \quad (2.31)$$

а суммарная случайная погрешность – по формуле:

$$\Delta_{\text{сл}} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots}, \quad (2.32)$$

где  $\Delta_i$  – составляющие погрешности (систематические или случайные).

Размеры двух любых однотипных деталей, взятых из одной партии, отличаются друг от друга. Измеряя детали данной партии, обработанные в одинаковых условиях, можно установить поле рассеяния размеров – максимальное значение разности размеров деталей. Оно определяется по формуле:

$$\omega = d_{\text{max}} - d_{\text{min}}, \quad (2.33)$$

где  $d_{max}$  и  $d_{min}$  – максимальный и минимальный размеры деталей данной партии. Поле рассеяния характеризует точность обработки деталей: чем меньше поле рассеяния, тем с более высокой точностью выполнена обработка партии деталей.

Более полной характеристикой точности обработки деталей является распределение размеров – совокупность значений действительных размеров  $d$ , расположенных в возрастающем порядке с указанием частоты повторения размеров  $f$ , т. е. числа деталей одного размера или же с указанием частоты повторения  $F$ , равного отношению числа деталей одного размера  $f$  к общему числу деталей партии  $n$ :  $F = f/n$ .

Распределение размеров деталей можно представить в виде графика, на котором по оси абсцисс откладываются интервалы размеров деталей, а по оси ординат – соответствующие им частоты (рис. 2.24). Такой график называется гистограммой распределения. Ломаная кривая, которая последовательно соединяет точки, соответствующие середине каждого интервала, называется полигоном распределения.

На практике наиболее часто встречается распределение размеров деталей по нормальному закону (закону Гаусса). Оно имеет место в тех случаях, когда влияние каждого случайного фактора на суммарную погрешность ничтожно мало и приблизительно одинаково по величине, т. е. в суммарной погрешности среди ее слагаемых нет доминирующих, а сама суммарная погрешность складывается из большого числа взаимно независимых величин. Например, нормальное распределение размеров имеет место при обработке заготовок на станке, когда суммарная погрешность обработки включает большое число погрешностей, зависящих от станка, приспособления, инструмента и заготовки, которые являются взаимно независимыми величинами, оказывающими незначительное и приблизительно одинаковое влияние на суммарную погрешность.

В графическом представлении нормальное распределение размеров деталей  $F(d)$  имеет вид кривой (рис. 2.25), которая описывается уравнением

$$F(d) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(d-\bar{d})^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.34)$$

где  $d$  – текущий действительный размер деталей данной партии;  $\bar{d}$  – средневзвешенный размер, при котором функция распределения  $F(d)$  достигает максимума;  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение размера;  $e \approx 2,7$ .

Значение  $\sigma$  определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n}}, \quad (2.35)$$

где  $n$  – число деталей в партии.

Значение  $\bar{d}$ , в свою очередь, определяется по формуле:

$$\bar{d} = \frac{(d_1 + d_2 + \dots + d_n)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}. \quad (2.36)$$

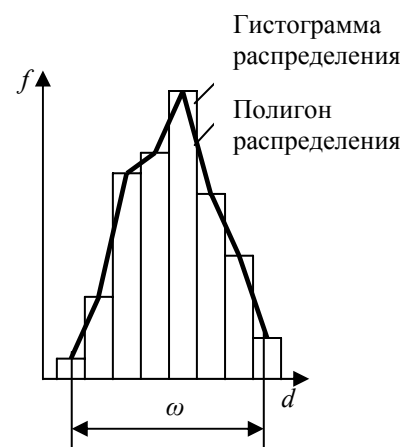


Рис. 2.24. Распределение размеров обработанных деталей

Величина  $\sigma$  характеризует форму кривой распределения и является мерой точности данного метода обработки. С увеличением  $\sigma$  кривая распределения становится более пологой с большим полем рассеяния  $\omega = 6\sigma$ .

Величина  $\bar{d}$  является центром распределения. При  $d = \bar{d}$

$$F_{max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cong 0,4/\sigma. \quad (2.37)$$

На практике также встречаются распределения размеров деталей, близкие к законам треугольника (закон Симпсона) и равной вероятности.

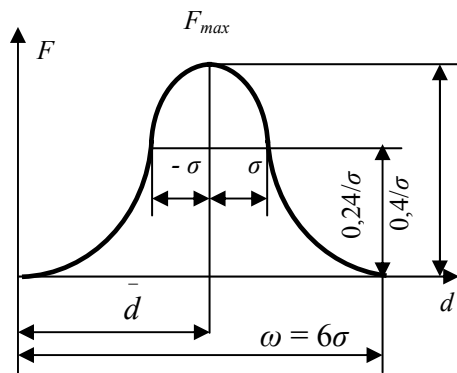


Рис. 2.25. Кривая нормального распределения размеров

Распределение размеров по закону *треугольника* имеет место в тех случаях, когда на выполняемый размер влияет закономерно изменяющаяся погрешность, которая возрастает сначала медленно, а затем ускоренно (например, в случае неравномерного во времени износа режущего инструмента, прогрессирующего в начальный период обработки). В графическом представлении это распределение имеет вид ломаной линии, соответствующей ребрам равнобедренного треугольника с ос-

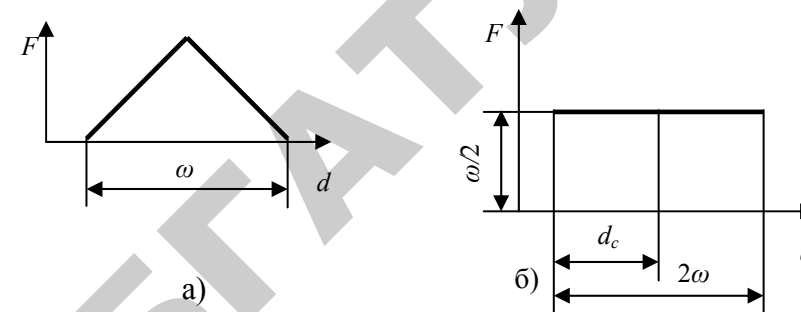


Рис. 2.26. Распределение размеров: а – по закону треугольника; б – по закону равной вероятности

нованием  $\omega$  (рис. 2.26, а).

Распределение размеров по *закону равной вероятности* имеет место тогда, когда рассеяние размеров зависит преимущественно от переменных систематических погрешностей, например, от погрешностей установившегося износа режущего инструмента, когда изменение размеров деталей во времени имеет линейный характер: диаметр обрабатываемых деталей либо увеличивается (при обработке валов), либо уменьшается (при обработке отверстий). В графическом представлении это распределение имеет вид прямой линии длиной  $2\omega$  (рис. 2.26, б).

Управление точностью механической обработки можно осуществлять двумя методами:

- 1) по входным данным;
- 2) по выходным данным.

**Метод управления точностью механической обработки по входным данным** заключается в периодической поднастройке станка по мере увеличения поля рассеяния размеров обрабатываемых деталей и его приближения к границам поля допуска. На период поднастройки, когда выполняются измерения и регулировки, станок останавливается. Поднастройка производится либо вручную, либо автоматически, с использованием автоматизированных быстросействующих устройств контроля и подналадки.

**Метод управления точностью механической обработки по выходным данным** заключается в непрерывном контроле размеров обрабатываемых заготовок и подналадке станка без его остановки в моменты, когда значения погрешностей приближаются к предельно допустимым. Для управления упругими перемещениями используется автоматизированная система управления, способная непрерывно регулировать продольную подачу.

#### 2.4.2. Точность сборки

**Точность сборки** – степень соответствия материальных осей и сопрягаемых поверхностей деталей после сборки их положению, определяемому чертежом.

В процессе сборки, как и при изготовлении деталей, следует учитывать **технологические факторы погрешностей сборки**, к которым относятся:

- погрешности установки и фиксации собираемых элементов машины;
- погрешности пригонки и регулировки сопрягаемых элементов машины;
- неравномерная затяжка резьбовых соединений, вызывающая перекосы и деформации собираемых элементов машины, перекосы и деформации при запрессовке и других видах соединений, а также при закреплении деталей в сборочных приспособлениях;

- геометрические погрешности сборочного оборудования и инструмента;
- погрешности настройки сборочного оборудования;
- упругие и тепловые деформации технологической системы (сборочное оборудование – приспособление – инструмент – собираемое изделие);
- деформации сопрягаемых деталей от остаточных напряжений.

Чаще всего при сборке возникают погрешности, связанные с изменением взаимного положения или деформацией собираемых деталей, а также отклонением формы сопрягаемых поверхностей.

На рисунках 2.27, 2.28 и 2.29 приведены типовые примеры погрешностей сборки.

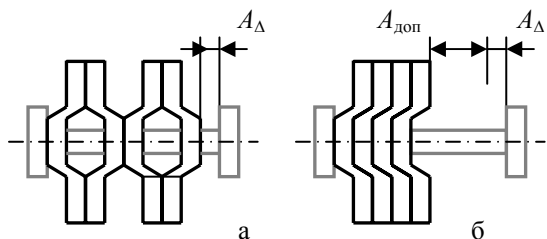


Рис. 2.27. Увеличение зазора между собираемыми деталями, связанное с нарушением порядка взаимного расположения деталей:  
а – правильное расположение, б – нарушенное расположение

При проектировании технологического процесса для обеспечения требуемой точности сборки используют положения теории размерных цепей. Существуют следующие методы достижения точности замыкающего звена: полной взаимозаменяемости, неполной взаимозаменяемости, групповой взаимозаменяемости, пригонки и регулирования.

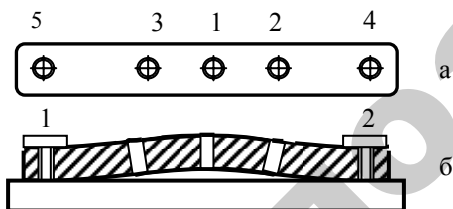


Рис. 2.28. Деформирование крышки, связанное с нарушением порядка ее соединения с корпусом  
а – правильный порядок, б – нарушенный порядок

Метод полной взаимозаменяемости предполагает, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается у всех объектов путем включения в нее составляющих звеньев без их выбора, подбора или изменения значений. Этот метод целесообразно использовать в условиях обеспечения высокой точности сборки при малом числе (3) звеньев размерной цепи.

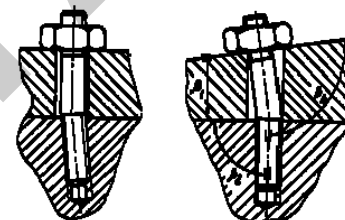


Рис. 2.29. Деформирование шпильки при затягивании гайки, связанное с отклонением от перпендикулярности оси резьбового отверстия относительно соединяемой поверхности корпуса с крышкой

Сборка изделий при использовании этого метода представляет собой механическое соединение взаимозаменяемых деталей. При этом у всех собираемых изделий (100 %) автоматически обеспечивается требуемая точность замыкающих звеньев размерных цепей.

Существует множество примеров использования метода полной взаимозаменяемости (взаимозаменяемые детали и узлы автомобилей, бытовой техники; крепежные детали и т. д.). Широкое использование метода полной взаимозаменяемости объясняется, прежде всего, относительной простотой достижения требуемой точности замыкающего звена (поскольку формирование размерной цепи сводится к простому соединению ее составляющих звеньев), а также возможностью широкого кооперирования различных цехов и заводов при изготовлении отдельных деталей или сборочных единиц.

При достижении точности сборки методом полной взаимозаменяемости расчет размерной цепи ведется методом максимума – минимума, когда учитываются только лишь предельные отклонения составляющих звеньев.

Если заданы размеры и допуски составляющих звеньев цепи, то расчет размерной цепи сводится к расчету размера и допуска замыкающего звена цепи, т. е. решается обратная (проверочная) задача расчета размерных цепей.



Номинальный размер замыкающего звена цепи

$$A_{\Delta} = (\bar{A}_1 + \bar{A}_2 + \dots + \bar{A}_n) - (\bar{A}_{n+1} + \bar{A}_{n+2} + \dots + \bar{A}_{m-1}), \quad (2.38)$$

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_i - \sum_{i=n+1}^{m-1} \bar{A}_i,$$

где  $\bar{A}$  и  $\bar{A}$  – размеры увеличивающих и уменьшающих звеньев цепи;  
 $m$  – общее число составляющих звеньев цепи, включая замыкающее звено;  
 $n$  – число увеличивающих звеньев цепи.  
 Максимальный размер замыкающего звена

$$A_{\Delta}^{\max} = (\bar{A}_1^{\max} + \bar{A}_2^{\max} + \dots + \bar{A}_n^{\max}) - (\bar{A}_{n+1}^{\min} + \bar{A}_{n+2}^{\min} + \dots + \bar{A}_{m-1}^{\min}). \quad (2.39)$$

Минимальный размер замыкающего звена

$$A_{\Delta}^{\min} = (\bar{A}_1^{\min} + \bar{A}_2^{\min} + \dots + \bar{A}_n^{\min}) - (\bar{A}_{n+1}^{\max} + \bar{A}_{n+2}^{\max} + \dots + \bar{A}_{m-1}^{\max}). \quad (2.40)$$

Разность максимального и минимального размеров замыкающего звена определяет величину его допуска.

$$T_{A_{\Delta}} = A_{\Delta}^{\max} - A_{\Delta}^{\min} = (\bar{A}_1^{\max} - \bar{A}_1^{\min}) + (\bar{A}_2^{\max} - \bar{A}_2^{\min}) + \dots + (\bar{A}_n^{\max} - \bar{A}_n^{\min}) + (\bar{A}_{n+1}^{\min} - \bar{A}_{n+1}^{\max}) + (\bar{A}_{n+2}^{\min} - \bar{A}_{n+2}^{\max}) + \dots + (\bar{A}_{m-1}^{\min} - \bar{A}_{m-1}^{\max}). \quad (2.41)$$

Из (2.41) следует, что допуск замыкающего звена равен сумме допусков составляющих звеньев размерной цепи.

$$T_{A_{\Delta}} = T_{A_1} + T_{A_2} + \dots + T_{A_{m-1}} = \sum_{i=1}^{m-1} T_{A_i}. \quad (2.42)$$

Если известны отклонения составляющих звеньев, то можно определить верхнее предельное отклонение замыкающего звена

$$ES_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^n ES_{\bar{A}_i} - \sum_{i=n+1}^{m-1} EI_{\bar{A}_i} \quad (2.43)$$

и нижнее предельное отклонение замыкающего звена

$$EI_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^n EI_{\bar{A}_i} - \sum_{i=n+1}^{m-1} ES_{\bar{A}_i}, \quad (2.44)$$

где  $ES_{A_i}$  и  $EI_{A_i}$  – верхние и нижние отклонения составляющих звеньев.

Метод неполной взаимозаменяемости предполагает, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается у заранее обусловленной части объектов путем включения в эту цепь составляющих звеньев без их выбора, подбора или изменения их значений. Этот метод целесообразно использовать в условиях обеспечения сравнительно невысокой точности сборки при большом числе (более 3) звеньев размерной цепи.

В этом методе преднамеренный риск выхода значений замыкающего звена за пределы допуска, определяемого условиями задачи, обычно незначителен. Однако этот риск позволяет расширить допуски составляющих звеньев в сравнении с их значениями, установленными при достижении точности замыкающего звена методом полной взаимозаменяемости. Эта возможность создается малой вероятностью возникновения крайних отклонений составляющих звеньев и их попаданий в одно изделие.

При достижении точности сборки методом неполной взаимозаменяемости расчет размерной цепи ведется вероятностным методом, при котором учитываются вероятности различных сочетаний возможных отклонений составляющих звеньев в пределах их допуска

Если заданы размеры и допуски составляющих звеньев цепи, то по аналогии с методом полной взаимозаменяемости расчет размерной цепи сводится к расчету размера и допуска замыкающего звена цепи, т. е. решается обратная (проверочная) задача расчета размерных цепей.

Допуск замыкающего звена рассчитывается по формуле:

$$T_{A_{\Delta}} = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^2 T_{A_i}^2}, \quad (2.45)$$

где  $t$  – коэффициент риска, характеризующий вероятность (процент риска)  $P$  выхода отклонений замыкающего звена за пределы допуска;

$\lambda_i$  – коэффициент, характеризующий закон распределения размеров составляющих звеньев.

Значение  $t$  выбирается в зависимости от принятой вероятности (процента риска)  $P$  с учетом закона распределения размеров замыкающего звена. Например, в случае распределения размеров замыкающего звена по нормальному закону  $t=3$  при  $P=0,27\%$ . Соответствующее значение  $\lambda_i$ , определяемое по формуле  $\lambda_i = 1/t$ , составляет  $1/3$ .

Метод групповой взаимозаменяемости предполагает, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается включением в размерную цепь составляющих звеньев, принадлежащих к одной из групп объектов, на которые они предварительно рассортированы. Этот метод целесообразно использовать в условиях обеспечения высокой точности сборки при малом числе звеньев размерной цепи, когда имеет место четкая сортировка деталей по размерным группам.

Метод пригонки предполагает, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением заранее выбранного компенсирующего звена путем снятия определенного слоя материала с соответствующей детали-компенсатора. Этот метод позволяет обеспечить довольно высокую точность сборки, но его применение требует значительных затрат ручного труда высококвалифицированных рабочих для снятия припуска на пригонку.

Метод регулирования предполагает, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением заранее выбранного компенсирующего звена. Это достигается путем смены положения соответствующей детали, называемой подвижным компенсатором, без снятия с нее слоя материала или путем введения дополнительной детали (прокладки, кольца, втулки и т.п.), называемой неподвижным компенсатором. Данный метод более экономичен по сравнению с методом пригонки, поскольку не требует выполнения пригоночных работ. Кроме того, метод регулирования обеспечивает более высокую точность и позволяет ее периодически восстанавливать в процессе эксплуатации изделия.

## 2.5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ

Качество поверхности металлических деталей определяется состоянием поверхностного слоя, который включает поверхность,

непосредственно соприкасающуюся с внешней средой, и приповерхностный слой, отличающийся от основной части металла структурой и свойствами. Соответственно, качество поверхности оценивается по ее геометрическим характеристикам и свойствам поверхностного слоя, зависящим от его структуры.

### 2.5.1. Геометрические характеристики поверхности

К основным видам геометрических характеристик поверхности относятся:

- **макроотклонение** поверхности (отклонение формы) – отклонение поверхности от заданной правильной геометрической формы на протяженном участке (овальность, конусность, бочкообразность и т. д.);
- **волнистость поверхности** – совокупность периодически повторяющихся волнообразных неровностей поверхности с шагом большим, чем базовая длина, используемая для измерения шероховатости.
- **шероховатость поверхности** – совокупность неровностей поверхности с шагом меньшим, чем базовая длина, используемая для измерения шероховатости.

Геометрические характеристики обработанной поверхности определяются по профилю поверхности, который образуется в сечении поверхности плоскостью, перпендикулярной к номинальной поверхности (рис. 2.30). Профиль рассматривается на длине базовой линии, которой является средняя линия профиля, имеющая форму номинального профиля, проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратичное отклонение до этой линии минимально. Базовую длину выбирают по стандарту в зависимости от метода обработки поверхности.

Мерой разграничения видов геометрических характеристик является отношение шага неровностей  $L$  к высоте неровностей  $H$  (рис. 2.30): для отклонения формы  $L/H > 1000$ , для волнистости  $L/H = 50 \dots 1000$ , для шероховатости  $L/H < 50$ .

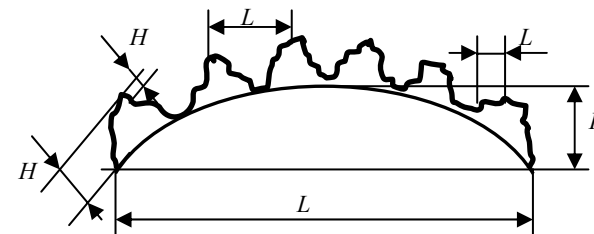


Рис. 2.30. Поперечное сечение поверхности, иллюстрирующее различные виды ее геометрических характеристик

Количественная оценка волнистости производится с помощью следующих параметров (рис. 2.31):

- высота волнистости  $h_w$  – среднее арифметическое из пяти ее значений, определенных на длине участка измерения  $L_w$  (равной не менее пяти действительным наибольшим шагам волнистости  $S_w$ ) как вертикальные расстояния между линиями, эквидистантными средней линии, которые проведены по наивысшим и наиболее низшим точкам профиля одной полной волны.

$$h_{wi} = (h_{w1} + h_{w2} + h_{w3} + h_{w4} + h_{w5}) / 5; \quad (2.46)$$

- предельные числовые значения  $h_w$  – выбираются из ряда: 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5; 25; 50; 100; 200 мкм;

- наибольшая высота волнистости  $h_{wmax}$  – расстояние между наивысшей и наиболее низшей точками профиля в пределах  $L_w$ , измеренное на одной полной волне;

- средний шаг волнистости  $S_w$  – среднее арифметическое значение длин отрезков  $S_{wi}$  средней линии профиля волнистости  $m_w$ , ограниченных точками их пересечения с соседними участками профиля волнистости.

$$S_w = n^{-1} \sum_{i=1}^{i=n} S_{wi}. \quad (2.47)$$

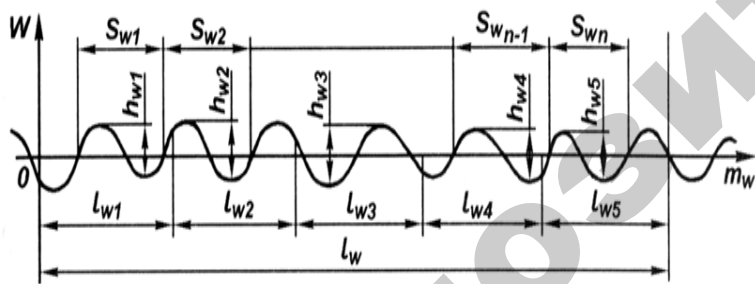


Рис. 2.31. Профилограмма поверхности для определения волнистости

Типичные значения параметров волнистости при некоторых видах обработки резанием:  $h_w = 1 \dots 10,7$  мкм,  $S_w = 1,4 \dots 9$  мкм (при

точении);  $h_w = 1,1 \dots 3,8$  мкм,  $S_w = 1,1 \dots 4,8$  мкм (при шлифовании);  $h_w = 0,75 \dots 2$  мкм,  $S_w = 0,8 \dots 4$  мкм (при доводке, притирке).

- среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$  – среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля  $y_i$  от средней линии профиля в пределах базовой длины

$$R_a = n^{-1} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (2.48)$$

где  $n$  – число выбранных точек профиля на базовой длине;

- высота неровностей профиля по десяти точкам  $R_z$  – сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля  $h_{pi}$  и глубин пяти наибольших впадин профиля  $h_{vi}$  в пределах базовой длины

$$R_z = 1/5 \left( \sum_{i=1}^5 |h_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |h_{vi}| \right); \quad (2.49)$$

- наибольшая высота неровностей профиля  $R_{max}$  – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины

$$R_{max} = R_p - R_v; \quad (2.50)$$

- средний шаг неровностей  $S_m$  – среднее значение шагов неровностей профиля в пределах базовой длины

$$S_m = n^{-1} \sum_{i=1}^n S_{mi}, \quad (2.51)$$

где  $n$  – число шагов неровностей в пределах базовой длины;

$S_{mi}$  – шаг неровностей профиля, равный длине отрезка средней

линии профиля, ограничивающей его неровность;

- средний шаг местных выступов профиля  $S$  – среднее значение шагов местных выступов профиля, находящихся в пределах базовой длины,

$$S = n^{-1} \sum_{i=1}^n S_i; \quad (2.5.7)$$

- относительная опорная длина профиля  $t_p$  – отношение опорной длины профиля к базовой длине

$$t_p = \eta / (l \cdot 100), \quad (2.5.8)$$

где  $\eta = \sum_{i=1}^n b_i$  – опорная длина профиля;  $b_i$  – длина отрезков в пределах базовой линии, отсекаемых на заданном уровне  $p$  профиля линией, параллельной средней линии (числовые значения  $p$  указываются в % от  $R_{max}$ );  $l$  – базовая длина.

Количественная оценка шероховатости поверхности производится с помощью следующих параметров (рис. 2.32):

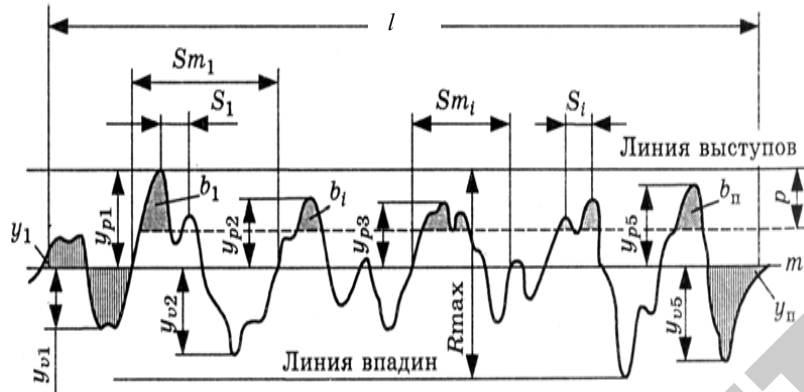


Рис. 2.32. Параметры профилограммы поверхности для определения шероховатости

Типичные диапазоны колебаний параметров шероховатости следующие:  $l$  – от 0,01 до 25 мм;  $R_a$  – от 0,008 до 100 мкм;  $R_z$  и  $R_{max}$  – от 0,25 до 1600 мкм;  $S_m$  и  $S$  – от 0,002 до 12,5 мкм,  $t_p$  – от 10 до 90 %.

Параметр  $R_a$  чаще всего используется для оценки шероховатости (он более точно определяет шероховатость). Также довольно часто используется параметр  $R_z$ , реже – параметр  $R_{max}$ . Показатели высоты профиля для разных видов обработки связаны между собой определенными соотношениями. Так, для отделочно-упрочняющей обработки  $R_{max} \approx 5,0 R_a$ ,  $R_z \approx 4,0 R_a$ ; для точения, строгания и фрезерования  $R_{max} \approx 6,0 R_a$ ,  $R_z \approx 5,0 R_a$ .

Шероховатость может быть регулярной, когда неровности расположены как совокупность следов обработки определенного, одинакового направления с явно выраженным чередованием (точение, сверление, фрезерование, шлифование и т. п.), и нерегулярной, когда четкое чередование следов обработки не наблюдается (электроискровая обработка, дробеструйная обработка и т. п.).

Шероховатость может быть продольной, когда обработанные риски расположены параллельно вектору скорости резания, например, при строгании на продольно-строгальном станке в направлении возвратно-поступательного движения стола или при точении по винтовой линии. Шероховатость может быть и поперечной, когда риски расположены перпендикулярно вектору скорости резания (например, в направлении поперечной подачи при строгании, точении, шлифовании и т. п.).

Шероховатость поверхности оценивается с помощью профилометров и профилографов, действие которых основано на измерении микронеровностей поверхности «ощупыванием» ее алмазной иглой, и микроскопов-интерферометров, действие которых основано на анализе интерференционных эффектов, возникающих при взаимодействии светового луча с микронеровностями поверхности, а также визуально – сравнением обработанных поверхностей с образцами – эталонами шероховатости.

Шероховатость поверхности тем меньше, чем больше точность обработки. Например, при смене видов обтачивания в последовательности «черновое» – «получистовое» – «чистовое» – «тонкое», наряду с понижением номеров качества точности в последовательности (14...12) – (13...11) – (10...8) – (7...6), т. е. с увеличением точности происходит понижение параметра  $R_a$  в последовательности (50...25) – (25...12,5) – (12,5...6,3) – (1,25...0,63), т. е. уменьшение шероховатости.

При обработке лезвийным инструментом пластичных материалов (в частности, углеродистых сталей) шероховатость значительно зависит от скорости резания  $v$  (рис. 2.33, а). При малой  $v$  наблюдается легкое отделение элементной стружки, и шероховатость оказывается незначительной. При увеличении  $v$  до 20...40 м/мин происходит повышение температуры и давления в зоне резания, что вызывает приваривание отделяемого металла к резцу, т. е. образование наростов, ведущих к увеличению шероховатости. При даль-

нейшем увеличении  $v$  наросты подвергаются значительному нагреву, в результате чего они отделяются от резца и уносятся вместе со стружкой, что ведет к уменьшению шероховатости. Кроме того, при высоких  $v$  (более 180 м/мин) значительно уменьшается глубина пластически деформированного слоя обрабатываемого металла, что дополнительно снижает шероховатость.

При обработке лезвийным инструментом пластичных материалов шероховатость также существенно зависит от подачи  $s$  (рис. 2.33, б). С повышением  $s$  значительно увеличиваются пластические деформации, что приводит к увеличению шероховатости.

Значительное влияние на шероховатость поверхности оказывает состояние режущей части инструмента (микронеровности режущей кромки инструмента, а также его затупление ухудшают шероховатость).

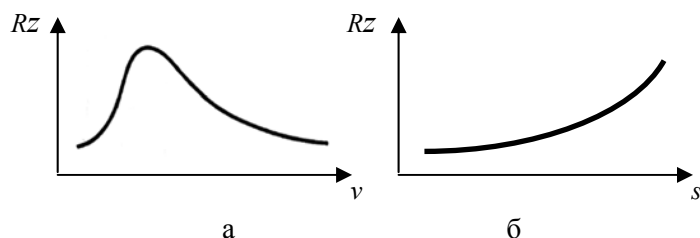


Рис. 2.33. Зависимость шероховатости поверхности от скорости резания (а) и подачи (б)

При обработке абразивным инструментом шероховатость поверхности снижается с уменьшением зернистости и повышением твердости шлифовального круга, увеличением скорости резания, уменьшением продольной и поперечной подач.

Применение смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) предотвращает схватывание, уменьшает трение и облегчает стружкообразование, что способствует уменьшению шероховатости поверхности.

Шероховатость, а также волнистость поверхности зависят от жесткости технологической системы. Вибрации режущего инструмента периодически изменяют положение режущей кромки относительно обрабатываемой поверхности, что увеличивает ее шероховатость. При сравнительно низкой частоте и большой амплитуде вибраций режущего инструмента на обрабатываемой поверхности образуется волнистость.

## 2.5.2. Структура и свойства поверхностного слоя

Структура и, соответственно, физико-механические свойства поверхностного слоя заготовки изменяются под влиянием силовых и температурных факторов в процессе механической обработки. Основные изменения поверхностного слоя связаны с его деформационным упрочнением и возникновением в нем остаточных механических напряжений.

Деформационное упрочнение (наклеп) поверхностного слоя, возникающее при обработке заготовок резанием, является следствием деформирования поверхностного слоя под действием усилий резания. Нагрев в процессе обработки, наоборот, приводит к разупрочнению поверхностного слоя. Преобладание в нем упрочнения или разупрочнения зависит от режимов обработки. Глубина наклепа возрастает с увеличением глубины резания и подачи. При легких режимах резания глубина наклепа составляет сотые доли миллиметра, а при более тяжелых (т. е. при большой глубине резания и подаче) – десятые доли миллиметра. Вместе с тем глубина наклепа уменьшается с увеличением скорости резания, что объясняется уменьшением продолжительности воздействия сил резания на деформируемый металл. Кроме того, с увеличением скорости резания увеличивается нагрев металла, приводящий к разупрочнению, т. е. к снятию наклепа. Следует отметить, что при определенных условиях нагрев, вызванный увеличением скорости резания, может приводить не только к разупрочнению, но и к упрочнению поверхностного слоя. Последнее происходит в результате поверхностной закалки, которая может иметь место в том случае, когда стальная заготовка подвергается поверхностному нагреву (до температуры, превышающей температуру фазовых превращений стали) с последующим быстрым охлаждением.

При обработке заготовок резанием остаточные напряжения поверхностного слоя возникают по следующим причинам:

- пластическое деформирование металла вызывает увеличение его удельного объема, которое имеет место в наружном, приповерхностном слое, при этом внутренние, нижележащие слои, связанные с приповерхностным слоем как одно целое, остаются недеформированными, в результате чего в приповерхностном слое возникают остаточные сжимающие, а в нижележащих слоях – остаточные растягивающие напряжения;

- режущий инструмент, воздействуя на подрезцовый слой металла, вызывает растяжение кристаллических зерен, которые при этом вытягиваются в направлении резания; после удаления режущего инструмента пластически растянутый приповерхностный слой приобретает остаточные сжимающие напряжения, а в нижележащих слоях развиваются уравновешивающие их остаточные растягивающие напряжения;

- теплота, выделяющаяся в зоне резания, быстро нагревает приповерхностный слой до высоких температур, что приводит к увеличению его удельного объема за счет теплового расширения; после прекращения воздействия режущего инструмента происходит быстрое охлаждение приповерхностного слоя, который при этом сжимается, чему препятствуют нижележащие слои, оставшиеся холодными. В результате этого в приповерхностном слое возникают остаточные растягивающие напряжения, а в нижележащих слоях – уравновешивающие их остаточные сжимающие напряжения.

Типичное строение поверхностного слоя металла, подвергнутого деформации в процессе механической обработки, характеризуется наличием трех основных зон (рис. 2.34):

1) верхний, приповерхностный сильно деформированный слой 1, обладающий высокой микротвердостью, со значительными искажениями кристаллической решетки и измельченными зернами;

2) нижележащий деформированный слой 2 с вытянутыми вдоль поверхности зернами, имеющий микротвердость, меньшую по сравнению с верхним слоем;

3) переходный слой 3, в котором влияние деформаций ослабевает и наблюдается постепенный переход к структуре основной части металла 4.

Следует отметить, что качество поверхности деталей оказывает значительное влияние на их эксплуатационные свойства.

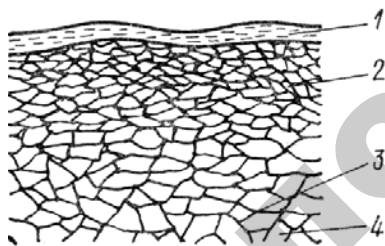


Рис. 2.34. Схематическое строение поверхностного слоя после механической обработки

### 2.5.3. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей

Шероховатость поверхности детали существенно влияет на трение и ее износ. При чрезмерно большой шероховатости поверхностей в процессе их взаимного перемещения происходит срез, отламывание и пластический сдвиг неровностей, что приводит к интенсивному начальному изнашиванию трущихся деталей. При чрезмерно малой шероховатости также происходит возрастание износа, что объясняется повышением молекулярного сцепления, взаимным схватыванием металлов соприкасающихся поверхностей, сопровождающееся локальным вырыванием частиц. Оптимальная шероховатость поверхности достигается в результате приработки деталей узлов трения.

Шероховатость поверхности также влияет на:

- прочность сопряжений деталей с натягом (при запрессовке очень шероховатых деталей происходит сдвиг неровностей поверхности, что ведет к уменьшению натяга по сравнению с расчетным значением);
- прочность деталей, работающих в условиях циклической и знакопеременной нагрузок (впадины профиля провоцируют образование усталостных трещин);
- коррозионную стойкость деталей (развитый рельеф грубо обработанной поверхности имеет большую площадь контакта с внешней средой и потому способствует развитию коррозии).

Деформационное упрочнение (наклеп) поверхностного слоя деталей вызывает повышение износостойкости, микротвердости, препятствует развитию усталостных трещин. Вместе с тем в процессе деформационного упрочнения в поверхностном слое возникает структурные микронеоднородности, являющиеся очагами коррозии, в результате чего коррозионная стойкость наклепанных деталей уменьшается.

Остаточные напряжения поверхностного слоя деталей влияют на их усталостную прочность (сжимающие напряжения увеличивают предел усталости, а растягивающие – уменьшают).

## РАЗДЕЛ 3

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

---

#### 3.1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

##### 3.1.1. Порядок проектирования технологического процесса обработки

Проектирование технологического процесса механической обработки заготовок предназначено для того, чтобы дать подробное описание процесса изготовления деталей, с необходимым технико-экономическим обоснованием выбранного варианта процесса, и направлено на решение следующих основных задач:

- обеспечение производства деталей заданного качества в соответствии с их функциональным назначением;
- обеспечение высокого технологического уровня производства деталей в соответствии с достижениями научно-технического прогресса;
- обеспечение высокой экономической эффективности производства деталей;
- обеспечение выполнения требований охраны труда и окружающей среды при производстве деталей.

Проектирование технологического процесса механической обработки заготовок включает следующие основные этапы:

- 1) изучение функционального (служебного) назначения изготавливаемой детали;
- 2) анализ исходных данных для проектирования;
- 3) определение типа производства;
- 4) отработка конструкции детали на технологичность;

- 5) выбор заготовки;
- 6) выбор способов обработки;
- 7) составление технологического маршрута обработки;
- 8) определение припусков на обработку;
- 9) разработка технологических операций;
- 10) экономическое обоснование технологического процесса;
- 11) разработка технологической документации.

Для изготовления конкретных деталей последовательность и содержание отдельных этапов проектирования технологического процесса механической обработки могут изменяться.

Технологический процесс механической обработки разрабатывается с привязкой к действующему производству либо для создаваемого производства. В последнем случае технологи-проектировщики имеют больше возможностей в принятии решений по проектированию.

##### 3.1.2. Этапы проектирования технологического процесса обработки

Изучение функционального назначения детали направлено на то, чтобы сформировать четкое представление о функциях, которые должна выполнять деталь. Это необходимо для правильной оценки работоспособности детали и технических требований к ней, заложенных конструктором, что, в свою очередь, способствует сотрудничеству технолога и конструктора при проектировании технологии изготовления детали.

При изучении функционального назначения детали необходимо учитывать следующие параметры:

- 1) требуемые относительные положения присоединяемых к данной детали других неподвижных или подвижных деталей или сборочных единиц;
- 2) допустимые механические рабочие нагрузки;
- 3) допустимые тепловые и иные внешние воздействия;
- 4) требуемый период эксплуатации до ремонта и общий период эксплуатации;
- 5) регламент технического обслуживания;
- 6) габариты, массу, параметры экономичности, эргономичности, эстетичности и т. д.

По каждому из этих параметров следует установить количественные оценки, включающие не только номинальные значения этих параметров, но и допустимые отклонения. Обоснование и расчет каждого параметра производится исходя из функционального назначения и соответствующих требований к параметрам функционирования машины (сборочной единицы) в целом.

Описания функционального назначения конкретных типов деталей могут иметь свои специфические отличия. Например, корпусные детали представляют собой базовые детали (на них устанавливаются другие детали или узлы), точность относительного положения которых должна обеспечиваться как в статике, так и в процессе работы машины под нагрузкой. Соответственно, корпусные детали должны иметь требуемую прочность, жесткость и виброустойчивость, что, в свою очередь, обеспечивает требуемое относительное положение соединяемых деталей или узлов, а также правильную работу машины и отсутствие вибраций. Кроме того, необходимо учитывать технологические возможности изготовления корпусных деталей заданной формы и размеров, исходя из соображений удобства последующей сборки, которую начинают с базовой корпусной детали.

Анализ исходных данных включает, прежде всего, изучение базовой исходной информации, к которой относятся чертежи детали, собираемого изделия и исходной заготовки (с соответствующими техническими условиями на изготовление), а также объем планового задания выпуска деталей.

Важнейшим исходным документом является рабочий чертеж детали, включающий, кроме изображения, данные для ее изготовления и контроля. Рабочий чертеж детали должен содержать:

- а) необходимые проекции видов, разрезы и сечения, позволяющие дать правильное представление о форме изготавливаемой детали; обозначения размеров и допусков на размеры детали;
- б) указания о требуемой шероховатости поверхностей, подлежащих обработке;
- в) указания о материале детали, его физико-механических свойствах (что необходимо для правильного назначения режимов обработки) и т. д.

Кроме того, изучается информация, определяющая дополнительные условия проектирования (сведения о наличии необходимого оборудования, приспособлений и инструментов, возможности их

модернизации, о наличии необходимых производственных площадей и т. п.).

Определение типа производства, от которого зависит структура технологического процесса обработки, устанавливается по следующим признакам: широта и стабильность номенклатуры, регулярность и объем выпуска, масса деталей и др. Для установления типа производства также используется коэффициент закрепления операций.

Для каждого типа производства дополнительно определяются соответствующие ему характеристики (степени детализации разработки технологического процесса, универсальности/специализации технологического оборудования, механизации и автоматизации технологического процесса; форма организации технологического процесса (непотоочное или потоочное производство) и др.).

В случае серийного производства, характеризующегося обработкой заготовок партиями, рассчитывается величина производственной партии.

При массовом производстве, характеризующимся узкой специализацией рабочих мест и потоочной формой организации, рассчитывается такт выпуска, поскольку в этом случае возникает необходимость в обеспечении одинаковой длительности операций с заранее заданным тактом выпуска, влияющим на разработку операций и выбор оборудования.

Анализ технологичности конструкции деталей осуществляется с целью сокращения затрат временных, материальных и трудовых ресурсов при производстве деталей, их эксплуатации или ремонте. Особое значение имеет анализ производственной технологичности конструкции изделия, направленный на экономию ресурсов при проектировании технологического процесса изготовления детали и оформлении соответствующей технологической документации, а также на разработку, изготовление или приобретение необходимого технологического оборудования и оснастки.

Количественная оценка технологичности конструкции детали производится с помощью базовых показателей (трудоемкость, материалоемкость, себестоимость и проч.), относительно которых рассчитывается уровень технологичности конструкции детали.

Выбор заготовки означает определение ее конструкции, т. е. установление формы, размеров, материала и других конструктивных параметров заготовки таким образом, чтобы обеспечить минимальную себестоимость детали (выбору подлежит исходная заготовка,



т. е. заготовка перед первой технологической операцией механической обработки).

Выбор заготовки связан с определением технологии получения заготовки, осуществляемым с учетом возможностей той или иной технологии изготовить заготовку заданной конструкции, а также с учетом себестоимости заготовки.

В машиностроении используются преимущественно металлические заготовки, получаемые обработкой давлением (прокат, поковки) и литьем (отливки).

Прокат производят из стали, цветных металлов и сплавов. Различают сортовой, листовой, трубный, а также специальный прокат.

Сортовой прокат (сортовые профили) представляет собой длинномерные изделия (прутки) и подразделяется на простые и фасонные профили. Простые профили (круглого сечения, квадратного, шестигранного и прямоугольного) используются для изготовления осей, валов, шлицев, пальцев, винтов, болтов, гаек, а также полых деталей (стаканов, втулок и т. п.). Фасонные профили (швеллер, рельс, угловые и тавровые профили) используются для изготовления балок, кронштейнов, полок, сварных конструкций (рам, плит, станин, подставок) и т. п.

Листовой прокат подразделяется на лист, рулон, полосу, ленту. Этот прокат используется для изготовления крышек, кожухов, бочков, панелей, фланцев, колец, а также полых деталей (втулки и т. п.) и проч.

Трубный прокат подразделяется на бесшовные и сварные трубы (преимущественно круглого сечения). Он используется для изготовления полых деталей трубопроводов, цилиндров, втулок, гильз, стаканов, барабанов и т. п.

К специальному прокату относятся периодические профили (с переменным поперечным сечением вдоль оси заготовки), гнутые профили, многослойные профили и т. п.

Поковки получают ковкой или штамповкой при использовании их в качестве исходных заготовок проката или отливок.

Отливки получают из чугуна, стали, цветных металлов и сплавов. Преимущества отливок заключаются в возможности получения их конфигурации практически любой сложности при очень малых припусках на механическую обработку, а также в использовании более дешевого литейного оборудования (по сравнению с оборудо-

ванием для получения поковок). Вместе с тем отливки по прочности обычно уступают поковкам.

После выбора заготовки и технологии ее получения разрабатывается чертеж заготовки. На чертеже заготовки обычно указывают твердость материала; состояние поверхностного слоя и способы устранения дефектов поверхности; допустимые погрешности формы и расположения поверхностей; значения технологических уклонов, радиусов и переходов; методы и качество предварительной обработки (обрезки, обдирки, правки); поверхности, принимаемые в качестве базовых при первых операциях механической обработки. Кроме того, устанавливаются оценочные значения припусков на механическую обработку, а также номинальные размеры заготовки (путем суммирования размеров соответствующей детали и принятых припусков) и допуски на ее размеры (с учетом достигаемой точности получения заготовки по принятой технологии).

Выбор способов обработки поверхностей заготовки производится с учетом конфигурации, габаритных размеров, массы и материала изготавливаемой детали; установленного объема их выпуска и принятого типа производства; имеющегося технологического оборудования и оснастки; требований к соблюдению их точности, производительности, себестоимости и проч.

Следует отметить, что для обработки одной и той же поверхности заготовки могут быть использованы разные способы обработки. Например, приблизительно одинаковое качество обработки плоской поверхности может быть достигнуто точением, фрезерованием, строганием, протягиванием или шлифованием. Поэтому, выбирая тот или иной способ обработки, необходимо учитывать его особенности, преимущества и недостатки.

Одновременно с выбором способа обработки производится определение технологических баз.

Необходимо выбрать технологические базы, используемые:

- 1) на первой операции (первых операциях) технологического процесса обработки;
- 2) для получения наиболее ответственных показателей точности детали;
- 3) при обработке большинства поверхностей заготовки.

Выбор технологических баз на первой операции (первых операциях) связан с установлением связей между обрабатываемыми и ос-

тающимися необработанными поверхностями и распределением припусков между обрабатываемыми поверхностями.

При выборе технологических баз необходимо обеспечить возможности точного и удобного закрепления заготовки на станке или в приспособлении, а также ее последующего снятия. Для закрепления заготовок часто применяются пневматические, гидравлические и другие зажимные устройства, позволяющие надежно закрепить заготовку.

С учетом выбранных технологических баз разрабатываются требования к точности обработки поверхностей и их шероховатости.

Составление технологического маршрута обработки предусматривает определение последовательности операций обработки заготовки. Для этого учитываются конструктивные особенности детали; требования к ее качеству; методы получения размеров и свойства заготовки (материал, масса, размеры, припуски на обработку); возможности оборудования, необходимость в термической обработке; форма организации производства и проч.

Определяя последовательность операций обработки, необходимо соблюдать следующие требования:

- сначала обрабатываются поверхности, служащие в дальнейшем технологическими базами;
- затем обрабатываются те поверхности, с которых снимается наибольший слой металла, что позволяет своевременно обнаружить и устранить дефекты поверхностного слоя, не допуская дальнейшей обработки бракованных заготовок;
- остальные поверхности обрабатываются в последовательности, обратной степени их точности;
- поверхности, которые являются наиболее точными и важными для нормального функционирования детали, обрабатываются в последнюю очередь;
- легкоповреждаемые поверхности (например, наружные резьбы) обрабатываются после того, как окончательно обработана поверхность заготовки, с которой они сопряжены;
- вспомогательные операции (например, сверление мелких отверстий, прорезание канавок, снятие фасок) выполняются на стадии чистовой обработки;
- отделочные операции (например, шлифование, хонингование, притирка) выполняются после термической, химико-термической и других немеханических видов обработки.

При составлении технологического маршрута производится предварительный выбор технологического оборудования и оснастки. Для существующего цеха учитываются наличие, функциональные возможности и расположение оборудования, наличие оснастки, оснащенность транспортными средствами и т. п. При этом последовательность операций обработки устанавливается с учетом возможности сокращения путей и времени транспортирования обрабатываемых заготовок.

Составление технологического маршрута начинается с определения последовательности видов операций, после чего определяется их содержание.

При составлении технологического маршрута следует ориентироваться на использование типовых технологических процессов обработки.

Составление технологического маршрута завершается оформлением маршрутной карты, в которую заносятся сведения об операциях в установленной последовательности с указанием данных об оборудовании и оснастке, а также материальных и трудовых нормативов.

Определение припусков на обработку, которое предварительно производится при выборе заготовки, имеет оценочный характер. В этой связи значения припусков нуждаются в уточнении. Установление промежуточных и общих припусков на все обрабатываемые поверхности заготовки может производиться опытно-статистическим и расчетно-аналитическим методами.

Опытно-статистический метод назначения припусков используется в условиях единичного и мелкосерийного производства, когда поверхности заготовки обрабатываются в несколько технологических операций, переходов или рабочих ходов (обычно при выполнении размеров по 10, 9-му и более точным качествам и обеспечении шероховатости  $R_a \leq 3,2 \dots 1,6$  мкм).

Расчетно-аналитический метод назначения припусков используется в условиях крупносерийного и массового производства, когда поверхности заготовки подвергаются однократной обработке (обычно при выполнении размеров по 11, 12-му и более грубым качествам и обеспечении шероховатости  $R_a \geq 6,3$  мкм).

После уточнения значений припусков вносятся соответствующие уточнения в чертеж заготовки, первоначально разработанный

при выборе заготовки. В частности, на чертеже указываются более точные номинальные размеры заготовки.

Разработка технологических операций механической обработки является основным этапом проектирования технологического процесса в целом. При составлении технологического маршрута производится предварительное определение содержания операций. Окончательное, более точное определение содержания каждой операции включает установление всех ее структурных элементов, т. е. переходов, ходов, установов, а также позиций. Одновременно с уточнением структуры операций определяется степень их концентрации или дифференциации.

Структурные элементы операций устанавливаются с учетом их последовательности и условий выполнения.

Для каждой операции рассчитываются нормы времени и нормы выработки. При этом следует учитывать факторы, определяющие характер схем обработки. К данным факторам относятся:

- число заготовок, одновременно устанавливаемых на станок или в приспособление (одно- или многоместная обработка);
- число инструментов, используемых при выполнении операции (одно- или многоинструментальная обработка);
- последовательность работы инструментов (последовательная обработка, параллельная или параллельно-последовательная обработка).

Каждая схема обработки характеризуется разными соотношениями основного и вспомогательного времени и соответственно разной производительностью обработки. Наибольшая производительность достигается применением схем обработки, реализуемых на многоинструментальных станках, когда обеспечивается непрерывная установка и снятие заготовок, благодаря чему вспомогательное время значительно уменьшается.

После определения структуры каждой операции производится окончательный выбор оборудования, приспособлений и инструмента, а также режимов обработки (с учетом требований обеспечения заданной точности обработки и качества обрабатываемой поверхности, наибольшей производительности обработки и наименьшей технологической себестоимости изготавливаемой детали).

При выборе станка необходимо учитывать следующее:

- соответствие параметров станка, характеризующих его функциональные возможности, размерам изготавливаемых деталей;

- соответствие производительности станка числу деталей, подлежащих изготовлению в заданный период времени;
- возможность работы станка на оптимальных режимах обработки, когда загрузка станка по мощности составляет не менее 80 %, а по времени – не менее 60 %;
- возможность изготовления деталей за минимальное время и при обеспечении их минимальной себестоимости;
- наличие требуемого оборудования в цехе или возможность приобретения этого оборудования.

Выбор оборудования во многом определяется типом производства. Например, в условиях крупносерийного и массового производства целесообразно использовать специальные станки; при высокой степени концентрации операций выбираются многосуппортные и многошпиндельные станки.

Выбор приспособлений также во многом определяется типом производства. Так, в единичном и мелкосерийном производстве используются преимущественно универсальные стандартные приспособления (машинные тиски, самоцентрирующие патроны и т. п.), а также универсально-сборные приспособления. В условиях мелкосерийного и серийного производства, наряду с универсально-сборными приспособлениями, применяются сборно-разборные и универсально-наладочные приспособления. В крупносерийном и массовом производстве наибольший эффект дает применение механизированных и автоматизированных специальных приспособлений, обеспечивающих высокую точность и производительность.

При выборе инструмента для выполнения конкретной операции необходимо учитывать следующие факторы: способ обработки поверхности, тип станка и приспособления, форму и размеры заготовки, свойства обрабатываемого материала, тип и форму организации производства. Кроме того, следует учитывать то, что в единичном и серийном производстве обычно используется универсальный инструмент (покупной), в крупносерийном и массовом – специальный инструмент (изготавливаемый в инструментальном цехе предприятия).

При обработке заготовки резанием режущие свойства инструмента подбираются с учетом стадии и условий обработки (свойств обрабатываемого материала, скорости резания, жесткости технологической системы и т. п.). Например, для черновой и чистовой обработки стальных заготовок при спокойном процессе резания обычно применяются инструменты из титано-вольфрамовых твердых сплавов, а при наличии вибраций или при обработке чугуна – из вольфрамовых сплавов.

При выборе режима обработки следует принимать во внимание требования к качеству детали, свойства материала заготовки, форму и свойства материала инструмента, возможности применяемого оборудования.

Режим обработки резанием характеризуется глубиной резания, подачей, скоростью резания и рассчитывается в следующей последовательности:

1. Устанавливается глубина резания, которая определяется, главным образом, величиной припуска. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы каждый переход выполнять за один рабочий ход. Обработку за несколько проходов обычно применяют на черновых переходах при больших припусках и напусках, а также при недостаточной жесткости и прочности технологической системы и недостаточной мощности станка.

2. Выбирается по нормативам максимально технологически допустимая величина подачи. При черновой обработке подача ограничивается жесткостью технологической системы, а при чистовой – точностью получаемого размера и формы обрабатываемой поверхности. Выбранная величина подачи корректируется по паспортным данным станка.

3. Определяется скорость резания расчетно-аналитическим методом (по эмпирическим формулам) или табличным методом (по нормативам режимов резания с внесением поправок на условия резания, не учитываемые нормативами).

Экономическое обоснование технологического процесса, т. е. выбор из имеющихся вариантов наиболее экономичного технологического процесса механической обработки производится по результатам сравнения абсолютных показателей (таких, как себестоимость и трудоемкость обработки заготовок). Для более точной оценки вариантов технологического процесса дополнительно производится их сравнение по таким относительным показателям, как коэффициенты основного времени, использования материала и загрузки оборудования.

Обычно сравнение проводят не по всему технологическому процессу, а по отдельным операциям, которые имеют вариантность.

Для сравнения возможных вариантов технологического процесса можно использовать графоаналитический метод, который позволяет правильно и быстро выявлять наиболее экономичный вариант технологического процесса применительно к данным производственным условиям.

Согласно этому методу все расходы, связанные с реализацией каждого варианта технологического процесса, делят на две группы: не зависящие и зависящие от числа подлежащих изготовлению деталей. В первую группу включают расходы на оборудование, приспособления и инструменты, во вторую – на заработную плату рабочих и наладчиков, материалы, эксплуатацию, техническое обслуживание и амортизацию оборудования, приспособлений и инструментов.

Если обозначить первую группу расходов через  $b$ , вторую – через  $m$  и число изделий – через  $x$ , то себестоимость изготовления этих изделий будет определяться по формуле:

$$C = b + mx. \quad (3.1)$$

Для сравнения нескольких вариантов технологического процесса, например трех, составляются, соответственно, три уравнения:

$$C_1 = b_1 + m_1x; C_2 = b_2 + m_2x; C_3 = b_3 + m_3x, \quad (3.2)$$

каждое из которых действительно при своих предельных значениях  $x$ , что отображается на графике. Сравнивая графики, можно определить соответствующую каждому из трех процессов область значений  $x$ , для которой себестоимость будет наименьшей.

Разработка технологической документации является завершающим этапом проектирования технологического процесса механической обработки. Назначение технологической документации заключается в том, чтобы предоставить исполнителям исчерпывающую информацию о строении технологического процесса обработки, оборудовании, приспособлениях, инструментах, режимах обработки, трудоемкости операций, разрядах работ и их расценках.

К основным технологическим документам относятся маршрутная карта, операционная карта и карта эскизов. Кроме того, составляются технологические инструкции и ведомости оснастки. В массовом и крупносерийном производстве вместо маршрутной карты используется карта технологического процесса. Эти документы являются оперативными, используемыми в планировании производства и управлении им.

Одновременно с проектированием технологического процесса разрабатывают технические задания на проектирование специального оборудования, приспособлений, инструмента (режущего и измерительного).

Технологическая документация разрабатывается в соответствии с требованиями Единой системы технологической документации (ЕСТД).

### 3.1.3. Особенности проектирования типового технологического процесса обработки

Типизация технологических процессов обеспечивает устранение многообразия процессов сведением их к ограниченному числу типов и является базой для разработки стандартов на типовые технологические процессы.

Типовой технологический процесс разрабатывается для изготовления в конкретных производственных условиях типового представителя группы изделий (деталей, узлов, машин), характеризующихся наличием общих конструктивно-технологических признаков.

Началом работы по типизации технологических процессов является классификация изделий, которая представляет собой деление всего многообразия изделий на классы, т. е. на совокупности изделий, обладающих общностью (сходством) функционального назначения, конструкции и технологии изготовления. В каждом классе выбирается типовое изделие, которое наиболее полно представляет функциональное назначение изделий данного класса. Типовое изделие должно охватывать все конструктивные элементы, присущие данному классу изделий, изготавливаться из материала, соответствующего функциональному назначению изделий данного класса, соответствовать наиболее высоким требованиям к качеству изготовления. Если ни одно изделие данного класса не отвечает в полной мере указанным требованиям, то разрабатывается конструкция изделия-представителя, учитывающая особенности всех изделий, составляющих класс.

Типизация технологических процессов способствует следующему:

- сокращению времени разработки технологии изготовления новых изделий;
- сокращению циклов подготовки производства новых изделий;
- более эффективному использованию передового производственного опыта и научно-технических достижений;
- выявлению потребностей в новых видах оборудования и технологической оснастки;

- отработке технологичности конструкции изделий;
- унификации изделий, специального оборудования и оснастки.

Проектирование типовых технологических процессов осуществляется в двух вариантах: рабочем (с учетом существующих на предприятии технологий и форм организации производства) и перспективном (с учетом новых технологий и форм организации производства). Кроме того, оно ведется с учетом типа производства (для разных объемов выпуска изделий будут свои типовые технологические процессы, ориентированные на применение наиболее производительного оборудования, приспособлений и инструментов, экономичных для данного типа производства).

Наибольшее распространение получила типизация технологических процессов механической обработки.

Типизация технологических процессов механической обработки может производиться по трем направлениям:

- 1) обработка отдельных поверхностей заготовок;
- 2) обработка отдельных сочетаний поверхностей заготовок;
- 3) обработка заготовок в целом.

Соответственно, проектирование типового технологического процесса обработки заготовок предусматривает классификацию отдельных поверхностей и сочетаний поверхностей по признакам, удовлетворяющим условиям, при которых обработка может быть проведена по одной и той же технологии.

Признаками классификации являются:

- при типизации отдельных поверхностей – конфигурация поверхности; ее размеры; материал обрабатываемой заготовки; требуемая точность обработки поверхности (по форме, размеру и качеству);
- при типизации сочетаний поверхностей – конфигурация и взаимное расположение отдельных поверхностей; их размеры и соотношение размеров между ними; материал обрабатываемой заготовки; требуемая точность обработки отдельных поверхностей;
- при типизации заготовок – конфигурация, размеры, материал, точность обработки заготовки.

Выделяют 14 классов заготовок, характеризующихся общностью конфигурации и видов обработки (валы, втулки, диски, эксцентрики, крестовины, рычаги, плиты, угольники, бабки, зубчатые колеса, фасонные кулачки, ходовые винты и червяки, мелкие крепежные детали).

В каждом классе выбирается типовая заготовка, которая наиболее полно представляет функциональное назначение изготавливаемых деталей.

Из технологического процесса обработки типовой заготовки выбирают операции и переходы, необходимые для обработки заготовки с учетом ее конструкции, указываются размеры заготовки и допуски на размеры (при этом порядок обработки заготовки соответствует общему порядку обработки всех заготовок, включенных в соответствующий класс).

Примерами типовых процессов обработки отдельных поверхностей являются процессы обработки плоских, цилиндрических, конических поверхностей и т. п. Примерами типовых процессов обработки сочетаний поверхностей являются процессы обработки концентрично расположенных наружных и внутренних поверхностей вращения, взаимно перпендикулярных или параллельных плоских поверхностей и т. п.

Документация типовых технологических процессов обработки включает классификатор деталей и карты типовых технологических процессов обработки, содержащие сведения о типовых процессах и отдельных операциях: эскиз заготовки с габаритными размерами, материал заготовки, точность обработки и качество поверхностного слоя, последовательность и содержание переходов, оборудование, приспособления и инструменты, режимы обработки, нормы времени.

#### **3.1.4. Особенности проектирования группового технологического процесса обработки**

Типизация технологических процессов характерна для крупносерийного и массового производства. В условиях мелкосерийного и серийного производства возникают большие потери времени, связанные с переналадкой станков при переходе от изготовления одной детали к другой. В этих условиях целесообразно использовать групповую обработку заготовок, которая осуществляется без переналадки (или с минимальной переналадкой) станков.

Групповая обработка используется в среднесерийном производстве при создании переналаживаемых агрегатных станков и автоматических линий. Благодаря развитию методов групповой обработки стала воз-

можной автоматизация мелкосерийного и единичного производства и построение гибких производственных систем (ГПС).

При проектировании технологических процессов групповой обработки заготовок производится их классификация, которая существенно отличается от классификации заготовок, проводимой при проектировании типовых технологических процессов. Если при типизации технологических процессов заготовки классифицируются по общим конструктивно-технологическим признакам, то при групповой обработке заготовки объединяются в группы по признаку общности технологического оборудования, необходимого для обработки отдельных поверхностей заготовок, сочетаний их поверхностей или заготовок в целом, т. е. по видам обработки (обработка на токарных станках, фрезерных, сверлильных и проч.). При формировании группы заготовок дополнительно учитываются их следующие признаки: точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей; близость размеров исходных заготовок, позволяющая обрабатывать их на одном и том же оборудовании в однотипных приспособлениях с применением одинакового инструмента; серийность выпуска заготовок; трудоемкость обработки отобранных заготовок (деталей) в количестве, обеспечивающем полное выполнение программы в течение планового периода (месяца, квартала, года).

Групповая обработка может распространяться на технологический процесс в целом и на отдельные операции. При проектировании отдельных групповых операций заготовки объединяют в группы для обработки на одном и том же станке при его неизменной наладке. Иногда при переходе к обработке другой заготовки данной группы допускается незначительная подналадка станка, которая должна осуществляться с минимальной затратой времени (замена режущего инструмента, сменных установочных или зажимных элементов группового приспособления, перестановка линейных и диаметральных упоров и т. п.).

Групповые операции успешно применяются для деталей, цикл изготовления которых ограничивается одной операцией (например, токарно-автоматные или токарно-револьверные операции), а также для заготовок, которые после данной операции проходят обработку по индивидуальным процессам или входят в новые группы заготовок, формируемые для других операций.

При выполнении групповой обработки заготовок наладку станка производят для наиболее сложной детали, включающей в себя все поверхности, встречающиеся у отдельных деталей группы. Если такая деталь в группе отсутствует, то путем искусственного объединения отдельных поверхностей более простых деталей группы специально создается комплексная деталь (рис. 3.1).

Для наиболее сложной детали группы (или комплексной детали) устанавливается последовательность и содержание переходов групповой операции и разрабатывается схема групповой наладки станка. Осуществленная таким образом наладка станка позволяет обрабатывать любую заготовку группы без значительной переналадки.

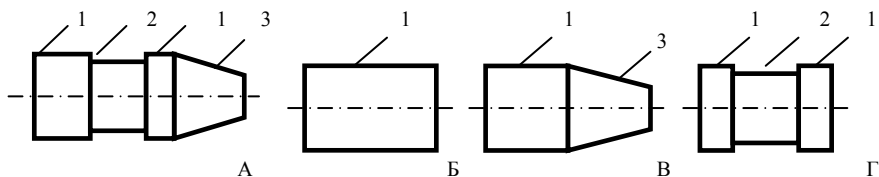


Рис. 3.1. Формирование комплексной детали:

А – комплексная деталь; Б...Г – группа деталей; 1...3 – сочетание элементарных обрабатываемых поверхностей

## 3.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ

### 3.2.1. Порядок проектирования технологического процесса сборки

При проектировании технологического процесса сборки изделий (узлов и машин) целью является подробное описание процесса сборки изделий с соответствующим технико-экономическим обоснованием выбранного варианта процесса. При этом проектирование направлено на решение следующих основных задач:

- обеспечение сборки изделий заданного качества в соответствии с их функциональным назначением;

- обеспечение высокого технологического уровня сборки изделий в соответствии с достижениями научно-технического прогресса;
- обеспечение высокой экономической эффективности сборки изделий;
- обеспечение выполнения требований охраны труда и окружающей среды при сборке изделий.

Проектирование технологического процесса сборки изделий включает следующие основные этапы:

- 1) анализ исходных данных для проектирования;
- 2) определение типа производства и организационной формы сборки;
- 3) анализ конструкции собираемого изделия на технологичность;
- 4) анализ базового технологического процесса сборки;
- 5) выбор методов обеспечения точности сборки;
- 6) разработка технологической схемы сборки;
- 7) определение необходимого перечня технологических работ;
- 8) выбор технологических баз;
- 9) выбор технологического оборудования и оснастки;
- 10) расчет параметров режима сборки;
- 11) анализ качества сборки;
- 12) техническое нормирование сборки;
- 13) разработка схем и выбор средств контроля;
- 14) разработка технологической документации процесса сборки.

Ряд этапов проектирования технологического процесса сборки подобен по содержанию соответствующим этапам проектирования технологического процесса механической обработки. Для конкретных узлов и машин последовательность и содержание отдельных этапов проектирования технологического процесса сборки могут изменяться.

Технологический процесс сборки (так же как и технологический процесс механической обработки) разрабатывается либо с привязкой к действующему производству, либо для создаваемого производства.

### 3.2.2. Этапы проектирования технологического процесса сборки

Целью изучения функционального назначения собираемого изделия является формирование четкого представления о функциях изделия, что необходимо для правильной оценки его работоспособности и технических требований к нему, разработанных конструктором.

При изучении функционального назначения изделия следует учитывать такие параметры, как условия его совместимости с другими видами изделий при эксплуатации; допустимые механические рабочие нагрузки, а также тепловые и иные внешние воздействия; требуемый период эксплуатации до ремонта и общий период эксплуатации; регламент технического обслуживания; габариты, масса, коэффициент полезного действия; параметры экономичности, эргономичности, эстетичности и др. По каждому из параметров устанавливаются количественные оценки, включающие не только номинальные значения, но и допустимые отклонения от этих значений.

Описания функционального назначения собираемых изделий конкретных типов могут иметь свои специфические отличия. Например, для технологических машин указываются сведения о производимой ими продукции (вид, качество, количество) и производительность. Для транспортных машин указываются сведения о характере перемещаемых ими грузов (вид, масса, объем) и условиях перемещения (расстояние и скорость перемещения, состояние пути перемещения).

Анализ исходных данных для проектирования включает, прежде всего, изучение базовой исходной информации. К ней относятся: описание функционального назначения изделия, сборочные чертежи изделия (отдельных узлов и машины в целом) с соответствующими техническими условиями на сборку, испытание и приемку изделия; производственная программа выпуска (программа сборочного цеха, участка) и планируемый интервал времени выпуска изделия; спецификация поступающих на сборку узлов и деталей.

Важнейшим исходным документом являются сборочные чертежи изделия, которые содержат необходимые проекции видов, разрезы и сечения; обозначения размеров и допусков на них, требуемые для сборки; данные о массе и объеме изделия.

При сборке металлообрабатывающих станков важно установить нормы точности обработки заготовок с учетом требований к качеству изготавливаемых на этих станках деталей. В свою очередь, соблюдение норм точности обработки зависит от точности формы, размеров, относительного расположения и направления движения поверхностей станка, т. е. от точности размерных связей в станке. Как следствие, для определения требований к размерным параметрам станка необходимо:

- 1) выявить исполнительные поверхности станка;

- 2) определить виды связей исполнительных поверхностей, посредством которых проводится обработка заготовок;

- 3) осуществить переход от номинальных значений и допусков параметров продукции и обработки к параметрам связей исполнительных поверхностей;

- 4) установить нормы точности формы, размеров, относительного расположения и направления движения поверхностей станка.

К информации, определяющей дополнительные условия проектирования, относятся сведения о наличии оборудования, приспособлений и инструментов, необходимых для сборки и возможности их модернизации, а также о наличии необходимых производственных площадей и т. п.

Определение типа производства, от которого зависит структура технологического процесса сборки, устанавливается по таким признакам, как разнообразие и стабильность номенклатуры изделий, регулярность и объем выпуска.

В зависимости от типа производства выбираются две организационные формы сборки: стационарная сборка (изделие полностью собирается на одном рабочем месте, к которому подаются все детали и узлы) и подвижная сборка (собираемое изделие последовательно перемещается от одного рабочего места к другому, а на каждом рабочем месте выполняются определенные сборочные операции и к нему подаются детали и узлы, необходимые для выполнения этих операций).

Стационарная сборка может производиться в условиях концентрации или дифференциации сборочных операций. Стационарная сборка с дифференциацией операций предполагает деление сборочного процесса на узловую сборку и общую сборку.

Подвижная сборка может производиться только при условии дифференциации сборочных операций. При этом в мелкосерийном и серийном производстве перемещение собираемого изделия осуществляется самими рабочими-сборщиками (с помощью тележек или подъемно-транспортных средств), а в крупносерийном и массовом производстве – с помощью механизированных транспортных средств (конвейеров) непрерывного или периодического действия.

При значительной степени дифференциации сборочного процесса применяется поточная форма сборки, при которой сборка идет непрерывно и собранные изделия выходят периодически через оп-



ределенный период времени – такт выпуска, которому должно быть равно или кратно время сборочных операций. При поточной сборке целесообразно выполнять узловую сборку и общую сборку параллельно, располагая линии сборок так, чтобы место конечной операции узловой сборки располагалось вблизи места поступления узла на линию общей сборки.

Анализ технологичности конструкции собираемого изделия (узла или машины) направлен на сокращение затрат временных, материальных и трудовых ресурсов при его производстве, эксплуатации или ремонте. Особое значение имеет анализ производственной технологичности конструкции изделия, связанной с сокращением ресурсов на проектирование технологического процесса сборки и оформление соответствующей технологической документации, а также на разработку, изготовление или приобретение технологического оборудования и оснастки.

При анализе производственной технологичности конструкции изделия необходимо учитывать возможности наиболее полного расчленения сборки на узловую и общую, уменьшения числа и упрощения пригоночных работ, а также работ по соединению деталей и узлов.

Количественная оценка технологичности конструкции собираемого изделия производится с помощью базовых показателей (трудоемкость, материалоемкость, себестоимость и т. д.), относительно которых рассчитывается уровень технологичности конструкции изделия.

Выбор методов обеспечения точности сборки производится на основании анализа сборочного чертежа изделия, в частности, на основании анализа размерных цепей. Выбор метода обеспечения точности сборки (полной взаимозаменяемости, неполной взаимозаменяемости, групповой взаимозаменяемости, пригонки и регулирования) определяется точностью замыкающего звена или составляющих звеньев размерной цепи, количеством составляющих звеньев, допустимым процентом брака от несобираемости, особенностями конструкции изделия и т. д.

Составление технологической схемы сборки производится на основании исходных данных и является основным этапом проектирования технологического процесса сборки. Для составления схемы сборки следует определить последовательность сборочных опера-

ций с учетом конструкции собираемого изделия и методов достижения требуемой точности сборки. Сначала определяется базовая деталь, к которой должны присоединяться другие детали собираемого изделия, после чего устанавливается порядок и способы присоединения этих деталей к базовой. При сборке сложного изделия целесообразно сначала разработать схему общей сборки, а затем – узловой.

При составлении схемы сборки рекомендуется руководствоваться следующими положениями:

- 1) сборку следует начинать с формирования тех размерных цепей, с помощью которых в изделии решаются наиболее ответственные задачи;
- 2) при наличии параллельно связанных размерных цепей их построение следует начинать с установки деталей, размеры которых являются общими звеньями для разных цепей;
- 3) последовательность установки деталей при сборке должна быть такой, чтобы ранее смонтированные детали не мешали установке последующих деталей;
- 4) частичные разборки изделия в процессе сборки должны были минимальными;
- 5) последовательность сборки изделия должна соответствовать выбранному типу производства и форме организации производственного процесса.

Технологическая схема сборки изображается графически в виде горизонтальной прямой, проведенной в направлении от базовой детали к собираемому изделию (над линией указываются в порядке последовательности сборки обозначения непосредственно входящих в изделие деталей, а под линией – узлов). Технологическая схема сборки должна быть снабжена надписями-сносками, поясняющими характер сборочных соединений и выполняемый при сборке контроль (например, запрессовать, расклепать, затянуть с определенным крутящим моментом, отрегулировать положение, проверить зазор и т. д.). Если отдельные узлы по условиям общей сборки подвергаются частичной или полной разборке (например, шатун с поршнем при установке в компрессор), то такие разборочные работы также должны отражаться дополнительной надписью на технологической схеме общей сборки.

При составлении схемы сборки необходимо, кроме собственно сборочных работ, предусмотреть работы других видов, выполняемых в ходе сборки. К таким видам работ относятся:

- механическая обработка деталей перед сборкой (зачистка заусенцев, подготовка отверстий для установки штифтов, притирка поверхностей и т. п.);
- промывка, протирка, продувка, смазка и т. п.;
- изготовление дополнительных простых деталей (прокладок, пружин, штифтов и т. п.);
- проверка правильности выполнения соединений (например, свободного вращения вала, размера запрессованной втулки, биения зубчатых колес и т. п.).

Определение содержания операций сборки, включая установление их структурных элементов, т. е. переходов, ходов, установ, а также позиций, производится после составления технологической схемы сборки. Содержание сборочных операций устанавливается так, чтобы на каждом рабочем месте выполнялась однородная (по характеру) и технологически законченная работа, что способствует лучшей специализации рабочих-сборщиков и повышению производительности их труда. Содержание операций зависит также от выбранного типа производства и формы организации производственного процесса. В частности, при поточном производстве содержание операции должно быть таким, чтобы ее длительность была равна или кратна такту.

Одновременно с определением содержания сборочных операций устанавливается степень их концентрации или дифференциации, а также для каждой из них рассчитываются нормы времени и нормы выработки.

Для достижения требуемой точности сборки следует правильно установить технологические базы с учетом особенностей конкретного соединения деталей и узлов, обеспечивая, тем самым, необходимую ориентацию их относительно друг друга при сборке.

После определения содержания сборочных операций производится выбор необходимых для их выполнения оборудования, приспособлений и инструмента. Например, при сборке резьбовых соединений в зависимости от производительности инструмента и качества соединений применяется ручной (ключи, отвертки) или механизированный (электро- или пневмогайковерты) инструмент.

Для выбранного сборочного оборудования определяются режимы работы с учетом видов конкретных соединений. Например, для резьбовых соединений рассчитывают силу затяжки и крутящий момент, для прессовых – усилие запрессовки, клепочных – усилие клепки и т. д.

Экономическое обоснование технологического процесса сборки, т. е. выбор наиболее экономичного из имеющихся вариантов технологического процесса производится по результатам сравнения таких абсолютных показателей, как себестоимость и трудоемкость сборки. Выполнение многовариантных работ по проектированию процесса сборки связано с такими причинами, как возможности расчленения изделия (на разное число деталей и узлов), разной очередности монтажа деталей или узлов, а также применения для одних и тех же размерных цепей разных методов обеспечения точности сборки.

Разработка технологической документации является завершающим этапом проектирования технологического процесса сборки. Назначение технологической документации заключается в том, чтобы дать исчерпывающую информацию исполнителям о строении технологического процесса сборки, оборудовании, приспособлениях, инструментах, режимах и трудоемкости сборочных операций, разрядах работ и их расценках.

К числу технологических документов относятся маршрутная карта, операционная карта и карта эскизов, а также технологические инструкции, комплектовочные карты и ведомости оснастки. На выполнении отдельных, наиболее ответственных операций сборки составляются типовые инструкции (например, на запрессовку крупных деталей, балансировку, испытание и т. д.). Технологическая документация разрабатывается в соответствии с требованиями Единой системы технологической документации (ЕСТД).

## РАЗДЕЛ 4

### ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

#### 4.1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ОБЩЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

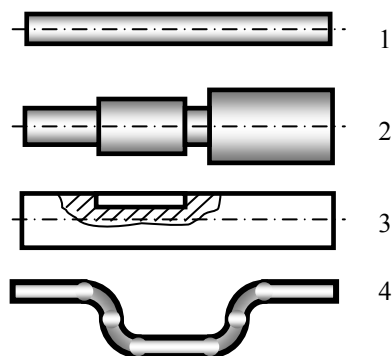


Рис. 4.1. Разновидности валов:  
1,2, 3 – прямые, 4 – коленчатый; 1,  
2, 4 – гладкие, 3 – шлицевый; 1 –  
бесступенчатый,  
2 – ступенчатый

К особым видам валов относятся детали металлорежущих станков и других устройств – шпиндели, предназначенные для непосредственной передачи вращательного движения обрабатываемой заготовке или режущему инструменту (рис. 4.2) и ходовые винты, служащие для преобразования вращательного движения в поступательное (рис. 4.3).

##### 4.1.1. Валы

Валы применяются в качестве опоры, а также для передачи крутящего момента.

По конфигурации валы подразделяются на прямые и коленчатые, бесступенчатые и ступенчатые, гладкие и шлицевые (рис. 4.1). Они могут быть сплошными либо иметь полости.

К деталям машин, подобным валам по конструкции и технологии изготовления, относятся оси, пальцы, тяги, штоки, клапаны и т. п.



Рис. 4.2. Шпиндель токарного станка

Валы считаются жесткими, если отношение длины к диаметру не превышает 10, и нежесткими, если это отношение превышает 10. Нежесткие валы следует обрабатывать (точить, шлифовать и т. д.) с применением люнетов.

Для изготовления валов, в основном, используются заготовки из конструкционной стали (30Х, 35, 35Х, 40, 40Г, 45, 50Г), а также из чугуна.

В единичном и мелкосерийном производстве заготовки получают путем резки проката. Заготовки из проката применяются, в основном, при изготовлении бесступенчатых валов, а также ступенчатых валов

с небольшим числом ступеней и незначительными перепадами диаметров. В серийном производстве для получения заготовок применяется горячая штамповка, в крупносерийном – поперечно-винтовая прокатка. Чугунные за-



Рис. 4.3. Ходовой винт

готовки изготавливают литьем. В частности, литье в оболочковые формы обеспечивает получение заготовок высокой точности, что позволяет исключить токарные операции и ограничиться только шлифованием.

Обычно при обработке валов в качестве баз выбираются центровые отверстия, а также поверхности опорных шеек.

Процесс изготовления гладких бесступенчатых валов характеризуется следующей последовательностью операций механической обработки: фрезерование торцовых поверхностей и центрирование; черновая токарная обработка наружных поверхностей; получистовая токарная обработка наружных поверхностей.

В ходе механической обработки может быть предусмотрена термическая обработка всей детали или отдельных поверхностей.

Ступенчатые валы являются более сложными в обработке по сравнению с бесступенчатыми. При этом легче обрабатывать ступенчатые валы, конструкция которых предусматривает возрастание диаметров ступеней к середине вала или к одному из его концов.

Обработка шлицевых валов связана с необходимостью формирования шлицов, что обеспечивается фрезерованием, строганием, долблением, протягиванием или накатыванием. Шлифование шлицов производится профильным кругом с одновременным шлифованием боковых поверхностей (рис. 4.4, а) либо двумя кругами (рис. 4.4, б).

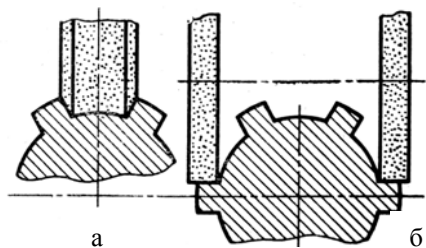


Рис. 4.4. Схемы шлифования шлицев при центрировании по внутреннему (а) и наружному (б) диаметрам вала

Шпиндели по характеру обработки подобны ступенчатым валам, но более строгие требования к качеству отдельных поверхностей предполагают их многопереходную обработку, чередующуюся с термической обработкой.

Обработка ходовых винтов предполагает формирование резьбовой поверхности, служащей

для непосредственного соединения с сопряженной ходовой гайкой и преобразования движения.

В зависимости от особенностей конструкции валов процесс их обработки может включать следующие операции: сверление осевых отверстий; чистовая токарная обработка поверхностей опорных шеек, а также посадочных шеек, необходимых для установки зубчатых колес и шкивов, служащих для передачи крутящего момента; фрезерование шпоночных пазов; сверление поперечных отверстий, посредством которых обеспечивается передача крутящего момента, и др.

Коленчатые валы обычно изготавливают гибкой круглого проката. Перед гибкой заготовка требуемой длины подвергается на отдельных участках механической обработке (в частности, снимаются фаски на торцах, фрезеруются шпоночные пазы и лыски). Гибка производится на специальной гибочной установке с местным нагревом обрабатываемого вала токами высокой частоты. Дальнейшая механическая обработка валов, как правило, не требуется. Коленчатые валы также можно изготавливать путем горячей штамповки, после которой они подвергаются механической обработке (сначала фрезеруются торцы вала и сверлятся центровые отверстия для обработки шеек, затем обтачиваются коренные и шатунные шейки, фрезеруются шпоночные пазы).

#### 4.1.2. Втулки

Втулки применяются в качестве подшипников скольжения, а также элементов фиксации положения валов. По конфигурации втулки могут быть бесступенчатыми и ступенчатыми; с буртами и без них; с цилиндрическими и фасонными поверхностями вращения.

К деталям машин, подобным втулкам по конструкции и технологии изготовления, относятся: гильзы, цилиндры, поршни, ступицы колес, барабаны, стаканы, вкладыши подшипников и т. п.

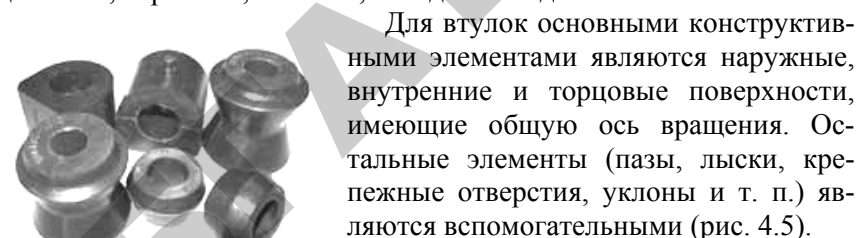


Рис. 4.5. Втулки подвески автомобиля

Для втулок основными конструктивными элементами являются наружные, внутренние и торцовые поверхности, имеющие общую ось вращения. Остальные элементы (пазы, лыски, крепежные отверстия, уклоны и т. п.) являются вспомогательными (рис. 4.5).

Характерным примером втулок сложной конструкции являются шлицевые втулки, которые могут выполняться как с фланцем, так и без него (рис. 4.6). Шлицы не дают втулке проворачиваться относительно вала, т. е. воспринимают крутящий момент, а также выдерживают высокие радиальные нагрузки. Перемещение втулки осуществляется вдоль шлицов, которые являются направляющими.

Для изготовления втулок используются заготовки из конструкционной стали, чугуна, алюминия, бронзы (в виде проката, труб или отливок). Кроме того, используются заготовки из порошковых материалов и пластмасс.



Рис. 4.6. Шлицевые втулки:

а – втулка без фланца; б – втулка с фланцем; в – шлицевые втулка и вал

Процесс изготовления втулок заключается в механической обработке наружных, внутренних и торцовых поверхностей, а также некоторых дополнительных конструктивных элементов деталей.

Главная технологическая задача при обработке втулок состоит в обеспечении заданной concentricity наружных поверхностей

и отверстий и перпендикулярности торцов оси детали. Это достигается следующими способами:

1) обработкой наружных поверхностей, отверстия и торцов за один установ;

2) обработкой всех поверхностей за два установка с базированием при окончательной обработке отверстия по наружной поверхности;

3) обработкой за два установка с базированием при окончательной обработке наружной поверхности по отверстию.

Первый способ обеспечивает наиболее строгую concentricity поверхностей. Он широко применяется в крупносерийном и массовом производстве при изготовлении втулок из прутка или трубы с отрезкой детали в конце операции (рис. 4.7).

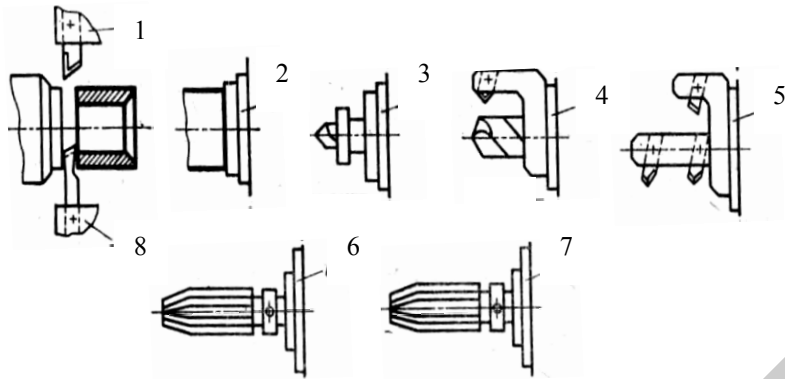


Рис. 4.7. Процесс изготовления втулки в один установ:

1 – подрезка торца, 2 – подача прутка до упора, 3 – центрирование, 4 – сверление отверстия и обтачивание наружной поверхности, 5 – растачивание отверстия со снятием фасок на торце, 6 и 7 – соответственно предварительное и окончательное растачивание отверстия, 8 – обрезка

Второй способ имеет ограниченное применение. В частности, он неприемлем в тех случаях, когда внутренние поверхности детали должны быть обработаны с высокой точностью при одновременном обеспечении строгой их concentricity наружным поверхностям, поскольку он исключает применение таких видов обработки отверстия, как развертывание и протягивание, при которых режущий инструмент направляется по обрабатываемому отверстию и поэтому не гарантирует получения заданной concentricity.

Третий способ предполагает обработку центрального отверстия, используемого в дальнейшем в качестве установочной базы. Этот способ имеет следующие преимущества:

- отверстие, обработанное на первых операциях с высокой точностью и производительностью, которые достижимы при его развертывании или протягивании, обеспечивает точное и надежное базирование детали при последующей обработке;
- применяемые зажимные устройства-оправки просты и дешевы;
- жесткость инструмента, применяемого для обработки наружных поверхностей детали, установленной на оправке, достаточно высока и не вносит существенных погрешностей, влияющих на concentricity поверхностей детали.

Протягивание отверстий является наиболее производительным и высокоточным способом их обработки, поэтому оно широко применяется при изготовлении втулок. Обычно протягивание осуществляют после токарных операций или между ними, а в некоторых случаях – в самом начале процесса обработки втулок.

При обработке отверстий втулок широко применяются дорнование и калибровка шариком.

Для формирования дополнительных конструктивных элементов деталей (пазов, лысок, крепежных отверстий и т. д.) выполняют шлифовальные, фрезерные, сверлильные и резьбонарезные контрольные операции.

При изготовлении втулок из порошковых материалов и пластмасс (в связи с высокой точностью получения заготовок) механическая обработка сводится к чистовым операциям.

#### 4.1.3. Детали узлов передач

##### Зубчатые передачи.

Основными видами зубчатых передач являются цилиндрические, конические и червячные передачи, узлы которых содержат соответственно цилиндрические и конические зубчатые колеса, червячные зубчатые колеса и червяки.

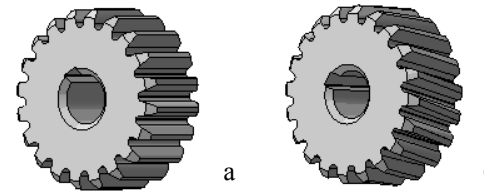


Рис. 4.8. Цилиндрические зубчатые колеса с прямыми (а) и косыми (б) зубьями

Цилиндрические зубчатые колеса служат для передачи вращательного движения между параллельными валами. Такие зубчатые колеса применяются в коробках передач тракторов, комбайнов и автомобилей, редукторах, передаточных механизмах станков и т. д. Подобные колеса изготавливают, в основном, с прямыми или косыми зубьями (рис. 4.8).

Для зубчатых передач, передающих большие нагрузки, лимитирующими факторами являются прочность зубьев (сопротивление на изгиб, стойкость поверхности профиля зубьев против усталостного разрушения и изнашивание зубьев).

Для изготовления зубчатых колес используются, в основном, стальные кованные заготовки без предварительного формования зубьев, а также литые стальные и чугунные заготовки. Предварительное формообразование зубчатого венца осуществляется путем штамповки или горячего и холодного накатывания зубьев.

Зубчатые колеса сильнонагруженных передач изготавливают из сталей: углеродистых (40, 50, 45); хромистых (20Х, 35Х, 40Х, 50Х); хромоникелевых (12ХН3А, 12Х2Н4А, 20ХН); хромомарганцевых (18ХГ, 18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ); хромомолибденовых (20ХМ, 30ХМ); слабонагруженных передач – из чугуна (СЧ18). Кроме того, при малых нагрузках зубчатые колеса могут изготавливаться из цветных металлов, а также из неметаллических материалов (текстолита, капрона и др.).

Выбор базовых поверхностей при механической обработке заготовок зависит от конструктивных форм получаемых зубчатых колес и технических требований. Обычно в качестве баз используют поверхности отверстия и торца.

Процесс обработки зубчатых колес характеризуется следующей последовательностью операций:

- 1) обработка наружных и внутренних поверхностей зубчатого колеса до обработки зубьев;
- 2) нарезание зубьев перед термообработкой;
- 3) термическая обработка зубьев или всего зубчатого колеса;
- 4) отделка зубьев и других поверхностей зубчатого колеса после термической обработки.

Термическая обработка обычно заключается в закалке зубчатого венца токами высокой частоты. Отделка зубьев производится для устранения недопустимых отклонений их размеров из-за деформации, возникающей при термической обработке.

Нарезание зубьев зубчатых колес осуществляется методами копирования (рис. 4.9) и обкатки (рис. 4.10).

Нарезание зубьев методом копирования производится модульными пальцевыми или модульными дисковыми фрезами, при использовании которых профиль режущей части инструмента полностью соответствует профилю впадины зуба колеса.

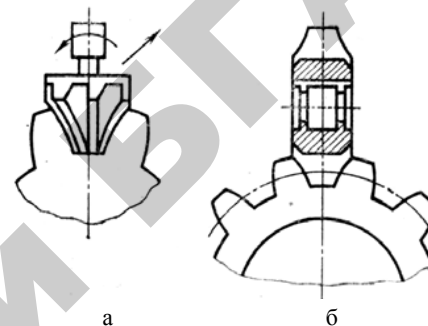


Рис. 4.9. Схемы нарезания зубьев цилиндрических колес методом копирования с использованием модульной пальцевой фрезы (а) и модульной дисковой фрезы (б)

Нарезание зубьев методом обкатки производится червячными фрезами и долбяками (дисковыми зубчатыми резцами), при использовании которых профиль зубьев образуется в результате взаимного зацепления инструмента (червячной фрезы, долбяка) и обрабатываемого колеса.

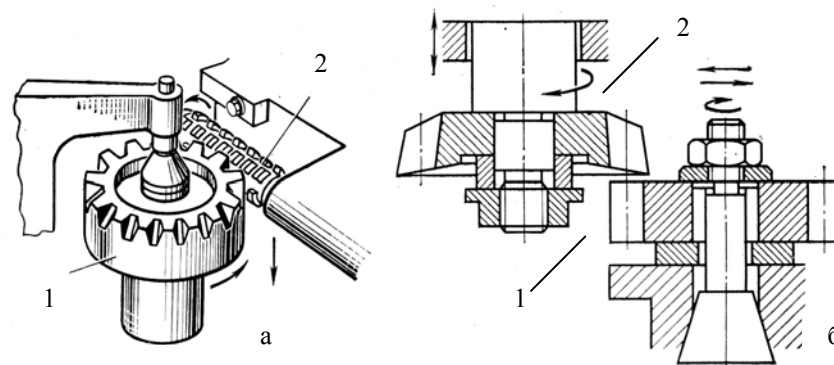
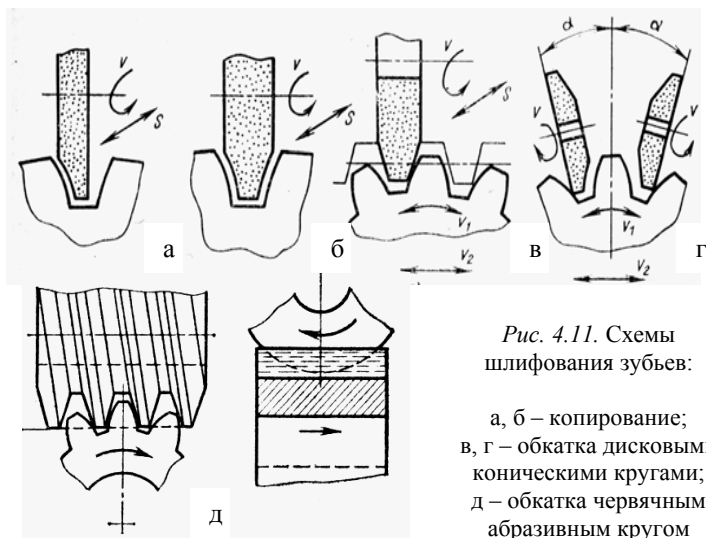


Рис. 4.10. Схемы нарезания зубьев зубчатых колес методом обкатки с использованием червячной фрезы (а) и долбяка (б), где 1 – обрабатываемое колесо, 2 – инструмент

Для шлифования зубьев используются следующие методы:

- копирование, когда каждую впадину между зубьями шлифуют фасонным кругом (рис. 4.11, а, б);
- обкатка зуба дисковыми коническими кругами с прямолинейными боковыми сторонами профиля, когда два крайних круга выполняют предварительную, а средний круг – окончательную обработку (рис. 4.11, в, г);
- обкатка зуба червячным абразивным кругом (рис. 4.11, д).



После термической обработки зубья подвергают отделке путем хонингования с помощью хона в форме зубчатого колеса, выполненного с использованием шлифовального порошка специального состава. Хонингование производят при зацеплении колеса с хонем с притормаживанием колеса на станке шевинговального типа.

После термической обработки зубья также подвергают доводке путем притирки, которая осуществляется на притирочных станках с помощью специальных притиров, изготовленных в виде зубчатых колес из чугуна и смазанных абразивным порошком с маслом (рис. 4.12). Притираемое колесо совершает вращательное и возвратно-поступательное движения.

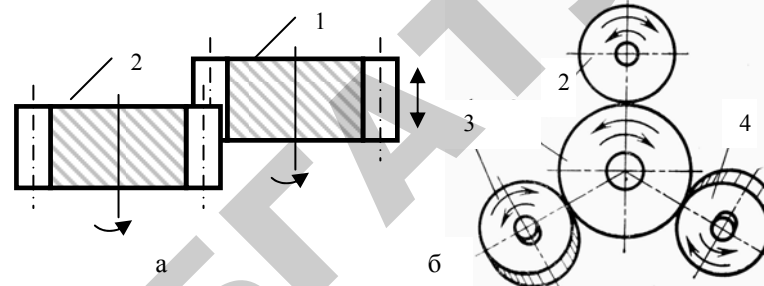


Рис. 4.12. Схемы притирки зубьев одним (а) и тремя (б) притирами:  
 1 – обрабатываемое колесо, 2 – притир с прямыми зубьями, 3, 4 – притиры с косыми зубьями

Конические зубчатые колеса применяются там, где необходимо передать крутящий момент под определенным углом, например, в автомобильных дифференциалах, используемых для передачи крутящего момента от двигателя к колесам автомобиля. Наибольшее распространение имеют конические колеса с прямыми зубьями (рис. 4.13).

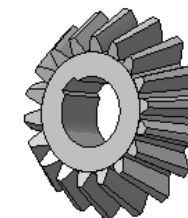


Рис. 4.13. Коническое зубчатое колесо

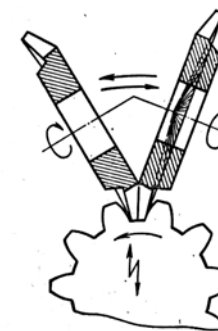


Рис. 4.14. Схема нарезания зубьев зубчатых колес методом обкатки с использованием двух дисковых фрез

Процесс изготовления конических зубчатых колес подобен процессу изготовления цилиндрических зубчатых колес. Нарезание зубьев осуществляется методами копирования и обкатки. Поскольку у конических колес размеры и профиль по длине зуба меняются, то метод копирования применяется только для чернового нарезания зубьев. Чистовое нарезание производится методом обкатки на зубострогальных станках (рис. 4.14).

Червячные зубчатые колеса и червяки (червячные пары) применяются для передачи вращения между скрещивающимися валами (обычно под прямым углом) (рис. 4.15). Червячное колесо имеет косые зубья, а червяк – винтовую поверхность.



Рис. 4.15. Червяная пара

Червячные колеса из-за особенностей конструкции имеют некоторые отличия в изготовлении по сравнению с обычными зубчатыми колесами. Как правило, червячные колеса, выполняются сборным из двух деталей: венца и ступицы (только в пере-

дачах малых размеров червячные колеса выполняются в виде одной детали). Такая сборная конструкция колес обусловлена тем, что в червячных передачах имеет место скольжение поверхностей витков червяка и зубьев колеса с высокими скоростями, из-за чего ступица обычно выполняется из стали, а венец – из антифрикционного чугуна или бронзы.

В качестве заготовок для ступиц червячных колес обычно используются штамповки или отливки, для венцов – отливки, для червяков – круглый прокат или штамповки.

Процесс обработки червячных колес и червяков (как и обычных зубчатых колес) включает следующие основные операции:

- 1) обработка поверхностей червячных колес и червяков;
- 2) нарезание зубьев червячных колес и формирование винтовой поверхности червяков;
- 3) термическая обработка червячных колес и червяков;
- 4) отделка зубьев червячных колес и винтовой поверхности червяков.

Процесс обработки зубчатых колес характеризуется следующей последовательностью операций: обработка наружных и внутренних поверхностей зубчатого колеса до обработки зубьев; нарезание зубьев перед термообработкой; термическая обработка зубьев или всего зубчатого колеса; отделка зубьев и других поверхностей зубчатого колеса после термической обработки.

Зубья червячных колес нарезают на зубофрезерных станках методами радиальной подачи и тангенциальной подачи (рис. 4.16).

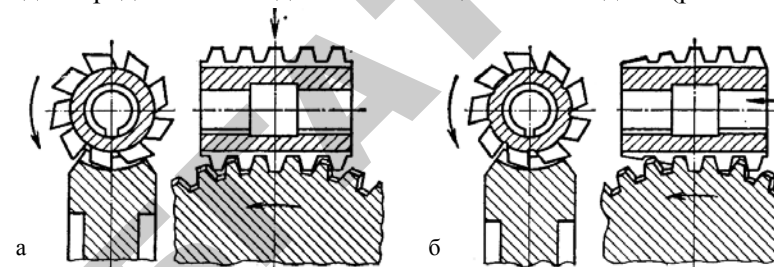


Рис. 4.16. Фрезерование зубьев червячного колеса:

а – метод радиальной подачи; б – метод тангенциальной подачи

При методе радиальной подачи фреза устанавливается горизонтально, симметрично оси колеса, в положение оси сопрягаемого червяка. В ходе нарезания фреза и нарезаемое зубчатое колесо вращаются. Фреза подается в радиальном направлении на глубину зуба. Длина фрезы выбирается такой, чтобы она перекрывала поле зацепления.

При методе тангенциальной подачи в качестве режущего инструмента применяется червячная фреза с заборным конусом. Заборная часть фрезы предназначена для черновой обработки зубьев колеса, а также равномерного распределения износа и уменьшения нагрузки на зубья фрезы, в то время как цилиндрическая часть производит чистовую обработку зубьев.

В начале резания фреза устанавливается так, чтобы ее заборная часть слегка касалась окружности выступов обрабатываемого колеса. Затем она перемещается вдоль своей оси тангенциально к делительной окружности колеса до тех пор, пока ее первый калибрующий зуб с полным профилем не выйдет из зацепления с профилем зуба колеса.

Производительность метода фрезерования с тангенциальной подачей меньше, чем метода с радиальной подачей, но точность выше.

После термической обработки профиль витка червяка шлифуется, а для высоконагруженных и быстроходных передач витки червяка дополнительно полируются для уменьшения шероховатости.



**Цепные передачи** применяются для передачи вращения между валами при большом расстоянии между ними с помощью гибкого элемента – приводной цепи. Узлы цепных передач, помимо цепей, содержат звездочки.

Звездочки изготавливаются из серых чугунов (СЧ15, СЧ18, СЧ21) – для передач с малыми окружными скоростями и передаваемыми нагрузками, среднеуглеродистых и легированных сталей (40, 45, 40Х, 35Л, 35ХГСА) – для передач с большими скоростями и нагрузками (рис. 4.17). Звездочки также изготавливаются из пластмасс (капрон, полиуретан) – для натяжения без передачи крутящего момента.

Чугунные звездочки обычно отливаются с готовыми зубьями; у них подвергаются обработке только отверстие и торцы ступицы. У стальных звездочек фрезеруются или накатываются зубья; сверлятся крепежные и стопорные отверстия; обрабатываются шпоночные канавки в ступице протягиванием шлицевой протяжкой.



Рис. 4.17. Цепные звездочки

Зубья цепных звездочек, как и зубчатых колес, можно нарезать методами копирования или обкатки. Для повышения износостойкости зубья звездочки подвергаются термической обработке.

Звездочки также можно изготавливать из стального листа, вырубая их (включая зубья) методом холодной штамповки.

Цепные звенья разных видов цепей отличаются по конструкции (рис. 4.18).

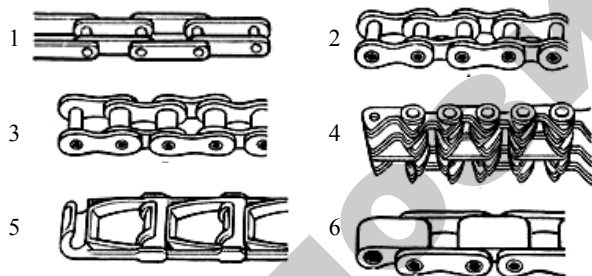


Рис. 4.18. Разновидности приводных цепей:

- 1 – пластинчатая шарнирная (безвтулочная), 2 – пластинчатая втулочная,  
3 – пластинчатая втулочно-роликовая, 4 – пластинчатая зубчатая,  
5 – крючковая, 6 – блочная

Основными элементами цепных звеньев являются: пластины и валики (в пластинчатых шарнирных цепях); пластины, валики и втулки (в пластинчатых втулочных цепях); пластины, ролики и втулки (во втулочно-роликовых цепях); зубья и валики (в зубчатых цепях); пластины (в крючковых цепях); пластины и втулочные блоки (в блочных цепях).

Пластины, а также зубья цепей изготавливаются штамповкой из ленточной стали 30Г или литьем из ковкого чугуна. Остальные элементы цепных звеньев (ролики, втулки, валики) обрабатываются на токарных станках.

Составной частью узлов ременных передач также могут быть звездочки – натяжители, которые позволяют использовать цепи разных длин в передачах с жестко заданными межцентровыми расстояниями.

Особой разновидностью цепей являются гусеничные ленты (гусеницы), которые применяются в ходовой части транспортных гусеничных машин, а также монтируются поверх штатной авторезины автомобилей для улучшения сцепных свойств в зимних условиях или в условиях грунтов с низкой несущей способностью (рис. 4.19).

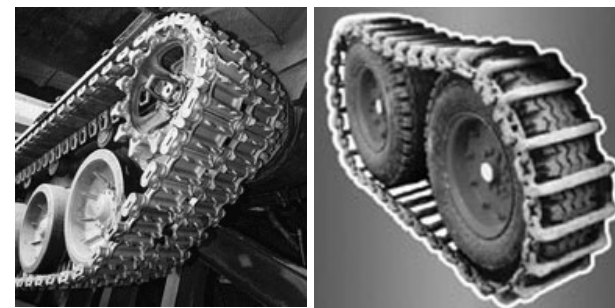


Рис. 4.19. Гусеничные ленты

Гусеница – замкнутая сплошная цепь шарнирно-соединенных звеньев (траков) (рис. 4.20). На внутренней поверхности гусеницы имеются впадины или выступы, с которыми взаимодействуют ведущие колеса машины. Внешняя поверхность гусеницы снабжена выступами, которые обеспечивают сцепление с грунтом. Для увеличения сцепления гусеницы на грунтах с низкой несущей способностью используются съемные шпоры.

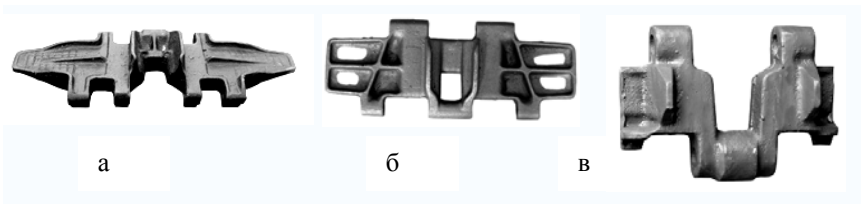


Рис. 4.20. Звенья гусениц (траки) разных гусеничных машин: а – трактора, б – торфяной машины, в – асфальтоукладчика

Гусеницы могут быть металлическими, резиновыми и резинометаллическими. Наибольшее распространение имеют металлические гусеницы с разборными или неразборными траками. Для повышения износостойкости и срока службы гусеницы траки, а также соединительные элементы (пальцы, втулки) изготавливают из специальной высокомарганцовистой стали и подвергают термической обработке. Обычно траки получают литьем.

**Ременные передачи** применяются для передачи вращения между валами (при большом расстоянии между ними) с помощью гибкого элемента – приводного ремня (рис. 4.21). Узлы ременных передач, помимо ремней,

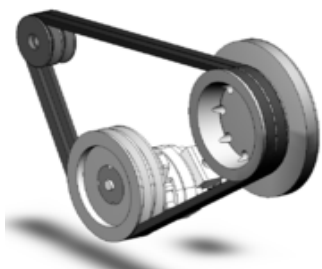


Рис. 4.21. Ременная передача

содержат шкивы – фрикционные колеса с ободом или канавкой по окружности. Передача вращения осуществляется за счет сил трения, возникающих между натянутым ремнем, охватывающим шкивы, и шкивами, закрепленными на валах.

Процесс изготовления шкивов, в основном сводится, к токарной обработке заготовок из стали или цветных металлов. Применяются также шкивы из пластмасс.

По форме поперечного сечения рабочей поверхности шкивы должны соответствовать приводным ремням. Последние подразделяются на плоские, клиновые, поликлиновые и круглые (рис. 4.22).

Плоские ремни могут быть кожаными, прорезиненными и целлюлозными (хлопчатобумажными или шерстяными). Кожаные ремни изготавливают из полос высококачественной кожи (склеенных или прошитых). Прорезиненные ремни состоят из нескольких слоев прочной ткани, связанных вулканизированной резиной. Целлюлозные ремни изготавливают из нескольких слоев прочной хлопчатобумажной или шерстяной пряжи.

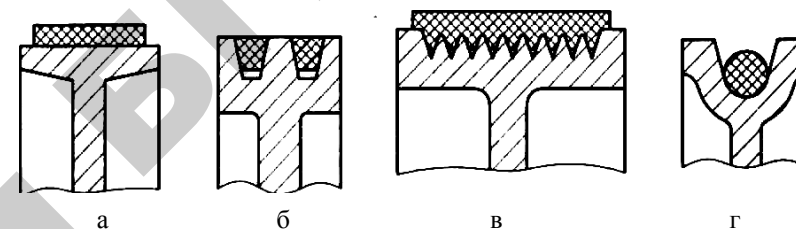


Рис. 4.22. Разновидности приводных ремней по форме их поперечного сечения: а – плоский, б – клиновый, в – поликлиновый, г – круглый

Для изготовления клиновых ремней используют кордовую ткань или шнуры, располагаемые в несколько слоев в резиновом наполнителе. Поликлиновые ремни имеют плоскую наружную поверхность и продольные клиновые выступы на внутренней стороне; эти ремни армируются шнуровым кордом.

Круглые приводные ремни могут быть хлопчатобумажными и кожаными.

Определяя в значительной мере работоспособность и долговечность ременных передач, приводные ремни должны иметь высокую тяговую способность и усталостную прочность, достаточную гибкость и возможно более высокий коэффициент трения.

Составной частью узлов ременных передач также могут быть шкивы-натяжители, которые позволяют использовать ремни разных длин в передачах с жестко заданным межцентровым расстоянием. Особой разновидностью ременных передач является зубчатая ременная передача, узел которой содержит зубчатый ремень и зубчатые шкивы. Зубчатый ремень снабжен поперечными зубьями с внутренней стороны (рис. 4.23).

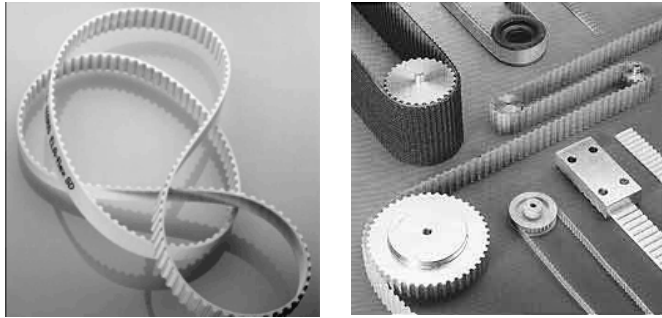


Рис. 4.23. Зубчатые ремни

Зубчатые шкивы по конструкции и процессу изготовления аналогичны зубчатым колесам, применяемым в обычных зубчатых передачах. Передача вращения в зубчатых ременных передачах осуществляется за счет сил зацепления зубьев зубчатого ремня и зубчатых шкивов.

#### 4.1.4. Пружины и рессоры

Пружины служат для временного накопления энергии за счет упругой деформации под влиянием нагрузки. Наиболее широкое распространение получили винтовые пружины сжатия и растяжения из проволоки круглого сечения, которые используются в клапанах двигателей, регуляторах топливных насосов, в перепускных клапанах гидравлических систем тракторов и т. д. (рис. 4.24).

Обычно пружины изготавливаются из проволоки диаметром от 1,5 до 10 мм из высокоуглеродистых (65 и 70) и легированных сталей (65Г, 60С2А, 50ХФА) и др.

Пружины сжатия навиваются открытой навивкой с шагом, обеспечивающим требуемый просвет между витками с учетом осевого упругого перемещения витков при максимальной рабочей нагрузке. Концевые витки поджимаются к соседним виткам, а торцевые поверхности пружины шлифуются перпендикулярно ее оси, благодаря чему обеспечивается передача нагрузки на пружину вдоль ее оси.



Рис. 4.24. Типы пружин: сверху – пружины растяжения; внизу – пружины сжатия

Пружины растяжения снабжаются прицепами для передачи усилия на пружины, которые обычно выполняются в виде отогнутых витков. Пружины растяжения навиваются закрытой навивкой так, чтобы было обеспечено требуемое начальное натяжение (давление между витками).

Процесс изготовления пружин включает следующие операции: навивка, обрубка в размер, поджатие концевых витков, термическая обработка, шлифование торцов (для пружин сжатия); навивка, обрубка в размер, отгибка крайних витков для образования зацепов, термическая обработка (для пружин растяжения).

Проволока диаметром до 8 мм обычно навивается в холодном состоянии, большего диаметра – в горячем. В серийном производстве проволоку навивают на токарных станках, снабженных цилиндрическими оправками. Навивка без оправок производится на навивочных автоматах, которые изгибают проволоку в спираль и отсекают ножом полученную пружину требуемой длины (рис. 4.25).

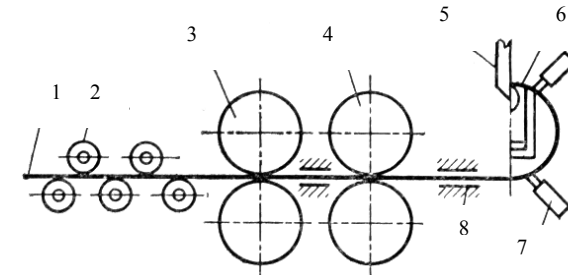


Рис. 4.25. Схема действия автомата для безопрочной навивки пружин: 1 – проволока; 2 – правильные ролики; 3 и 4 – транспортирующие ролики; 5 – нож; 6 – упор; 7 – пальцы; 8 – направляющие

Рессоры представляют собой упругие элементы подвески машин, смягчающие удары или выдерживающие рабочую нагрузку

без остаточной деформации. Наиболее широкое применение имеют листовые рессоры, которые состоят из нескольких наложенных друг на друга стальных листов разной длины (рис. 4.26).



Рис. 4.26. Рессора

Для изготовления рессор используется полосовой прокат, из которого вырезаются листы, подвергаемые формованию в горячем состоянии, термообработке (закалке и отпуску) и пакетированию.

#### 4.1.5. Рычаги и вилки

Рычаги и вилки предназначены для передачи силы и движения в узлах машин.

Рычаги, вилки, коромысла, тяги и другие подобные им детали, несмотря на разнообразие их конструкций, содержат определенный набор поверхностей. Это отверстия, служащие для установки данных деталей или для соединения с исполнительными механизмами; торцовые поверхности бобышек, где расположены отверстия; плоские исполнительные поверхности; гладкие и резьбовые крепежные отверстия и др. (рис. 4.27 и рис. 4.28).



Рис. 4.27. Рычаги подвески

Из-за сложной конфигурации рычагов и вилок для их изготовления используются, в основном, штампованные и литые заготовки из серого чугуна (СЧ12, СЧ16, СЧ18, СЧ21, СЧ24), ковкого чугуна (КЧ35-40, КЧ37-12), конструкционных сталей (20, 35, 40, 45), литейных сталей (35Л, 45ЛШ), цветных металлов.

При механической обработке в качестве базовой поверхности обычно выбирают наружные поверхности бобышек и их торцы, а также плоские исполнительные поверхности.

Последовательность операций обработки рычагов и вилок зависит от их конструктивных особенностей.

Если деталь имеет плоские стороны или торцы, лежащие в одной плоскости, то сначала обрабатывают эти поверхности. Затем, базируя заготовку на обработанные плоские поверхности, обрабатывают основные отверстия. Далее, принимая поверхности обработанных отверстий в качестве базовых, обрабатывают пазы, уступы, резьбовые и оставшиеся мелкие отверстия.

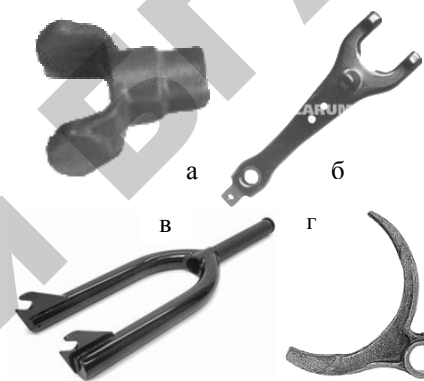


Рис. 4.28. Вилки:

а – карданной передачи; б – сцепления; в – крепления колеса; г – включения передач

Если деталь имеет короткие бобышки, торцы которых лежат в разных плоскостях, то сначала обрабатывают отверстия, а также торцы с одной стороны, затем – торцы с другой стороны, далее – остальные поверхности (согласно первому варианту).

Если деталь имеет и длинные, и короткие бобышки, то сначала обрабатывают отверстия и торец длинной бобышки с одной стороны. Затем, базируя заготовку по обработанному отверстию, обрабатывают торец длинной бобышки с другой стороны. Далее обрабатывают отверстия и торцы коротких бобышек с одной стороны, а затем торцы этих бобышек с другой стороны и, наконец, обрабатывают остальные поверхности (согласно первому варианту).

#### 4.1.6. Крестовины

Крестовины и подобные им детали могут иметь разное назначение (рис. 4.29). Детали одного типа предназначаются для гибкого соединения двигателя с ведущим мостом автомобиля через карданный вал. Они представляют собой две взаимно перпендикулярные оси. Подобную конструкцию имеют также крестовина дифферен-

циала. Детали другого типа служат в качестве соединительной части трубопровода, устанавливаемой в местах его разветвлений, и представляют собой две взаимно перпендикулярные трубы. Заготовками крестовин карданных валов и дифференциалов служат штамповки из сталей 20Х, 12ХН3А, 18ХГТ.

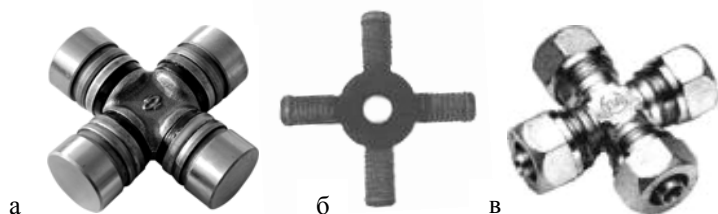


Рис. 4.29. Разновидности крестовин:  
а – крестовина карданного вала, б – крестовина дифференциала,  
в – крестовина для соединения трубопровода

К изготавливаемым деталям предъявляются жесткие требования в отношении точности и взаимного расположения поверхностей цапф.

Основные операции процесса изготовления крестовин имеют следующую последовательность:

- 1) черновое обтачивание всех четырех цапф на четырехшпиндельном агрегатном станке методом вращения резца вокруг неподвижной цапфы;
- 2) предварительное протягивание торцов двух цапф одновременно (после протягивания первой пары торцов крестовина поворачивается и протягивается другая пара торцов);
- 3) черновое шлифование четырех цапф на бесцентрово-шлифовальном станке (цапфы шлифуются попарно методом врезания шлифовального круга);
- 4) зацентровка, сверление смазочных каналов, сверление отверстия под резьбу и снятие наружных фасок на многошпиндельном агрегатном станке; при этом обработка производится при неподвижно закрепленной заготовке (сначала на одной паре цапф, а затем на другой);
- 5) окончательное протягивание торцов с изготовлением канавок;
- 6) термическая обработка крестовины;
- 7) шлифование цапф на бесцентрово-шлифовальных станках.

Подобным образом изготавливают крестовины для соединения трубопровода.

#### 4.1.7. Станины и рамы

Станины и рамы служат опорой для узлов машины, координирования их положения и движения, а также восприятия действующих между ними силовых факторов при работе (рис. 4.30 и рис.4.31).

Станины и рамы имеют следующие основные поверхности:

- основание – плоскость, которой они устанавливаются на фундамент или шасси (основная база);
- привалочные плоскости, служащие для координирования смонтированных на них узлов (вспомогательные базы);
- крепежные отверстия для болтов и винтов, посредством которых осуществляется крепление станин и рам, а также крепление к ним узлов машины.

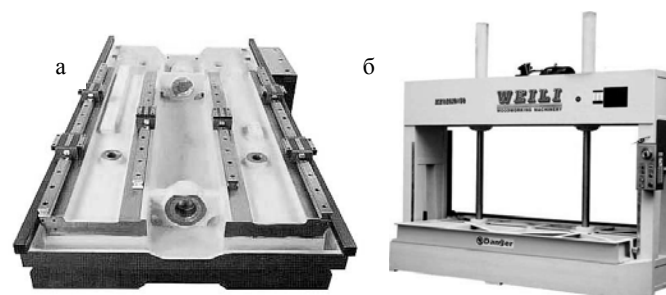


Рис. 4.30. Станины станков:  
а – чугунная литая станина со стальными накладными направляющими планками, б – сварная станина, изготовленная из стальных листов и балок

Для изготовления станин и рам используются заготовки из серого чугуна (СЧ15, СЧ21 и СЧ32) или стали (Ст. 3, Ст. 5). Накладные планки для направляющих изготавливаются из стали 20Х. Чугунные станины получают литьем в земляные формы, стальные станины и рамы получают сваркой.

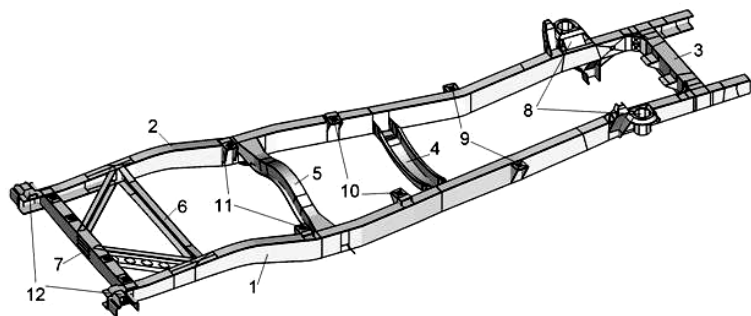


Рис. 4.31. Сварная стальная рама автомобиля:

1, 2 – лонжероны; 3,4,5,6,7 – первая, вторая, четвертая, пятая и шестая поперечины; 8 – кронштейны пружин передней подвески; 9, 10, 11 – кронштейны крепления кузова; 12 – кронштейны задних рессор

Последовательность основных операций обработки такова:

- 1) черновая обработка основания;
- 2) черновая обработка направляющих и привалочных поверхностей;
- 3) чистовая обработка основания;
- 4) получистовая обработка направляющих и чистовая обработка привалочных поверхностей;
- 5) обработка крепежных и других отверстий;
- 6) термообработка направляющих;
- 7) чистовая обработка направляющих.

#### 4.1.8. Корпусные детали

Корпусные детали предназначены для размещения в них деталей и узлов машин и агрегатов. В транспортных машинах к таким деталям относятся корпуса коробок передач, мостов, редукторов, муфт сцепления и проч.

Корпусные детали должны обладать достаточной жесткостью, так как они обеспечивают постоянство точности относительного положения деталей и узлов в статическом состоянии и в процессе эксплуатации машин и агрегатов.

По конфигурации корпусные детали подразделяются на следующие группы:

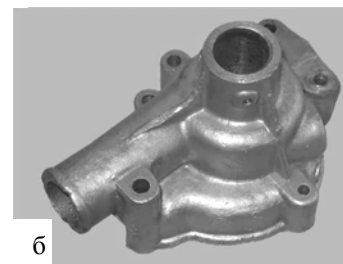
- а) сложной пространственной формы;
- б) коробчатого типа;
- в) типа кронштейнов, угольников, стоек;
- г) типа плит, крышек, кожухов, поддонов и т. п.

Для корпусных деталей используются заготовки, получаемые из различных металлов (с учетом особенностей работы этих деталей). Заготовки деталей, поверхности которых не работают на износ, получают из серого чугуна (СЧ15, СЧ18, СЧ20). Заготовки деталей, работающих в условиях вибраций, ударных нагрузок, скручивающих и изгибающих моментов, получают из ковкого чугуна или стали. Заготовки деталей, работающих в условиях агрессивной среды, получают из нержавеющей стали (3Х13, 3Х18Н10Т) или других коррозионно-стойких материалов.

Заготовки корпусных деталей изготавливаются литьем (рис. 4.32) и сваркой (рис. 4.33). Литые заготовки получают литьем



а



б

в землю, в оболочковые формы, в кокиль. Для изготовления мелких деталей применяют литье по выплавляемым моделям. Для сварных конструкций используются стали Ст.3, Ст.4.

При механической обработке корпусных деталей базовыми поверхностями являются, как правило, плоскости, с помощью которых эти детали присоединяются к другим деталям – рамам, станинам, корпусам, а также поверхности отверстий.

Последовательность основных операций обработки корпусных деталей следующая:

- 1) обработка базовых поверхностей (наружной плоскости и установочных отверстий);

Рис. 4.32. Литые корпусные детали автомобиля:

- а – корпус термостата;
- б – корпус водяного насоса

- 2) обработка основных и вспомогательных плоскостей;
- 3) обработка основных и вспомогательных отверстий.

При этом обработка может быть черновой и чистовой.

Корпуса могут быть разъемными и неразъемными. В маршрут обработки деталей разъемных корпусов дополнительно включаются две операции: обработка поверхностей разъема и обработка крепежных отверстий на поверхностях.



Рис. 4.33. Сварной корпус вентилятора из листовой стали

Для упрощения процесса изготовления корпусных деталей следует стремиться к обеспечению их конструктивной простоты. В частности, все обрабатываемые поверхности, расположенные на одной стенке детали, должны быть одинаковой высоты, а отверстия должны иметь простую форму (без ступеней, кольцевых канавок и т. д.) и по возможности

сквозными. Желательно также, чтобы диаметры отверстий, расположенных на одной оси, уменьшались от наружных стенок к перегородкам.

## 4.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

### 4.2.1. Корпусные детали

К корпусным деталям поршневого двигателя внутреннего сгорания относятся блок цилиндров, головка блока цилиндров, клапанная крышка, а также две прокладки – прокладка головки блока цилиндров и прокладка клапанной крышки.

Основными корпусными деталями являются блок цилиндров (рис. 4.34), в котором размещаются коленчатый вал и шатунно-поршневая группа, и головка блока цилиндров (рис. 4.35). В головке блока цилиндров размещаются кулачковый (распределительный) вал и клапаны.

**Блок цилиндров.** Для изготовления блоков цилиндров используются литые заготовки из серого чугуна или алюминиевых сплавов. Отливки до механической обработки подвергаются термическому старению, которое протекает при повышенных температурах и приводит к снятию внутренних напряжений, повышению прочности и твердости.



Рис. 4.34. Блок цилиндров

При механической обработке блоков цилиндров, чтобы обеспечить высокую точность, используется принцип постоянства баз, для чего в качестве постоянных баз выбираются нижняя опорная плоскость блока и два специально подготовленных технологических отверстия, расположенных на ней по

краям одной из сторон. До создания этих постоянных баз в качестве временных баз применяются полуокружности коренных опор (платики) и отверстие под гильзу первого цилиндра.

Последовательность основных операций обработки такова:

- 1) черновое фрезерование боковых плоскостей и платиков, используемых на второй операции в качестве временных баз;
- 2) черновое фрезерование верхней и нижней плоскостей;
- 3) протягивание поверхностей под крышки коренных подшипников;
- 4) сверление и развертывание двух технологических отверстий, а также обработка других отверстий – под вкладыши коренных подшипников и шейки распределительного вала, под гильзы, а также крепежных и смазочных отверстий;
- 5) раскатывание и хонингование отверстий под вкладыши коренных подшипников.

**Головка блока цилиндров.** Для изготовления головок блоков цилиндров, так же как и самих блоков цилиндров, используются литые заготовки из серого чугуна или алюминиевых сплавов, которые подвергаются термическому старению.

При механической обработке головок блоков цилиндров автомобильных (карбюраторных) двигателей, которые обычно имеют



Рис. 4.35. Головка блока цилиндров

не подвергаемые обработке камеры сгорания, в качестве черновых баз выбираются необработываемые поверхности такой камеры. Для последующей обработки в качестве чистовой базы выбираются нижняя привалочная плоскость, служащая для координирования смонтированных на них узлов, и два технологических отверстия.

Характерной особенностью конструкции головки блоков цилиндров является наличие большого числа отверстий (под шпильки крепления головки и направляющие гнезда клапанов, а также для водяного охлаждения).

#### 4.2.2. Детали шатунно-поршневой группы

К деталям шатунно-поршневой группы относятся гильзы цилиндров, шатуны, поршни, поршневые пальцы и поршневые кольца (рис. 4.36).

**Гильзы цилиндров.** Гильза цилиндра вместе с поршнем и головкой цилиндра ограничивает пространство переменного объема, в котором совершаются рабочие процессы двигателя внутреннего сгорания. Внутренняя поверхность стенки гильзы служит в качестве направляющих при движении поршня, образуя с поршневыми кольцами пару скольжения.



Рис. 4.36. Детали шатунно-поршневой группы:

а, б – «мокрая» и «сухая» гильзы цилиндров; в – цельный шатун; г – шатун с крышкой; д – поршень; е – поршневой палец; ж – поршневые кольца

Гильзы цилиндров подвергаются воздействию сил давления газов, испытывают боковые нагрузки от поршня и температурную нагрузку. Кроме того, гильзы цилиндров подвергаются износу под действием возникающих при движении поршня сил трения. Поэтому гильзы цилиндров должны быть достаточно прочными, а их внутренняя поверхность должна обладать высокой износостойкостью и коррозионной стойкостью.

По конструкции гильзы подразделяются на «мокрые» (рис. 4.36, а), которые охлаждаются водой, омывающей их с наружной стороны, и «сухие», которые не имеют соприкосновения с охлаждающей их водой (рис. 4.36, б).

Для изготовления гильз используются литые заготовки из серого чугуна (МСЧ 28, СЧ20, СЧ25) и из специальных легированных чугунов.

Процесс механической обработки гильз сводится, в основном, к токарной обработке наружной поверхности и растачиванию отверстия. Внутренняя поверхность подвергается шлифованию и хонингованию.



**Шатуны.** В процессе работы двигателя шатуны испытывают значительные динамические нагрузки, воспринимаемые от поршней, вследствие действия газов и сил инерции.

Для изготовления шатунов используются заготовки, получаемые из углеродистой стали (40, 45) и легированной (40X, 45X, 45Г2, 30ХНМА, 1ЯХ2Н4ВА) стали горячей штамповкой с последующей термообработкой. Для обеспечения требуемой жесткости шатуны выполняют с двутавровым сечением.

При механической обработке шатунов необходимо обеспечить:

- параллельность осей отверстий верхней и нижней головок,
- параллельность плоскостей разъема нижней головки шатуна относительно оси отверстия,
- параллельность опорных поверхностей под головку и гайку шатунного болта относительно оси отверстия,
- перпендикулярность оси отверстий головок к оси стержня и взаимному пересечению осей,
- цилиндричность отверстий верхней и нижней головок.

Кроме того, следует обеспечить требуемые допуски торцевого биения нижней головки шатуна относительно ее оси.

Шатуны могут выполняться цельными (рис. 4.36, в) и разъемными – содержащими крышку (рис. 4.36, г).

Последовательность основных операций обработки шатуна с крышкой следующая:

- 1) фрезерование торцов головок;
- 2) шлифование торцов головок;
- 3) протягивание базовых площадок головок;
- 4) сверление и зенкерование отверстий головок;
- 5) протягивание плоскости разъема;
- 6) протягивание площадок под болты;
- 7) фрезерование паза под вкладыш;
- 8) шлифование плоскости разъема;
- 9) сверление и зенкерование отверстий под болты;
- 10) сборка шатуна с крышкой двумя болтами;
- 11) зенкерование отверстия нижней головки (в собранном шатуне);
- 12) хонингование отверстия нижней головки (в собранном шатуне).

Обработка крышки во многом аналогична обработке шатуна и включает следующую последовательность основных операций:

- 1) протягивание боковой поверхности крышки;
- 2) протягивание плоскости разъема;
- 3) протягивание площадок под гайки и боковых установочных плоскостей;
- 4) фрезерование паза под вкладыш;
- 5) шлифование плоскости разъема;
- 4) сверление и зенкерование отверстий под болты.

**Поршни.** Поршень (рис. 4.36, д) представляет собой стакан, состоящий из днища и юбки, устанавливаемый с небольшим зазором в гильзе цилиндра. Конструктивными элементами поршня являются кольцевые канавки для поршневых колец и две бобышки с отверстиями под поршневой палец. В канавках под маслосъемные кольца выполнены отверстия для отвода масла. Кроме того, в юбке могут выполняться сквозные прорези для обеспечения упругости юбки и уменьшения теплопередачи от головки поршня к юбке.

Поршень воспринимает давление нагретых до высокой температуры газов и передает его через поршневой палец и шатун на коленчатый вал. Во время работы двигателя стенки поршня трутся о поверхность цилиндра при значительных давлениях от боковых сил шатуна и линейных скоростях движения. Бобышки поршня испытывают знакопеременную нагрузку.

С учетом особенностей эксплуатации поршни должны иметь высокую теплопроводность, механическую прочность и жаропрочность, износостойкость и коррозионную стойкость. Кроме того, материал поршня по коэффициенту теплового линейного расширения должен быть близок к материалу цилиндров.

Для изготовления поршней используются, в основном, литые и штампованные заготовки из алюминиевых сплавов (АЛ10, АЛ25). Крупногабаритные поршни, применяемые в тихоходных двигателях, отливают из серого чугуна (СЧ24, СЧ28). Заготовки поршней после отливки подвергают термообработке.

При механической обработке поршней необходимо обеспечить перпендикулярность осей поршня и отверстия под палец.

Последовательность основных операций обработки поршня следующая:

- 1) обработка технологических баз (расточивание внутреннего пояска открытого конца юбки поршня, подрезание торца юбки поршня, сверление центрального отверстия в днище поршня под палец);

- 2) черновое и чистовое обтачивание юбки поршня и его днища;
- 3) черновое и чистовое протачивание кольцевых канавок, снятие фасок;
- 4) зенкерование отверстия под палец, снятие фасок;
- 5) сверление отверстий для отвода масла;
- 6) фрезерование прорезей в юбке поршня;
- 7) шлифование юбки поршня;
- 8) отрезание центровой бобышки заподлицо с днищем поршня.

**Поршневые пальцы** (рис. 4.36, е) служат для передачи шатунам усилия от давления газов, действующих на поршни.

При изготовлении поршневых пальцев в качестве заготовок обычно используются поковки из стали (15, 40, 45, 15Х, 40Х, 10ХН, 40ХН), которые подвергаются термической обработке и химико-термической (цементация, азотирование) обработке для повышения прочности и износостойкости. Повышение усталостной прочности пальцев достигается полировкой их наружной цилиндрической поверхности, на которой не должно быть дефектов (трещин, окалины, забоин, вмятин, рисок и т. д.). При этом качество поверхности контролируется методами дефектоскопии.

Последовательность операций механической обработки поршневых пальцев следующая:

- 1) подрезка, центрирование и обтачивание торцов;
- 2) обтачивание наружной поверхности;
- 3) сверление гнезда для стопорного болта;
- 4) шлифование и полирование наружной поверхности.

**Поршневые кольца** (рис. 4.36, ж) предотвращают утечку газов из камеры сгорания через зазор между поршнем и гильзой, обеспечивая необходимое сжатие воздуха в цилиндре (компрессионные кольца) и устраняют попадание масла в камеру сгорания (маслоотъемные кольца). Кроме того, кольца служат для отвода тепла от поршня.

Они должны хорошо прилегать к стенкам цилиндра, сохранять упругость при нагреве, обладать твердостью, хорошими антифрикционными свойствами и износостойкостью. В кольцах предусматривается замок в виде зазора для компенсации теплового расширения.

С учетом условий работы колец для их изготовления обычно используют литые заготовки из серого чугуна (СЧ21, СЧ24) с добавками фосфора, хрома или других легирующих элементов. В не-

которых двигателях применяют кольца, для изготовления которых часто используют в качестве заготовок катаную калиброванную полосу из марганцовистой стали 65Г или жаропрочной молибденовой стали 50М, благодаря чему повышается прочность и упругость колец.

Последовательность операций механической обработки компрессионного кольца следующая:

- 1) черновое и чистовое шлифование торцов;
- 2) черновое обтачивание кольца по копиру;
- 3) фрезерование и предварительное калибрование замка;
- 4) растачивание кольца;
- 5) чистовое обтачивание по наружному диаметру;
- 6) окончательное калибрование замка.

После чернового шлифования торцов кольца производится его термическое старение.

В процессе механической обработки маслоотъемного кольца дополнительно протачиваются канавки и фрезеруются маслоотводные прорези.

### 4.2.3. Клапаны

Клапан состоит из стержня и тарелки, между которыми имеется плавный переход для повышения прочности клапана и улучшения отвода тепла от тарелки (рис. 4.37). Чтобы клапан мог плотно закрывать отверстие в головке цилиндров, тарелка имеет фаску – посадочный конусный пояс (такая же фаска имеется у седла клапана в головке цилиндров).



Рис. 4.37. Клапаны

Клапаны подразделяются на впускные и выпускные. Выпускные клапаны могут быть и цельными, и сварными, впускные клапаны – только цельными. Впускные клапаны изготавливаются из заготовок из сталей (40Х, 40ХН, 50ХН, 38ХС). Заготовки получают горячей высадкой из прутка на ковочных машинах. Такие же заготовки служат для изготовления стержней свар-

ных выпускных клапанов. Цельные выпускные клапаны, а также тарелки выпускных сварных клапанов делают из сталей (X9C2, X9C2M, 4X10C2M).

Механическая обработка клапанов сводится к обработке цилиндрической поверхности стержня, торца стержня и посадочного пояса тарелки.

#### 4.2.4. Коленчатый и кулачковый валы

**Коленчатые валы** служат для преобразования поступательного движения поршня во вращательное. Они применяются в насосах, компрессорах, кузнечнопрессовых и других машинах.

В двигателе внутреннего сгорания коленчатый вал воспринимает через шатун усилие от поршня при воспламенении горючей смеси и передает крутящий момент к разным механизмам двигателя. Вал работает в условиях знакопеременных динамических нагрузок. Наибольшие нагрузки испытывают шейки коленчатых валов из-за наличия значительного трения скольжения.

Основными конструктивными элементами коленчатого вала являются колена (кривошипы) и соосные коренные шейки (рис. 4.38).

Каждое колено имеет две щеки и одну шатунную шейку для присоединения шатуна. Оси шатунных шеек смещены относительно оси вращения коленчатого вала.

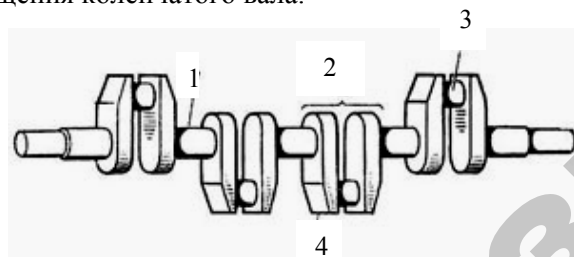


Рис. 4.38. Коленчатый вал.

1 – коренная шейка, 2 – колено, 3 – шатунная шейка, 4 – щека

По конструкции коленчатые валы могут быть цельными или составными, состоящими из 2...3 колен, которые, в свою очередь, могут быть цельными, полусоставными (отдельно выполняются коренные шейки) и составными (отдельно выполняются коренные и шатунные шейки, а также щеки).

Особенности в конструкции определяют различия в технологическом процессе изготовления коленчатого вала.

Для изготовления коленчатых валов используются заготовки в виде штамповок из сталей (45, 45X, 45Г2, 50Г) или отливок из высокопрочного чугуна ВЧ50 с шаровидным графитом. Штампованные заготовки подвергаются отжигу и нормализации.

При механической обработке шатунов необходимо обеспечить следующее:

- 1) соосность коренных шеек и опор вала (ее отсутствие приводит к радиальным биениям);
- 2) параллельность осей коренных и шатунных шеек;
- 3) перпендикулярность торцевой плоскости к оси вала.

Последовательность основных операций обработки вала следующая:

- 1) обработка технологических баз (фрезерование торцов и сверление центровых отверстий, фрезерование площадок на щеках для угловой ориентации вала при обработке шатунных шеек);
- 2) обтачивание коренных шеек на концах вала;
- 3) черновое шлифование коренных шеек;
- 4) обтачивание (черновое и чистовое) шатунных шеек;
- 5) черновое шлифование шатунных шеек;
- 6) обработка полостей в шейках, маслопроводных каналов и других отверстий;
- 7) термическая обработка шеек;
- 8) чистовое шлифование коренных и шатунных шеек;
- 9) обработка отверстий в концах вала, фрезерование шпоночных пазов;
- 10) финишная обработка шеек.

Обработанный вал подвергается балансировке, а также дефектоскопическому анализу.

**Кулачковые валы** (распределительные валы) служат для преобразования вращения в заданный вид движения или изменения положения перемещаемых деталей. Эти валы применяются в различных устройствах автоматики (например, для управления механикой типографского линотипа, для обеспечения движений иглы швейной машины и т. д.). В двигателях внутреннего сгорания распределительный вал приводит в движение клапаны, масляный и топливный насосы, распределитель зажигания.

Распределительный вал представляет собой комбинацию кулачков (асимметричных дисков или цилиндров), соединенных с опорными шейками (рис. 4.39). При вращении вала двигателя кулачки давят на коромысла (толкатели кулачкового механизма), которые, в свою очередь, осуществляя возвратно-поступательное движение, воздействуют на подпружиненные штоки-толкатели, открывающие и закрывающие впускные и выпускные клапаны. Характеристики



Рис. 4.39. Кулачковый (распределительный) вал

движения толкателей (скорость, ускорение и перемещение) задаются профилем кулачков или их взаимной ориентацией (если профили одинаковы). Существуют двигатели, в которых кулачки воздействуют на клапаны непосредственно.

Распределительные валы выполняются как цельные изделия. Для их изготовления используются штампованные заготовки из

стали 45, 40Г, 50Г или литые – из высокопрочного чугуна, легированного хромом, никелем, молибденом и другими металлами.

Последовательность основных операций обработки вала следующая:

- 1) обработка технологических баз (фрезерование торцов и сверление центровых отверстий);
- 2) точение (черновое и чистовое), подрезка торцов кулачков и шеек;
- 3) черновое шлифование шеек;
- 4) сверление установочного отверстия на переднем торце, сверление центрального и других отверстий;
- 5) точение кулачков;
- 6) черновое шлифование кулачков;
- 7) термическая обработка (закалка и отпуск);
- 8) чистовое шлифование шеек;
- 9) чистовое шлифование кулачков;
- 10) финишная обработка кулачков.

Термическая обработка вала производится для обеспечения твердости HRC 53...62. Установочное отверстие, формируемое на

переднем торце вала, служит для угловой ориентации кулачков относительно копирного вала копировально-токарных или копировально-фрезерных станков. Профили обработанных кулачков контролируются с помощью компаратора путем сравнения проверяемой детали с эталонным валом.

### 4.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

#### 4.3.1. Зубья и штифты

Зубья являются рабочими органами зубовых борон и граблей, штифты – барабанных молотилок (рис. 4.40...4.43).

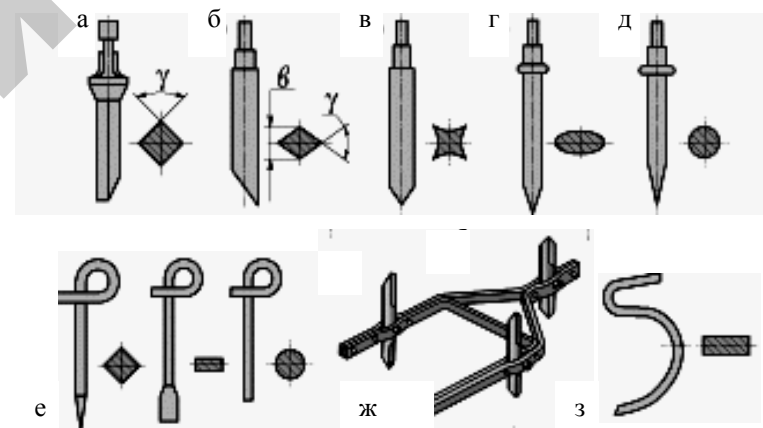


Рис. 4.40. Разновидности зубьев:

- а – квадратный зуб бороны (тяжелой и средней); б – ромбовидный зуб пастбищной бороны; в – зуб фасонного сечения качающейся вибрационной бороны; г – эллипсовидный зуб тяжелой бороны; д – круглый зуб легкой посевной бороны; е – зубья сетчатой бороны; ж – секция луговой бороны с ножевидными зубьями; з – зуб пружинной бороны

Обычно зубья и штифты имеют вид прямых стержней с разнообразной формой поперечного сечения. Зубья игольчатых борон, являющихся особой разновидностью зубовых борон, а также зубья тракторных поперечных граблей имеют вид изогнутых стержней.

Короткие зубья обычно изготавливаются из стали 45 горячей штамповкой, ковкой или прессованием. Наиболее простые по конструкции зубья готовят из стальных прутков токарной обработкой. Зубья сетчатой и пружинной борон, а также длинные зубья граблей получают гибкой пружинной проволоки.

Штифты молотилок, как и зубья, изготавливаются из стали 45 горячей штамповкой.

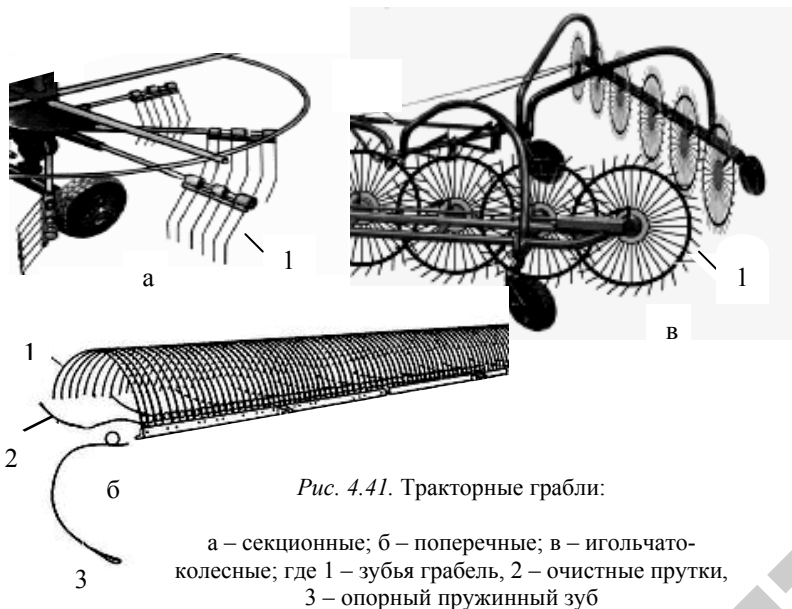


Рис. 4.41. Тракторные грабли:

а – секционные; б – поперечные; в – игольчато-колесные; где 1 – зубья грабель, 2 – очистные прутки, 3 – опорный пружинный зуб



Рис. 4.42. Зубовые бороны:

а – зубовая рамная, б – зубовая сетчатая, в – игольчатая

На шейке зубьев и штифтов нарезается резьба для крепления к орудью. Наружная поверхность зубьев и штифтов обычно гладкая.

Отдельные виды штифтов имеют рифленую поверхность, которая формируется нарезанием (рис. 4.44). Штифты подобно зубьям могут иметь различную форму сечения (круг, полукруг, квадрат, прямоугольник, многоугольник), а также угловую форму.

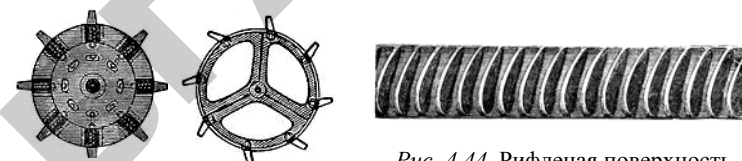


Рис. 4.43. Штифтовые барабаны зерновых молотилок

Рис. 4.44. Рифленая поверхность штифта молотилки

В связи с тем, что из-за условий работы молотилок зубья борон и штифты интенсивно изнашиваются, они подвергаются термической обработке для повышения износостойкости. Так, рабочая часть штифтов закаливается до твердости HRC 50...60.

### 4.3.2. Диски

Многие виды сельскохозяйственной техники различного назначения имеют рабочие органы в форме диска. Обычно дисковые рабочие органы применяются для обработки почвы, прежде всего, в дисковых плугах (рис. 4.45), дисковых культиваторах (рис. 4.46), дисковых боронах (рис. 4.47).

В свеклоуборочных машинах применяются дисковые копачи, в луцильниках – диски, с помощью которых образуются лунки на пашне, в каналокопателях – фрезы, с помощью которых прорываются каналы.

В сеялках диски служат для обработки почвы (рис. 4.48) и высадки семян (рис. 4.49).

В дисковых косилках срезание стеблей производится дисковыми ножами.

Существует диски специального назначения, например, для рассеивания удобрений – в машинах для внесения твердых минеральных удобрений (рис. 4.50); для сортировки картофеля – в сортиро-

вочных аппаратах машин для послеуборочной обработки картофеля (рис. 4.51) и т. д.

Обычно диски, предназначенные для работы в условиях повышенных механических нагрузок, изготавливаются из листовой стали 65Г или 70Г. Рабочая зона таких дисков подвергается термической обработке токами высокой частоты до твердости HRC 35...45. Дисковые сошники сеялок не закаливаются.

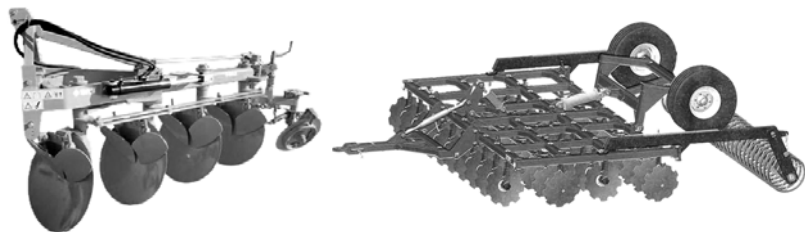


Рис. 4.45. Дисковый плуг

Рис. 4.46. Дисковый культиватор

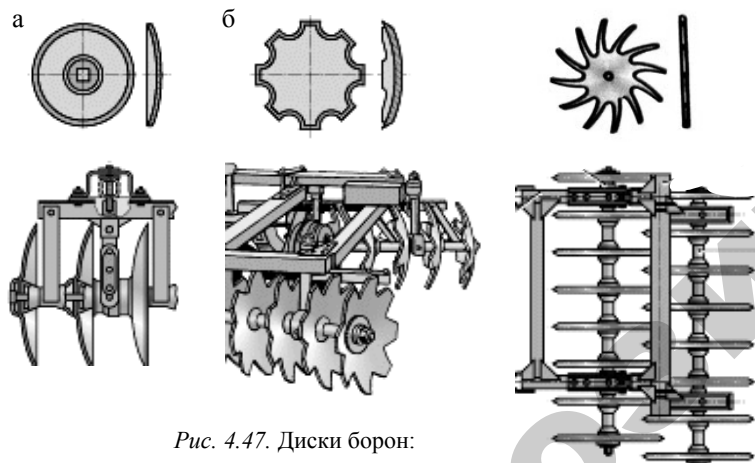


Рис. 4.47. Диски борон:

а – сферический диск легкой дисковой бороны;  
б – вырезной диск тяжелой дисковой бороны; б – игольчатый диск игольчатой бороны-мотыги

В зависимости от назначения диски могут быть разными по конструкции: плоскими, выпуклыми, сферическими, вырезными. Например, в дисковых боронах при слабом нагружении используются сферические диски (легкие бороны), при сильном – вырезные (тяжелые бороны) (рис. 4.47).

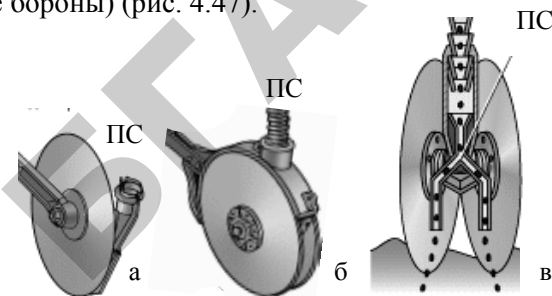


Рис. 4.48. Дисковые сошники сеялок

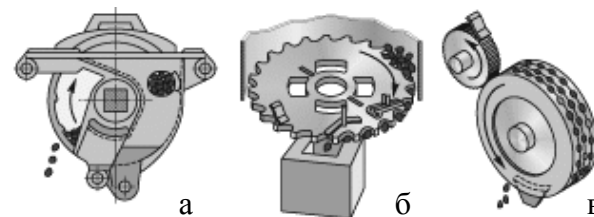


Рис. 4.49. Дисковые высевальные аппараты сеялок:  
а – внутреннереберчатый; б – ячеисто-дисковый с вертикальной осью вращения;  
в – ячеисто-дисковый с горизонтальной осью вращения

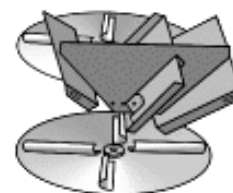


Рис. 4.50. Рассеивающий аппарат машины для внесения в почву твердых минеральных удобрений

Процесс механической обработки дисков включает следующие основные операции: вырубка заготовки из листа, ее гибка и рихтовка, сверление или пробивка отверстий для крепления диска, obtачивание фасок (затачивание) на токарном станке. При термической

обработке следует принимать меры к уменьшению коробления (например, использовать накладные кондукторы).

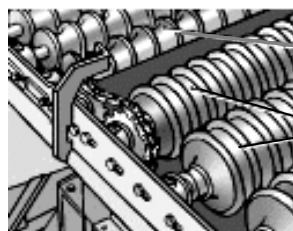


Рис. 4.51. Сортировочный аппарат машины для послеуборочной обработки картофеля:  
1 – диски; 2 – ролики

### 4.3.3. Лемеха, отвалы и полевые доски плугов и лапы культиваторов

Лемеха, отвалы и полевые доски являются основными деталями рабочего органа лемешного плуга – корпуса (рис. 4.52 и рис. 4.53). Лемех подрезает пласт почвы и направляет его на отвал, который, в свою очередь, поднимает подрезанный пласт почвы, оборачивает его верхним слоем вниз и смещает в сторону. Полевая доска, упираясь в стенку борозды, препятствует боковому смещению корпуса, вызываемому поперечной составляющей давления пласта на рабочую поверхность корпуса. Лемеха и полевые доски выполняются в виде плоских пластин, отвалы имеют криволинейную поверхность.

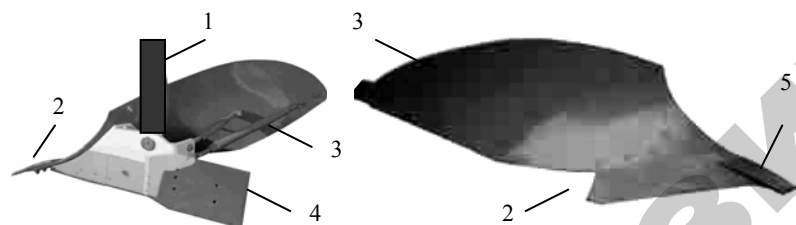


Рис. 4.52. Детали корпуса лемешного плуга:  
1 – стойка; 2 – лемех; 3 – отвал; 4 – полевая доска; 5 – долото

Лемеха, отвалы и полевые доски работают в условиях интенсивного абразивного изнашивания, подвергаются большим силовым нагрузкам, могут испытывать удары о камни, находящиеся в почве, и, как следствие, быстро выходят из строя, поэтому при их изготовлении следует принимать специальные меры по повышению износостойкости.

**Лемеха** изготавливают из специальной износостойкой лемешной стали Л53 или Л65, которая поставляется в виде полос.

Для повышения износостойкости лемехов производится их закалка со стороны лезвия до твердости HRC 60...65 с последующим отпуском (твердость в незакаленной зоне составляет не более HRC 30...33). Кроме того, на поверхности лемехов (верхнюю или нижнюю) наплавляется слой износостойкого сплава.

Повышенный срок службы имеют лемеха из двухслойной стали, у которых верхний слой выполнен из мягкой стали, а нижний – из высоколегированной износостойкой стали. Такие лемеха могут самозатачиваться.



Рис. 4.53. Лемешный плуг

Лемех по конструкции представляет собой трапециевидную или долотообразную пластину; возможна также накладка долота на трапециевидную пластину (рис. 4.54). В пластине выполнены отверстия под потайные болты (для крепления с отвалом).

Процесс изготовления лемеха включает следующие операции:

- 1) вырубка заготовки;
- 2) штамповка;
- 3) сверление отверстий;
- 4) термическая обработка или наплавка износостойкого сплава.

При изготовлении лемехов не допускается прогиб их спинки и вогнутость лезвия в сторону рабочей поверхности. На лемехах с наплавленным слоем сплава не допускаются трещины.

**Отвалы** изготавливаются из листовой малоуглеродистой стали Ст.2. Для повышения износостойкости отвалов производится их цементация на глубину 1,5...2,2 мм с последующей закалкой до твердости HRC 50...60. Непосредственно перед закалкой, отвалы, находясь в нагретом состоянии, подвергаются гибке в прессовом штампе. После гибки производится отпуск.



Рис. 4.54. Трапецеидальный лемех (а) и лемех с накладным долотом (б)

Для изготовления отвалов также используется трехслойная сталь, которая имеет твердые поверхностные слои из стали 65Г и мягкий внутренний слой из стали Ст.2. Гибка и закалка лемехов из трехслойной стали выполняется подобно описанному выше процессу изготовления обычных лемехов.

Процесс изготовления отвала включает следующие операции:

- 1) вырубка заготовки;
- 2) гибка;
- 3) сверление отверстий для крепления;
- 4) химико-термическая обработка (цементация) и термическая обработка.

**Полевые доски** изготавливаются из листовых износостойких сталей (Ст.5, Ст.6, Л65, Л53) и подвергаются термической обработке для получения твердости HRC 50...60. Поскольку доска наиболее сильно и интенсивно истирается у задней части, то передняя нерабочая часть может оставаться незакаленной. Заготовкой служит полоса, которая разрезается (рубится) на отрезки требуемой длины, затем в них изготавливаются отверстия, после чего производится термическая обработка.

**Лапы культиваторов** могут иметь различную конструкцию (рис. 4.55). Они изготавливаются из листовой стали 65Г и 70Г. Некоторые виды разрыхлительных лап получают из стали марки Ст.6. Детали подвергаются поверхностной закалке токами высокой частоты до твердости HRC 40...50.

Лапы изготавливаются штамповкой листовых вырубков. Последующие операции могут включать гибку, сверление отверстий, термическую обработку и заточку лезвий. Последовательность и характер операций определяются конструктивными особенностями получаемых лап.

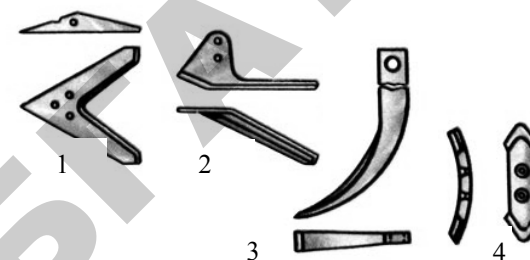


Рис. 4.55. Разновидности лап культиваторов:

- 1 – полостьная стрелчатая; 2 – полостьная односторонняя;  
3 – разрыхлительная долотообразная; 4 – разрыхлительная обратная

Наиболее широко применяются стрелчатые лапы (рис 4.56 и рис. 4.57). Для их изготовления используются заготовки в форме параллелограмма.



Рис. 4.56. Стрелчатая лапа культиватора

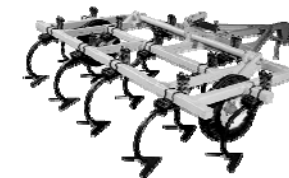


Рис. 4.57. Прицепной культиватор со стрелчатыми лапами

#### 4.3.4. Ножевые детали режущих аппаратов

Режущие аппараты являются составной частью косилок, жаток и комбайнов, в которых они предназначены для срезания растений. В косилках наиболее распространены сегментно-пальцевые и ротационно-дисковые режущие аппараты, в которых в качестве режущего органа применяются соответственно сегменты ножей с вкладышами пальцев (противорежущими пластинами) и пластинчатые ножи дисков (рис. 4.58 и рис. 4.59).



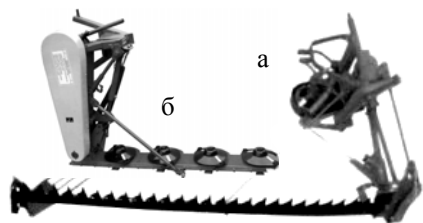


Рис. 4.58. Косилки:  
а – сегментно-пальцевая;  
б – ротационно-дисковая

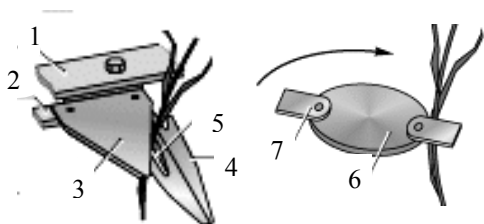


Рис. 4.59. Схемы действия режущих аппаратов сегментно-пальцевой (а) и ротационно-дисковой (б) косилок:

- 1 – пальцевый брус, 2 – спинка ножа,  
3 – сегмент ножа, 4 – палец,  
5 – вкладыш (противорежущая пластина), 6 – диск,  
7 – пластинчатый нож

При работе сегментно-пальцевого режущего аппарата трава по мере продвижения аппарата попадает между его пальцами, сегменты, совершая возвратно-поступательное движение, прижимают траву к режущим кромкам вкладышей и срезают ее. Срезанная трава переваливается через пальцевый брус и ложится на землю в прокос. В ротационно-дисковом режущем аппарате трава срезается за счет высокой скорости вращения пластинчатых ножей при отсутствии пальцев и вкладышей.

Сегменты и вкладыши изготавливаются из углеродистой инструментальной стали У9 или У10, по-

ставляемой в виде горяче- или холоднокатаного листа толщиной 2 мм (для сегментов) и 3 мм (для вкладышей).

Сегменты и вкладыши должны иметь острые и твердые режущие кромки, обладающие высоким сопротивлением к износу. Для повышения твердости и износостойкости эти детали подвергаются закалке токами высокой частоты (по лезвию) с последующим отпуском. После термической обработки твердость зоны закалки равна HRC 50...60, в то время как в незакаленной зоне твердость не превышает HRC 30...35.

Процесс изготовления сегментов включает следующие операции:

- 1) нарезание полос из листов;
- 2) вырубка сегментов и пробивание отверстий;
- 3) правка;
- 4) шлифование нижней плоскости;
- 5) затачивание лезвия (скоса);
- 6) термическая обработка;
- 7) отпуск.

Процесс изготовления вкладышей аналогичен процессу изготовления сегментов. В связи с тем, что вкладыши прикрепляются к пальцам и башмакам заклепками с потайными головками, отверстия во вкладышах после пробивки зенкуются.

#### 4.3.5. Семяпроводы и тукопроводы

Семяпроводы и тукопроводы являются рабочими органами сеялок, служат для подачи семян и твердых минеральных удобрений в почву при посеве и представляют собой трубопроводы особой конструкции (рис. 4.60). Они изготавливаются из стали, резины и пластмасс.

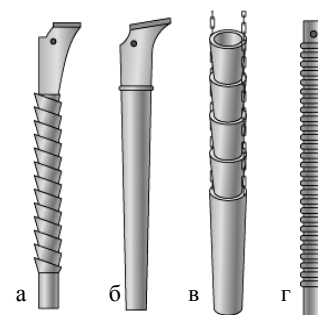


Рис. 4.60. Разновидности семяпроводов и тукопроводов:  
а – спирально-ленточный;  
б – гладко-трубчатый;  
в – воронкообразный;  
г – гофрированный резиновый

Спирально-ленточные детали формируются путем навивки стальной холоднокатаной ленты стали. Они хорошо изгибаются, но плохо поддаются восстановлению после деформирования. Навивка ленты производится прокаткой между коническими консольными валиками на специальных станках, где лента завивается в спираль с коническими кольцами. Для достижения требуемого диаметра кольца ленты с помощью конических валиков по-

дается в конусный шаблон-улитку станка, где завершается процесс навивки.

Гладко-трубчатые детали изготавливаются из прорезиненных тканей или пластмасс. Эти детали также довольно гибки, но быстро изнашиваются. Воронкообразные детали состоят из ряда предварительно изготовленных воронок, подвешенных на цепочках. Семяпроводы и тукопроводы воронкообразной конструкции хорошо сотрясаются, что делает их удобными для высева малосыпучих семян и удобрений, однако семяпроводы и тукопроводы можно применять только в вертикальном положении.

#### 4.3.6. Шнеки

Шнеки служат для транспорта сыпучих материалов. С помощью шнеков осуществляется транспорт и выгрузка зерна в зерноуборочных комбайнах, кукурузных початков – в кукурузоуборочных комбайнах; транспорт и распределение зерна и семян, выгрузка отходов (легких примесей) – в зерно- и семяочистительных машинах; транспорт и очистка корнеплодов – в свеклоуборочных машинах, картофеля – в картофелеуборочных машинах; подача муки, крупы, сухого молока в дозаторы фасовочно-упаковочных машин; перемещение трав и силосных культур – в косилках (рис. 4.61) и т. д.

Шнековый транспортер состоит из стальной трубы, внутри которой вращается шнек – стальной вал со сплошной винтовой стенкой (спиралью) из стального листа, являющийся рабочим органом транспортера (рис. 4.62). Транспортер может устанавливаться вертикально, горизонтально или под углом; шнек может располагаться как в закрытой, так и в открытой трубе (желобе). Шнековый транспортер отличается простотой конструкции и равномерностью подачи загружаемого материала, которая регулируется частотой вращения винта. Производительность определяется диаметром трубы (желоба) и скоростью вращения винта.

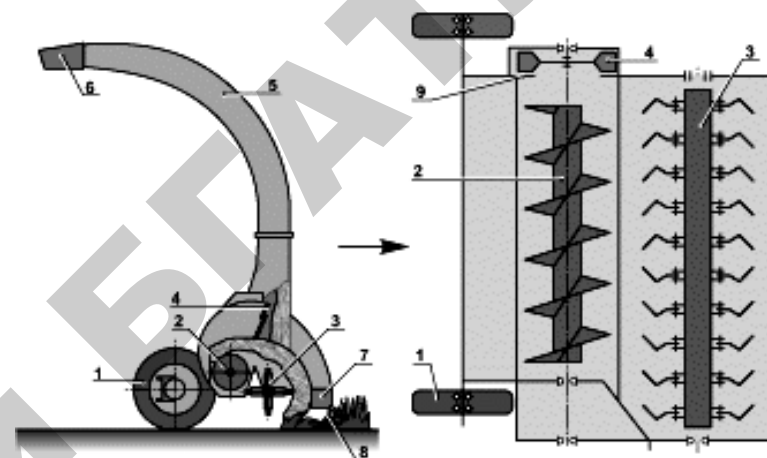


Рис. 4.61. Прицепная косилка-измельчитель со шнековым транспортером для уборки трав и силосных культур с измельчением:

1 – опорное колесо, 2 – шнек, 3 – ротор, 4 – измельчающий аппарат, 5 – силосопровод, 6 – козырек, 7 – брус, 8 – защитные фартуки, 9 – противорежущая пластина

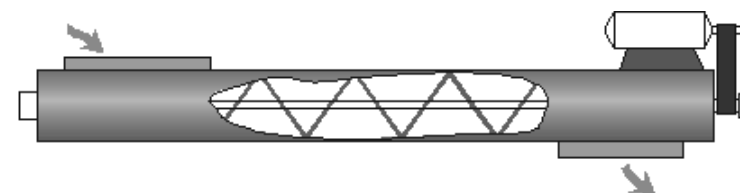


Рис. 4.62. Шнековый транспортер

Вал и спираль изготавливаются отдельно, после чего они соединяются сваркой. Заготовкой для валов и труб обычно служит прокат из стали Ст.3. В массовом и крупносерийном производстве спирали изготавливаются горячей прокаткой ленты между двумя коническими валками. В мелкосерийном и единичном производстве спираль формируется из отдельных секторов, привариваемых к валу. После приварки спирали вал правят.

## РАЗДЕЛ 5

### СБОРКА ТИПОВЫХ УЗЛОВ МАШИН

---

#### 5.1. СБОРКА УЗЛОВ ОБЩЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Сборка узлов машин производится посредством разнообразных соединений деталей. Различают подвижные и неподвижные, разъемные и неразъемные соединения. Некоторые виды разъемных и неразъемных соединений могут быть только подвижными или неподвижными, другие – как подвижными, так и неподвижными.

Подвижные соединения, в основном, выполняются разъемными; как правило, они характеризуются посадками с зазором.

Большим разнообразием подвижных соединений представлены узлы передач, среди которых наиболее часто используются зубчатые, червячные, цепные и ременные передачи.

К подвижным неразъемным соединениям относятся звеньевые соединения с замкнутыми кольцевыми звеньями, шарнирные соединения с осевым стержнем, имеющим развальцованные концы, и т. п. Среди подвижных неразъемных соединений особенно широко распространены узлы с подшипниками.

К неподвижным разъемным соединениям относятся резьбовые (посредством винтов, болтов и шпилек), шпоночные, шлицевые, конические и т. п. соединения, которые обычно выполняются с предварительным натягом для обеспечения требуемой герметичности, жесткости и прочности. Однако эти же соединения могут быть также подвижными, если они благодаря малому натягу обеспечивают возможность относительного движения соединяемых деталей по ходовой резьбе, по шлицам или другим направляющим, а также по цилиндрическим или коническим поверхностям с трением.

К неподвижным неразъемным соединениям относятся клепаные, сварные, паяные и клеевые соединения, а также соединения, выполненные пластическим деформированием.

Среди неподвижных соединений особое место занимают муфтовые соединения. Узлы с муфтами могут быть как разъемными (в случае фланцевых или зажимных муфт), так и неразъемными (в случае втулочных муфт).

К неподвижным неразъемным соединениям также относятся соединения, образованные посадками с гарантированным натягом. Такие соединения применяются для передачи осевых сил и крутящих моментов. Если же натяг сравнительно небольшой, то соединения могут быть разъемными (соединяемые детали можно подвергать распрессовке и повторной запрессовке без значительных повреждений).

В зависимости от условий создания натяга различают продольно-прессовые и поперечно-прессовые соединения с натягом. В продольно-прессовом соединении охватываемую деталь (вал) запрессовывают в охватывающую деталь (втулку) под действием сил, прикладываемых вдоль оси. При этом в результате натяга в соединении возникают силы трения, обеспечивающие фиксированное положение соединяемых деталей. В поперечно-прессовом соединении сопрягаемые поверхности сближаются радиально или по нормали к поверхности при помощи температурного воздействия или пластической деформации.

При одном и том же натяге прочность соединения может быть разной (в зависимости от материала и размеров сопрягаемых поверхностей, способа соединения, смазки, условий запрессовки, нагрева и охлаждения и проч.).

Сборка соединений с натягом обеспечивается механической запрессовкой с использованием ручных, механических, гидравлических, пневматических или других прессов. Кроме того, для обеспечения натяга при сборке применяются температурные воздействия (обычно при больших диаметрах и малых длинах сопрягаемых деталей, когда при посадке под прессом могут возникнуть перекосы). При этом нагревают охватывающую или охлаждают охватываемую деталь либо производят оба этих действия одновременно. Температура нагрева деталей зависит от их диаметров и материала. Детали нагревают в газовой среде и жидкости – в машинном или (при вы-

сокой температуре) в касторовом масле, охлаждают в холодильных камерах с использованием твердой углекислоты, жидкого воздуха, кислорода или азота.

### 5.1.1. Разъемные соединения

**Резьбовые соединения.** Сборка резьбовых соединения выполняется при помощи крепежных деталей, имеющих резьбу – винтов, болтов и шпилек (рис. 5.1...5.4).

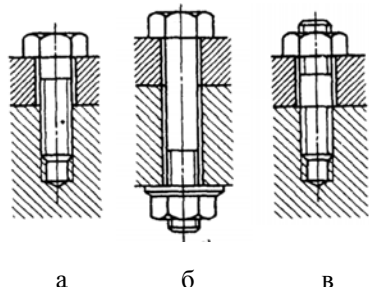


Рис. 5.1. Резьбовые соединения:  
а – винтовое; б – болтовое;  
в – шпильчатое

Резьбовые соединения отличаются простотой и надежностью, возможностью разборки и повторной сборки без замены деталей и поэтому находят широкое применение в конструкциях машин, составляя 15...25% от общего числа соединений.

Последовательность сборки резьбового соединения следующая:

- 1) установка скрепляемых изделий,
- 2) установка резьбовых деталей,

их наживление (на 2...3 витка резьбы), завинчивание, затяжка и стопорение (для предохранения от самоотвинчивания).

Как правило, крепежные детали располагаются в легкодоступных местах, а размеры этих деталей унифицируются.

При сборке деталей винтами в единичном и мелкосерийном производстве винты наживляют вручную, а завинчивают и затягивают гаечными или торцовыми ключами и отвертками. В крупносерийном и массовом производстве сборка винтами выполняется с помощью одно- и многошпиндельных переносных гайковертов и специальных винтозавертывающих стационарных станков с подачей винтов из бункерных устройств.

При сборке деталей болтами сначала вставляют болт в отверстие и придерживают его от выпадения и проворачивания, затем надевают шайбу, наживляют, наворачивают и затягивают гаку, используя те же приспособления, что и в предыдущем случае.

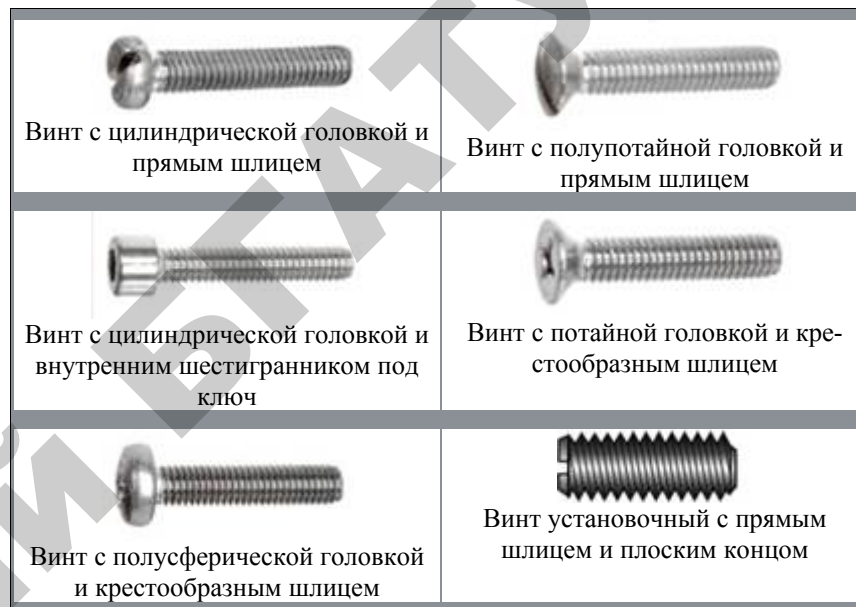


Рис. 5.2. Разновидности винтов



Рис. 5.3. Разновидности болтов

При сборке деталей шпильками сначала ввинчивают с натягом резьбовые шпильки в одну из деталей, затем на них надевают сопряженную деталь, на выступающие концы шпилек надевают шайбы, навинчивают и затягивают гайки.

 Шпилька с ввинчиваемым концом	 Шпилька с резьбой по всей длине
 Гайка шестигранная с двусторонней фаской	 Гайка круглая шлицевая
 Гайка квадратная с фаской	 Гайка шестигранная закрытая
 Гайка корончатая	 Гайка шестигранная приварная
 Гайка шестигранная колпачковая	 Гайка с шайбой

Рис. 5.4. Разновидности шпилек и гаек

Шпильки завинчивают с помощью специальных патронов, захватывающих шпильку, а также с помощью ручных или механизированных инструментов (шпильковертов).

Для обеспечения натяга при ввинчивании шпилек используют следующие способы:

- 1) натяг по резьбе;
- 2) плотная посадка на сбеги резьбы шпильки;
- 3) упор буртом шпильки в плоскость разреза деталей;

- 4) упор в дно резьбового отверстия;
- 5) посадка резьбы шпильки на клей;
- 6) завинчивание шпильки в гладкое отверстие (для алюминиевых и магниевых сплавов);
- 7) постановка шпильки со спиральной проволочной вставкой.

Требуемая степень затяжки резьбовых соединений обеспечивается ограничением крутящего момента (с помощью динамометрического ключа), поворотом гайки на определенный угол (с помощью накладного градуированного диска), затяжкой с замером удлинения стержня шпильки или болта (с помощью индикаторов деформации, встроенных в крепежные детали, или индикаторных шайб, меняющих цвет при напряженном состоянии крепежных деталей). Равномерность затяжки зависит от метода затяжки и качества изготовления крепежных резьбовых деталей. Время заворачивания крепежных резьбовых деталей зависит от типа сборочных инструментов: оно уменьшается при замене обычного гаечного ключа трещоточным ключом и тем более механизированным инструментом.

Для сокращения продолжительности сборки применяют специальные приспособления: для закрепления базовых деталей собираемых изделий, для упругой подвески сборочных механизированных инструментов, для перемещения упругих подвесок сборочных механизированных инструментов в горизонтальном направлении и т.д.

Трудоемкость сборки резьбовых соединений снижается на 40 % при использовании самонарезающих винтов (рис. 5.5), что позволяет исключить из технологического процесса сборки такие операции, как сверление отверстий и нарезание в них резьбы.

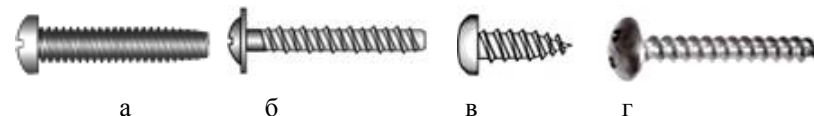


Рис. 5.5. Самонарезающие винты:

- а, б – для установки в предварительно обработанное отверстие;  
в, г – для соединения деталей без предварительного сверления отверстий

Резьбовые соединения стопорятся в тех случаях, когда возникает опасность самоотвинчивания крепежных резьбовых деталей в результате воздействия переменных и ударных нагрузок или вибраций.

Стопорение обеспечивается:

- повышением трения в резьбе за счет применения резьбы с натягом;
- повышением трения в резьбе с помощью контргаек (рис. 5.6, а)
- жесткой фиксацией крепежных резьбовых деталей с помощью шплинтов (рис. 5.6, б), проволочных обвязок (рис. 5.6, в, г) и других конструктивных элементов;
- жесткой фиксацией крепежных резьбовых деталей с помощью сварки, накернивания, склеивания и других способов воздействия на детали (рис. 5.6, д);

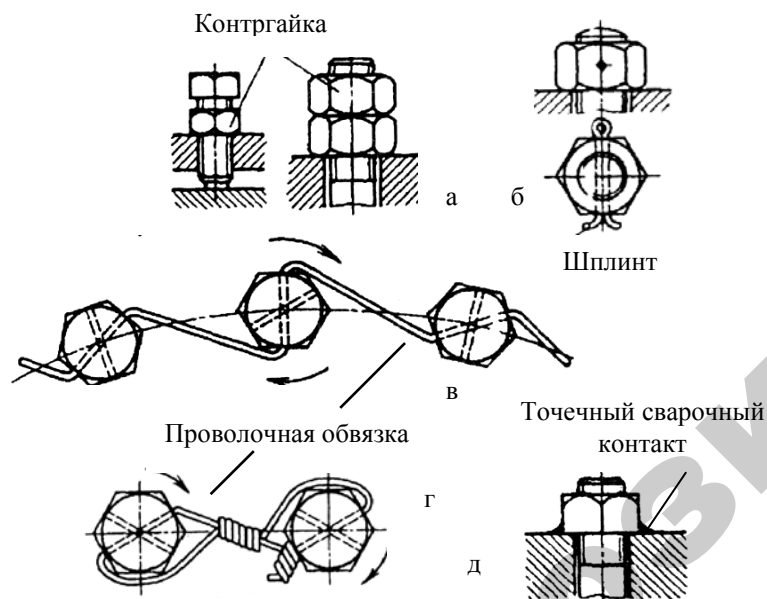


Рис. 5.6. Способы стопорения крепежных резьбовых деталей

- повышением трения в резьбе или жесткой фиксацией крепежных резьбовых деталей с помощью стопорных шайб (рис. 5.7);

- применением самоотпорящихся (самоконтрящихся) крепежных резьбовых деталей – винтов, болтов и гаек (рис. 5.8 и рис. 5.9).
















Шайбы для повышения трения в резьбе	
 Шайба пружинная (гровер) стандартная	 Шайба пружинная (гровер) выпуклая
 Шайба пружинная (гровер) волнистая	 Шайба плоская пружинная выпуклая
 Шайба плоская пружинная волнистая	 Шайба выпуклая с резиновой прокладкой
 Шайба упругая с внешними зубцами	 Шайба упругая с внутренними зубцами

Рис. 5.7. Разновидности стопорных шайб

**Шпоночные соединения.** Сборка шпоночных соединений выполняется при помощи шпонок – крепежных деталей, закладываемых одновременно в пазы вала и ступицы надетой на вал детали.

Шпоночные соединения служат для передачи крутящих моментов в сочленениях «вал – шкив», «вал – зубчатое колесо», «вал – муфта» и др. Они применяются, в основном, в легконагруженных конструкциях ввиду малой несущей способности или ослабления конструкции пазом.

Шайбы для жесткой фиксации крепежных резьбовых деталей	
 Шайба стопорная с лапкой	 Шайба стопорная с двумя лапками
 Шайба стопорная с внутренним выступом для шлицевой гайки	 Шайба стопорная с наружным выступом для шлицевой гайки
 Шайба стопорная с внешними зубцами	 Шайба стопорная с внутренними зубцами
 Шайба стопорная вогнутая с внешними зубцами	 Шайба зазубренная
 Шайба захватывающая	 Шайба косая квадратная клиновья

Продолжение рис. 5.7. Разновидности стопорных шайб



Рис. 5.8. Самоподтягивающиеся болты с усом

Наиболее распространены соединения с призматическими, сегментными, а также тангенциальными шпонками; реже применяются соединения с клиновыми и круглыми шпонками (рис. 5.10).

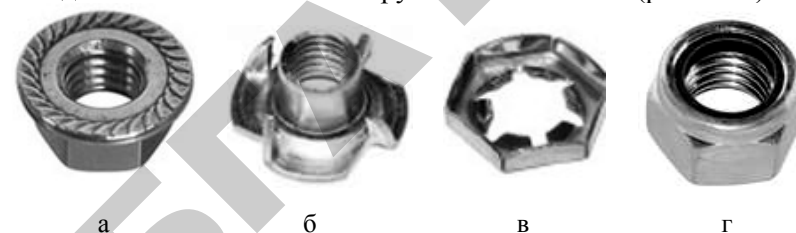


Рис. 5.9. Самоподтягивающиеся гайки:

а – с деформируемой резьбой; б – усовая; в – пружинная; г – с полимерным вкладышем

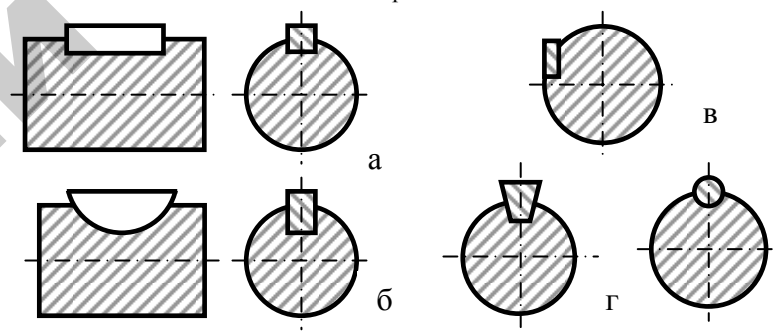


Рис. 5.10. Шпоночные соединения и виды шпонок: призматическая (а); сегментная (б); тангенциальная (в); клиновья (г); круглая (д)

Призматическая шпонка заглубляется в вал на половину своей высоты и имеет узкие рабочие грани. Такая шпонка может быть использована под скользящую на валу деталь, в этом случае она крепится к валу или детали. Сегментная шпонка входит в вал частью, очерченной по дуге окружности. При значительных крутящих моментах ставятся две (и более) шпонки вдоль оси вала или по окружности. Тангенциальная шпонка используется при передаче значительных крутящих моментов, переменных по значению или направлению. Такая шпонка состоит из двух односкосных клиньев одного уклона, имеет узкие рабочие грани. Натяг в соединении создается в окружном направлении, поэтому ставятся две шпонки.

Последовательность сборки шпоночного соединения:

- 1) установка шпонки в паз вала,
- 2) установка сопряженной детали,
- 3) фиксация положения сочленения.

При установке шпонки в паз вала контролируют плотность посадки и точность расположения шпонки в пазу вала. После посадки шпонки на вал насаживают ступицу сопряженной детали, которая фиксируется во избежание осевого смещения гайкой, винтом, стопорным кольцом или другими способами.

В массовом и крупносерийном производстве сборку шпоночных соединений ведут по методу взаимозаменяемости, в единичном и мелкосерийном производстве допускается подбор и пригонка шпонок по пазу.

**Шлицевые соединения.** Сборка шлицевых соединений выполняется при помощи шлицов – равномерно расположенных выступов (зубьев) на валу или в отверстии ступицы надеты на вал детали (рис. 5.11).

Шлицевые соединения служат для передачи значительных по величине крутящих моментов, когда необходимо обеспечить высокие требования по соосности в сочленениях «вал – втулка».

Наиболее распространены шлицевые соединения с прямоугольными (рис. 5.12, а, б) и эвольвентными (рис. 5.12, в, г) шлицами.

В шлицевых соединениях с прямоугольными шлицами профили шлица вала и паза втулки являются прямоугольными.

Центрирование шлицевых соединений с прямоугольными шлицами по большому диаметру при-

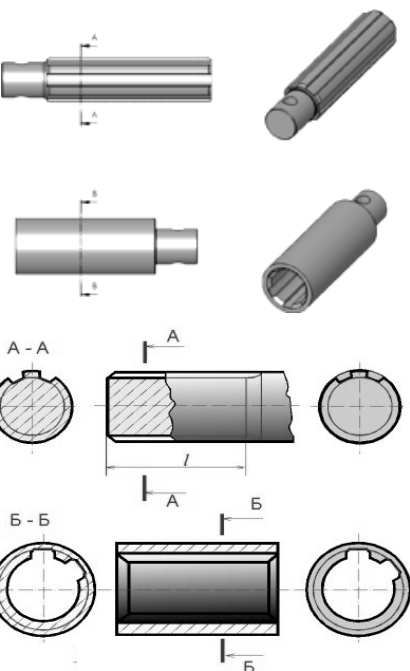


Рис. 5.11. Шлицевые вал и втулка и шлицевые соединения

меняют в том случае, когда чистовая обработка охватывающей детали

по большому диаметру возможна без особых затруднений; по меньшему диаметру – когда чистовая обработка охватывающей детали по большому диаметру затруднена.

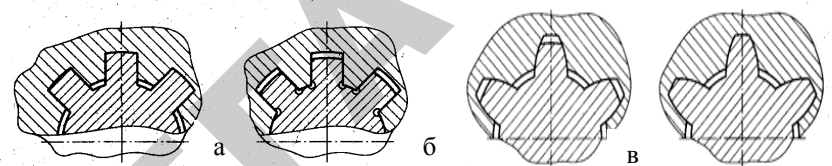


Рис. 5.12. Центрирование шлицевых соединений с прямоугольными (а, б) и эвольвентными (в, г) шлицами:

а – по большому диаметру; б – по меньшему диаметру; в – по боковым поверхностям зубьев; г – по большому диаметру

В шлицевых соединениях с эвольвентными шлицами профили шлица вала и паза втулки являются эвольвентными.

Центрирование шлицевых соединений с эвольвентными шлицами по боковым поверхностям зубьев обеспечивает более высокую экономичность их обработки; по большому диаметру соединений – их более высокую точность по соосности.

Сборку шлицевых соединений ведут методом полной взаимозаменяемости. Сборке предшествует тщательная очистка сопрягаемых деталей. При сборке подвижных соединений детали должны иметь возможность плавных осевых перемещений, осуществляемых от руки. Сборку неподвижных соединений выполняют чаще всего на прессах.

**Конические соединения.** Сборка конических соединений характеризуются наличием сопрягаемых поверхностей (в форме конуса) составных частей изделия.

Конические соединения служат, в основном, для установки и закрепления деталей на концах валов. Для передачи больших крутящих моментов в конструкции конических соединений предусматриваются шпонки.

При сборке конических соединений следует обеспечить требуемую посадку при фиксации деталей, что достигается совмещением конструктивных элементов соединяемых конусов, в частности, положением встык торцовых поверхностей (рис. 5.13, а); заданным



осевым смещением  $E_a$  сопрягаемых конусов от их начального положения (рис. 5.13, б); фиксацией с заданным усилием запрессовки  $F_s$  наружного конуса на внутреннем (рис. 5.13, в).

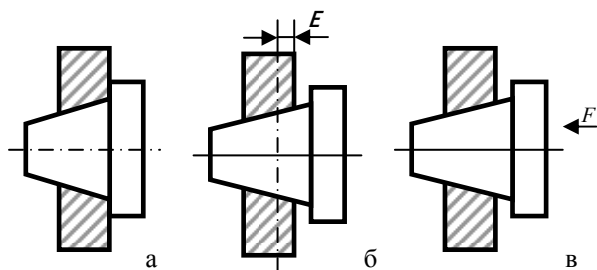


Рис. 5.13. Обеспечение посадок конических соединений при различных способах фиксации деталей

Поскольку к точности изготовления сопрягаемых конических поверхностей предъявляют повышенные требования, то следует проводить их проверку по глубине посадки и пятну контакта, а также «на качку».

Сборку конических соединений выполняют вручную затяжкой крепежных деталей (завинчиванием гаек или винтов, ударами мягкого молотка, усилием прессы).

### 5.1.2. Неразъемные соединения

**Клепанные соединения.** Сборка клепанных (заклепочных) соединений выполняется при помощи заклепок – крепежных деталей, состоящих из стержня с закладной головкой, которые образуют соединения при расклепывании конца стержня с образованием замыкающей головки (рис. 5.14).

Клепанные соединения применяют при сборке деталей, материал которых плохо сваривается.

По назначению клепанные соединения подразделяются на следующие:

- 1) прочные (в металлоконструкциях);
- 2) прочноплотные (в котлах и резервуарах с высоким давлением);
- 3) плотные (в резервуарах с небольшим внутренним давлением).

Соединение считается плотным, если зоны действия соседних заклепок пересекаются. Для обеспечения плотности шва соединения выполняется чеканка вокруг заклепок и на кромках листов.

По конструктивному признаку различают клепанные соединения внахлестку и встык, однорядные и многорядные, односрезные и многосрезные (рис. 5.14).

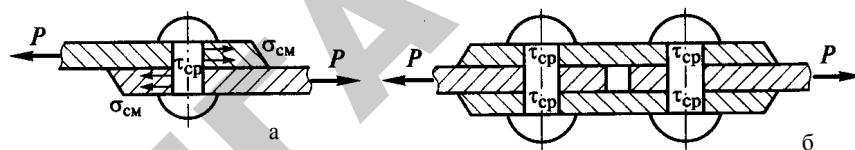


Рис. 5.14. Клепанные соединения:

а – однорядный односрезный шов внахлестку;

б – однорядный двухсрезный шов встык с двумя накладками,

где  $\sigma_{cm}$  – напряжение смятия,  $\tau_{cp}$  – напряжение среза,  $P$  – внешняя нагрузка

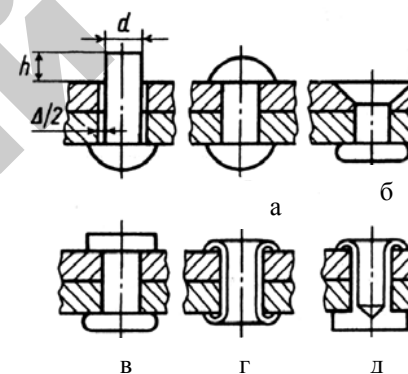


Рис. 5.15. Виды заклепок:

а, б, в – стержневые, г – трубчатая,

д – полутрубчатая

Клепку применяют в соединениях, нагрев которых нежелателен (сепараторы подшипников качения, крепления плоских пружин и т.п.) и в тех случаях, когда соединяемые детали выполнены из разнородного материала (например, сталь – чугун, металл – пластмасса), а также в других соединениях, где соединяемые детали изготовлены из листового материала.

Последовательность клепки: установка скрепляемых

деталей, вставка заклепок в отверстия скрепляемых деталей, формирование замыкающей головки заклепок.

Заклепки выполняют из стали, меди, латуни и алюминиевых сплавов. Клепку производят клепальным пневматическим молотком, клепальным прессом, полуавтоматом и автоматом

Различные виды заклепок показаны на рисунке 5.15. При установке заклепок отверстия соединяемых деталей должны быть совмещены с заданной точностью. При этом диаметральный зазор  $\Delta$  между телом заклепки и соединяемыми деталями должен составлять 0,2 мм (при  $d < 6$  мм), 0,25 мм (при  $6 \leq d < 10$  мм) и 0,3 мм

(при  $10 < d \leq 18$  мм), иначе возможен изгиб стержня заклепки, смещение деталей, а при переменных нагрузках – быстрый износ и разрушение соединения. Вступающая часть стержня должна быть в пределах  $1,3 \dots 1,6 d$  в зависимости от формы головки. Прочность заклепочного соединения зависит от размеров и формы замыкающей головки.

**Сварные соединения** выполняются сваркой. Они формируются путем сваривания сопрягаемых деталей в зоне стыка без применения крепежных деталей и элементов.

Наиболее распространена электрическая сварка, которая бывает дуговой, основанной на использовании высокой температуры электрической дуги для расплавления соединяемых деталей, и контактной, основанной на использовании повышенного электрического сопротивления в стыке деталей.

С применением сварки возможны следующие схемы процессов сборки:

- заготовка элементов сборочной единицы с их окончательной механической обработкой, сборка, сварка, правка сборочной единицы;
- заготовка элементов сборочной единицы с частичной (предварительной) механической обработкой, сборка, сварка, термическая обработка (при необходимости), окончательная механическая обработка;
- заготовка элементов сборочной единицы, сборка, сварка, механическая обработка.

Различают следующие типы сварных соединений: встык, угловые, тавровые, внахлестку (рис. 5.16).

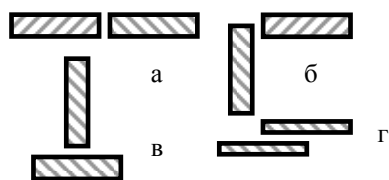


Рис. 5.16. Типы сварных соединений:  
а – встык ; б – угловое;  
в – тавровое; г – внахлестку

Перед сваркой необходимо предусмотреть правильное расположение соединяемых деталей и их временное скрепление. Во избежание коробления элементов сварной конструкции должна быть обеспечена их равная толщина.

При выполнении сборочно-сварочных работ в мелкосерий-

ном производстве применяются специальные механизированные приспособления, в крупносерийном и массовом производстве – полуавтоматические и автоматические сварочные установки. Качество сварных швов контролируют визуально (наружный осмотр) и методами дефектоскопии.

**Паяные соединения** выполняются пайкой. Они формируются путем введения в зазор между сопрягаемыми деталями расплавленного припоя, который смачивает поверхности деталей и скрепляет их после охлаждения и отверждения. При этом происходит взаимное растворение металлов деталей и припоя, в результате чего образуется сплав более прочный, чем припой. Элементы сборочной единицы перед пайкой скрепляют в специальных приспособлениях.

Пайку производят твердыми (медными или медно-цинковыми, с температурой плавления выше  $550$  °С и пределом прочности до  $500$  МПа) и мягкими (оловянно-свинцовыми, с температурой плавления ниже  $400$  °С и пределом прочности до  $100$  МПа) припоями.

Припой подается в зону пайки в виде пасты, проволочных колец, шайб или пластинок (рис. 5.17); его можно наносить непосредственно в расплавленном виде паяльником, а также путем погружения собираемого изделия в ванну с расплавленным припоем. Для защиты места спая от окисления при нагреве собираемых деталей и улучшения смачиваемости места спая припой наносится вместе с флюсами определенного состава.

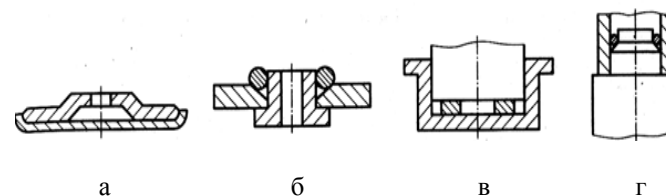


Рис. 5.17. Паяные соединения, выполненные с использованием припоя:  
а – в виде пасты; б – проволочных колец; в – шайб; г – пластинок

**Клеевые соединения** выполняются с применением клея. Они формируются путем нанесения на сопрягаемые поверхности деталей клея, который смачивает поверхности деталей и скрепляет их после отверждения.

Преимущества клеевых соединений: возможность соединения разнородных материалов; равномерность распределения напряжений в соединении (повышается сопротивление вибрациям); уменьшение объема механической обработки (отпадает надобность сверления отверстий для крепежа); герметичность и коррозионная стойкость соединения; уменьшение массы изделия и себестоимости его изготовления (в ряде случаев). Недостатки клеевых соединений: низкая прочность на отрыв; «старение» некоторых видов клеев с течением времени, сравнительно малая долговечность, незначительная тепловая стойкость.

Клеи подразделяются на конструкционные (жесткие), которые обеспечивают высокую прочность (на сдвиг до 50...55 МПа, на отдир до 2,5...2,7 МПа), и неконструкционные (эластичные), которые менее прочны (на сдвиг до 5 МПа, на отдир до 0,7 МПа), но более дешевы. Клеи могут находиться в жидком, пастообразном, пленочном и порошкообразном состояниях. Клей в зависимости от его исходного состояния наносят кистью, пульверизатором, шпателем, роликом или шприцем.

Качество клеевого соединения зависит от толщины клеевой прослойки: чем тоньше слой клея, тем выше прочность соединения. Кроме того, прочность соединения повышается при обеспечении равномерности толщины клеевого слоя. Качество клеевого соединения зависит также от качества подготовки поверхностей деталей под склеивание путем физико-механической обработки (дробеструйная, ультразвуковая, газопламенная) и химической (обезжиривание, травление, фосфотирование) обработки. Высокой прочностью и жесткостью обладают комбинированные клеерезьбовые и клеезаклепочные соединения.

**Соединения пластическим деформированием** представляют собой такие соединения деталей, в которых одна из соединяемых деталей, выполненных из листового материала, труб, полос или проволоки, подвергается деформированию, причем, как правило, деформируемая деталь в месте сопряжения имеет тонкие стенки (рис. 5.18).

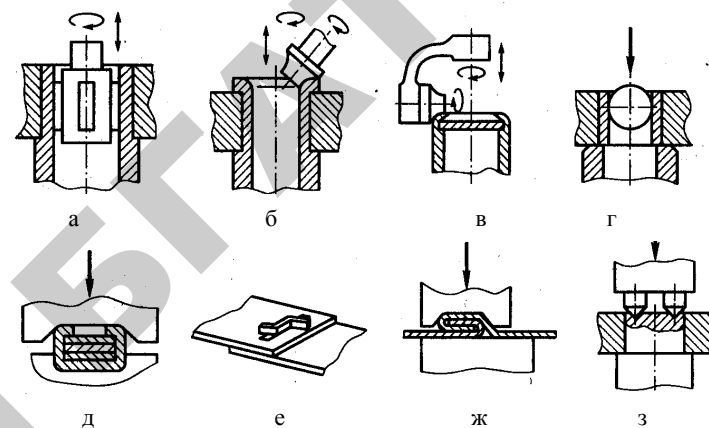


Рис. 5.18. Схемы сборки соединений пластическим деформированием:

- а – вальцевание роликовой вальцовкой для получения плотного и герметичного соединения трубы с базовой деталью; б – отбортовка роликовой вальцовкой для прочного соединения втулки с базовой деталью; в – завальцовывание роликовой вальцовкой; г – дорнование втулки шариком или дорном для повышения плотности ее посадки в отверстии;
- д – отгибка для скрепления группы деталей; е – соединение деталей скручиванием выступающих элементов; ж – соединение листовых деталей в фальц; з – кернение деталей

Сборка соединений пластическим деформированием позволяет получать плотные герметичные соединения, способные передавать значительную осевую нагрузку и крутящий момент.

### 5.1.3. Узлы с муфтами

Муфты предназначены для соединения концов валов или труб (соединительные муфты) и для передачи вращения с одного вала на другой без изменения крутящего момента (муфты приводов машин и механизмов).

По конструкции различают втулочные и фланцевые муфты.

Втулочные муфты применяют в узлах, имеющих вал, который скрепляется с втулкой шлицами, шпонками или штифтами – в зависимости от требований к соосности валов в конкретной конструкции (рис. 5.19).

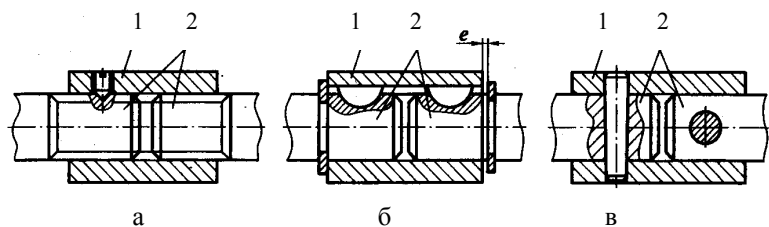


Рис. 5.19. Втулочные муфты:

а– со шлицами; б– со шпонками; в–со штифтами, где

1 – втулка; 2 – соединяемые валы

Последовательность сборки валов с втулочными муфтами следующая:

1) установка валов (в машину или в приспособление) с их взаимной ориентацией (соосность, расположение шпоночных канавок или шлицов);

2) запрессовка муфты на конце одного из валов;

3) соединение и запрессовка конца второго вала;

4) обработка отверстий под стопоры и установка стопоров.

Фланцевые муфты передают крутящий момент за счет сил трения, возникающих между торцовыми поверхностями полумуфт при затяжке болтов, поставленных с зазором (при этом валы центрируются благодаря наличию центрирующих буртиков, выточек или колец) (рис. 5.20, а), либо за счет болтов, поставленных с натягом и работающих на срез и смятие (при этом валы центрируются непосредственно болтами или аналогично предшествующей конструкции) (рис. 5.20, б).

Последовательность сборки валов с фланцевыми муфтами следующая:

1) подбор полумуфт по диаметру центрирующих элементов;

2) запрессовка полумуфт на шейки вала, контроль торцового и радиального биения рабочих и центрирующих поверхностей (с помощью индикаторных устройств) при предварительной постановке трех временных болтов;

3) контроль взаимного расположения валов;

4) регулировка (относительный взаимный поворот полумуфт);

5) совместная обработка отверстий под остальные болты или постановка остальных болтов в свободные отверстия.

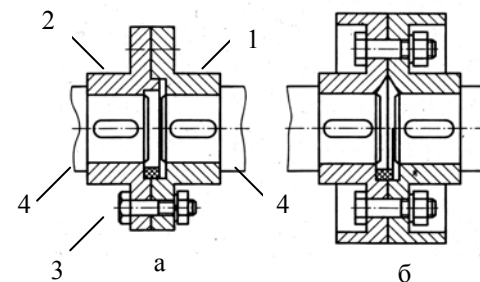


Рис. 5.20. Фланцевые муфты с болтами, поставленными

с зазором (а), и с натягом (б):

1 – втулки муфт, 2 – фланцы муфт, 3 – болты, 4 – соединяемые валы

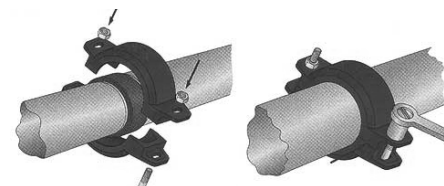


Рис. 5.21. Разъемные муфты

Довольно просты в сборке муфтовые соединения, в которых используются разъемные муфты, состоящие из уплотнительной резиновой прокладки и непосредственно соединительного зажима, состоящего из

двух крепежных деталей, скрепляемых болтами (рис. 5.21).

#### 5.1.4. Узлы с подшипниками

Подшипники поддерживают вал, ось или иное изделие, фиксируют их положение в пространстве, обеспечивают движение (вращение), воспринимают и передают нагрузку на другие части изделия. Главное назначение подшипников – уменьшать трение между движущейся и неподвижной частями узла.

В машиностроении применяются, в основном, два типа подшипников (качения и скольжения).

Подшипники качения состоят из двух колец и тел качения. По наружной поверхности внутреннего кольца и внутренней поверхности наружного кольца выполнены желоба (дорожки качения), по которым при работе подшипника катятся тела качения.

Подшипники качения подразделяются: по форме тел качения – на шариковые и роликовые (роликовые подшипники могут быть цилиндрическими, в том числе короткими, длинными и игольчатыми, а также бочкообразными, коническими и др.); по направлению воспринимаемой нагрузки – на радиальные (предназначенные для восприятия только радиальных или преимущественно радиальных сил); упорные (для восприятия радиальных и осевых сил), радиально-упорные (для восприятия осевых сил) и упорно-радиальные (для восприятия осевых и небольших радиальных сил); по числу рядов тел качения – на одно-, двух- и четырехрядные; по способу компенсации перекосов вала – на самоустанавливающиеся (позволяют до  $3^\circ$  перекося) и несамоустанавливающиеся (рис. 5.22).

Последовательность сборки узла с подшипниками качения следующая:

- 1) очистка подшипника от консервации;
- 2) проверка подшипника на легкость вращения и шум;
- 3) проверка качества поверхности подшипника и посадочной поверхности вала;
- 4) запрессовка подшипника.

Запрессовку подшипников выполняют на прессе или с помощью мягкого молотка. Качество посадки подшипника на вал проверяют его проворачиванием вручную. Для облегчения установки подшипника на вал с натягом производят нагрев подшипника в масляной ванне при температуре не более  $100^\circ\text{C}$ .



Рис. 5.22. Подшипники качения

Подшипники скольжения изготавливают из антифрикционного материала в виде втулок или вкладышей, представляющих собой две разъемные продольные половинки втулки (рис. 5.23).

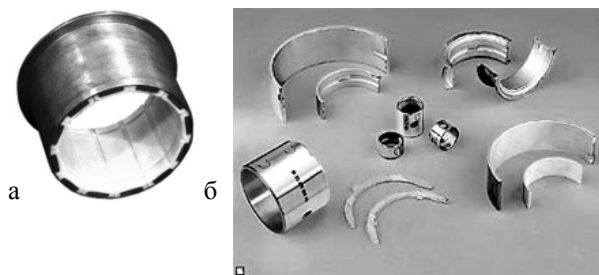


Рис. 5.23. Подшипники скольжения:  
а – втулка, б – вкладыши

Последовательность сборки узла с подшипниками-втулками следующая: запрессовка втулки в корпус, пригонка отверстия втулки, установка вала. В свою очередь, последовательность сборки узла с подшипниками-вкладышами такова: установка нижнего вкладыша в корпус, установка вала, установка верхнего вкладыша.

Втулки и вкладыши фиксируют (стопорят) для предотвращения осевого смещения и проворачивания.

Важная роль в работе подшипников принадлежит смазке, которая обеспечивает низкое трение, разделение подвижных частей, отвод тепла, защиту от вредного воздействия окружающей среды.

Высокие эксплуатационные свойства демонстрируют пористые самосмазывающиеся подшипники, изготовленные методом порошковой металлургии. При работе пористый самосмазывающийся подшипник, пропитанный маслом, нагревается и выделяет смазку из пор на рабочую скользящую поверхность, а в состоянии покоя – остывает и впитывает смазку обратно в поры.

### 5.1.5. Узлы передач

**Зубчатая передача** – механизм для передачи вращения, содержащий два зубчатых колеса, находящихся в состоянии зацепления, одно из которых является ведущим, другое – ведомым (рис. 5.24).

Зубчатые передачи подразделяются по форме зубчатых колес на цилиндрические и конические.

Цилиндрические зубчатые передачи составляют 80 % от общего числа всех зубчатых передач, применяемых в машиностроении.

Последовательность сборки цилиндрической зубчатой передачи следующая:

- 1) установка зубчатого колеса на посадочную шейку вала;
- 2) установка вала в сборе с колесом в корпус.



Рис. 5.24. Система зубчатых передач редуктора сеялки

После установки зубчатого колеса контролируют величину радиального и торцевого биения. Установку вала в сборе с колесом в корпус производят при условии, если величина радиального и торцевого биения не выходит за пределы допусков.

При сборке цилиндрической зубчатой передачи следует обеспечить требуемый зазор в зацеплении зубьев, величина которого проверяется щупом или прокачиванием в зацеплении свинцовых скоб, надеваемых на зуб, или по свободному повороту

одного колеса при заторможенном втором колесе. Следует также обеспечить требуемую точность (параллельность) расположения осей передачи, так как перекося в зацеплении приводит к обломам, сколам, выкрашиванию зубьев.

Собранные передачи обкатывают на испытательных стендах, измеряя передаваемые крутящие моменты, температуру и звуковое давление.

Конические зубчатые передачи выполняют, как правило, на опорах в виде конических роликовых подшипников, обладающих податливостью, величина которой влияет на изменение положения зубчатых колес и, следовательно, на площадь пятна контакта, уровня звукового давления и в целом работоспособности передачи.

Последовательность сборки конической зубчатой передачи следующая:

- 1) установка ведущего зубчатого колеса с опорами на конических роликовых подшипниках;
- 2) установление требуемого натяга в подшипниках путем затяжки крепежных деталей с заданным крутящим моментом;
- 3) установка ведомого зубчатого колеса.

При сборке конической зубчатой передачи следует обеспечить требуемые значения площади пятна контакта и зазора в зацеплении зубьев, что достигается с помощью компенсаторов, которые позволяют регулировать осевое положение колес и предварительный натяг в подшипниках (рис. 5.25).

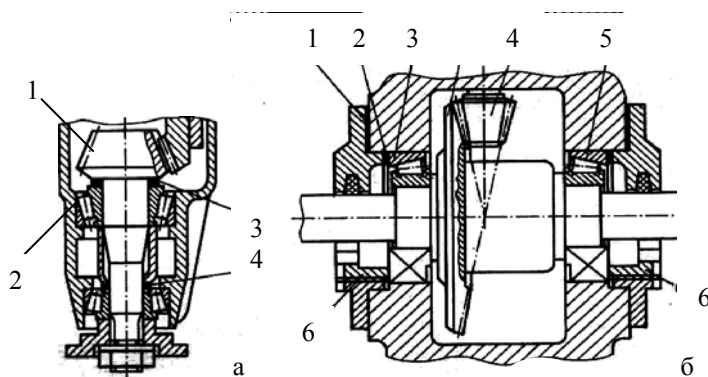


Рис. 5.25. Схемы установки ведущего колеса конической зубчатой передачи с регулированием предварительного натяга подшипников (а) и регулирование ведомого колеса (б), где

(а): 1 – ведущее колесо; 2 – подшипники; 3 – компенсаторы для регулирования осевого положения колеса; 4 – компенсаторы для регулирования предварительного натяга подшипников; (б): 1, 2, 6 – компенсаторы для регулирования зазора в зацеплении зубьев; 3 – подшипники; 4 – ведомое колесо; 5 – ведущее колесо.

**Червячная передача** – механизм для передачи вращения между скрещивающимися валами посредством червяка и сопряженного с ним червячного колеса.

По форме червяка червячные передачи подразделяются на цилиндрические и глобоидные передачи (рис. 5.26). Червячные пере-

дачи также различают по форме профиля витков червяка (архимедовы, эвольвентные, конволютные и нелинейчатые); по расположению червяка относительно колеса (с нижним, верхним и боковым); по конструктивному оформлению (открытые и закрытые); по назначению (силовые и кинематические).

Процесс сборки червячной передачи подобен процессу сборки зубчатой передачи и включает следующие основные операции:

- 1) сборка червячного колеса (если оно составное);
- 2) сборка червячного колеса с валом;
- 3) установка сборного червячного колеса с валом в корпусе.

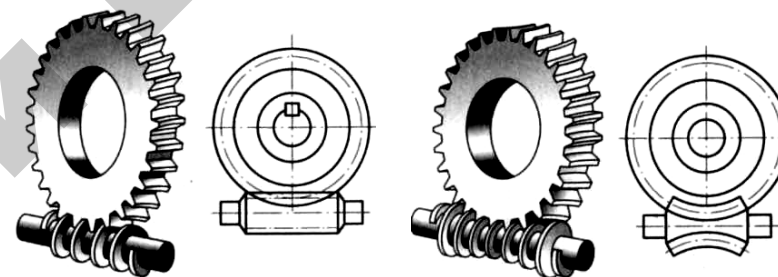


Рис. 5.26. Червячные передачи:  
а – цилиндрическая; б – глобоидная

В процессе сборки отдельные составные части передачи регулируются, собранная передача подвергается обкатке.

**Цепная передача** – механизм для передачи вращения между параллельными валами с помощью звездочек и приводных цепей.

Цепные передачи применяют при значительных межосевых расстояниях, а также для передачи вращения от одного ведущего вала нескольким ведомым, когда зубчатые передачи не применимы, а ременные передачи недостаточно надежны (рис. 5.27 и рис. 5.28).

Особенности процесса сборки цепных передач определяются особенностями конструкции разных видов цепей (шарнирных, втулочных, втулочно-роликовых, зубчатых, крючковых, блочных). Наиболее простыми в конструктивном отношении являются шарнирные цепи, наиболее сложными – втулочно-роликовые цепи.

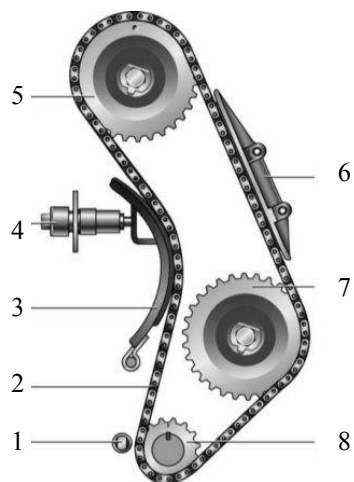


Рис. 5.27. Цепной привод распределительного вала двигателя внутреннего сгорания:

- 1 – ограничительный палец,
- 2 – цепь, 3 – башмак натяжителя,
- 4 – натяжитель цепи, 5 – звездочка распределительного вала,
- 6 – успокоитель цепи, 7 – звездочка валика привода масляного насоса,

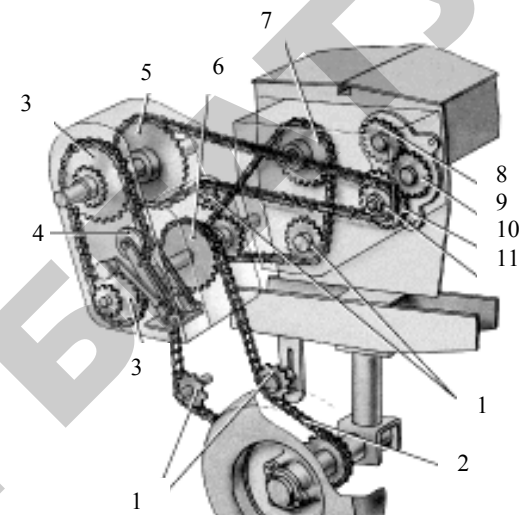


Рис. 5.28. Цепные передачи овощной сеялки:

- 1 – звездочка натяжная, 2 – цепь, 3 – блок звездочек, 4 – ролик натяжной, 5 – звездочка ведущая семенных аппаратов, 6 – звездочка ведущая туковых аппаратов, 7 – звездочка ведомая шнеков семенных аппаратов, 8 – шестерня ведомая ворошилок, 9 – шестерня промежуточная, 10 – шестерня ведущая ворошилок, 11 – шестерня ведомая семенных аппаратов

Общая последовательность сборки цепной передачи следующая:

- 1) сборка вала со звездочкой;
- 2) установка валов в сборе со звездочками на базовую деталь;
- 3) установка и натяжение цепи.

При сборке вала со звездочкой контролируют величину его радиального и торцевого биения. После установки валов в сборе со звездочками контролируют параллельность валов в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также обеспечивают параллельность звездочек и регулируют их осевые зазоры.

В случае сборки втулочно-роликовых цепей сначала выполняют сборку цепных звеньев, после чего осуществляют сборку самой цепи. При этом имеет место следующая последовательность операций:

- 1) вкладывание втулки в ролик;
- 2) сборка катушки (запрессовка втулок во внутренние пластины);
- 3) развальцовка катушки;
- 4) вкладывание осей в катушки;
- 5) сборка цепи (запрессовка осей в наружные пластины).

**Ременная передача** – механизм для передачи вращения посредством шкивов, закрепленных на валах, и приводного ремня (или нескольких ремней) (рис. 5.29).

В ременных передачах вращение передается за счет трения между шкивом и ремнем (обычный ремень) или за счет зацепления (зубчатый ремень). Преимущества ременных передач по сравнению с зубчатыми или цепными передачами следующие: хорошие амортизирующие и демпфирующие свойства, бесшумность, способность служить предохранительным звеном при перегрузках, простота конструкции, пониженные требования к точности изготовления и монтажа, возможность передачи вращения на значительные расстояния.

В зависимости от вида ремня ременные передачи подразделяются на плоскоременные, клиноременные и круглоременные. Разновидностью клиноременных передач являются передачи с поликли-



новыми ремнями, имеющими клиновые выступы на внутренней стороне. Плоские и круглые ремни в передаче используются обычно по одному, клиновые – по несколько штук. Плоскоременные передачи удобны в эксплуатации, позволяют применять обычные шкивы с гладкой поверхностью, способны работать при высоких скоростях. Недостатком этих передач является то, они имеют невысокое тяговое усилие, значительные габариты и сравнительно малое передаточное отношение. Клиноременные передачи, обес-

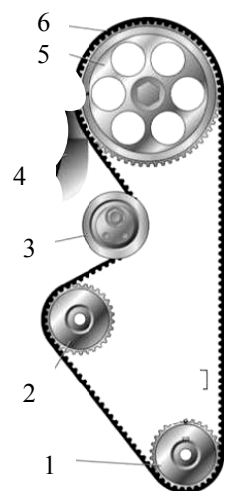


Рис. 5.29. Ременной привод распределительного вала двигателя внутреннего сгорания:

1– зубчатый шкив коленчатого вала; 2– зубчатый шкив насоса охлаждающей жидкости; 3– натяжной ролик; 4– задняя крышка привода газораспределительного механизма; 5– зубчатый шкив распределительного вала; 6– зубчатый ремень

печивая повышенное сцепление ремней со шкивами, позволяют сократить межосевое расстояние, уменьшить размеры передачи и повысить передаточное отношение. Круглоременные передачи используются, главным образом, в приводах малой мощности.

Особая разновидность ременных передач – зубчатые ременные передачи, которые применяются в условия повышенных силовых нагрузок, а также в тех случаях, когда требуется обеспечить прецизионную передачу движения.

Последовательность сборки ременной передачи следующая:

- 1) сборка вала со шкивом; установка валов в сборе со шкивами на базовую деталь;
- 2) установка и натяжение ремня.

При сборке ременной передачи контролируют положение шкивов (их параллельность и смещение рабочих поверхностей).

## 5.2. СБОРКА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Действие двигателей внутреннего сгорания основано на преобразовании химической энергии топлива, сгорающего в рабочей зоне, в механическую работу. В транспортных и технологических машинах широко применяется поршневой двигатель внутреннего сгорания, в котором тепловая энергия, образовавшаяся в результате сгорания топлива в замкнутом объеме, превращается в механическую работу поступательного движения поршня за счет расширения рабочего тела (т. е. газообразных продуктов сгорания топлива) в цилиндре, в который вставлен поршень.

По типу используемого топлива различают следующие виды поршневых двигателей:

- бензиновые (смесь топлива с воздухом готовится в карбюраторе и далее во впускном коллекторе или во впускном коллекторе при помощи распыляющих форсунок, или непосредственно в цилиндре при помощи распыляющих форсунок, далее смесь подается в цилиндр, сжимается, а затем поджигается при помощи искры, проскакивающей между электродами свечи);
- дизельные (специальное дизельное топливо впрыскивается в цилиндр под высоким давлением; горючая смесь образуется и сразу же сгорает непосредственно в цилиндре по мере впрыска порции топлива; возгорание смеси происходит под действием высокого давления и, как следствие, температуры в камере);
- газовые (в качестве топлива применяются смеси сжиженных газов или сжатые природные газы).

Полный цикл работы поршневого двигателя складывается из последовательности тактов – однонаправленных поступательных ходов поршня (различают двухтактные и четырехтактные двигатели).

Сборка двигателя включает общую сборку и узловую сборку.

Основными частями двигателя, подлежащими узловой сборке, являются узел блока цилиндров и узел головки блока цилиндров (рис. 5.30).

**Сборка блока цилиндров.** К основным частям узла блока цилиндров относятся коленчатый вал и шатунно-поршневая группа.

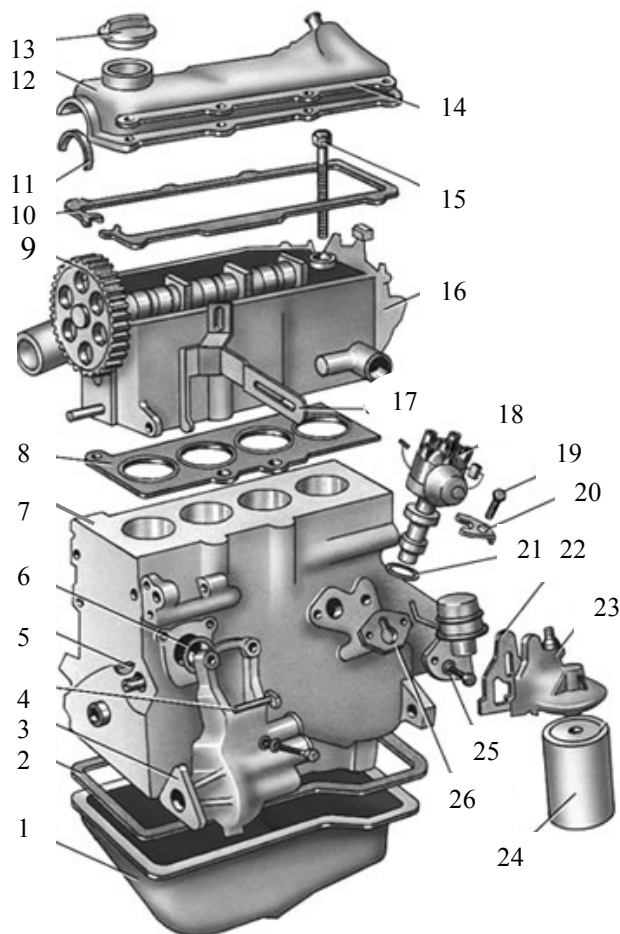


Рис. 5.30. Узлы и детали двигателя внутреннего сгорания:

1 – масляный картер;

2 – прокладка картера; 3 – водяной насос; 4 – болт крепления генератора; 5 – шпонка; 6 – уплотнительное кольцо водяного насоса; 7 – блок цилиндров; 8 – прокладка головки блока цилиндров; 9 – зубчатое колесо; распределительного вала; 10 – прокладка крышки головки блока; 11 – прокладка; 12 – крышка головки блока; 13 – пробка маслозаливной горловины; 14 – прижимная пластина; 15 – болт крепления головки блока; 16 – головка блока цилиндров; 17 – кронштейн крепления генератора; 18 – распределитель зажигания; 19 – болт крепления распределителя зажигания; 20 – держатель распределителя зажигания; 21 – уплотнительное кольцо распределителя зажигания; 22 – прокладка фильтра; 23 – крышка масляного фильтра; 24 – масляный фильтр; 25 – топливный насос; 26 – прокладка топливного насоса

Коленчатый вал может быть цельным или составным (рис. 5.31). Сборка составного коленчатого вала включает сборку колен и их последовательное соединение посредством коренных шеек.

Шатунно-поршневая группа состоит из поршней, шатунов, поршневых пальцев и других деталей (рис. 5.32).

Сборка шатунно-поршневой группы включает следующую последовательность операций, повторяющуюся для каждой пары «шатун – поршень»:

- 1) установка шатуна в поршень;
- 2) установка пальца в поршень и шатун;
- 3) вставка стопорных колец в поршень;
- 4) установка маслосъемного кольца и компрессионных колец на поршень;
- 5) вставка шатуна с поршнем в цилиндр;
- 6) вставка вкладышей шатунного подшипника в нижнюю головку шатуна и в крышку шатуна;
- 7) установка крышки шатуна на шатунные болты и заворачивание гаек шатунных болтов;
- 8) проверка легкости вращения поршня на шатуне.

Сборка узла блока цилиндров включает следующие основные операции:

- 1) укладка коленчатого вала в блок цилиндров (базовая деталь);
- 2) установка шатунно-поршневой группы в блок цилиндров;
- 3) установка маховика на коленчатый вал.

**Сборка головки блока цилиндров.** Узел головки блока цилиндров содержит систему газораспределения, составными частями

которой являются распределительный вал и клапанный механизм (рис. 5.33).

Распределительный вал опирается на шейки и вращается в корпусе подшипника, установленном на головке блока цилиндров. К переднему торцу распределительного вала крепится ведомая звездочка, от которой осуществ-



Рис. 5.31. Составной коленчатый вал

ляется цепной привод вала (движение передается от коленчатого вала двигателя). На валу может располагаться шестерня привода

масляного насоса и распределителя зажигания и эксцентрик привода топливного насоса карбюраторных двигателей.

При сборке клапанного механизма выполняется установка клапанов в направляющие втулки, установка опорных шайб пружин клапана, маслосъемных колпачков, пружин клапана, тарелок пружин клапана и сухарей.

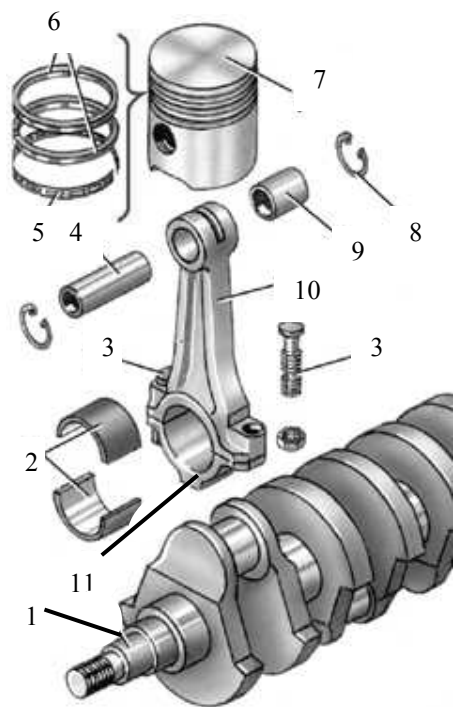


Рис. 5.32. Коленчатый вал и детали шатунно-поршневой группы:

1 – коленчатый вал; 2 – вкладыш шатунного подшипника; 3 – болт крепления крышки шатуна; 4 – поршневой палец; 5 – маслосъемное кольцо; 6 – компрессионное кольцо; 7 – поршень; 8 – стопорное кольцо; 9 – втулка головки шатуна; 10 – шатун; 11 – крышка шатуна

Сборка узла головки блока цилиндров сводится, в основном, к установке распределительного вала и клапанного механизма в головку блока цилиндров (базовая деталь).

**Общая сборка двигателя** начинается с установки головки цилиндров на блок цилиндров. Затем устанавливаются другие узлы: пусковой механизм, генератор, масляный насос, насос охлаждающей жидкости, топливный насос, масляный фильтр и т. д.

В процессе сборки производится контроль и регулировка всех систем двигателя.

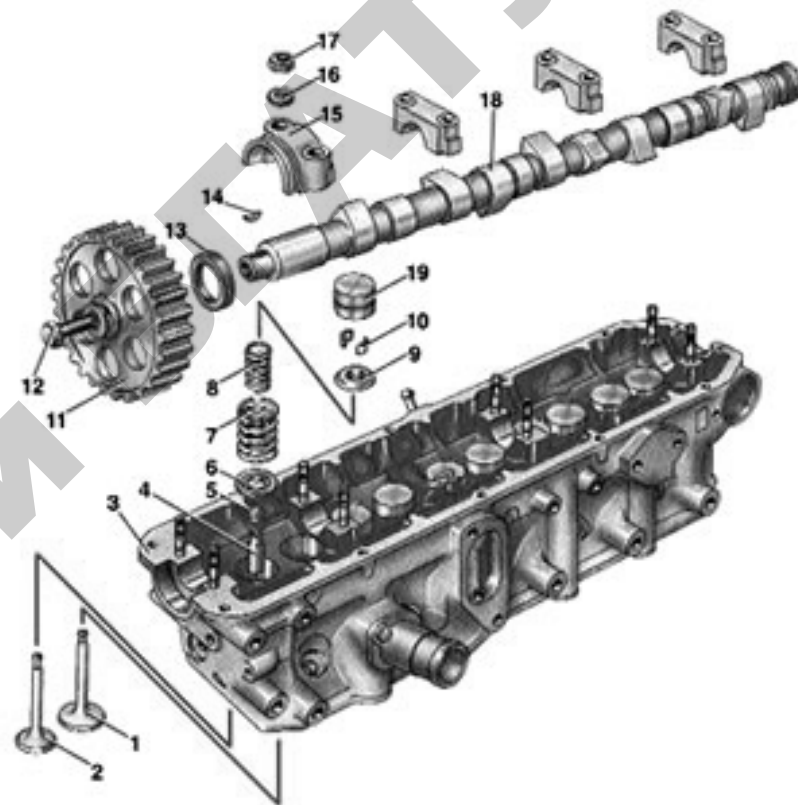


Рис. 5.33. Головка блока цилиндров, распределительный вал и клапаны:

1 – впускной клапан; 2 – выпускной клапан; 3 – головка блока; 4 – втулка направляющая; 5 – маслосъемный колпачок; 6 – шайба опорная пружин клапана; 7 – пружина клапана наружная; 8 – пружина клапана внутренняя; 9 – тарелка пружин клапана; 10 – сухарь; 11 – зубчатое колесо распределительного вала; 12 – болт крепления зубчатого колеса; 13 – сальник; 14 – шпонка; 15 – крышка подшипника; 16 – шайба; 17 – гайка крепления крышки подшипника; 18 – распределительный вал; 19 – гидротолкатель клапана

### 5.3. СБОРКА УЗЛОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

**Навесной плуг.** Плуги предназначены для вспашки и разрыхления почвы. Они подразделяются:

1) по роду тяги – на тракторные (навесные, полунавесные и прицепные),

2) конные и канатные;

3) по типу рабочих органов – на лемешные и дисковые;

4) по числу рабочих органов – на одно-, двух- и многокорпусные;

5) по назначению – для основной вспашки (общего назначения) и специальные (кустарниково-болотные, плантажные, садовые, виноградниковые, ярусные, лесные, для пахоты каменистых почв и проч.);

6) по способу вспашки – на бороздные, работающие всвал и вразвал (с образованием свальных гребней и разъемных борозд) и для гладкой пахоты.

Наибольшее применение в сельском хозяйстве находят лемешные плуги, основным рабочим органом которых является лемех. Дисковые плуги применяют, главным образом, для вспашки новых земель после раскорчевки леса, тяжелых, уплотненных, засоренных растениями, и болотных почв. Рабочими органами этих плугов являются сферические диски, вращающиеся на осях, смонтированных на раме плуга.

На рисунке 5.34 показан навесной лемешный четырехкорпусной плуг, конструкция которого включает следующие основные узлы: рабочие органы (корпус, предплужник, нож); вспомогательные органы (рама с навесным устройством, опорные колеса с механизмами заглубления корпусов).

Корпус состоит из стойки, лемеха, отвала и полевой доски. Стойка корпуса служит для размещения на ней всех органов корпуса и его крепления к раме. В нижней части стойки имеется седло для установки лемеха и отвала. Лемех предназначен для подрезания пласта почвы и направления его на отвал. Отвал предназначен для подъема пласта почвы, его деформации, оборачивания верхним слоем вниз и отвала в сторону. Полевая доска служит для предупреждения смещения корпуса под действием боковых усилий.

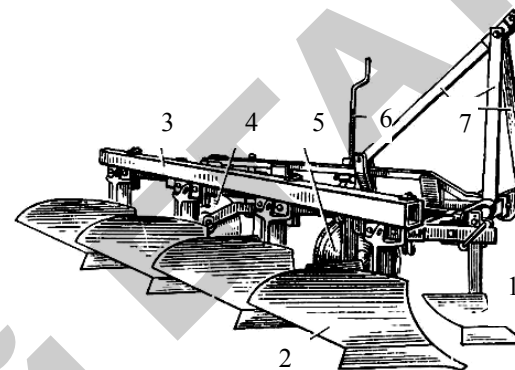


Рис. 5.34. Навесной плуг:

- 1 – предплужник;
- 2 – корпус; 3 – рама;
- 4 – дисковый нож;
- 5 – опорное колесо;
- 6 – винтовой механизм регулирования глубины пахоты; 7 – навеска плуга

Предплужник устанавливается впереди каждого корпуса плуга и служит для отрезания верхнего слоя почвы на глубину 8...12 см и сбрасывания его в перевернутом положении на дно борозды. Движущийся за предплужником основной корпус вспахивает оставшуюся большую часть пласта и им заделывает слой почвы, сброшенный на дно борозды предплужником. Предплужник подобен по конструкции корпусу плуга, но имеет меньшие размеры. Предплужник, как и плуг, содержит стойку, лемех и отвал.

Нож плуга, расположенный у заднего корпуса, предназначен для разрезания почвы в вертикальной плоскости и получения ровной борозды. На плугах общего назначения устанавливается нож дискового типа, основным элементом которого является диск, соединенный с грядилом посредством вилки, коленчатой стойки и скобы.

Рама с навесным устройством предназначена для крепления рабочих органов, а также других устройств и механизмов плуга и его соединения с трактором. По конструкции рамы делятся на плоские, крючковые и комбинированные, а также на разборные и сварные. Плоская рама состоит из нескольких грядилей – продольных брусьев для прикрепления отдельных частей плуга. Обычно число грядилей равно числу корпусов плуга. Навеска состоит из двух раскосов, соединенных между собой приваренной к ним распоркой, двух стоек, прикрепленных болтами к кронштейнам, оси и заднего кронштейна.

Опорные колеса устанавливают на навесных плугах для регулирования глубины пахоты. Для этого опорные колеса оборудуют винтовыми механизмами заглубления корпусов. Винтовой механизм состоит из винта и гайки, закрепленной в верхней части стойки. Винт ввернут в гайку и пропущен в отверстие направляющего кронштейна, где винт стопорится от продольного перемещения. Кронштейн крепится к раме болтами. При вращении винта гайка перемещается вместе со стойкой, поднимая или опуская раму плуга.

Рама играет роль базовой сборочной единицы при общей сборке плуга и служит для монтажа всех других сборочных единиц и деталей плуга.

Узловая сборка производится для следующих сборочных единиц: корпус, предплужник, нож, почвоуглубитель, рама с навесным устройством и опорное колесо с механизмом заглубления корпуса.

Общая сборка плуга включает установку и закрепление на раме узлов и деталей плуга.

После завершения общей сборки проверяется равномерность расположения рабочих корпусов по ходу плуга, а также расположение лемехов по высоте. Проверка расположения лемехов проводится на контрольной площадке, расчерченной на прямоугольники. Все лемеха должны прилегать к поверхности площадки (допустим просвет не более 15 мм). Кроме того, носки лемехов должны лежать на одной линии. Аналогично регулируется положение предплужников.

**Режущий аппарат косилки** предназначен для перерезания стеблей трав и является основным рабочим органом косилки (агрегата для скашивания трав).

Косилки подразделяются на навесные, прицепные и самоходные. Преимущественно применяются навесные косилки, агрегируемые с тракторами. Косилки оснащаются режущими аппаратами пальцевого или ротационного типа. Косилки с режущим ротационным аппаратом используются, в основном, для кошения травы в садах и на газонах. Наиболее широкое распространение имеют косилки с сегментно-пальцевым режущим аппаратом (рис. 5.35).

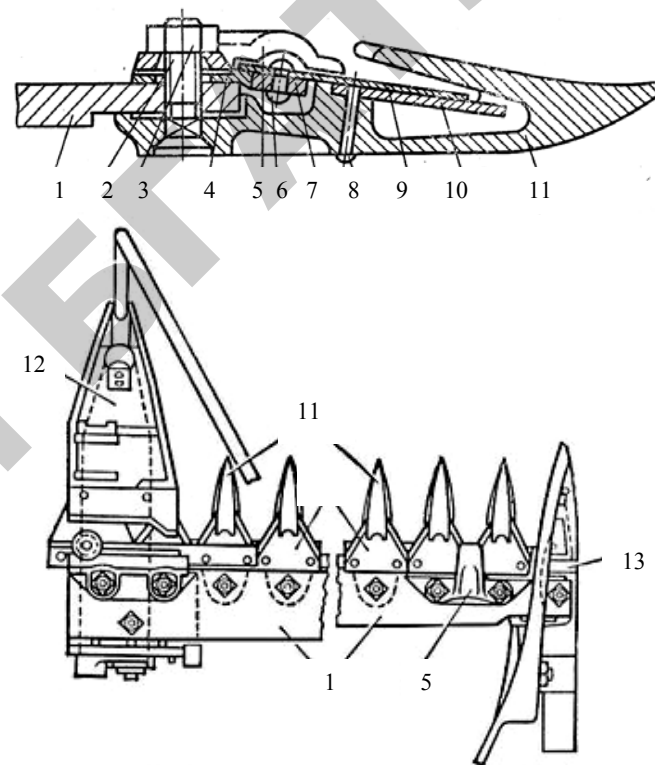


Рис. 5.35. Режущий аппарат сегментно-пальцевой косилки:

1 – пальцевый брус, 2 – болт, 3 – гайка, 4 – пластина трения, 5 – прижим ножа, 6, 8 – заклепка, 7 – спинка ножа, 9 – сегмент, 10 – вкладыш, 11 – палец, 12 – внутренний башмак, 13 – наружный башмак

Основным несущим элементом режущего аппарата является пальцевый брус, к которому крепятся внутренний и наружный башмаки, а также пальцы с вкладышами (противорежущими пластинами). Вдоль пальцевого бруса перемещается нож с сегментами, удерживаемый прижимами.

До общей сборки режущего аппарата производится сборка режущего ножа, пальцев и башмаков с вкладышами.

При сборке ножа базовой деталью является спинка ножа. К спинке ножа с помощью заклепок прикрепляются сегменты. С левого края приклепывается головка ножа. После завершения сборки производится окончательная правка ножа.

При сборке пальца с вкладышем базовой деталью является палец. В него вставляется вкладыш, который приклепывается заклепкой с потайной головкой. При этом необходимо обеспечить расположение всех вкладышей на одном уровне и под одним углом.

Общая сборка режущего аппарата начинается с присоединения к базовой детали (пальцевому брусу) всех пальцев с приклепанными к ним вкладышами. Каждый палец закрепляется на брусе одним болтом. Вместе с пальцами устанавливаются пластины трения и прижимы. Затем к пальцевому брусу прикрепляют наружный и внутренний башмаки, а также вставляют нож. При этом необходимо обеспечить плотное прилегание пальцев к пальцевому брусу, а также равномерное расположение пальцев вдоль пальцевого бруса. Кроме того, необходимо обеспечить плотное взаимное прилегание сегментов и прижимов ножа. После закрепления пальцев проверяется (вручную) возможность перемещения ножа. На завершающей стадии сборки к внутреннему башмаку прикрепляют крышки, удерживающие с двух сторон головку ножа.

## РАЗДЕЛ 6

### ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

---

#### 6.1. РАЗНОВИДНОСТИ И ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Автоматизация производства связана с его механизацией.

**Механизация производства** – замена ручного труда машинами при выполнении технологических процессов. При этом ручной труд используется для управления машинами, их регулирования и наладки, а также на тех технологических операциях, механизация которых не приводит к существенному облегчению труда, повышению его производительности, а также качества и поэтому экономически нецелесообразна.

**Частичная механизация производства** – замена ручного труда машинами при выполнении отдельных (наиболее трудоемких) технологических операций.

**Комплексная (полная) механизация производства** – замена ручного труда машинами при выполнении всех основных технологических операций, что в результате приводит к созданию комплексно-механизированных технологических линий, производственных участков, цехов и предприятий.

**Автоматизация производства** – высшая стадия механизации производства, при которой обеспечивается выполнение технологических операций с помощью средств автоматики без непосредственного участия человека. При этом управление машинами, их регулирование и наладка осуществляются автоматически.

**Частичная автоматизация производства** – автоматизированное выполнение отдельных технологических операций.

**Комплексная (полная) автоматизация производства** – автоматизированное выполнение всех основных технологических операций, что приводит к созданию автоматизированных технологических линий, производственных участков, цехов и предприятий.

Целью автоматизации производства является повышение производительности труда и качества продукции, усиление ритмичности производства и экономии материалов, оптимизация производства.

В машиностроении автоматизация получила наибольшее развитие в технологических процессах механической обработки, где одной из главных задач автоматизации является повышение производительности металлообрабатывающих станков.

Продолжительность рабочего цикла станка определяется по формуле:

$$T = t_p + t_x, \quad (6.1)$$

где  $t_p$  – время, затрачиваемое непосредственно на обработку заготовки детали;

$t_x$  – время, затрачиваемое на холостые перемещения (подача, установка и снятие инструмента и заготовки, включение в работу отдельных механизмов, ускоренный подвод и отвод инструмента, измерение поверхностей деталей и т. п.), не совмещенные во времени с обработкой, т. е. цикловые потери времени.

Штучная (цикловая) производительность характеризуется величиной, обратной затратам времени на обработку одной детали, и определяется по формуле:

$$Q_{шт} = \frac{1}{T}. \quad (6.2)$$

Если технологическая операция выполняется рабочим органом станка непрерывно, т. е. отсутствуют вспомогательные перемещения ( $t_x = 0$ ), не совмещенные во времени с обработкой, то штучная производительность равна технологической производительности  $Q_T$ .

$$Q_{шт} = \frac{1}{t_{\partial}} = Q_T. \quad (6.3)$$

Технологическая производительность характеризует уровень совершенства технологического способа изготовления детали и не учитывает потерь на холостые перемещения.

Используя (6.1), (6.2) и (6.3), получаем зависимость штучной производительности от технологической

$$Q_{шт} = \frac{Q_T}{1 + t_x Q_T}. \quad (6.4)$$

Отсюда следует, что использование прогрессивной технологии (новых инструментов, способов обработки и т. п.) не может быть высокоэффективным без сокращения цикловых потерь времени, основной составляющей которых являются холостые перемещения исполнительных органов станка. При этом наиболее действенным средством сокращения времени холостых перемещений является автоматизация полного цикла работы станка и технологического процесса механической обработки в целом.

Непрерывное повышение уровня автоматизации металлообрабатывающего оборудования является объективной закономерностью его развития. Эта закономерность иллюстрируется графиком зависимости штучной производительности от технологической при различных значениях  $t_x$  (рис. 6.1).

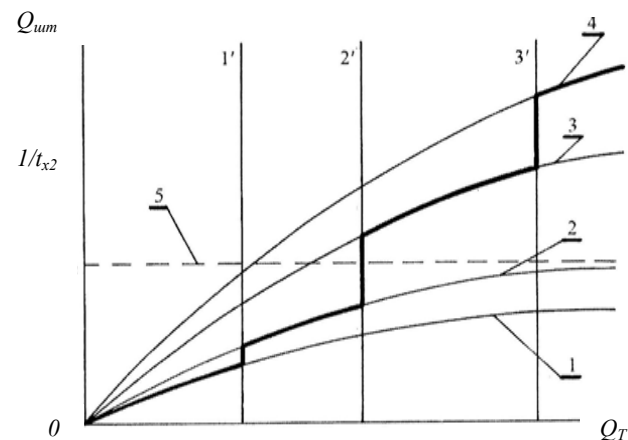


Рис. 6.1. Зависимость штучной производительности  $Q_{шт}$  от технологической  $Q_T$  для металлообрабатывающего оборудования, где 1...4 – различные уровни автоматизации; 1', 2', 3' – рациональные пределы повышения технологической производительности при соответствующих значениях времени холостых перемещений  $t_x$ ; 5 – предельная производительность станка при заданном значении  $t_x$

Из графика следует, что интенсификация технологического процесса после определенного уровня (линии 1', 2', 3') не оказывает существенного влияния на увеличение производительности обработки без сокращения времени холостых перемещений рабочих органов станка (рис. 6,1).

С увеличением технологической производительности при конкретном значении  $t_x$  производительность станка сначала резко повышается, а затем асимптотически приближается к пределу, равному  $1/t_x$  (линия 5), и в этом случае дальнейшее повышение технологической производительности  $Q_T$  не дает заметного увеличения производительности обработки. Максимальное значение штучной производительности в этом случае

$$Q_{\text{од. max}} = \lim_{t_x \rightarrow 0} \frac{Q_T}{1 + t_x Q_T} = Q_T \quad (6.5)$$

Таким образом, чем меньше  $t_x$ , тем выше штучная производительность и тем больше возможностей ее повышения путем увеличения технологической.

Когда дальнейшее совершенствование технологического способа становится малоэффективным, то это свидетельствует о том, что станок исчерпал свои возможности и его можно заменить на новую модель (или модификацию) с более высоким уровнем автоматизации. Это, в свою очередь, обуславливает дальнейшее совершенствование технологии и т. д.

Задачи развития автоматизации производства решаются поэтапно с выделением трех основных уровней:

- 1) автоматизации рабочего цикла технологического оборудования;
- 2) автоматизация группы технологического оборудования, создание автоматических линий;
- 3) комплексная автоматизация производственных процессов, создание цехов и заводов-автоматов.

При автоматизации металлообрабатывающих станков необходимо учитывать тип производства, который предъявляет существенные требования к технологическому оборудованию. До недавнего времени считалось, что в массовом производстве главное требование к оборудованию – его высокая производительность, в то время как в серийном и единичном производстве – гибкость (универсальность и мобильность), вызванная необходимостью частой

смены выпускаемых изделий. Однако в последние годы постепенно исчезает граница между требованиями к технологическому оборудованию, используемому в различных типах производства. Это обусловлено, условиями рынка (спросом), требующего частой смены объекта производства, а также развитием методов управления технологическим оборудованием на основе применения достижений микроэлектроники и средств программного управления.

В настоящее время в условиях производства любого типа (массового, серийного, единичного) главными требованиями, предъявляемыми к технологическому оборудованию, являются высокая производительность и гибкость. Обязательным условием выполнения указанных требований является автоматизация рабочего цикла оборудования путем программного управления каждой единицей технологического оборудования.

**Программа управления** (ПУ) технологическим оборудованием – это последовательность заданных на языке программирования команд, обеспечивающих функционирование рабочих органов оборудования по выполнению операций изготовления изделия.

Программа управления оборудованием содержит технологическую и геометрическую информацию.

В случае обработки на металлообрабатывающих станках **технологическая информация** содержит сведения о смене заготовок и инструмента, последовательности ввода их в работу, выборе и изменении режимов обработки, включении в работу в определенной последовательности различных исполнительных органов станка, автоматическом измерении размеров обрабатываемой заготовки детали или инструмента и т. п., а **геометрическая информация** – о размерах отдельных элементов детали и инструмента, их положении относительно выбранного начала координат.

Прогрессивные направления автоматизации машиностроительного производства связаны с применением станков с числовым программным управлением, роботизированных технологических комплексов и гибких производственных систем (гибких автоматизированных производств).

**Станок с числовым программным управлением** (станок с ЧПУ) – станок-автомат (полуавтомат), подвижные органы которого совершают рабочие и вспомогательные движения автоматически по заранее установленной числовой управляющей программе.



**Роботизированный технологический комплекс** (РТК) – совокупность технологического оборудования, промышленного робота и средств оснащения, автономно функционирующая и осуществляющая многократные циклы (средствами оснащения РТК могут быть устройства накопления, ориентации, поштучной выдачи заготовок и другие устройства, обеспечивающие функционирование РТК).

**Гибкая производственная система** (ГПС) – автоматизированная производственная система, в которой на основе соответствующих технических средств и организационных решений обеспечивается возможность оперативной переналадки на выпуск новых изделий в широких пределах их номенклатуры и характеристик.

Основным технологическим оборудованием для ГПС является **гибкий производственный модуль** (ГПМ) – единица технологического оборудования для производства изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений характеристик этих изделий, автономно функционирующая, автоматически осуществляющая все функции, связанные с изготовлением изделий, имеющая возможность встраивания в ГПС.

## **6.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА**

### **6.2.1. Станки с ручным управлением**

На универсальных станках с ручным управлением рабочий, пользуясь чертежом детали или эскизом обработки, преобразует прочитанную им информацию в определенную последовательность движений рук и воздействует на органы управления станком. В этом случае работник задает и выполняет программу управления станком, т. е. управляет циклом работы станка и величиной перемещений его исполнительных органов. Главным достоинством такой системы управления является ее универсальность и гибкость.

В настоящее время универсальные станки с ручным управлением оснащают системами ручного ввода данных и цифровой индикации. Рабочий на специальной панели задает численное значение координат, на которые должны выйти исполнительные органы станка после включения подачи. На подвижных органах таких

станков устанавливаются датчики положения, которые подают сигналы в систему цифровой индикации. Численные значения координат детали или инструмента непрерывно индицируются на световом табло (визуализаторе), что позволяет контролировать получаемые размеры в процессе обработки.

Системы ручного ввода данных и цифровой индикации обеспечивают повышение точности обработки и, снижая утомляемость рабочего, способствуют росту производительности труда. Используются эти системы чаще всего в станках токарной и сверлильно-расточной групп. Однако эти системы не позволяют автоматизировать рабочий цикл станка и не высвобождают рабочего.

### **6.2.2. Станки-автоматы и полуавтоматы**

Использование человека в качестве основного элемента системы управления станком сдерживает рост производительности оборудования. Поэтому дальнейшее развитие автоматизации металлообрабатывающих станков связано с созданием высокопроизводительных станков-автоматов и полуавтоматов, программа управления которыми задается на программноносителе. Рабочий цикл такого оборудования полностью автоматизирован.

В зависимости от способа задания на программноносителе информации, необходимой для реализации рабочего цикла, системы управления металлообрабатывающими станками делятся на аналоговые (нечисловые) и числовые.

**Станки с аналоговым программным управлением.** В аналоговых системах управления информация физически материализована в виде модели-аналога, управляющего исполнительными органами станка. Рабочий цикл станков с нечисловыми системами управления формируется при разработке самой системы управления либо при проектировании программноносителя. В качестве программноносителей в таких системах управления используются кулачки, копиры, шаблоны, командоаппараты. Исполнительные органы станка, по исходной информации, представленной в виде аналога программы перемещений, воспроизводят данную программу обработки заготовки. Гибкость такой системы управления обеспечивается за счет проектирования и изготовления новых программноносителей, переналадки командоаппарата и самого станка.

Аналоговые системы управления бывают следующих типов: замкнутые, незамкнутые, копируемые со следящим приводом.

Системы управления замкнутого типа осуществляют контроль исполнительного органа станка по пути (путевые), времени (временные), скорости, мощности, давлению и другим параметрам.

Системы управления с приводом от копира, кулачка, храпового механизма и другие, осуществляющие дозированное перемещение исполнительных органов станка, а также системы без усилителя мощности (копируемые прямого действия) относятся к незамкнутым.

Копируемые системы со следящим приводом (гидравлическим, электрогидравлическим или электрическим) имеют обратную механическую или электрическую связь.

На рисунке 6.2 показана копируемая система управления с гидравлическим следящим приводом, имеющим механическую обратную связь, используемую на токарном станке для изготовления из заготовки 4 фасонной детали 5 по копиру 8. При работе системы гидронасос подает масло под давлением  $P_H$  в правую полость гидроцилиндра 1, левая полость которого соединена со сливным трубопроводом  $P_C$ . В результате разности давлений поршень гидроцилиндра 1 со штоком начинает движение по оси  $Z$ , увлекая за собой шток следящего гидропривода 2. Дросселирующий гидрораспределитель 7 соединен с напорным ( $P_H$ ) и сливным ( $P_C$ ) трубопроводами. Продольное движение (по оси  $Z$ ) шупа 9 по копиру 8 вызывает перемещение гидрораспределителя 7 относительно корпуса, в котором размещен гидрораспределитель. Отрыву шупа 9 от рабочей поверхности копира 8 препятствует пружина 6 гидрораспределителя. В результате перемещения гидрораспределителя относительно корпуса следящего гидропривода 2 открываются дросселирующие щели, образованные корпусом и гидрораспределителем. Полости А и Б гидроцилиндра соединяются соответственно с напорным и сливным трубопроводами. Перепад давления на поршне следящего гидропривода 2 вызывает перемещение корпуса привода за дросселирующим гидрораспределителем 7, т. е. происходит слежение за перемещением шупа по копиру. Перемещение корпуса гидропривода 2 передается резцу 3, жестко связанному с корпусом. Таким образом, резец 3 получает продольное перемещение (по оси  $Z$ ) от гидроцилиндра 1, а поперечное перемещение (по оси  $X$ ) – от гидропривода 2.

Копируемые системы широко применяют для управления обработкой детали по одной, двум и трем координатам. Возможность быстрой смены программносителя (копира) позволяет использовать эти системы в условиях серийного производства.

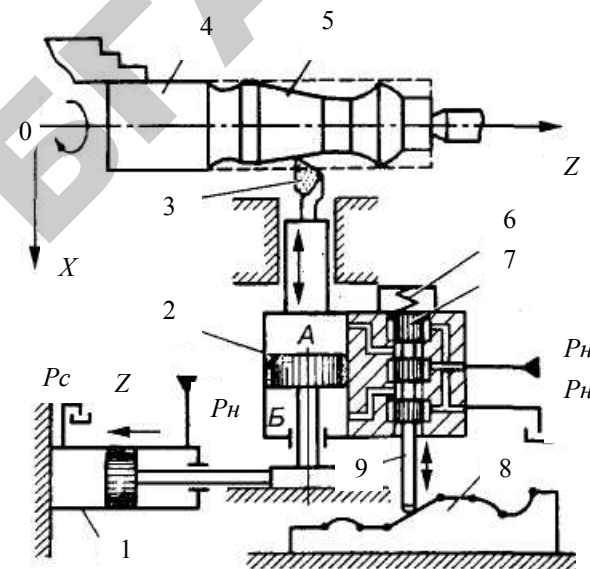


Рис. 6.2. Система управления копируемая с гидравлическим следящим приводом и механической обратной связью:

1 – гидроцилиндр; 2 – гидропривод; 3 – резец; 4 – заготовка; 5 – фасонная часть детали; 6 – пружина; 7 – гидрораспределитель; 8 – копира; 9 – шуп

Следует отметить, что возможности увеличения производительности станков с программносителем в виде модели-аналога не ограничиваются субъективным фактором (участием человека в реализации рабочего цикла), а достигаются максимальным совмещением всех вспомогательных и рабочих движений, использованием одновременной работы многих режущих инструментов.

Основные недостатки аналоговых программносителей следующие:

1) невозможность быстрой переналадки станков на обработку другой детали;

2) высокая стоимость переналадки;  
 3) неудовлетворительная точность обработки вследствие повышенного износа программноносителей, поскольку они передают не только алгоритм перемещения исполнительных органов станка, но и усилия для его реализации;

4) точность обработки деталей зависит от точности изготовления программноносителя и снижается по мере его износа.

В силу этих особенностей аналоговые программноносители используются в металлообрабатывающих станках для массового и крупносерийного производств с устойчивой во времени конструкцией выпускаемых изделий.

Частично или полностью программировать цикл работы станка, режим обработки и смену инструмента, а также задавать путем предварительно настраиваемых упоров величину перемещений исполнительных органов можно с помощью системы циклового программного управления (ЦПУ). Будучи аналоговой системой управления замкнутого типа, она обладает высокой гибкостью, обеспечивает легкое изменение последовательности включения аппаратов (электрических, гидравлических, пневматических и т. д.), управляющих элементами цикла. Преимущество системы ЦПУ – это простота конструкции и обслуживания, а также низкая стоимость; недостаток – трудоемкость размерной наладки упоров и кулачков.

Станки с ЦПУ применяют в условиях серийного, крупносерийного и массового производства деталей простых геометрических форм. Этими системами оснащают токарно-револьверные, токарно-копировальные, лоботокарные, вертикально-фрезерные, копировально-фрезерные, вертикально-сверлильные, агрегатные станки, промышленные роботы (ПР) и др.

В систему ЦПУ (рис. 6.3) входит программатор циклов, схема автоматики, исполнительное устройство и устройство обратной связи. Само устройство ЦПУ состоит из программатора циклов и схемы автоматики. Программатор циклов состоит из блока задания программы 1 и блока ее поэтапного ввода 7. Часть программы, одновременно вводимую в систему управления, называют этапом. Из блока 1 информация поступает в схему автоматики, состоящую из блока управления циклом работы станка 2 и блока преобразования сигналов контроля 6.

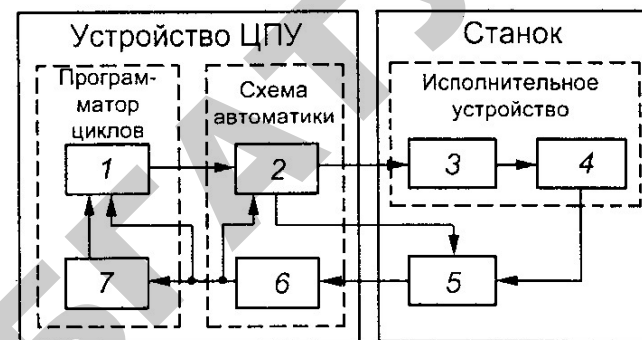


Рис. 6.3. Функциональная схема системы ЦПУ

Действия программатора циклов с исполнительными органами станка и датчиком обратной связи согласует схема автоматики, которая усиливает и размножает команды и может выполнять ряд логических функций, в том числе реализацию стандартных циклов. Сигнал из блока 1 через блок 2 поступает в исполнительное устройство, которое обеспечивает отработку заданных программой команд. Оно включает исполнительные элементы 3 (приводы исполнительных органов станка, электромагниты, муфты и т. д.) и исполнительные органы 4 станка (суппорты, револьверные головки, столы и т. д.). Окончание обработки контролирует датчик 5, который через блок 6 выдает команду блоку 7 на включение следующего этапа программы.

Программируемые командоаппараты (ПК), построенные на базе микроэлектроники, являются универсальными системами ЦПУ. Они представляют собой управляющие логические машины последовательного действия.

Программируемый командоаппарат состоит из центрального процессора (управляющего устройства) 1, постоянного запоминающего устройства 2, входного 3 и выходного 5 устройств, сканатора (генератора импульсов) 4 (рис. 6.4).

Программную панель 6 (загрузчик программ), оснащенную декадными переключателями и клавишами с обозначением логических элементов можно подключать к ПК. Программирование осуществляют последовательным нажатием клавиш. Программа записывается и запоминается в устройстве 2. В режиме работы сканатор 4 по-

очередно подключает к процессору 1 устройства 3 и 5. В процессоре 7 согласно программе выполняются заданные логические операции, преобразующие состояния входов в состояния выходов.

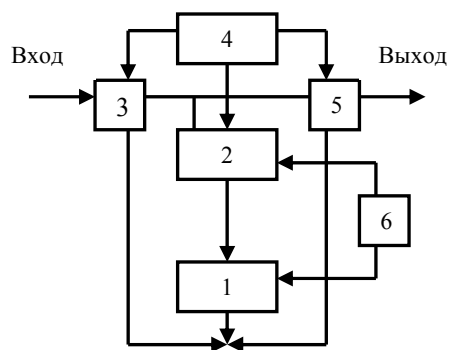


Рис. 6.4. Функциональная схема программируемого командоаппарата:

1 – центральный процессор;  
2 – постоянное запоминающее устройство; 3 – входное устройство; 4 – сканатор; 5 – выходное устройство; 6 – программная панель

Цикловая система программного управления отличается высокой надежностью в работе и простотой составления программы обработки. Однако наладка и переналадка станков с цикловой системой управления требует значительного времени, поэтому эти станки используют в средне- и крупносерийном производстве при больших партиях запуска заготовок, обеспечивающих работу станка без переналадки в течение не менее одной смены.

Системы циклового программного управления в силу их ограниченных технологических возможностей позволяют производить обработку заготовок деталей простой геометрической формы и сравнительно невысокой точности. Эти системы наибольшее использование получили в токарно-револьверных станках.

**Станки с числовым программным управлением.** Числовое программное управление (ЧПУ) – это управление, при котором программу задают в виде записанного на каком-либо носителе массива информации. Управляющая информация для систем ЧПУ является дискретной и ее обработка в процессе управления осуществляется цифровыми методами. Управление технологическими циклами практически повсеместно осуществляется с помощью программируемых логических контроллеров, реализуемых на основе принципов цифровых электронных вычислительных устройств. Системы ЧПУ практически вытесняют другие типы систем управления.

В таблице 6.1 перечислены цели и функции современного многоуровневого устройства ЧПУ (УЧПУ).

Таблица 6.1

Цели и функции многоуровневых устройств ЧПУ

Уровни	Цели	Функции
I	Обеспечение обработки заготовок на станке	Управление циклом работы станка. Контроль перемещения рабочих органов станка
II	Получение информации о функционировании станка	Принятие инженером-технологом и (или) оператором решения о правильности работы станка и выявление неисправностей на основании информации о работе станка
III	Получение исходных данных для организации производства в цеху (на заводе)	Принятие инженером-технологом и (или) оператором на основании информации о работе станка квалифицированных решений по управлению производством

По технологическому назначению и функциональным возможностям системы ЧПУ подразделяют на четыре группы:

- 1) позиционные системы, в которых задают только координаты конечных точек положения исполнительных органов после выполнения ими определенных элементов рабочего цикла;
- 2) контурные или непрерывные, управляющие движением исполнительного органа по заданной криволинейной траектории;
- 3) универсальные (комбинированные) системы, в которых осуществляется программирование перемещений при позиционировании и движения исполнительных органов по траектории, а также смена инструментов и загрузка-выгрузка заготовок;
- 4) многоконтурные системы, обеспечивающие одновременное или последовательное управление функционированием ряда узлов и механизмов станка.

Системы ЧПУ первой группы применяются в сверлильных, расточных и координатно-расточных станках. Примером второй группы служат системы ЧПУ различных токарных, фрезерных и круглошлифовальных станков. К третьей группе относятся системы

ЧПУ различных многоцелевых токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков. К четвертой группе относятся бесцентровые круглошлифовальные станки, в которых системы ЧПУ управляют различными механизмами: правки, подачи бабок и т. д. Существуют позиционные, контурные, комбинированные и многоконтурные циклы управления.

По способу подготовки и ввода управляющей программы различают так называемые оперативные системы ЧПУ (управляющую программу готовят и редактируют непосредственно на станке, в процессе обработки первой детали из партии или имитации обработки этой детали) и системы, для которых управляющая программа готовится независимо от места обработки детали. При этом независимая подготовка управляющей программы может выполняться либо с помощью средств вычислительной техники, входящих в состав системы ЧПУ данного станка, либо вне ее (вручную или с помощью системы автоматизации программирования).

Программируемые контроллеры – устройства управления электроавтоматикой станка. Большинство программируемых контроллеров имеют модульную конструкцию, в состав которой входят источник питания, процессорный блок и программируемая память, а также различные модули входов/выходов. Для создания и отладки программ работы станка применяют программирующие аппараты. Принцип работы контроллера основан на опрашивании необходимых входов/выходов и анализе полученных данных в процессорном блоке. При этом решаются логические задачи и результат передается на соответствующий логический или физический выход для подачи в соответствующий механизм станка.

В программируемых контроллерах используют различные типы памяти, в которой хранится программа электроавтоматики станка (электрическую перепрограммируемую энергонезависимую память; оперативную память со свободным доступом; стираемую ультрафиолетовым излучением и электрически перепрограммируемую память).

Программируемый контроллер имеет систему диагностики входов/выходов, ошибок в работе процессора, памяти, батареи, связи и других элементов. Для упрощения поиска неисправностей современные интеллектуальные модули имеют самодиагностику.

В станках с ЧПУ управление осуществляется от программоносителя, на который в числовом виде занесена геометрическая и технологическая информация.

В отдельную группу выделяют станки с цифровой индикацией и преднабором координат. В этих станках имеются электронные устройства для задания координат нужных точек (преднабор координат) и крестовый стол, снабженный датчиками положения, который выдает команды на перемещение до необходимой позиции. При этом на экране высвечивается каждое текущее положение стола (цифровая индикация). В таких станках можно применять или преднабор координат или цифровую индикацию; исходную программу работы задает станочник.

В моделях станков с ПУ для обозначения степени автоматизации добавляется буква Ф с цифрой: Ф1 – станки с цифровой индикацией и преднабором координат; Ф2 – станки с позиционными и прямоугольными системами ЧПУ; Ф3 – станки с контурными системами ЧПУ и Ф4 – станки с универсальной системой ЧПУ для позиционной и контурной обработки. Особую группу составляют станки, имеющие ЧПУ для многоконтурной обработки, например бесцентровые круглошлифовальные станки. Для станков с цикловыми системами ПУ в обозначении модели введен индекс Ц, с оперативными системами – индекс Т (например, 16К20Т1).

Следует отметить, что ЧПУ обеспечивает управление движениями рабочих органов станка и скоростью их перемещения при формообразовании, а также последовательностью цикла обработки, режимами резания и вспомогательными функциями.

Система числового программного управления (СЧПУ) – это совокупность специализированных устройств, методов и средств, необходимых для осуществления ЧПУ станками. Устройство ЧПУ (УЧПУ) станками – это часть СЧПУ, выполненная как единое целое с ней и осуществляющая выдачу управляющих воздействий по заданной программе.

В международной практике приняты следующие обозначения: NC-ЧПУ; HNC – разновидность устройства ЧПУ с заданием программы оператором с пульта с помощью клавиш, переключателей и т. д.; SNC – устройство ЧПУ, имеющее память для хранения всей управляющей программы; CNC – управление автономным станком с ЧПУ, содержащее мини-ЭВМ или процессор; DNC – управление группой станков от общей ЭВМ.

Для станков с ЧПУ стандартизованы направления перемещений и их символика. Стандартом ISO-R841 за положительное направле-

ние перемещения элемента станка определено то, при котором инструмент или заготовка отходят один от другого. Исходной осью (ось  $Z$ ) является ось рабочего шпинделя. Если эта ось поворотная, то ее положение выбирают перпендикулярно плоскости крепления детали. Положительное направление оси  $Z$  – это направление от устройства крепления детали к инструменту. Оси  $X$  и  $Y$  располагаются перпендикулярно оси  $Z$  (рис. 6.5).

Использование конкретного вида оборудования с ЧПУ зависит от сложности изготавливаемой детали и серийности производства. Чем меньше серийность производства, тем большую технологическую гибкость должен иметь станок.

При изготовлении деталей со сложными пространственными профилями в единичном и мелкосерийном производстве использование станков с ЧПУ является почти единственным технически оправданным решением. Это оборудование целесообразно применять и в том случае, если невозможно быстро изготовить оснастку. В серийном производстве также целесообразно использовать станки с ЧПУ. В настоящее время широко используют автономные станки с ЧПУ или системы из таких станков в условиях переналаживаемого крупносерийного производства.

Принципиальная особенность станка с ЧПУ – это работа по управляющей программе (УП), на которой записаны цикл работы оборудования для обработки конкретной детали и технологические режимы. При изменении обрабатываемой на станке детали достаточно сменить программу, что на 80...90 % сокращает трудоемкость переналадки по сравнению с трудоемкостью этой операции на станках с ручным управлением.

Основные преимущества станков с ЧПУ следующие:

- производительность станка повышается в 1,5...2,5 раза по сравнению с производительностью аналогичных станков с ручным управлением;

- сочетается гибкость универсального оборудования с точностью и производительностью станка-автомата;

- снижается потребность в квалифицированных рабочих-станочниках, а подготовка производства переносится в сферу инженерного труда;

- детали, изготовленные по одной программе, являются взаимозаменяемыми, что сокращает время пригоночных работ в процессе сборки;

- сокращаются сроки подготовки и перехода на изготовление новых деталей, благодаря предварительной подготовке программ, более простой и универсальной технологической оснастке;

- снижается продолжительность цикла изготовления деталей и уменьшается запас незавершенного производства.

**Особенности конструкции станков с ЧПУ.** Станки с ЧПУ отличаются от станков с нечисловыми системами управления не только принципом построения программного управления. Реализация идеи ЧПУ предъявила ряд требований к конструкции станка, без выполнения которых использование систем ЧПУ оказалось бы малоэффективным. Например, система ЧПУ позволяет обеспечить высокую точность перемещения исполнительных органов станка (до 2 мкм). Для возможности переноса этой точности на размеры обрабатываемых заготовок деталей необходимо, чтобы механические узлы станка удовлетворяли соответствующим требованиям. Поэтому оснащение станков системами ЧПУ повлекло соответствующий пересмотр конструкций станков.

Станки с ЧПУ имеют расширенные технологические возможности и обеспечивают высокую надежность работы. Конструкция станков с ЧПУ должна, как правило, обеспечить совмещение различных видов обработки (точение – фрезерование, фрезерование – шлифование), удобство загрузки заготовок и выгрузки деталей (что особенно важно при использовании промышленных роботов), автоматическое или дистанционное управление сменой инструмента и т. д.

Повышение точности обработки достигается высокой точностью изготовления элементов станка и его жесткостью, превышающей жесткость обычного станка того же назначения. Для этого производят сокращение длины кинематических цепей станка, в частности, применяют автономные приводы, а также (по возможности) сокращают число механических передач. При этом приводы станков с ЧПУ должны также обеспечивать высокое быстродействие.

Повышению точности способствует и устранение зазоров в передаточных механизмах приводов подач, снижение потерь на трение в направляющих и других механизмах, повышение виброустойчивости, снижение тепловых деформаций, применение в станках датчиков обратной связи. Для уменьшения тепловых деформаций необходимо обеспечить равномерный температурный режим в механизмах станка (этому, например, способствует предварительный разогрев станка и его гидравлической системы).

Температурную погрешность станка можно также уменьшить, вводя коррекцию в привод подач от сигналов датчиков температур.

Базовые детали (станины, колонны, основания) выполняют более жесткими за счет введения дополнительных ребер жесткости. Повышенную жесткость имеют и подвижные несущие элементы (суппорты, столы, салазки). Для этого столы, например, конструируют коробчатой формы с продольными и поперечными ребрами. Базовые детали изготавливают литьем (литыми) или сваркой (сварными). Наблюдается тенденция выполнять такие детали из полимерного бетона или синтетического гранита, что в еще большей степени повышает жесткость и виброустойчивость станка.

Направляющие станков с ЧПУ имеют высокую износостойкость и малую силу трения. Это позволяет снизить мощность следящего привода, увеличить точность перемещений, уменьшить рассогласование в следящей системе.

Направляющие скольжения станины и суппорта для уменьшения коэффициента трения создают в виде пары скольжения «сталь (или высококачественный чугун) – пластиковое покрытие (фторопласт и др.)».

Направляющие качения имеют высокую долговечность, характеризуются небольшим трением, причем коэффициент трения практически не зависит от скорости движения. В качестве тел качения используют ролики. Предварительный натяг повышает жесткость направляющих в 2...3 раза (для создания натяга используют регулирующие устройства).

Преобразователи для приводов подачи и главного движения для станков с ЧПУ выполняют с полным микропроцессорным управлением. В качестве привода используют управляемые от цифровых преобразователей синхронные или асинхронные электродвигатели, работающие на постоянном или переменном токе. Бесколлекторные синхронные (вентильные) двигатели для станков с ЧПУ изготавливают с постоянным магнитом на основе редкоземельных элементов и оснащают датчиками обратной связи и тормозами. Привод движения подач характеризуется минимально возможными зазорами, малым временем разгона и торможения, небольшими силами трения, уменьшенным нагревом элементов привода, большим диапазоном регулирования. Обеспечение этих характеристик осуществляется благодаря применению шариковых и гидростатических винтовых передач, направляющих качения и гидростатических направляющих, беззазорных редукторов с короткими кинематическими цепями и т. д.

Приводами главного движения для станков с ЧПУ обычно являются двигатели переменного тока (для больших мощностей)

и постоянного тока (для малых мощностей). В качестве приводов служат трехфазные четырехполюсные асинхронные двигатели, воспринимающие большие перегрузки и работающие при наличии в воздухе металлической пыли, стружки, масла и т. д. Поэтому в их конструкции предусмотрен внешний вентилятор. В двигатель встраивают различные датчики, например, датчик положения шпинделя, что необходимо для его ориентации или обеспечения независимой координаты.

Преобразователи частоты для управления асинхронными двигателями имеют большой диапазон регулирования. Преобразователи представляют собой электронные устройства, созданные на базе микропроцессорной техники. Программирование и параметрирование их работы осуществляются от встроенных программаторов с цифровым или графическим дисплеем. Оптимизация управления достигается автоматически после введения параметров электродвигателя. В математическом обеспечении заложена возможность настройки привода и его пуск в эксплуатацию.

Шпиндели станков с ЧПУ выполняют точными, жесткими, с повышенной износостойкостью шеек, посадочных и базирующих поверхностей. Конструкция шпинделя значительно усложняется из-за встроенных в него устройств автоматического разжима и зажима инструмента, а также датчиков (при адаптивном управлении и автоматической диагностике).

Опоры шпинделя должны обеспечить его точность в течение длительного времени в переменных условиях работы, повышенную жесткость, небольшие температурные деформации. Точность вращения шпинделя обеспечивается, прежде всего, высокой точностью изготовления подшипников.

Наиболее часто в опорах шпинделей применяют подшипники качения. Для уменьшения влияния зазоров и повышения жесткости опор обычно устанавливают подшипники с предварительным натягом или увеличивают число тел качения. Подшипники скольжения в опорах шпинделей применяют реже и только при наличии устройств с периодическим (ручным) или автоматическим регулированием зазора в осевом или радиальном направлении. В прецизионных станках применяют аэростатические подшипники, в которых между шейкой вала и поверхностью подшипника находится сжатый воздух, благодаря чему снижается износ и нагрев подшипника, повышается точность вращения и т. п.

Привод позиционирования (т. е. перемещения рабочего органа станка в позицию согласно программе) должен иметь высокую жесткость и обеспечивать плавность перемещения при малых скоростях, большую скорость вспомогательных перемещений рабочих органов (до 10 м/мин и более).

Вспомогательные механизмы станков с ЧПУ включают в себя устройства смены инструмента, уборки стружки, систему смазывания, зажимные приспособления, загрузочные устройства и т. д. Эта группа механизмов в станках с ЧПУ значительно отличается от аналогичных механизмов, используемых в обычных универсальных станках. Например, в результате повышения производительности станков с ЧПУ произошло резкое увеличение количества сходящей стружки в единицу времени и возникла необходимость создания специальных устройств для отвода этой стружки. Для сокращения потерь времени при загрузке применяют приспособления, позволяющие одновременно устанавливать заготовку и снимать деталь во время обработки другой заготовки.

Устройства автоматической смены инструмента (магазины, автооператоры, револьверные головки) должны обеспечивать минимальные затраты времени на смену инструмента, высокую надежность в работе, стабильность положения инструмента (т. е. постоянство размера вылета и положения оси при повторных сменах инструмента), иметь необходимую вместимость магазина или револьверной головки.

Револьверная головка – это наиболее простое устройство смены инструмента (установку и зажим инструмента в ней осуществляют вручную). В рабочей позиции один из шпинделей приводится во вращение от главного привода станка. Револьверные головки устанавливают на токарные, сверлильные, фрезерные, многоцелевые станки с ЧПУ; в головке закрепляют от 4 до 12 инструментов.

**Токарные станки с ЧПУ** предназначены для наружной и внутренней обработки сложных заготовок деталей типа тел вращения. Эти станки составляют самую значительную группу по номенклатуре в парке станков с ЧПУ. На токарных станках с ЧПУ выполняют традиционный комплекс технологических операций: точение, отрезку, сверление, нарезание резьбы и др.

В основе классификации токарных станков с ЧПУ лежат следующие признаки:

а) расположение оси шпинделя (горизонтальные и вертикальные станки);

б) число используемых в работе инструментов (одно- и многоинструментальные станки);

в) способы закрепления инструментов (на суппорте, в револьверной головке, в магазине инструментов);

г) вид выполняемых работ (центровые, патронные, патронно-центровые, карусельные, прутковые станки);

д) степень автоматизации (полуавтоматы и автоматы).

Центровые станки с ЧПУ служат для обработки заготовок деталей типа валов с прямолинейным и криволинейным контурами. На этих станках можно нарезать резьбу резцом по программе.

Патронные станки с ЧПУ предназначены для обточки, сверления, развертывания, зенкерования, цекования, нарезания резьбы метчиками в осевых отверстиях деталей типа фланцев, зубчатых колес, крышек, шкивов и проч.; возможно нарезание резцом внутренней резьбы и наружной резьбы по программе.

Патронно-центровые станки с ЧПУ служат для наружной и внутренней обработки разнообразных сложных заготовок деталей (типа тел вращения) и обладают технологическими возможностями токарных центровых и патронных станков.

Карусельные станки с ЧПУ применяют для обработки заготовок сложных корпусов.

Токарные станки с ЧПУ (рис. 6.5) оснащают револьверными головками или магазином инструментов. Револьверные головки бывают четырех-, шести- и двенадцатипозиционные. При этом на каждой позиции можно устанавливать по два инструмента для наружной и внутренней обработки заготовки. Ось вращения головки может располагаться параллельно оси шпинделя, перпендикулярно к ней или наклонно.

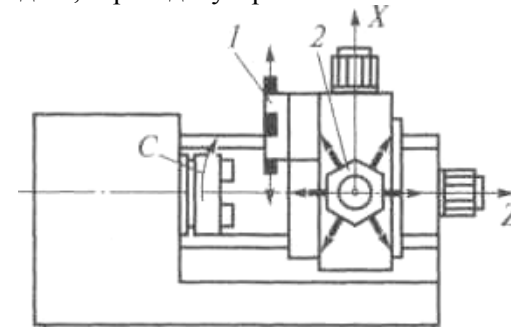


Рис. 6.5. Токарный станок с ЧПУ, где  
1, 2 – револьверные головки



При установке на станке двух револьверных головок в одной из них (1) закрепляют инструменты для наружной обработки, в другой (2) – для внутренней обработки. Эти головки могут располагаться соосно одна относительно другой или иметь разное расположение осей. Индексирование револьверных головок производится, как правило, путем применения закаленных и шлифованных плоскозубчатых торцовых муфт, которые обеспечивают высокую точность и жесткость индексирования головки. В пазы револьверных головок устанавливают сменные взаимозаменяемые инструментальные блоки, которые настраивают на размер вне станка, на специальных приборах, что значительно повышает производительность и точность обработки.

Резцовые блоки в револьверной головке базируются на призме или цилиндрическом хвостовике 6 (рис. 6.6). Резец закрепляют винтами через прижимную планку 3. Для установки резца по высоте центров служит подкладка 2. Два регулировочных винта 5, расположенных под углом  $45^\circ$  один к другому, позволяют при наладке вывести вершину резца на заданные координаты. Подача СОЖ в зону резания осуществляется через канал в корпусе 7, заканчивающийся соплом 4, позволяющим регулировать направление подачи СОЖ.

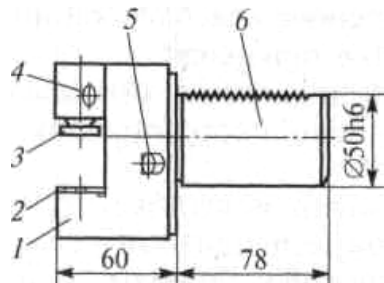


Рис. 6.6. Резцовый блок с цилиндрическим хвостовиком.

1 – корпус; 2 – подкладка; 3 – прижимная планка; 4 – сопло; 5 – винты;  
6 – хвостовик

Магазины инструментов (емкостью 8...20 инструментов) применяют редко, так как для токарной обработки одной заготовки требуется, как правило, не более 10 инструментов. Использование большего числа инструментов целесообразно в случаях точения труднообрабатываемых материалов, когда инструменты имеют малый период стойкости.

Расширение технологических возможностей токарных станков осуществляется благодаря сближению функций, выполняемых токарными и фрезерными станками, добавлению внецентрового сверления, фрезерования контура (т. е. программируется поворот шпинделя); в некоторых случаях возможно резбонарезание несосных элементов заготовок.

**Фрезерные станки с ЧПУ** предназначены для обработки плоских и пространственных поверхностей заготовок сложной формы. Конструкции фрезерных станков с ЧПУ аналогичны конструкциям традиционных фрезерных станков, но отличие от них заключается в автоматизации перемещений инструмента по УП при формообразовании.

В основе классификации фрезерных станков с ЧПУ лежат следующие признаки:

- расположение шпинделя (горизонтальное и вертикальное);
- число координатных перемещений стола или фрезерной бабки;
- число используемых инструментов (одноинструментные и многоинструментные);
- способ установки инструментов в шпиндель станка (вручную или автоматически).

По компоновке фрезерные станки с ЧПУ делят на четыре группы:

- вертикально-фрезерные с крестовым столом;
- консольно-фрезерные;
- продольно-фрезерные;
- широкоуниверсальные инструментальные.

В вертикально-фрезерных станках с крестовым столом (рис. 6.7, а) стол перемещается в продольном (ось  $X$ ) и поперечном (ось  $Y$ ) горизонтальном направлениях, а фрезерная бабка – в вертикальном направлении (ось  $Z$ ).

В консольно-фрезерных станках (рис. 6.7, б) стол перемещается по трем координатным осям ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ), в то время как бабка неподвижна. В продольно-фрезерных станках с подвижной поперечиной (рис. 6.7, в) стол перемещается по оси  $X$ , шпиндельная бабка – по оси  $Y$ , а поперечина – по оси  $Z$ . В продольно-фрезерных станках с неподвижной поперечиной (рис. 6.7, г) стол перемещается по оси  $X$ , а шпиндельная бабка – по осям  $Y$  и  $Z$ . В широкоуниверсальных инструментальных фрезерных станках (рис. 6.7, д) стол перемещается по осям  $X$  и  $Y$ , а шпиндельная бабка – по оси  $Z$ .

Фрезерные станки, в основном, оснащают прямоугольными и контурными УЧПУ.

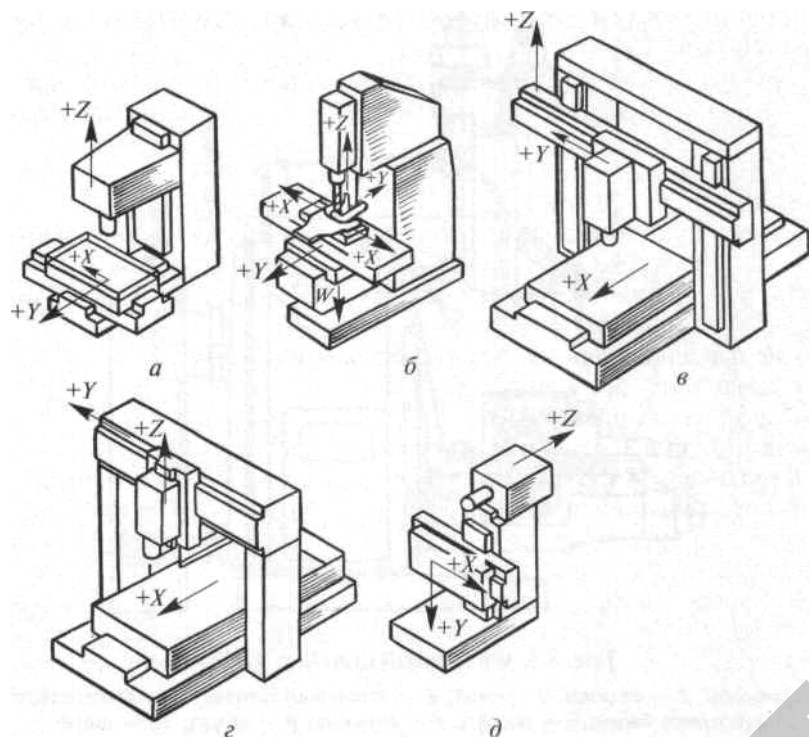


Рис. 6.7. Компонки фрезерных станков с ЧПУ с обозначением осей координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и  $W$ :

а – вертикально-фрезерный станок с крестовым столом; б – консольно-фрезерный станок; в – продольно-фрезерный станок; г – продольно-фрезерный станок с неподвижной поперечиной; д – широкоуниверсальный инструментальный фрезерный станок

При прямоугольном управлении (условное обозначение в модели станка – Ф2) стол станка совершает движение в направлении, параллельном одной из координатных осей, что делает невозможной обработку сложных поверхностей. Станки с прямоугольным управлением применяют для фрезерования плоскостей, скосов, уступов, пазов, разновысоких бобышек и других аналогичных поверхностей.

При контурном управлении (условные обозначения в моделях станков – Ф3 и Ф4) траектория перемещения стола более сложная. Станки с контурным управлением используют для фрезерования различных кулачков, штампов, пресс-форм и других аналогичных поверхностей. Число управляемых координат, как правило, равно трем, а в некоторых случаях – четырем и пяти. При контурном управлении движение формообразования производится не менее чем по двум координатным осям одновременно.

В отдельных случаях на фрезерных станках при обработке заготовок простой формы в условиях средне- и крупносерийного производства также применяют системы ЧПУ.

Во фрезерных станках с ЧПУ в качестве привода главного движения используют асинхронные электродвигатели (в этих случаях имеется коробка скоростей) или электродвигатели постоянного тока.

На небольших фрезерных станках с прямоугольным ЧПУ применяют один приводной электродвигатель постоянного тока и коробку передач с автоматически переключаемыми электромагнитными муфтами. На тяжелых станках с контурным управлением каждое управляемое координатное перемещение осуществляется от автономного электродвигателя постоянного тока.

Приводы движения подач фрезерных станков с ЧПУ имеют короткие кинематические цепи, передающие движение от двигателя непосредственно исполнительному органу.

Компоновка вертикально-фрезерного консольного станка с ЧПУ (рис. 6.8) мало отличается от компоновки традиционного станка без ЧПУ. На станине монтируют узлы и механизмы станка. Станина спереди имеет направляющие, закрытые кожухом 9, по которым перемещается консоль 1. На горизонтальных направляющих смонтированы салазки 2, по продольным направляющим которых передвигается стол 3. На привалочной плоскости станины закреплена фрезерная бабка 6, по вертикальным направляющим которой перемещается ползун 7 со шпинделем 5. В соответствии с требованиями безопасности труда ползун имеет защитный щиток 4. Сзади станка расположен шкаф 10 с электрооборудованием и УЧПУ.

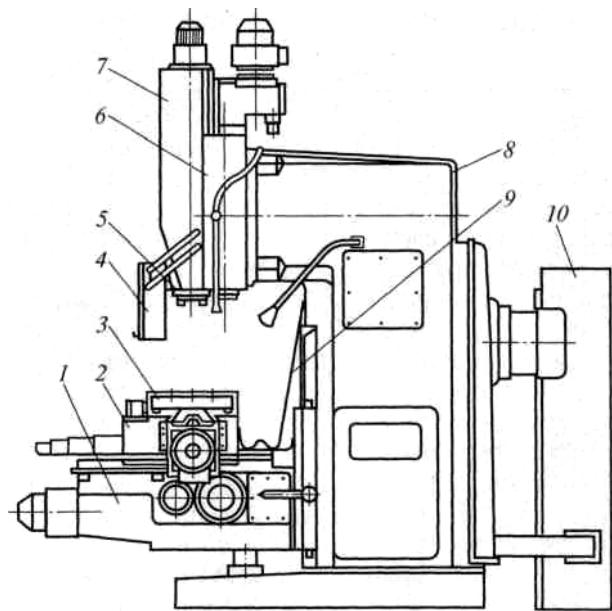


Рис. 68. Фрезерный станок с ЧПУ:

1 – консоль; 2 – салазки; 3 – стол; 4 – защитный щиток; 5 – шпиндель;  
6 – фрезерная бабка; 7 – ползун; 8 – станина; 9 – кожух; 10 – шкаф

**Шлифовальные станки с ЧПУ** предназначены для проведения плоскошлифовальной обработки, а также кругло- и бесцентровошлифовальной обработки. При создании шлифовальных станков с ЧПУ возникают технические трудности, которые объясняются следующими причинами. Процесс шлифования характеризуется, с одной стороны, необходимостью получения высокой точности и качества поверхности при минимальном рассеянии размеров, с другой стороны, – быстрой потерей размерной точности шлифовального круга вследствие его интенсивного изнашивания в процессе работы. В этом случае в станке необходимы механизмы автоматической компенсации изнашивания шлифовального круга. При этом ЧПУ должно компенсировать деформации системы СИД, температурные погрешности, различия припусков на заготовках, погрешности станка при перемещении по координатам и т. д. Измерительные системы должны иметь высокую разрешающую способ-

ность, обеспечивающую жесткие допуски на точность позиционирования. Например, в круглошлифовальных станках такие приборы обеспечивают непрерывное измерение диаметра заготовки в процессе обработки с относительной погрешностью не более  $2 \times 105$  мм. Контроль продольных перемещений стола осуществляется с погрешностью не более 0,1 мм.

Для шлифовальных станков используют системы типа CNC с управлением по 3...4 координатам, но в станках, работающих несколькими кругами, возможно управление по 5...6 (и даже по восьми) координатам. Взаимосвязь между оператором и системой ЧПУ (CNC) шлифовального станка в большинстве случаев осуществляется в диалоговом режиме с помощью дисплея. В системе управления применяются встроенные диагностические системы, повышающие надежность станков.

Наиболее распространены круглошлифовальные станки с ЧПУ, позволяющие получать максимальный эффект при обработке с одной установки многоступенчатых деталей типа шпинделей, валов электродвигателей, редукторов, турбин и т. д.

Производительность повышается, в основном, в результате снижения вспомогательного времени на установку заготовки и съем готовой детали, на переустановку для обработки следующей шейки вала, на измерение и т. д.

При обработке многоступенчатых валов на круглошлифовальном станке с ЧПУ достигается экономия времени в 1,5...2 раза по сравнению с их обработкой на аналогичных станках с ручным управлением.

Бесцентровые круглошлифовальные станки эффективно применяют при обработке деталей малого и большого диаметров (без ограничения длины), либо тонкостенных деталей, а также деталей, имеющих сложные наружные профили (поршни, кулаки и т. д.). В условиях массового производства эти станки характеризуются высокой производительностью и точностью обработки. В мелкосерийном и индивидуальном производстве применение таких станков ограничено из-за трудоемкости их переналадки. Расширение областей применения бесцентровых круглошлифовальных станков сдерживают два фактора: большая продолжительность правки кругов и сложность наладки станков, что требует значительных затрат времени и высокой квалификации персонала. Это объясняется тем, что в конструкции данных станков предусмотрены:

а) шлифовальный и ведущий круги;

б) устройства правки, обеспечивающие придание соответствующей формы поверхностям шлифовального и ведущего кругов;

в) возможность установки положения опорного ножа;

г) механизмы компенсационных подач шлифовального круга на обрабатываемую деталь и на правку, а также ведущего круга на деталь и на правку;

д) установка положения загрузочного и разгрузочного устройств.

Применение СЧПУ позволило управлять многокоординатным функционированием бесцентровых круглошлифовальных станков. В системе управления станком используют программные модули, которые рассчитывают траектории инструмента (круга, алмаза), его коррекцию и взаимодействие с человеком. Для обработки деталей с различными геометрическими формами (конус, шар и др.) создается программное обеспечение: диспетчер режимов, интерполятор и модуль управления приводами.

При обработке и правке число сочетаемых управляемых координат может достигать до 19, в том числе по 2...3 координаты отдельно для правки шлифовального и ведущего кругов.

В условиях серийного производства применение СЧПУ обеспечивает гибкое построение цикла шлифования и правки, что позволяет быстро перенастраивать станки на обработку других изделий.

Наличие многокоординатной системы ЧПУ обеспечивает большую универсальность станка, а также малые величины подачи кругов, что позволяет эффективно управлять процессами шлифования и правки.

Следует отметить, что СЧПУ бесцентровых круглошлифовальных станков строится по агрегатному принципу (например, станки японских фирм). На станке возможна установка любого из четырех вариантов управления станком от СЧПУ:

1) одна управляемая координата – поперечная подача шлифовального круга;

2) две управляемые координаты – поперечная подача шлифовального круга и правящего алмаза в целях их синхронизации;

3) три управляемые координаты – поперечная подача шлифовального круга, а также поперечная и продольная подачи алмаза при его правке;

4) пять управляемых координат – поперечная подача шлифовального круга, а также поперечная и продольная подачи алмазов при правке шлифовального и ведущего кругов.

Использование СЧПУ для управления бесцентровыми круглошлифовальными станками позволяет существенно упростить конструкции ряда механических узлов: устройств правки (в результате отказа от копирных линеек, механизмов подачи алмазов и т. д.), приводов продольного перемещения устройств правки, механизмов тонкой подачи шлифовального и ведущего кругов, контрольных и контрольно-подналадочных устройств и др.

### 6.2.3. Автоматизация операций механической обработки

**Установка и снятие заготовок.** Автоматизация рабочего цикла станков значительно повысила производительность обработки и ограничила функции станочника установкой заготовки и снятием обработанной детали, т. е. выполнением монотонной повторяющейся работы. Поэтому следующим этапом в решении проблемы автоматизации металлорежущего оборудования является автоматизация установки заготовки на станок и снятия с него детали после обработки.

*Использование спутников.* Для повышения производительности за счет совмещения вспомогательного времени (затрачиваемого на съем обработанной детали и установку очередной заготовки в приспособление) с машинным временем обработки и автоматизации смены заготовок в современных многооперационных станках с ЧПУ используются специальные механизмы. Заготовки при этом устанавливаются на сменных столах-спутниках, представляющих собой плиту унифицированной конструкции, позволяющей фиксировать и закреплять заготовку на столе станка. Механизм смены заготовок в автоматическом режиме удаляет из рабочей зоны спутник с обработанной деталью и подает вместо него спутник с закрепленной на нем заготовкой.

Устройства смены спутников имеют разнообразные конструктивные решения. По принципу организации смены спутников их можно разделить на две группы: маятникового действия; поворотные.

На рисунке 6.9 приведены схемы смены спутников в устройствах маятникового типа. Во время обработки заготовки обработанная деталь снимается со спутника на позициях 5 и 3, а очередная заготовка устанавливается на позиции 4. Смена спутника на рабочем столе 2 станка осуществляется либо возвратно-поступательным перемещением стола (рис.6.9, а), либо поворотом и возвратно-поступательным перемещением стола с использованием выдвинутых телескопических захватов (рис.6.9, б).

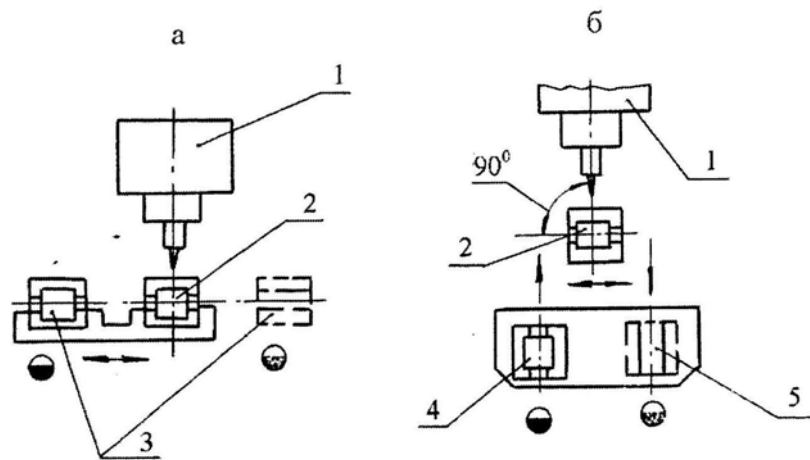


Рис. 6.9. Схемы смены спутников в устройствах маятникового типа:

а – с совмещенными позициями для установки заготовок и снятия деталей;  
 б – с автономными позициями для установки заготовок и снятия деталей;  
 1 – шпиндель станка; 2 – рабочий стол станка; 3 – позиция установки (снятия) заготовок (деталей); 4 – позиция установки заготовок; 5 – позиция снятия деталей

При смене спутников с использованием поворотных устройств (рис. 6.10, а, в) обработанная деталь с рабочего стола 2 при помощи выдвижных телескопических захватов подается на позицию 3, затем происходит поворот стола и на место спутника с обработанной деталью поступает спутник с заготовкой 4, который телескопическими захватами подается на рабочий стол.

Устройства, выполненные по схеме (рис. 6.10, б), обеспечивают смену спутников только одним поворотом барабана, который может быть двух- и многопозиционным. В последнем случае барабан выполняет функции также и накопителя заготовок.

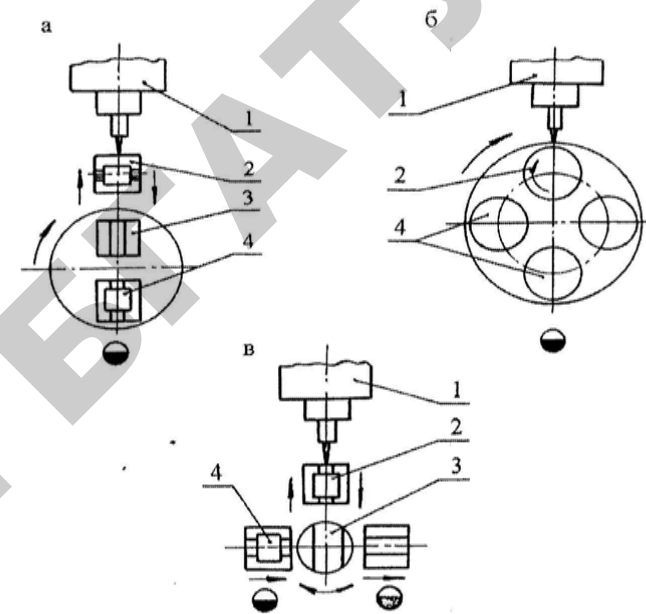


Рис. 6.10. Схемы смены спутников с использованием поворотных устройств:

а – с двухпозиционным поворотным устройством; б – с четырехпозиционным поворотным устройством; в – с однопозиционным поворотным устройством;  
 1 – шпиндель станка; 2 – стол станка; 3 – позиция смены спутника; 4 – спутник с заготовкой

При этом наименьшее время смены спутников (около 6 с) имеют устройства, выполненные по схемам, представленным на рисунке 6.10, а, б. Однако эти устройства не встраиваются в гибкие автоматизированные комплексы без конструктивной доработки.

Устройства, выполненные по другим схемам (рис. 6.9, б и рис 6.10, в), встраиваются в гибкие автоматизированные комплексы. Время смены спутников в таких устройствах составляет 30...80 с.

Оснащение многооперационных станков с ЧПУ устройствами смены спутников и накопителями заготовок позволяет производить автоматическую переналадку этих станков при переходе на обработку заготовки детали другого наименования и встраивать их

в гибкие автоматизированные комплексы. В этом случае устройства смены спутников выполняют функции приемно-передающих устройств в транспортно-накопительных системах. Установка заготовки на спутник и снятие обработанной детали может осуществляться оператором вручную или автоматически.

*Использование промышленных роботов.* Автоматизация установки заготовок и снятия обработанных деталей на токарных станках с ЧПУ осуществляется, как правило, с использованием промышленных роботов (или автооператоров) и специальных накопительных устройств. Промышленные роботы выполняют ряд вспомогательных операций, связанных с перемещением заготовок и деталей, их ориентацией, поворотом и т. д.

Каждый промышленный робот, которым оснащен станок с ЧПУ, может выполнять вспомогательные операции над определенной группой деталей, имеющих близкие геометрические формы и соотношение размеров.

Оснащение станков роботами привело к созданию роботизированных технологических комплексов (РТК). В соответствии со стандартом РТК представляет собой совокупность единицы технологического оборудования, промышленного робота и средств оснащения, автономно функционирующую и осуществляющую многократные циклы. Средствами оснащения РТК могут быть устройства накопления, ориентации, поштучной выдачи заготовок и другие устройства, обеспечивающие функционирование РТК.

Промышленный робот в составе РТК выполняет разгрузку (загрузку) деталей с фиксированной позиции, которую обеспечивают накопительно-подающее и другие специализированные устройства, называемых средствами околороботной механизации.

Из всех компоновок станков и роботов можно выделить три основных вида: РТК со встроенным роботом; РТК с порталным расположением робота; РТК с напольным расположением робота.

Широкое использование в токарных станках при обработке деталей типа тел вращения в качестве накопителя получили сменные лотки. Один из них (вводной) предназначен для подачи заготовок, другой (выводной) – выгрузки обработанных деталей. Лотки могут регулироваться по ширине и по углу наклона под конкретные условия обработки. При этом вместо робота могут использоваться встроенные манипуляторы (рис. 6.11).

Следует отметить, что РТК со встроенным роботом применяются преимущественно для патронной обработки деталей длиной не более 150 мм.

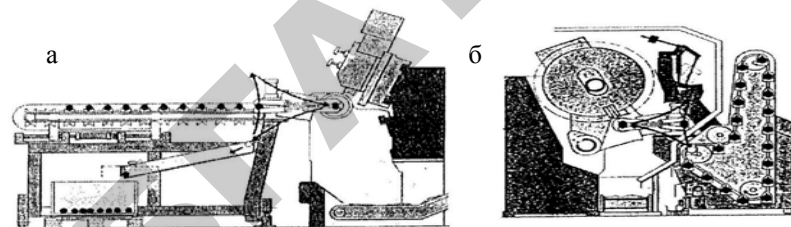


Рис. 6.11. Схема поштучной выдачи и установки заготовок в шпиндель РТК при помощи манипулятора и накопителей горизонтального (а) и вертикального (б) исполнения

Схема РТК со встроенным роботом показана на рисунке 6.12. Робот 3 закрепляется на станине токарного станка 4. Схват 5 робота оснащен двумя захватными устройствами (для заготовки и для обработанной детали). Рядом со станком расположен накопитель 1, из гнезд которого оператор станка снимает обработанные детали и устанавливает на их место заготовки. При работе РТК робот схватом 5 вынимает из гнезда 2 накопителя заготовку, укладывает на ее место обработанную деталь и переносит заготовку в зону ожидания. По окончании обработки и останков шпинделя 6 станка происходит выдвижение схвата 5 к обработанной детали, ее захват схватом, разжим патрона станка; отвод схвата от патрона путем поворота робота вокруг вертикальной оси, поворот схвата на 180°, подвод заготовки к патрону, ее зажим и отвод робота. Затем происходит обработка заготовки детали по управляющей программе.

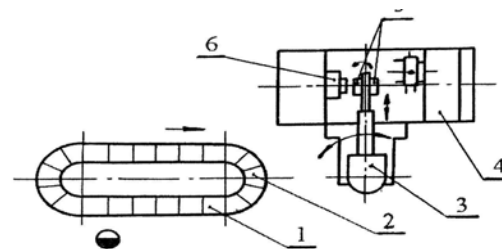


Рис. 6.12. Схема РТК со встроенным роботом:  
1 – накопитель; 2 – позиция установки заготовки и снятия детали роботом; 3 – робот; 4 – станок с ЧПУ; 5 – схваты робота; 6 – патрон станка

В это время накопитель перемещается на следующую позицию и цикл повторяется. Схват робота является быстросменным. В случае использования робота с одним захватным устройством вспомогательное время на смену заготовки увеличивается, что приводит к непроизводительным простоям станка. Накопительные устройства могут иметь различные форму и конструктивное исполнение, но функции у них одинаковые – хранение и поштучная выдача в ориентированном положении заготовок, прием обработанных деталей.

Для обработки заготовок деталей типа вала длиной более 150 мм широкое применение получили РТК с порталным расположением робота (рис. 6.13).

В данном РТК робот 2 перемещается по portalу 3 между накопительно-подающим устройством 4 и станком 1. Оператор РТК укладывает заготовки рядами в гнезда кассеты 6, которая подается затем на тактовый стол 7. Тактовый стол подает кассету в зону действия робота и после обработки деталей в одном ряду перемещает ее на шаг, равный расстоянию между рядами. Призматический схват робота вынимает заготовку из гнезда и укладывает на ее место обработанную деталь. Для сокращения вспомогательного времени и повышения производительности РТК робот оснащается двумя манипуляторами.

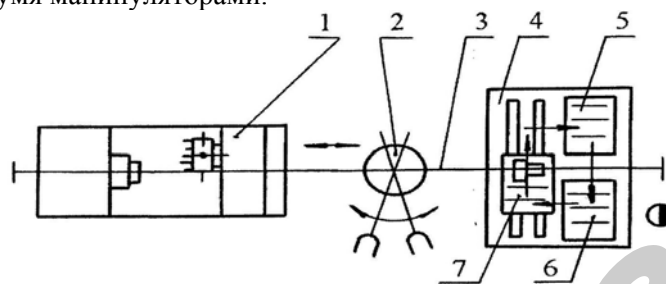


Рис. 6.13. Схема РТК с порталным расположением робота:

- 1 – станок; 2 – робот; 3 – портал; 4 – накопительно-подающее устройство;  
5 – кассета с обработанными деталями; 6 – кассета с заготовками; 7 – тактовый стол с кассетой

Для обеспечения взятия заготовки и укладки обработанной детали в гнездо кассеты система управления РТК предусматривает позиционно-управляемое перемещение роботом вдоль портала и по-

зиционно-управляемое перемещение кассеты перпендикулярно оси портала. Цикл работы робота аналогичен приведенному выше (рис. 6.13). Верхнее расположение робота обеспечивает свободный доступ к станку, рациональное использование производственной площади, необходимый обзор рабочей зоны в процессе загрузки (разгрузки).

Недостатком подобного РТК является значительное транспортное перемещение робота, что уменьшает эффективность использования РТК для деталей, время обработки которых меньше времени цикла перемещения робота.

Напольное расположение робота (рис. 6.14) может применяться в РТК, включающих станки различных технологических групп (токарных, фрезерных, многооперационных). Цикл работы РТК аналогичен приведенному выше (рис. 6.12 и рис. 6.13).

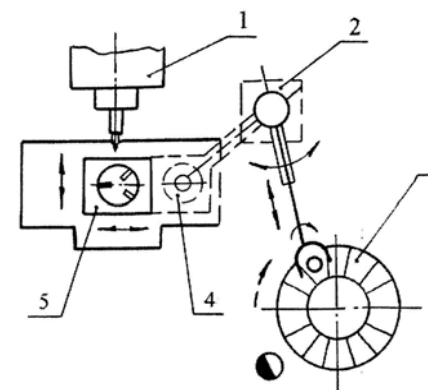


Рис. 6.14. Схема РТК с напольным расположением робота:

- 1 – шпиндель станка; 2 – робот; 3 – накопитель; 4 – позиция стола при установке заготовки роботом; 5 – стол станка

При длительном машинном времени обработки заготовки детали, когда робот значительное время будет простаивать в позиции ожидания, целесообразно создание РТК, включающего несколько единиц технологического оборудования однородных или разнородных групп. Схема одного из таких РТК для токарной обработки валов приведена на рисунке 6.15.

Цикл работы РТК осуществляется следующим образом. Схват 5 робота 3 вынимает из гнезда накопителя 1 заготовку и перемещается на позицию ожидания к первому станку. По окончании обработ-

ки робот снимает обработанную деталь и устанавливает на ее место заготовку, затем поворачивает деталь на 180° и перемещается на позицию ожидания ко второму станку. По окончании обработки на втором станке робот снимает обработанную деталь и устанавливает на ее место заготовку, обработанную на первом станке. Затем робот перемещается к накопителю 4 и укладывает в него обработанную деталь, после этого перемещается к накопителю 1. Далее цикл повторяется.

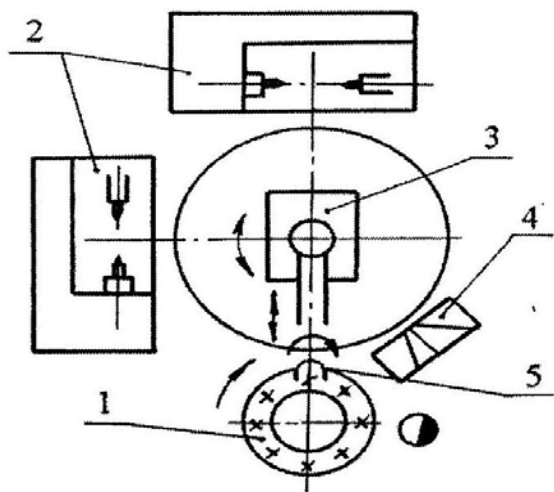


Рис. 6.15. Схема РТК, включающего 2 единицы технологического оборудования:  
1 – накопитель заготовок; 2 – станки; 3 – робот; 4 – накопитель обработанных деталей; 5 – схват робота

Следует отметить, что РТК, схема которого приведена на рисунке 6.15, обычно создают для токарной обработки валов с двух сторон. При этом во избежание простоя оборудования длительность обработки резанием на каждом станке должна быть одинаковой и достаточной для выполнения роботом операций, связанных с установкой заготовок и снятием деталей.

Станки, входящие в состав РТК, должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) автоматический зажим и разжим заготовки;
- 2) автоматический подвод (отвод) ограждения;

3) наличие датчиков, фиксирующих нахождение в приспособлении заготовки или детали;

4) оснащение системой ЧПУ и электроавтоматикой, обеспечивающими диалог «станок– робот»;

5) автоматическая смена инструмента;

6) автоматическая уборка стружки;

7) автоматический контроль износа инструмента и подналадка станка. Промышленный робот, входящий в состав РТК, оснащается, как правило, датчиками внешней информации и помимо загрузки – разгрузки станков может обеспечивать выполнение многих операций, включая поиск деталей в накопителе, измерение обработанных деталей или заготовок, отбраковку заготовок, межстаночное транспортирование и складирование деталей.

Технологические процессы обработки заготовок деталей на РТК должны предусматривать:

а) использование принципа групповой технологии, состоящего в том, что каждая заготовка деталей, подлежащая обработке на РТК, включается в одну из групп однородных деталей. Группирование производится как по технологическим, так и по конструктивным признакам, поскольку общность технологических признаков деталей в одной группе необходима для возможности применения унифицированных приспособлений и инструментальных наладок станка, а общность конструктивных признаков – для унифицированных захватных устройств промышленного робота;

б) максимальную концентрацию переходов, интенсификацию режимов резания;

в) минимальные затраты времени на смену инструмента, холостые перемещения исполнительных органов станка;

г) предварительную отработку всех технологических решений, включая обеспечение требуемой точности, испытание предельных режимов резания и стойкости инструмента, формирование и отвод стружки и др.

Следует отметить, что РТК используется для обработки деталей, размер партий запуска которых составляет около 100 штук и более,



а также малых партий, но с относительно большой трудоемкостью обработки, обеспечивающей работу РТК без переналадки в течение не менее одной смены.

**Замена режущего инструмента.** Уменьшение количества операций механической обработки за счет концентрации технологических переходов при обработке на станках с ЧПУ и снижение на этой основе затрат времени на межоперационное транспортирование, установку заготовок и снятие деталей возможно лишь при использовании широкой номенклатуры режущего инструмента и автоматизации его смены.

Автоматизация смены инструмента в станках с ЧПУ осуществляется двумя путями:

- 1) использованием револьверных головок;
- 2) использованием магазинов инструментов.

Револьверная головка может содержать от 6 до 16 инструментов и используется, в основном, в станках с ЧПУ токарной и сверлильной групп. В револьверных головках токарных станков размещаются резцы (резцовые блоки) и осевой режущий инструмент. Смена инструмента осуществляется за счет автоматического поворота револьверной головки на заданную в управляющей программе позицию.

Достоинством револьверных головок является следующее:

- а) простота конструкции и высокая надежность в работе;
- б) быстрота смены инструмента (3...5 с).

К недостаткам револьверных головок относят:

- 1) малую емкость, что ограничивает технологические возможности станков;
- 2) значительные габариты, снижающие эффективность использования рабочего пространства станка и приводящие к увеличению габаритных размеров оборудования.

Магазины инструментов устанавливаются на многооперационных станках типа «обрабатывающий центр», а также на одноинструментальных станках (консольно-фрезерных, координатно-расточных и др.). Оснащение металлорежущих станков магазина-

ми инструментов предусматривает использование устройств автоматического поиска инструмента, перемещения его из гнезда магазина на позицию к шпинделю станка (совмещенного во времени с обработкой заготовки) и автоматической смены инструмента в шпинделе станка. Совмещение во времени вспомогательных перемещений с машинным временем работы станка позволяет довести время смены инструмента до 3...10 с.

В шпинделях станков, оснащаемых магазинами инструментов, устанавливаются механизмы автоматической ориентации шпинделя по углу и автоматического зажима (разжима) инструмента.

К конструкциям магазинов инструментов предъявляются следующие основные эксплуатационные требования:

- а) транспортирование очередного инструмента в зону, удобную для установки в шпиндель;
- б) удобство загрузки магазина инструментами;
- в) предохранение инструментальных оправок от попадания стружки и других загрязнений.

По конструктивному исполнению магазины инструментов подразделяются на барабанные и цепные, встроенные и отдельно расположенные.

Магазины барабанного типа по достоинствам и недостаткам подобны револьверным головкам. Такие магазины обычно располагают на боковых поверхностях колонн или на шпиндельной бабке станка (рис. 6.16). Это упрощает механизм подачи инструмента из магазина в шпиндель и сокращает время на перемещение шпинделя в позицию смены инструмента.

Цепные магазины располагают на колонне станка (рис. 6.17) либо отдельно от него. Инструмент в магазинах размещается вместе с инструментальными оправками. При установке инструмента в магазин происходит его ориентация по углу.

Емкость магазина может составлять от 12 до 300 инструментов. Однако оптимальной для автономного магазина считается вместимость на 60...100 инструментов. Увеличение числа инструментальных гнезд магазина ограничено возможностями конструктив-

ного исполнения станка. С увеличением емкости магазина инструментов растут металлоемкость и габариты станка, увеличивается его стоимость, снижается скорость перемещения цепи и возрастает время поиска инструмента.

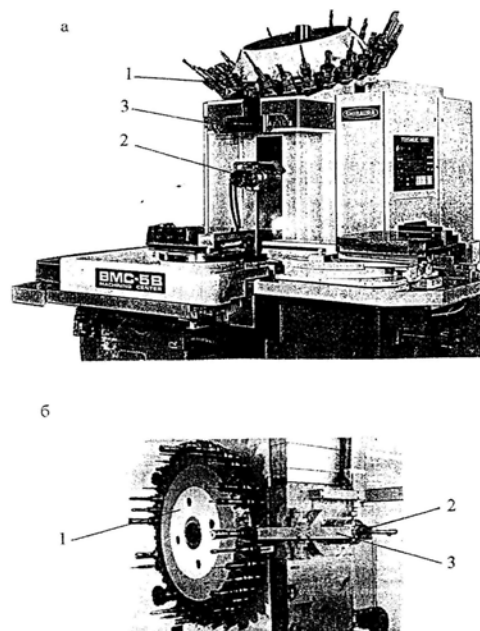


Рис. 6.16. Конструктивное исполнение инструментальных магазинов барабанного типа в обрабатывающих центрах:

а – с вертикальной осью вращения барабана; б – с горизонтальной осью вращения барабана; 1 – инструментальный магазин; 2 – шпиндель станка; 3 – автооператор

Для перегрузки инструментальных оправок из магазина в шпиндель и из шпинделя в магазин используют специальные механизмы – автооператоры (рис. 6.16 и рис. 6.17). Схема работы автооператора является общепринятой для большинства станков, а его конструкция – наиболее отработанной. В станках с отдельно расположенными цепными магазинами для транспортирования инструмента к шпинделю используются специальные автоматические тележки, которые подают заданный управляющей программой инструмент на позицию ожидания во время обработки заготовок деталей.

Поиск в магазине инструмента, указанного в управляющей программе обработки, может осуществляться двумя путями:

- 1) кодированием номера позиции гнезда магазина;
- 2) кодированием инструментальной оправки.

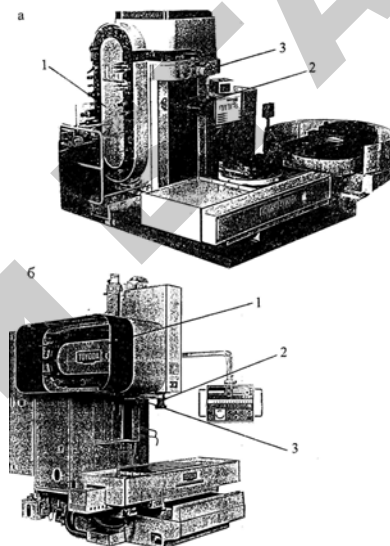


Рис. 6.17. Конструктивное исполнение обрабатывающих центров со встроенными цепными магазинами:

а – горизонтального типа;  
б – вертикального типа;  
1 – инструментальный магазин;  
2 – шпиндель станка;  
3 – автооператор

При кодировании номера позиции гнезда магазина инструментов движение барабана или цепи кинематически связано с датчиком, контролирующим угловое положение диска или шага цепи. Каждый инструмент в этом случае должен устанавливаться в строго отведенное для него гнездо, так как в управляющей программе обработки заготовки детали указывается номер гнезда магазина инструментов.

Кодирование инструментальных оправок осуществляется с помощью кодовых колец, устанавливаемых на шейку оправки.

Каждая инструментальная оправка, устанавливаемая в магазин, несет свой набор кодовых колец. При перемещении цепи специальный датчик считывает код, набранный на проходящей мимо него оправке. Если код оправки совпадает с кодом, заданным в управляющей программе, то датчик подает сигнал на остановку перемещения цепи. После выполнения обработки данным инструментом

он вместе с оправкой возвращается не в прежнее гнездо магазина, а в гнездо той оправки, которая сменяет в шпинделе этот инструмент. Таким образом, расположение оправок в гнездах магазина не является постоянным.

Достоинством метода кодирования инструментальных оправок является отсутствие потребности в дополнительном движении магазина для поиска гнезда, в которое необходимо установить отработавший инструмент, что сокращает время смены инструмента. Однако такие недостатки, как сложность инструментальных оправок, длительное время поиска инструмента из-за того, что магазин все время вращается в одном направлении, невозможность использования инструмента с диаметром, превышающим величину шага между гнездами, накладывают ограничения на применение метода кодирования инструментальных оправок.

Следует отметить, что независимо от метода кодирования и конструктивного исполнения механизмов поиск инструмента происходит во время обработки детали.

**Автоматизация производственных процессов с гибко переналаживаемой технологией механической обработки.** Станки с ЧПУ позволяют автоматизировать процессы механической обработки в условиях любого типа производства. Гибкость систем с ЧПУ и возможность подключения станков к общей системе управления от одной ЭВМ создают предпосылки использования этих станков в условиях массового производства.

Эффективность использования станков с ЧПУ достигается за счет концентрации операций и повышения производительности обработки, снижения затрат на технологическую оснастку, уменьшения потерь от брака, сокращения производственного цикла и производственных площадей. В условиях мелкосерийного и серийного производства доля машинного времени обработки в штучном времени на универсальных станках составляет 20...40 %, а на станках с ЧПУ она увеличивается до 50...70 %. Точность позиционирования заготовок деталей составляет  $\pm 0,01$  мм, а повторной установки –  $\pm 0,0025$  мм. Точность обработки на современных таких станках может достигать 7-го качества.

Применение станков с ЧПУ взамен универсальных с ручным управлением позволяет в несколько раз уменьшить трудоемкость изготовления деталей, главным образом, за счет значительного со-

кращения затрат времени на переустановку заготовки и вспомогательные перемещения исполнительных органов станка. Вместе с тем внедрение станков с ЧПУ не решает проблемы автоматизации ряда ручных операций, связанных с изготовлением деталей как внутри партии, так и с переходом на обработку следующих партий заготовок. Частая переналадка станков с ЧПУ приводит к существенным потерям времени работы этих станков.

В мелкосерийном производстве коэффициент загрузки станков с ЧПУ составляет (в среднем) 0,4...0,6, а коэффициент сменности – не более 1,6. При обработке заготовок партиями 95 % времени производственного цикла они ожидают своей обработки и только 5 % времени занимает их обработка на станке.

Для повышения отдачи от дорогостоящих станков с ЧПУ их оснащают автоматическими устройствами загрузки заготовок и удаления обработанных деталей, увеличивают число инструментов в магазине станка и автоматизируют разработку управляющих программ. В настоящее время имеются станки с накопителями заготовок, устройствами автоматического контроля состояния инструмента и подналадки операции. Эти станки позволяют осуществлять обработку заготовок деталей в течение определенного времени без участия человека.

Дальнейшей автоматизации оборудования способствовали достижения в развитии микроэлектроники и робототехники. К важнейшим из них относятся:

- 1) совершенствование систем ЧПУ, внедрение систем со встроенными микроЭВМ (типа CNC);
- 2) появление отработанных и надежных конструкций промышленных роботов с программным управлением;
- 3) развитие систем комплексной автоматизации конструкторских и технологических работ.

К новым организационно-техническим формам использования автоматизированного оборудования можно отнести гибкие производственные системы (ГПС). Главной составляющей ГПС является высокопроизводительное технологическое оборудование с программным управлением, способное работать в автоматическом режиме без участия человека на протяжении длительного времени.

Основным технологическим оборудованием для ГПС является гибкий производственный модуль (ГПМ).

Гибкий производственный модуль представляет собой единицу технологического оборудования с программным управлением, автономно функционирующую, автоматически осуществляющую все функции, связанные с изготовлением изделий произвольной номенклатуры, и имеющую возможность встраивания в гибкую производственную систему.

Гибкие производственные модули создаются на базе многооперационных станков с ЧПУ путем автоматизации всех вспомогательных операций, связанных с изготовлением деталей в пределах партии или технологической группы деталей, для обеспечения работы в «безлюдном» режиме в течение определенного времени (например, в течение смены или нескольких смен).

Для реализации в ГПМ «безлюдной», гибко переналаживаемой технологии обработки необходимо автоматизировать некоторые виды работ, которые на станках с ЧПУ выполняет, как правило, рабочий-оператор. К этим видам работ относят:

- 1) загрузку заготовок на станок и снятие обработанных деталей;
- 2) смену изношенного инструмента; замену станочного приспособления;
- 3) измерение размеров обрабатываемых поверхностей и подналадку станка путем ввода коррекции на инструмент;
- 4) контроль качества обработки и наблюдение за работой станка;
- 5) включение начала работы станка;
- 6) смену управляющей программы.

При этом ГПМ оснащают:

- 1) накопителем заготовок для обеспечения загрузки станка в течение заданного времени;
- 2) системой автоматической смены заготовок на станке;
- 3) системой автоматического определения состояния режущего инструмента, подналадки или его замены;
- 4) системой автоматического контроля и коррекции точностных параметров обрабатываемых поверхностей детали;
- 5) библиотекой для хранения и воспроизведения нескольких десятков различных управляющих программ;
- 6) адаптивной системой, обеспечивающей автоматическое управление режимами обработки с учетом характера процесса резания и состояния системы «станок–приспособление–инструмент–заготовка».

Помимо перечисленных систем, для реализации «безлюдной» технологии необходим еще автоматический контроль режущего инструмента. Целями создания системы такого контроля являются автоматическое определение фактического состояния режущего инструмента при его работе на ГПМ и автоматическая замена инструмента при потере им заданных режущих свойств.

Каждый инструмент имеет определенный ресурс работы от переточки до переточки, называемый стойкостью инструмента. Стойкость инструмента определяется временем непосредственной работы инструмента на станке, начиная с момента его установки,

$$T = \sum_{i=1}^k n_i t_i, \quad (6.6)$$

где  $t_i$  – время резания при выполнении инструментом  $i$ -го перехода;  $n_i$  – количество переходов.

Определение фактической режущей способности инструмента на ГПМ осуществляется одним из трех способов:

- 1) планированием периода стойкости инструмента;
- 2) измерением величины износа инструмента;
- 3) измерением сил резания или уровня вибраций.

*Способ планирования периода стойкости инструмента* является наиболее простым и легко реализуемым. Сущность этого способа состоит в том, что расчетный период стойкости программируется и, по мере вступления инструмента в работу, рассчитывается время его контакта с заготовкой детали. Расчет производится по заданным в управляющей программе величинам минутной подачи и рабочего хода инструмента. Система управления все время вычитает из запрограммированного периода стойкости каждого в отдельности инструмента время его фактической работы. Если сумма времени контакта инструмента с заготовкой детали равна запрограммированному периоду стойкости, то система управления подаст сигнал на подналадку или смену инструмента (рис. 6.18).

Этот способ характеризуется простотой реализации и низкими затратами. Однако при этом инструмент нельзя использовать оптимально, поскольку его фактическая стойкость может изменяться из-за колебания твердости, структуры металла резца и заготовки, неоднородности состава, наличия инородных включений и т. д.

Как показывает практика процесс резания носит нестационарный характер, а фактическая стойкость инструмента может отличаться от запрограммированной в 1,5...3 раза. Способ планирования стойкости инструмента из-за этого недостатка преимущественно используют при чистовой обработке.

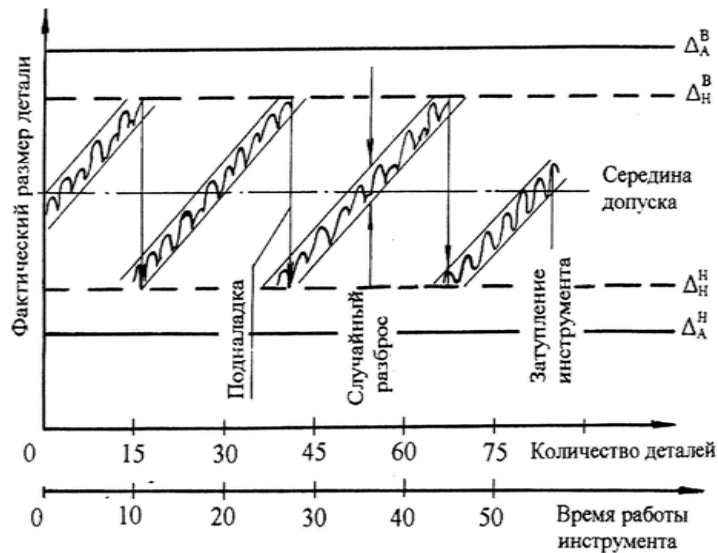


Рис. 6.18. Схема подналадки ГПМ при обработке одним из инструментов

Способ измерения величины износа инструмента основан на использовании технологического критерия, позволяющего оценить состояние режущего инструмента с позиции получаемой точности детали. Согласно этому критерию инструмент требует поднастройки или замены, если в результате его износа не обеспечиваются требуемые размеры детали или шероховатость поверхности в заданных пределах

$$\Delta_{\dot{A}}^i < \Delta_{\dot{A}} < \Delta_{\dot{A}}^{\dot{A}}, \quad (6.7)$$

где  $\Delta_{\dot{A}}^i$  и  $\Delta_{\dot{A}}^{\dot{A}}$  — допустимые нижнее и верхнее предельные отклонения;  $\Delta_{\dot{A}}$  — фактическое отклонение параметра точности обработки поверхности детали.

При этом возможно измерение (непосредственное и косвенное) величины износа режущей кромки. При непосредственном измерении определяется положение режущей кромки относительно выбранной точки отсчета (вершина резца, ширина ленточки и др.). По измеренной величине износа проводится коррекция фактического положения режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности.

Косвенное измерение основано на измерении фактических размеров обрабатываемой заготовки детали, по которым рассчитывается величина износа инструмента. Наиболее распространенными средствами контроля точности поверхностей деталей являются датчики касания, устанавливаемые на неподвижных частях станка или на схвате робота. Перед снятием детали щуповая головка датчика измеряет фактический размер. По результатам замера подсчитывается сумма величин коррекции инструмента и по достижении запрограммированной величины коррекции выдается сигнал на ввод коррекции положения инструмента или на его замену.

Достоинством способа измерения величины износа инструмента является надежность в определении состояния инструмента, так как допустимую величину его износа закладывают непосредственно в программу. Однако системы реализации этого способа сложны и требуют соответствующего обслуживания.

В отличие от большинства станков с ЧПУ, где функции замера обработанных поверхностей деталей и ввода коррекции выполняет рабочий-оператор, на ГПМ система активного контроля выполняет следующие функции:

- 1) замер изделия или инструмента;
- 2) расчет коррекции инструмента;
- 3) ввод величины коррекции в память устройства ЧПУ.

Способ измерения сил резания или уровня вибраций основан на косвенном измерении величин деформации, происходящей под действием усилий резания. По мере затупления инструмента увеличиваются силы резания. Окончание периода стойкости инструмента характеризуется увеличением силы резания до определенной величины. При этом способе используется особенность процесса резания, характеризующаяся тем, что, например, при чистовой обточке с подачей менее 0,1 мм/об разброс значений силы резания составляет лишь 10 % и с увеличением подачи быстро уменьшается.

В связи с этим имеется возможность выявлять степень износа, выкрашивание режущего инструмента и влияние других факторов, которые изменяют усилие резания. Измерение сил резания в процессе обработки заготовки и сравнение их с силами при работе острым, т. е. новым инструментом позволяют определить относительное приращение нагрузки на инструмент, а, следовательно, и степень затупления инструмента по мере его использования.

Для измерения сил резания используются различные по конструкции динамометрические узлы, столы и опоры.

Наиболее простым способом измерения усилий, при котором не требуется конструктивного изменения узлов станка, является измерение мощности главного привода и двигателей по каждой из управляемых координат станка. Получение одновременной информации с электродвигателей и оценка ее с помощью встроенной в ГПМ микроЭВМ позволяет судить о составляющих силы резания при обработке заготовки различным инструментом (фрезами, резцами, сверлами и др.). Однако этот способ нельзя применять при чистовой обработке, поскольку в этом случае мощность на преодоление сил трения и инерции в узлах привода станка соизмерима с мощностью резания.

Для измерения усилий резания или колебаний часто используют активные пьезоэлектрические датчики. Они могут устанавливаться в шпиндельном узле, на валу привода шариковой винтовой пары и т. п.

Автоматическая замена изношенного инструмента (или полуманного) выполняется различными способами.

Наиболее распространенным способом является использование магазина инструментов станка такой емкости, чтобы инструмента хватило для обеспечения работы ГПМ в «безлюдном» режиме в течение 2...3 смен. В этом случае в магазине инструментов или револьверной головке размещаются дублиеры быстроизнашиваемого инструмента и запасной инструмент. После выработки ресурса инструмента по программе в работу вводится инструмент-аналог, размещенный в другом гнезде этого же магазина. Высокая надежность этого способа определила его широкое использование на всех видах ГПМ.

Другим способом замены изношенного инструмента является использование сменных магазинов с установленными в них и настроенными на размер инструментами. В этом случае предпочтитель-

но такой подбор инструмента для обработки и такое распределение операционных переходов, при которых ресурс работы каждого инструмента обеспечивал бы обработку одинакового количества заготовок деталей. Для смены магазинов используются специальные автоматически действующие устройства.

В ГПМ токарной группы наиболее широко распространен способ замены резцовых блоков и головок резцов, а также режущих пластин. Для обеспечения автоматической смены инструмента по этому способу требуется применение резцов и резцовых блоков специальной конструкции (рис. 6.19 и рис. 6.20), а также системы смены инструмента, состоящей из инструментального магазина, автооператора, устройства зажима (разжима) резцовой державки. Инструментальный магазин и автооператор устанавливаются обычно на продольной каретке суппорта и перемещаются вместе с ней по оси  $Z$ . Устройство зажима резцовой державки располагают на поперечной каретке суппорта, перемещающейся по осям  $X$  и  $Z$ .

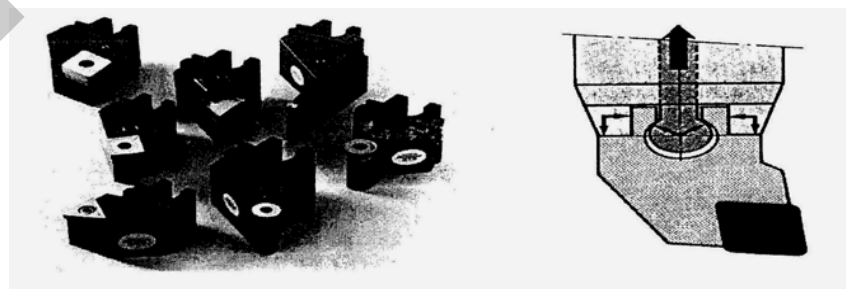


Рис. 6.19. Фотография резцовых блоков и схема их закрепления в устройствах для автоматической смены инструмента

Для автоматической смены пластин из твердого сплава требуются сложные устройства, поэтому этот способ не получил широкого применения.

Для зажима (разжима) резцовых державок и резцовых головок разработаны специальные винтоверты и гидрозажимные устройства, действующие автоматически по программе.

Перед установкой инструмента в магазин на специальных приборах размерной настройки проводят его предварительную настройку на размер. На ГПМ токарной группы в настоящее время проводят на-

стройку инструмента на размер на самом станке. При этом используется метод автоматического расчета, допускающий произвольную установку инструмента. Так, инструмент устанавливается и закрепляется в заданных позициях, затем вершина инструмента при помощи маховичка генератора импульсов подводится под перекрестие оптического устройства (неподвижную точку координатной системы станка). Координаты перекрестия оптического устройства введены в систему управления станком (поэтому установочные размеры инструмента, подведенного в перекрестие, рассчитываются автоматически) и после включения станка поступают в запоминающее устройство. Информация, хранящаяся в запоминающем устройстве, используется для расчета траектории режущей кромки или перемещения инструментального суппорта при вызове любой программы из архива программ. Точная установка инструмента обеспечивается путем ввода данных коррекции на размер.

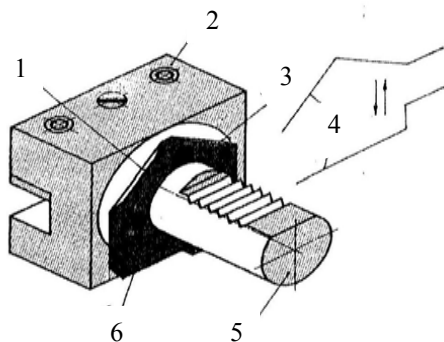


Рис. 6.20. Вариант конструктивного исполнения автоматически сменяемой резцовой державки:

1,3,6 – поверхности захвата роботом; 2 – резцовая головка; 4 – схваты робота; 5 – хвостовик для крепления

**Автоматический контроль качества обработки.** Организация «безлюдной» технологии требует оснащения ГПМ системами автоматизированного контроля качества обработки и подналадки режимов или режущего инструмента.

Это позволяет:

1) реализовать необходимую точность обработки с учетом состояния системы «станок – приспособление – инструмент – деталь»;

2) получить информацию о точности установки режущего инструмента и заготовки на станке, а также о размерном износе этого инструмента;

3) осуществить автоматический контроль поверхности заготовки детали непосредственно на станке и по результатам измерения выполнить соответствующую коррекцию величины износа инструмента;

4) определить фактические размеры заготовки для автоматического расчета соответствующих режимов обработки.

Системы автоматического измерения и коррекции, включающие специальные измерительные устройства, смонтированные в инструментальной оправке, которая помещается в магазин инструмента, получили широкое распространение в промышленности.

В ГПМ, оснащенных промышленными роботами для установки заготовок и снятия деталей, контроль размера обработанной поверхности целесообразно осуществлять измерительным щупом, установленным непосредственно на схвате робота. Если фактический размер заготовки выходит за пределы допустимого, то деталь отбраковывается и подается сигнал на подналадку инструмента. При измерении отверстий щуп устройства касается последовательно двух противоположных сторон отверстия. Измеряемый размер отверстия соответствует величине перемещения щупа между двумя точками касания.

Система автоматического измерения сравнивает фактический диаметр обработанного отверстия с заданным в программе диаметром и выдает команду на продолжение обработки, на повторную обработку с коррекцией или подает сигнал о наличии брака. Аналогичным образом производится измерение других видов поверхностей.

Команда на осуществление контроля включается в управляющую программу обработки. Его можно осуществлять по окончании обработки, после предварительной обработки или непосредственно перед выполнением чистовой обработки поверхности. На основе результатов измерения фактической точности предшествующего перехода в размеры настройки инструмента, заданные в программе для последующих переходов, вводится необходимая коррекция. Такой подход к построению систем автоматизации контроля качества обработки гарантирует получение требуемой точности поверхности обработки.

Во время работы системы автоматизированного контроля гибкий производственный модуль (поскольку продукцию не производит) превращается из обрабатывающего комплекса в измерительный. Поэтому в создании гибких производств, состоящих из нескольких ГПМ, наметилась тенденция развития систем автоматизированного контроля качества обработки вне станка. Для этого используют специальные измерительные машины, отличающиеся высокой точностью измерения и быстродействием.

**Адаптивное управление процессом обработки.** Под адаптивным управлением ГПМ понимается управление исполнительным устройством модуля с автоматическим изменением управляющей программы и учетом контролируемых параметров состояния внешних факторов.

При формообразовании поверхностей деталей на оборудовании с числовым программным управлением описание геометрии заготовки увязывают с координатной системой станка. Размеры заготовки, получаемые в результате ее обработки, представляют собой замыкающие звенья технологических размерных цепей системы «станок–приспособление–инструмент–деталь» (СПИД). В процессе резания в системе происходят силовые и тепловые явления, влияние которых на точность обработки проявляется через размерные связи. В результате нарушается относительное положение заготовки детали и инструмента, заданное при статической настройке. Для создания возможности компенсации этого отклонения необходимо иметь информацию о его величине и направлении в каждый момент времени обработки. Имея такую информацию, можно осуществлять поднастройку статического положения инструмента программным путем. Например, при обточке нежесткого вала можно в процессе обработки измерять величину деформации в системе СПИД путем непрерывного замера диаметра заготовки детали. Если полученную информацию преобразовывать в электрические сигналы и сравнивать их с заданными программой обработки, то величину деформации заготовки детали в каждом сечении по ее длине можно компенсировать смещением статически настроенного положения резца относительно оси вращения заготовки. Таким образом, погрешность обработки, вносимая динамической податливостью системы СПИД, компенсируется.

Адаптивное управление процессом обработки позволяет решать и другие задачи, связанные с воздействием на процесс обработки и учетом влияния случайных факторов. К таким задачам относится оптимизация обработки путем контроля и поддержания в заданных пределах параметров процесса резания (силы резания, крутящего момента, температуры, скорости резания и др.), а также автоматического адекватного изменения режимов. Например, при выполнении операций сверления значительную часть рабочего хода инструмента составляет величина врезания сверла в материал (при сверлении листовых материалов эта величина может составлять 50 % и более). Поскольку при врезании сверла ширина среза меньше расчетной, то возможности инструмента в этом случае полностью не используются и имеет место потеря производительности. Для оптимизации процесса резания и повышения производительности обработки контролируют величину крутящего момента на шпинделе станка и, при ее отклонении от заданного значения изменяют осевую подачу сверла. Подобное управление позволяет учитывать такие факторы, как затупление инструмента, твердость поверхности заготовки и др.

Информация о величине крутящего момента может быть получена непосредственно со шпинделя станка или с одного из валов коробки скоростей с помощью тензометрических датчиков.

Аналогично может контролироваться мощность привода. Оснащение станка адаптивной системой с получением информации по мощности позволяет получить оптимальное использование мощности привода.

Несмотря на различия в назначении и конструктивном исполнении адаптивных систем управления принцип их работы можно представить в виде функциональной схемы (рис. 6.21).

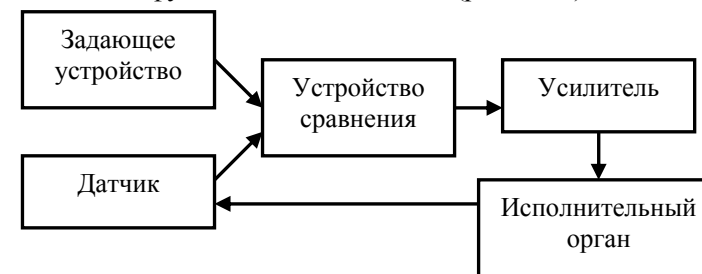


Рис. 6.21. Функциональная схема адаптивной системы управления



Как правило, система адаптивного управления характеризуется наличием трех потоков информации:

- 1) от задающего устройства;
- 2) от датчика обратной связи;
- 3) от устройства сравнения.

Датчик измеряет действительную текущую величину контролируемого параметра технологического процесса и вырабатывает соответствующий сигнал, поступающий в устройство сравнения. При несовпадении этого сигнала с сигналом, поступающим от задающего устройства, на выходе устройства сравнения появляется сигнал рассогласования, который, воздействуя на исполнительный орган, обеспечивает поддержание контролируемого параметра в заданных пределах.

### **6.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

#### **6.3.1. Особенности автоматизации сборочного производства**

Трудоемкость сборочных работ в машиностроении составляет 20...50 % от общей трудоемкости изготовления машин. В массовом производстве трудоемкость сборочных работ занимает 20 % от общей трудоемкости изготовления грузового автомобиля, в единичном и серийном производстве – 40...60 % от общей трудоемкости изготовления машины. На машиностроительных заводах из всего объема сборочных работ механизировано только 15...20 %, а остальная часть сборочных операций выполняется вручную.

В машиностроении очень незначительное применение имеет автоматическая сборка (примерно 6 % от всех видов сборки). Поэтому необходимо сокращать трудоемкость сборочных работ путем их механизации и автоматизации. Сборочные процессы в машиностроительной промышленности отстают в области механизации и автоматизации от технологических процессов механической обработки деталей. Механизация и автоматизация сборочных процессов повышают производительность труда рабочих, улучшают условия их работы, сокращают число рабочих-сборщиков, повышают качество продукции, уменьшают удельную площадь цеха под сборку, снижают себестоимость выпускаемой продукции.

Применение малой автоматизации сборочных процессов, при которой производится автоматизация отдельных сборочных операций, дает небольшой эффект. При этом улучшается качество собираемых изделий, облегчаются условия труда рабочих, но их число не уменьшается.

Комплексная автоматизация всех основных и вспомогательных сборочных работ является высшей ступенью автоматизации. При этом производится автоматизация всех операций сборки узла или изделия с применением сборочных автоматов или автоматических линий, выполняющих сборку без участия человека. Функции рабочих-наладчиков сводятся к наблюдению за правильной работой автоматических сборочных устройств, их подналадкой и загрузкой бункеров деталями.

Наибольший технико-экономический эффект при комплексной автоматизации сборочных процессов достигается применением автоматических сборочных линий для выполнения всего комплекса сборочных операций.

Широкое применение механизации и автоматизации сборочных процессов имеет место в массовом производстве, меньшее – в серийном производстве, незначительное – в единичном производстве. Низкая степень механизации и автоматизации сборочных процессов в машиностроении объясняется недостаточной технологичностью собираемых изделий, отсутствием типовых устройств для автоматизации сборки, нестабильностью размеров собираемых деталей изделия. Так, конструкция машины, хорошо собираемая при ручной сборке, может оказаться непригодной для перевода на автоматическую сборку. Внедрению автоматической сборки препятствуют отсутствие законченной научной методики по проектированию технологических процессов автоматической сборки узлов и машин, а также незначительное количество практически внедренных автоматизированных сборочных процессов.

Кроме того, препятствием для проведения работ по автоматизации процессов сборки является необходимость проектирования специальной оснастки и ее изготовления для каждого завода. Это затрудняет изготовление автоматизированных сборочных устройств и дорого обходится.

При разработке научных основ автоматизации сборочных процессов необходимо решить ряд проблем. К ним относятся: выбор опти-

мального процесса автоматизированной сборки, выбор наилучшей степени автоматизации сборки, обеспечение заданной точности, надежности и производительности устройств автоматической сборки, выбор типа конструкции и размеров сборочной оснастки, определение требуемого темпа сборочного оборудования. Все эти проблемы не имеют достаточно обоснованных научных решений и практических рекомендаций для внедрения в промышленность.

В процессе разработки научных основ автоматизации и механизации необходимо уделять должное внимание внедрению типовых и групповых технологических сборочных процессов. Типовые сборочные процессы применяются в крупносерийном и массовом производстве, а групповые – в серийном производстве.

Успешное внедрение типовых и групповых процессов автоматизированной сборки может осуществляться при проведении нормализации, унификации и улучшения технологичности собираемых узлов.

### **6.3.2. Механизация и автоматизация слесарно-сборочных операций**

При проектировании автоматизированных процессов сборки должны быть разработаны типовые сборочные устройства определенного назначения, из которых можно компоновать различные сборочные автоматы и автоматические линии. В этом случае значительно сокращаются трудоемкость и стоимость автоматизированных сборочных устройств и уменьшаются их сроки внедрения в производство.

В процессе проектирования компоновок сборочных автоматов и линий из типовых узлов следует использовать теорию размерных цепей для получения заданной точности и надежности сборки узлов.

Чтобы успешно автоматизировать серийное производство, необходимо разработать переналаживаемые сборочные автоматы с системами программного управления. Надежность работы автоматического сборочного оборудования и способы настройки сборочных автоматизированных устройств на предприятиях пока еще изучены недостаточно.

Технологические процессы сборки в массовом производстве основаны на принципе подвижно-поточной организации сборки машин, которая предусматривает следующее:

1) разделение всего технологического процесса сборки на ряд последовательно расположенных по времени и пространству сбо-

рочных операций, выполняемых операторами-сборщиками, которые на рабочем месте выполняют определенный комплекс сборочных работ;

2) применение специальных транспортных устройств для перемещения собираемых узлов между сборочными устройствами и обеспечения заданного темпа сборки;

3) применение специальных транспортных устройств для подачи деталей и узлов к главному сборочному конвейеру;

4) использование специальных и унифицированных инструментов и приспособлений для механизации и автоматизации технологического процесса сборки;

5) механическую обработку деталей и сборку узлов машин в механосборочных цехах. Например, механосборочный цех производит механическую обработку деталей и сборку двигателя автомобиля, цех задних мостов — механическую обработку деталей и сборку задних мостов автомобиля и т. д.

При такой организации производства поточная сборка всей машины на главном сборочном конвейере выполняется из готовых собранных узлов и агрегатов, соединяемых между собой крепежными деталями. Разделение сборки машин в массовом производстве на подузловую, узловую и общую позволяет на всех этапах сборки применять поточную сборку, в основном, на подвижных транспортных устройствах (конвейерах).

В массовом производстве механизация и автоматизация отдельных операций производятся путем оснащения их механизированным сборочным инструментом, электро- и пневмоподъемниками, а также специальными механизмами и устройствами для запрессовки, клепки, пайки, сварки, окраски и контроля собранного узла. В массовом производстве автоматизируется сборка простых и сложных узлов. Все приемы сборочных операций механизированы (например завинчивание гаек, болтов производится электроключами, подвешенными на специальных балансирах, закрепленных на устройствах, перемещающихся по монорельсу, расположенному над сборочным конвейером).

Вдоль поточной линии сборки размещаются подсобные рабочие места, на которых производится сборка отдельных подузлов коробок передач. В зависимости от вида сборки специальные сборочные стенды с пневматическими и эксцентриковыми прессами применя-

ются для запрессовки на валики шестерен, втулок. Испытание коробок скоростей производится на специальных стендах.

Для установки и фиксации собираемых изделий используют различные захваты, стенды, а также универсальные и специализированные приспособления с ручными или механизированными зажимными устройствами.

Наибольшее распространение при сборочных работах получили электрические и пневматические сверлильные и шлифовальные машины, а также гайковерты. При этом прессы и приспособления с ручным или механизированным приводом применяются, в основном, для сборки прессовых соединений.

На крупных ремонтных предприятиях организация поточной сборки изделий осуществляется с применением поточно-механизированных линий на основе эстакад с тележками (с ручным или механизированным перемещением изделия) и комплекта механизированных и автоматизированных средств технологического оснащения.

Поскольку конструкция изделий, собираемых путем ручной сборки, в большинстве случаев оказывается непригодной для автоматизированной сборки, то при ее организации требуется соответствующая переработка конструкции изделий. При этом:

- базовая деталь должна быть устойчивой, с низко расположенным центром тяжести;
- число направлений, в которых устанавливаются детали при сборке узла, необходимо уменьшить;
- на деталях следует создать искусственные технологические базы, позволяющие облегчить их ориентирование и соединение, (если для этого не могут быть использованы конструкторские базы);
- конструкции нескольких деталей желательно объединить в одну (более сложную), что позволяет уменьшить число сборочных операций, придать собираемым деталям симметричные и простые формы (это упрощает загрузочные, ориентирующие, фиксирующие и транспортирующие устройства), а также (по возможности) создать у деталей смещенный центр тяжести (это облегчит их ориентацию в загрузочных устройствах) и т. д.

При автоматизации сборочных процессов для обеспечения точности сборки наибольшее применение находит метод полной взаимозаменяемости, который обеспечивает наиболее простую конструкцию сборочного оборудования в сочетании с высокой производительностью и надежностью его работы.

Автоматизация сборки осуществляется с использованием сборочных машин двух типов: однопозиционных (для сборки узлов с малым числом составных деталей или для случая, когда собираются одинаковые детали и смонтировать их можно одновременно) и многопозиционных (допускающих параллельное выполнение разных по содержанию операций).

Сборка сложных изделий производится на автоматических сборочных линиях, состоящих из сборочных машин. Для сборки изделий, выпускаемых в большом количестве, применяются высокопроизводительные роторные автоматические линии, в состав которых входят сборочные и транспортные роторы, устройства автоматической загрузки собираемых деталей, контроля и т. д.

### **6.3.3. Механизация и автоматизация транспортных операций**

С помощью внутрицехового транспорта к рабочим местам станочников подаются заготовки деталей для обработки (к сборочным станкам – готовые детали), производится погрузка и перевозка материалов и готовых изделий, перемещается оборудование и т. п.

В настоящее время в качестве транспортных средств применяют оборудование и приспособления, без которых подъем и перемещение грузов по цеху, как правило, были бы невозможными. В качестве приводов для различных транспортных устройств в большинстве случаев используют электродвигатели переменного или постоянного тока, питание которых (при расположении их на подвижной платформе) выполняется с помощью гибких кабелей через троллейные устройства или от аккумуляторных установок. В отдельных случаях для привода транспортных или подъемных механизмов применяют поршневые пневматические или гидравлические устройства, питаемые сжатым воздухом от цеховой сети или от специальных гидравлических насосных установок. В качестве приводов для подъемных кранов и транспортных устройств также могут быть использованы ротационные гидравлические и пневматические двигатели (лопастные, шестеренные и т. п.).

Виды внутрицеховых транспортных средств очень разнообразны и применение тех или иных механизмов и приспособлений зависит от типа производства, характера изготавливаемых изделий, а также их габаритов и массы.

**Внутрицеховой транспорт в условиях индивидуального и мелкосерийного производства.** Транспортные операции в цехах индивидуального и мелкосерийного производства связаны с разнообразием номенклатуры изделий и их небольшим количеством в партиях. Сюда же относится сборка крупных единичных изделий. Оборудование в таких цехах располагается по группам, поэтому для подъема и перемещения деталей, сборочных единиц и машин по технологическому маршруту применяют преимущественно универсальные транспортные средства периодического действия (самоходные тележки, тельферы, краны и др.). Наиболее распространенным видом транспорта в цехах тяжелого и среднего машиностроения являются мостовые электрические краны. При этом используют и другие краны, имеющие меньшие размеры обслуживаемой площади. К этим кранам относятся: консольные поворотные краны; поворотные краны на колонне; велосипедные краны, которые могут передвигаться вдоль пролета, опираясь на нижний рельс и удерживаясь от опрокидывания с помощью верхнего рельса; полупортальные (козловые) краны, опирающиеся на два рельса, закрепленные на полу цеха и на кронштейнах стены.

Имеющиеся в цехах краны во многих случаях не могут полностью удовлетворить потребности производства в подъемно-транспортных средствах. Увеличение в пролетах числа кранов приводит к снижению маневренности. Кроме того, это не всегда возможно, поскольку многие подкрановые конструкции не рассчитаны на дополнительные нагрузки. Опыт некоторых предприятий показывает, что недостаточное количество подъемно-транспортных средств тормозит проведение механизации и автоматизации производства.

Многие предприятия внедряют на рабочих местах местные механизированные транспортные устройства, добиваясь такого положения, при котором изделия не задерживаются у рабочих мест, а перемещаются по ходу технологических процессов обработки и сборки.

К индивидуальным механизированным подъемным устройствам относят электрические, пневматические и гидравлические подъемники грузоподъемностью до 200 кг и более. Такие подъемники удобны в эксплуатации и могут разворачиваться вокруг своей оси.

**Внутрицеховой транспорт в условиях крупносерийного и массового производства.** В крупносерийном производстве машины изготавливают партиями, запускаемыми в соответствии с календарным графиком. В массовом производстве изготовление деталей и сборочные работы подчинены ритму потока, т. е. каждая операция выполняется в строго определенные отрезки времени. Поэтому движение деталей и процесс сборки машин осуществляются непрерывно или через определенные промежутки времени. Эта связь процесса производства с временем обуславливает применение в условиях крупносерийного и массового производства специфических транспортных средств, работающих непрерывно или по пульсирующему циклу. Во многих случаях цеховой транспорт в условиях массового производства является одним из звеньев технологической цепи линии. При этом транспортные устройства располагаются около оборудования и рабочих мест сборщиков стационарно, обеспечивая непрерывную передачу деталей на сборку от одной операции к другой.

В зависимости от массы и размеров деталей, объема производства и характера технологического процесса в производстве (крупносерийном и массовом) применяют несколько типов специальных транспортных средств (скаты, склизы, рольганги и конвейеры различных конструкций: напольные тележные – вертикально- и горизонтально-замкнутые; подвесные цепные; шагающие пульсирующие, ленточные, пластинчатые). Путем применения определенного транспортного устройства можно получить прямую или кольцевую линию потока с непрерывным или прерывистым (периодическим, пульсирующим) характером движения.

Скаты и склизы выполняют обычно в виде наклонных звеньев, внутренняя форма которых примерно соответствует форме детали, и служат для передачи деталей от одного рабочего места к другому (в автоматических линиях – от станка к станку).

Рольганги, или роликовые транспортеры, изготавливают в виде длинных роликовых столов, располагаемых вдоль рабочих мест, или в виде отдельных секций, установленных между соседними рабочими местами. Рольганги чаще всего применяют для транспортировки корпусных деталей и сборочных единиц, имеющих плоскую опорную поверхность, массой до 100 кг. При необходимости рольганги могут иметь разветвления, которые позволяют перемещать детали в нескольких направлениях.

Напольные тележечные вертикально-замкнутые конвейеры используют для прямых сборочных линий, у которых первая операция находится в начале конвейера, а последняя – в его конце.

Обратная ветвь этих конвейеров располагается под рабочей ветвью (над или под полом). Технологические операции можно выполнять по обе стороны конвейера. Эти конвейеры бывают с опрокидывающимися (как правило) и с неопрокидывающимися тележками. Такие конвейеры применяют в автомобилестроении для сборки агрегатов (двигателей, коробок передач, задних мостов, редукторов и др.).

Тележечные горизонтально-замкнутые конвейеры применяют для кольцевых сборочных линий, когда процесс сборки состоит из большого числа технологических операций, для выполнения которых по одной прямой линии потребовалась бы значительная длина цеха. Благодаря круговому движению у этих конвейеров используется вся длина ходовой части.

Тележки конвейеров изготавливают по размерам собираемых сборочных единиц или изделий и снабжают зажимными устройствами для закрепления. Такие конвейеры широко распространены в сборочных цехах непосредственно для процесса общей сборки, а также в качестве подвижных складов, непрерывно подающих детали и сборочные единицы к рабочим местам линии общей сборки.

Подвесные цепные конвейеры представляют собой замкнутые тяговые устройства в виде цепи с каретками, несущими подвески для грузов. Эти конвейеры широко применяются в поточном производстве для передачи деталей от одного рабочего места к другому, а также в другие цеха. У этих конвейеров каретки передвигаются по жестким направляющим, подвешенным к фермам, стенам или колоннам здания. Благодаря возможности передвижения по пространственной трассе с поворотами, подъемами и спусками подвесные конвейеры могут проходить над станками и рабочими местами, обходить проезды и проходы, что позволяет связывать транспортом производственные участки и цеха, расположенные в разных частях и этажах здания, а также в разных зданиях. Уклон

при подъемах и спусках конвейера допускается до  $45^\circ$ , радиус закругления – 1,0...1,5 м. Скорость тяговой цепи конвейера может составлять 1...25 м/мин (обычно 3...10 м/мин). Подвесные конвейеры особенно широко распространены на заводах сельскохозяйственного машиностроения, а также автомобильных и тракторных заводах.

Помимо этого применяются ленточные, пластинчатые и другие типы конвейеров, карусельные столы для сборки небольших изделий и т. п.

## ЛИТЕРАТУРА

---

1. *Маталин, А.А.* Технология машиностроения / А.А. Маталин. Л., 1985.
2. Машиностроение. Энциклопедия. В 40 т. Т.3. Технология изготовления деталей машин /; под общ. ред. А.Г. Сулова. М., 2002. .
3. Проектирование технологических процессов в машиностроении / И.П. Филонов [и др.]; под общ. ред. И.П. Филонова. Мн., 2003.
4. *Сулов, А. Г.* Научные основы технологии машиностроения / А.Г. Сулов, А.М. Дальский. М., 2002.
5. *Сулов, А.Г.* Технология машиностроения / А.Г. Сулов. М., 2004.
6. . Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. М., 2001. .
7. .Технология сельскохозяйственного машиностроения / Л.М. Кожуро [и др.]; под ред. Л.М. Кожуро. Мн., 2006.
8. Технология машиностроения / Л.В. Лебедев [и др.] . М., 2006.

## СОДЕРЖАНИЕ

---

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
РАЗДЕЛ 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	4
1.1. ИЗДЕЛИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ .....	4
1.1.1. Машина как объект производства .....	4
1.1.2. Функциональное назначение изделий машиностроения .....	7
1.1.3. Качество изделий машиностроения.....	8
1.1.4. Технологичность изделий машиностроения.....	12
1.2. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ .....	15
1.2.1. Производственный процесс .....	15
1.2.2. Технологический процесс .....	16
1.2.3. Параметры производственного и технологического процессов.....	22
1.2.4. Классификация производственных процессов .....	23
1.2.5. Классификация технологических процессов .....	25
1.3. ТИПЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	27
1.4. РАЗНОВИДНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ .....	34
1.4.1. Технологии получения заготовок .....	34
1.4.2. Технологии изготовления деталей.....	38
1.4.3. Технологии сборки машин .....	48
1.5. ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	50
1.5.1. Техническое нормирование.....	50
1.5.2. Показатели эффективности .....	53

1.6. ОХРАНА ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ.....	56
1.6.1. Опасные и вредные производственные факторы.....	56
1.6.2. Учет требований охраны труда при проектировании и организации технологических процессов.....	59
1.7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ.....	65
<b>РАЗДЕЛ 2.</b> <b>ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ</b> <b>КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ.....</b>	<b>68</b>
2.1. РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ.....	68
2.1.1. Разновидности размерных цепей.....	68
2.1.2. Методы расчета размерных цепей.....	70
2.2. БАЗИРОВАНИЕ.....	73
2.2.1. Разновидности баз.....	73
2.2.2. Методы базирования.....	83
2.3. ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ.....	87
2.3.1. Разновидности припусков.....	87
2.3.2. Методы расчета припусков.....	92
2.4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ.....	97
2.4.1. Точность механической обработки.....	97
2.4.2. Точность сборки.....	110
2.5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ.....	115
2.5.1. Геометрические характеристики поверхности.....	116
2.5.2. Структура и свойства поверхностного слоя.....	122
2.5.3. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей.....	124
<b>РАЗДЕЛ 3.</b> <b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ</b> <b>ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ</b> <b>МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....</b>	<b>125</b>
3.1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.....	125
3.1.1. Порядок проектирования технологического процесса обработки.....	125
3.1.2. Этапы проектирования технологического процесса обработки.....	126

3.1.3. Особенности проектирования типового технологического процесса обработки.....	137
3.1.4. Особенности проектирования группового технологического процесса обработки.....	139
3.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ.....	141
3.2.1. Порядок проектирования технологического процесса сборки.....	141
3.2.2. Этапы проектирования технологического процесса сборки.....	142
<b>РАЗДЕЛ 4.</b> <b>ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....</b>	<b>149</b>
4.1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ОБЩЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	149
4.1.1. Вали.....	149
4.1.2. Втулки.....	151
4.1.3. Детали узлов передач.....	154
4.1.4. Пружины и рессоры.....	165
4.1.5. Рычаги и вилки.....	167
4.1.6. Крестовины.....	168
4.1.7. Стины и рамы.....	170
4.1.8. Корпусные детали.....	171
4.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ.....	173
4.2.1. Корпусные детали.....	173
4.2.2. Детали шатунно-поршневой группы.....	175
4.2.3. Клапаны.....	180
4.2.4. Коленчатый и кулачковый валы.....	181
4.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ.....	184
4.3.1. Зубья и штифты.....	184
4.3.2. Диски.....	186
4.3.3. Лемеха, отвалы и полевые доски плугов и лапы культиваторов.....	189
4.3.4. Ножевые детали режущих аппаратов.....	192
4.3.5. Семяпроды и тукопроды.....	194
4.3.6. Шнеки.....	196

РАЗДЕЛ 5.	
СБОРКА ТИПОВЫХ УЗЛОВ МАШИН .....	197
5.1. СБОРКА УЗЛОВ ОБЩЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ .....	197
5.1.1. Разъемные соединения .....	199
5.1.2. Неразъемные соединения .....	209
5.1.3. Узлы с муфтами .....	214
5.1.4. Узлы с подшипниками .....	217
5.1.5. Узлы передач .....	219
5.2. СБОРКА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ .....	226
5.3. СБОРКА УЗЛОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ .....	231
РАЗДЕЛ 6.	
ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	236
6.1. РАЗНОВИДНОСТИ И ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА .....	236
6.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА .....	241
6.2.1. Станки с ручным управлением .....	241
6.2.2. Станки-автоматы и полуавтоматы .....	242
6.2.3. Автоматизация операций механической обработки .....	264
6.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	289
6.3.1. Особенности автоматизации сборочного производства .....	289
6.3.2. Механизация и автоматизация слесарно-сборочных операций .....	291
6.3.3. Механизация и автоматизация транспортных операций .....	294
ЛИТЕРАТУРА .....	299

Учебное издание

**Толочко Николай Константинович, Сергеев Леонид Ефимович**

## ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Конспект лекций*

Ответственный за выпуск В. М. Капцевич  
Редактор Н. Н. Акимов  
Компьютерная верстка А. И. Стебуля

Подписано в печать 21.01.2011 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 17,67. Уч.-изд. л. 13,81. Тираж 100 экз. Заказ 129.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.  
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.  
Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.