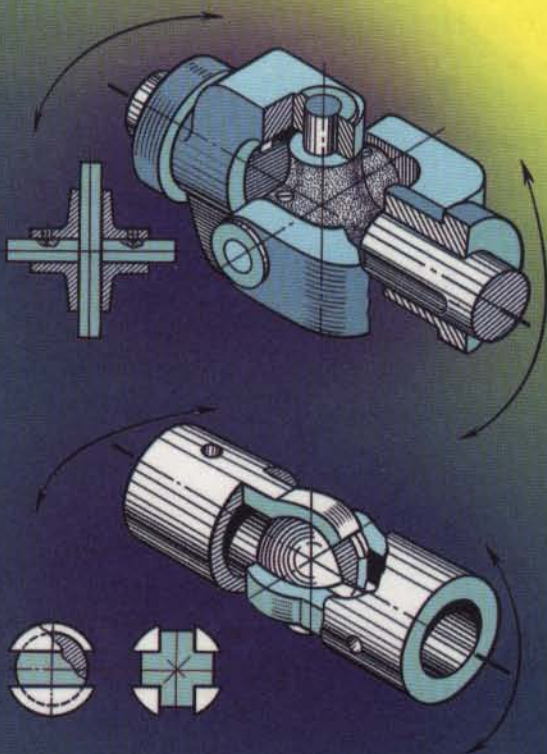


# УВ

УЧЕБНИК  
ДЛЯ ВУЗОВ

# 2



И.А. РОЙТМАН, В.И. КУЗЬМЕНКО

# ОСНОВЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ В ЧЕРЧЕНИИ

ГУМАНИТАРНЫЙ  
ИЗДАТЕЛЬСКИЙ  
ЦЕНТР

**ВЛАДОС**

УЧЕБНИК  
ДЛЯ ВУЗОВ

---

И.А. РОЙТМАН, В.И. КУЗЬМЕНКО

# ОСНОВЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ В ЧЕРЧЕНИИ

В двух книгах

## Книга 2

---

Рекомендовано Министерством образования  
Российской Федерации в качестве учебника  
для студентов высших учебных заведений

---

*Второе издание, переработанное и дополненное*



**Рецензенты:**

*В.И. Вышнепольский*, доцент кафедры начертательной геометрии  
и машиностроительного черчения Московской государственной академии  
тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова;  
*В.А. Гервер*, профессор, заведующий кафедрой начертательной геометрии  
и машиностроительного черчения Московского института связи

**Ройтман И.А., Кузьменко В.И.**

**Р65** Основы машиностроения в черчении: Учеб. для студ. высш. учеб. заве-  
дений: В 2 кн. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Гуманит. изд. центр  
ВЛАДОС, 2000. — Кн. 2. — 208 с.: ил.

ISBN 5-691-00449-2.

ISBN 5-691-00104-3(II).

Учебник знакомит студентов, изучающих машиностроительное черчение, с не-  
которыми характеристиками материалов, с основными способами изготовления  
деталей машин и условиями их взаимозаменяемости в современном производстве,  
а также с задачами обеспечения технологичности изделий.

Для студентов художественно-графических факультетов средних и высших  
специальных учебных заведений.

**ББК 30.11**

ISBN 5-691-00449-2  
ISBN 5-691-00104-3(II)

© Ройтман И.А., Кузьменко В.И., 1999  
© «Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС»,  
1999  
© Серийное оформление.  
Художник Токарев Ю.В., 1999

**Друзьям и коллегам —  
преподавателям инженерной графики  
посвящаем**

## **ВВЕДЕНИЕ**

Настоящая книга является 2-й частью книги под общим названием «Основы машиностроения в черчении». Она знакомит читателя с технической и практической механикой, прочностными требованиями, предъявляемыми к деталям машин, их работоспособностью и надежностью, с видами соединения деталей и механическими передачами.

Все сведения, изложенные в ней, дают достаточно ясное представление о существе рассматриваемого вопроса. В большинстве своем они носят ознакомительный характер и лишены математического аппарата, сопровождающего курсы сопротивления материалов и деталей машин в технических вузах.

В содержании этой книги, как и предыдущей, отражаются прежде всего вопросы, с которыми наиболее часто приходится встречаться при чтении и выполнении машиностроительных чертежей.

Книга призвана помочь студентам художественно-графических факультетов и индустриально-педагогических институтов в освоении своей профессии, а также окажет несомненную пользу всем тем, кто заинтересован в повышении своей квалификации по машиностроительному черчению.

# ПОНЯТИЕ О ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Достижения технической механики позволяют не только улучшать конструкции машин и механизмов, но и совершенствовать производственные процессы. Сегодня на многих предприятиях широко используются машины-автоматы, автоматические поточные линии, которые без прямого участия человека обеспечивают выпуск готовой продукции, начиная с обработки сырья и кончая упаковкой готовых изделий.

Область применения законов механики для решения конкретных технических задач очень обширна. Наша эпоха научно-технического прогресса с особенной силой подтверждает неопознательность практического приложения этой науки.

Техническая механика — это наука об общих законах механического движения и применения их в современной технике.

Техническая механика состоит из двух частей: теоретической и прикладной. Первая часть посвящена изучению теоретических основ механического движения, вторая — использованию положений теоретической механики для практических целей: проектирования механизмов, расчета деталей машин, строительных конструкций и сооружений.

Теоретическую механику принято подразделять на три тесно связанных раздела: статику, кинематику и динамику (рис. 1). В задачи теоретической механики входит определение условий, при которых соблюдаются условия равновесия тел. Этот раздел механики называют статикой. Изучением движения тел на основании законов геометрии занимается раздел механики, называемый кинематикой. Раздел механики, в котором изучается движение тел и рассматриваются причины, его вызвавшие, называют динамикой. Статика, кинематика и динамика охватывают все вопросы, связанные с механическим движением тел, и позволяют решать многочисленные практические задачи.

Понятие «тело» является обобщающим. В механике под телом принято понимать все предметы окружающего нас мира: строения, оборудование цехов заводов, лабораторий и т. д. Твердое тело — физическое тело, характеризующееся стабильностью формы. Механическим движением тела называется изменение его положения по отношению к другим телам с течением времени.

Прикладная механика также состоит из трех крупных разделов: теории механизмов и машин, сопротивления материалов, деталей машин.

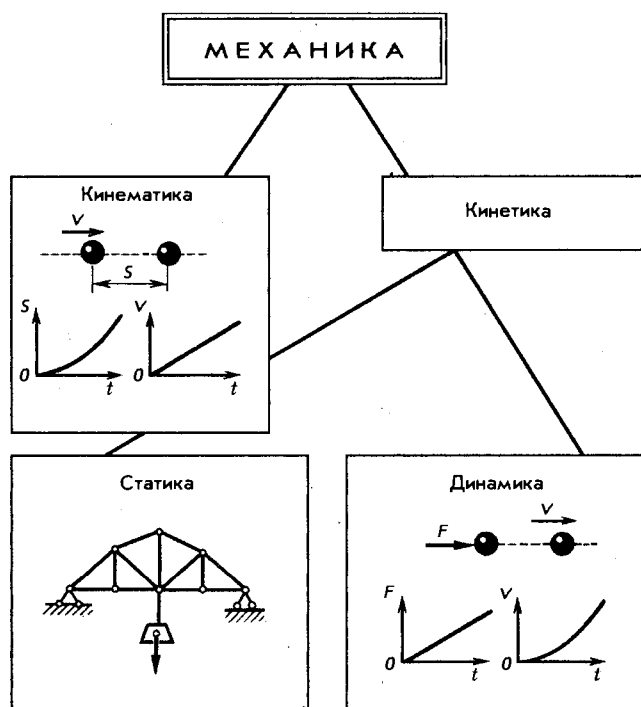


Рис. 1

В «Теории механизмов и машин» на основании законов теоретической механики рассматриваются принципы анализа и проектирования механизмов. «Сопротивление материалов» позволяет установить условия прочности и устойчивости проектируемых конструкций и сооружений. «Детали машин» посвящены изучению принципов расчета и конструирования деталей и сборочных единиц машин общего назначения.

Последовательное изучение всех этих разделов и является предметом технической механики.

## 2. СТАТИКА

Статика — это раздел теоретической механики, изучающей равновесие тел под действием сил. Равновесием называют положение тела под действием взаимно уравновешивающихся сил. Согласно этому определению в равновесии находятся не только неподвижные тела, но и тела, которые продолжают равномерное движение под действием сил. В обоих случаях действующие силы не изменяют скорости перемещения тел: скорость неподвижных тел остается равной нулю, у движущихся тел она сохраняется постоянной.

В статике широко используют графические методы решения задач. Изображая силы отрезками прямых определенной длины и направления, вы-

полняют соответствующие геометрические построения, в результате которых находят неизвестную силу.

Статика имеет большое прикладное значение. Она позволяет решать практически важные задачи, связанные с обеспечением устойчивости строительных сооружений, определением усилий в элементах конструкций и т. п.

**2.1. Сила и ее векторное изображение.** Первоначальное представление о силе связано с мысленным воображением мускульных напряжений (рис. 2) при подъеме и перемещении тяжестей. По аналогии с этим мысленным воображением силой называют всякое воздействие, изменяющее скорость или форму тела. Воздействие на тело может быть создано лишь другим телом или группой тел, поэтому сила — результат взаимодействия тел, без взаимодействия тел сил быть не может.

В зависимости от условий взаимодействия тел возникают различные силы. К примеру, при быстром соприкосновении получается сила удара, при взаимном скольжении или перекатывании — силы трения. Между всеми телами в природе действуют силы тяготения. Эти силы порождают тяжесть тел, их давление на опору, натяжение троса под воздействием груза и т. д.

Эффект действия силы характеризуется тремя ее элементами: модулем, направлением и точкой приложения (рис. 3). Модуль определяет величину силы, направление указывает движение свободной материальной точки под действием этой силы, точка приложения силы — это материальная частица тела, к которой приложена сила. Вектор — это отрезок прямой определенной длины и положения, имеющий стрелку на одном конце. Длина вектора в принятом масштабе определяет численную величину (модуль) силы, положение вектора — линию действия силы, а начало или конец вектора — точку приложения силы.

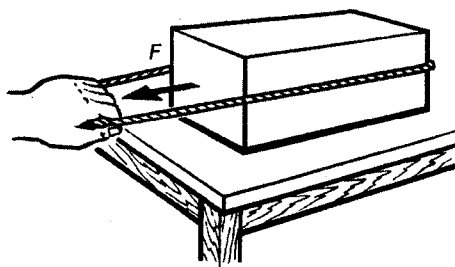


Рис. 2

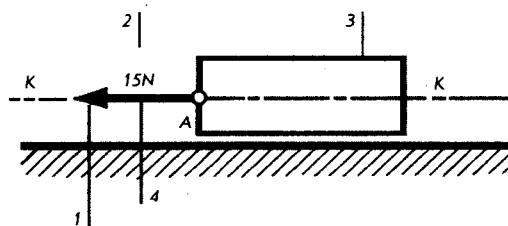


Рис. 3

На рис. 3 изображен горизонтально направленный (1) вектор (2 — 4 — модуль (вектора силы) с приложением к телу (3) в начале вектора в точке А. Прямая, совпадающая с направлением силы, называется линией действия (к) силы. На рис. 4 показан вектор силы  $F$ , приложенной к телу в точке А и направленной под углом  $\alpha$  к горизонту, то есть не совпадающей с направлением движения

тела. В третьем примере, сила удара молотком по предмету изображается вектором с точкой приложения в конце вектора, то есть на острие стрелки (рис. 5).

Масштаб сил при векторном изображении вычисляют по модулю силы и принятой длине вектора.

В большинстве случаев тела находятся под одновременным воздействием нескольких сил. Например, на вагонетку при ее равномерном движении по рельсам действуют (рис. 6)  $F$  — сила тяги электровоза;  $T$  — сила сопротивления движению;  $P$  — собственный вес;  $N$  — силы давления рельсов на колеса.

Совокупность всех действующих на тело сил называют с и с т е м о й с и л. Силы, входящие в систему сил, называют составляющими силами.

В приведенном примере систему сил составляют семь сил, две из которых действуют горизонтально, а остальные вертикально.

Каждая система сил характеризуется определенным числом сил, их величиной и направлением. В зависимости от направления составляющих сил различают системы сил: действующие по одной прямой, параллельно, сходящиеся, произвольно направленные. Составляющие силы могут действовать в одной или нескольких плоскостях. В соответствии с этим различают плоскую и пространственную системы сил. Некоторые системы сил могут быть заменены одной силой, оказывающей такое же действие, что и заменяемые системы сил. Силу, производящую равноценное действие системы сил, называют равнодействующей силой.

В механике все тела принято делить на свободные и несвободные. Свободными называют тела, которые не соприкасаются ни с каким другим твердым телом и могут беспрепятственно двигаться в пространстве в любом направлении.

Свободным телом можно считать, например, тело, брошенное в воздухе. Его движению можно придать любое направление, так как оно не ограничивается никакими другими телами.

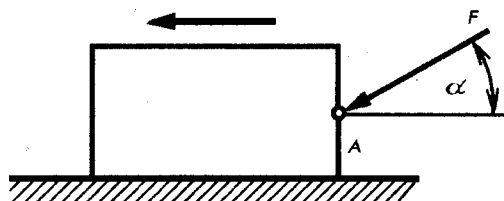


Рис. 4

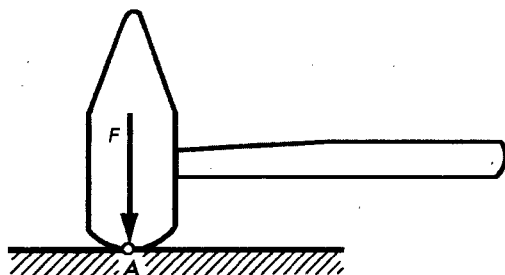


Рис. 5

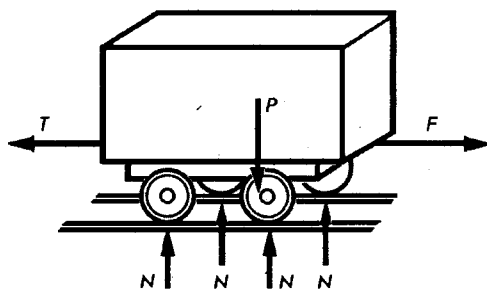


Рис. 6



**Примечание.** Однако движение тела в воздухе нельзя считать абсолютно свободным, так как оно находится под действием силы собственного веса и сопротивления воздуха.

Несвободное тело соприкасается с другими телами и движется в определенном направлении. Например, предмет, лежащий на горизонтальной поверхности стола, не может двигаться вниз. Несвободен в своем движении и электровоз: он перемещается лишь в направлении рельсового пути.

Твердые тела, которые ограничивают свободу движения данного тела, называют связями. В рассмотренных примерах связями являются крышка стола и рельсы.

Несвободное тело испытывает со стороны связи противодействие, которое заставляет тело двигаться по возможному направлению. Противодействие связи, приложенное к несвободному телу, называют реакцией связи.

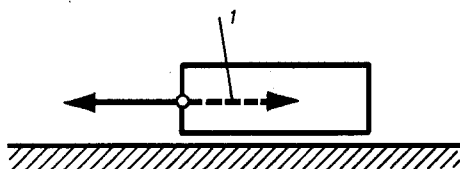


Рис. 7

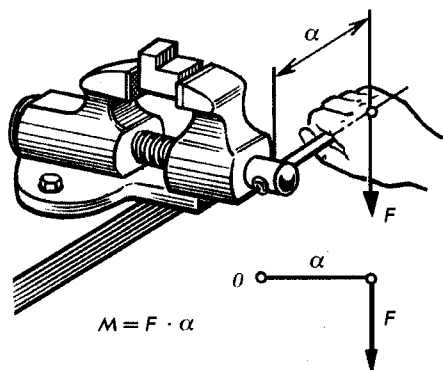


Рис. 8

Реакции связей во всех случаях имеют вполне определенное направление. Для его определения следует мысленно отбросить связь и представить, как будет двигаться тело. В общем случае реакция связи противоположна тому направлению (1), в котором стремится двигаться тело при отсутствии связи (рис. 7).

В природе и технике довольно часто можно наблюдать вращательное действие сил. Такое действие выполняется, например, при завинчивании гайки ключом, при вращении рукоятки ходового винта тисков для сжатия в губках тисков установленной детали (рис. 8).

Вращательное действие силы зависит как от модуля силы, так и от расстояния ее линии действия от центра вращения тела. Точка, относительно которой тело получает вращение под действием силы, называется центром вращения или полюсом. Кратчайшее расстояние от центра вращения тела до линии действия сила называется плечом силы.

**Примечание.** Плечо силы численно равно длине перпендикуляра, опущенного из центра вращения на линию действия силы.

Произведение модуля силы на ее плечо относительно точки вращения называется моментом силы. Направление вращения тела зависит от положения вектора силы относительно центра вращения. Принято считать момент положительным, если тело вращается против хода ча-

совой стрелки, и отрицательным при вращении тела в обратном направлении.

Во многих случаях на тело, имеющее центр вращения, действуют две равные противоположно направленные параллельные силы.

Такое действие испытывает, например, штурвал рулевого управления автомобиля и др. Другим примером могут служить пара рук рабочего, воздействующих вращением на блок деревянный или металлический (рис. 9).

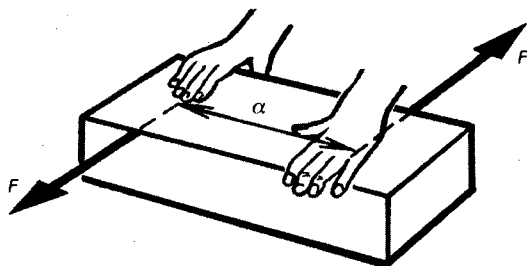


Рис. 9

Равные противоположно направленные параллельные силы представляют собой пару сил. Она действует в так называемой плоскости пары, где расстояние по нормали между линиями действия сил пары является плечом пары. Каждая сила пары создает момент, который стремится вращать тело в одном направлении, то есть по ходу или против хода часовой стрелки. Момент пары сил определяется суммой моментов ее сил относительно точки вращения тела.

**2.2. Центр тяжести.** Каждое тело можно представить состоящим из большого числа материальных частиц, на которые действуют силы тяготения Земли. Расстояния между частицами тела в сравнении с размерами Земли настолько малы, что векторы сил тяжести частиц можно считать параллельными. Равнодействующую от сложения веса всех материальных частиц называют **весом тела**.

Силы тяжести частиц при всех положениях тела направлены параллельно вниз, их векторы всегда остаются параллельными, а равнодействующая (сила массы) проходит через одну и ту же точку — центр данной системы параллельных сил.

Точка, через которую при всех положениях тела проходит линия действия силы массы, называется **центром тяжести**. Отсюда следует, что центр тяжести тела есть такая точка, которая занимает относительно данного тела вполне определенное положение.

Положение центра тяжести зависит от формы тела и размещения в нем материальных частиц. Для одних тел центр тяжести находится в пределах их объема, для других — за его пределами. Так, например, у сплошного шара центр тяжести расположен в центре его материала, у полого шара — за пределами материала его изготовления, в его геометрической точке. Такое же расположение (за пределами материала изготовления) центр тяжести занимает у полого цилиндра, кольца, а также у фасонных профилей проката (рис. 10).

Отсюда следует вывод, что центр тяжести (*C*) является не материальным объектом, а лишь геометрической точкой, через которую проходит линия действия силы веса тела.

Определение центра тяжести объемных тел связано с понятием о плоскости и оси симметрии. Плоскостью симметрии принято называть такую плоскость, которая делит данное тело на две совершенно одинаковые по величине и форме половины. По этой причине центр тяжести симметричного тела лежит в плоскости симметрии.

Для многогранников (куб, призма, пирамида) центр тяжести будет лежать в плоскости диагонального сечения (рис. 11) на пересечении двух диагоналей.

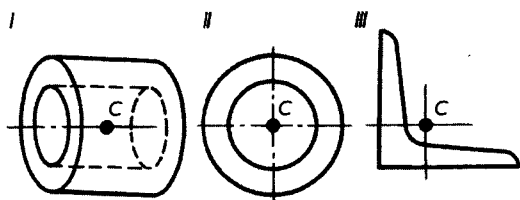


Рис. 10

Для тел вращения (цилиндр, конус, шар) можно провести бесчисленное множество плоскостей симметрии, которые при пересечении образуют ось симметрии. Положение центра тяжести на оси симметрии обычно определяют относительно основания рассматриваемого тела.

Центр тяжести цилиндра находится на оси симметрии на равном расстоянии от обоих оснований. Центр тяжести конуса расположен на расстоянии —  $1/4$  высоты, измеренной по оси симметрии от его основания. Центр тяжести шара совпадает с его геометрическим центром. У тел сложной конфигурации центр тяжести определяют аналитически или опытным путем.

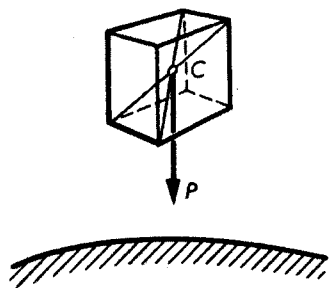


Рис. 11

Понятие о центре тяжести имеет большое значение для решения многих практических задач по определению устойчивости сооружений и машин.

Рассматривая равновесие тел под действием сил, нетрудно убедиться, что уравновешенное тело оказывает определенное сопротивление внешним силам, стремящимся вывести тело из состояния равновесия. Это сопротивление тесно связано с положением центра тяжести относительно опоры тела.

В качестве опоры тела может быть точка, ось или плоскость. Точку опоры имеет тело, подвешенное на тросе, шар на поверхности другого тела и т. п. Ось опоры имеют детали вращения (колеса, шкивы, рычаги и т. п.). Площадки опоры имеют сооружения и машины, соприкасающиеся с опорой по площади.

Все опоры воспринимают действие веса тела и внешних сил и оказывают им равное противодействие, благодаря чему и обеспечивают устойчивость. По степени устойчивости равновесие тел может быть устойчивое, неустойчивое и безразличное (рис. 12). Устойчивым (рис. 12, I) называют такое равновесие, при котором тело, будучи отклоненным, снова возвращается в ис-

ходное положение. Когда тело не занимает прежнего положения и не сохраняет нового положения, равновесие называют неустойчивым (рис. 12, II). Если тело остается в новом положении и не стремится возвратиться в первоначальное положение, равновесие называют безразличным (рис. 12, III).

Устойчивость равновесия является одним из важных условий нормальной эксплуатации сооружений и машин. Особое значение имеет устойчивость больших по высоте установок (шахтных копров, подъемных кранов и т. п.), так как нарушение устойчивости может вызвать аварию и человеческие жертвы.

**2.3. Трение.** Трение относится к числу самых распространенных механических явлений, сопровождающихся возникновением сил сопротивления. По современной классификации принято различать три рода трения (рис. 13):

трение между взаимно неподвижными телами называют **т р е н и е м п о к о я**, а между движущимися — **к и н е м а т и ч е с к и м т р е н и е м** (трение движения);

в зависимости от вида движения одного тела по поверхности другого различают кинематическое трение **с к о л ь ж е н и я** (при относительном перемещении соприкасающихся поверхностей) и **к а ч е н и я** (при перекатывании одного твердого тела по поверхности другого).

В качестве наиболее известных и типичных двух примеров трения, можно упомянуть подшипники скольжения и подшипники качения. У первых шейка вала скользит непосредственно по внутренней поверхности подшипника, у вторых — между поверхностью вращающейся детали и поверхностью опоры расположены шарики или ролики.

**Примечание.** Более подробно о подшипниках скольжения и качения см. в гл. VII.

Сила сопротивления механическому передвижению любого тела называется **с и л о й т р е н и я**. Трение — одно из наиболее распространенных явлений природы. Без него не обходится ни одно движение. Оно помогает и вредит человеку. Человек без трения не мог бы передвигаться. Без трения ничего нельзя было бы построить или изготовить. Устраните трение между кирпичами, и они немедленно расползутся, дом развалится. Вбитый в дерево гвоздь удерживается только трением. Болты, винты в машинах находятся на своих местах только благодаря трению покоя. Если убрать эту силу — машины рассыплются и таких примеров можно привести достаточно много.

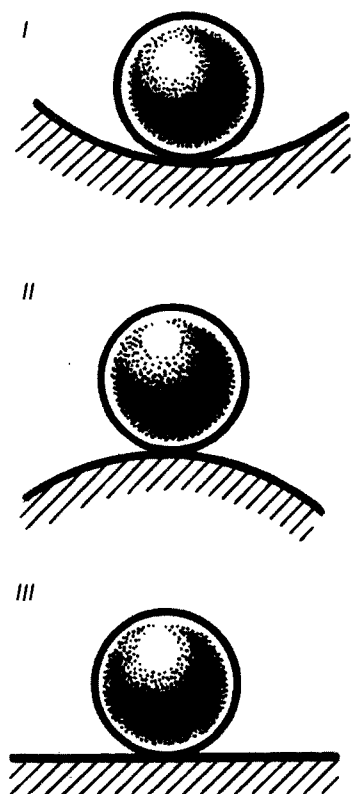


Рис. 12

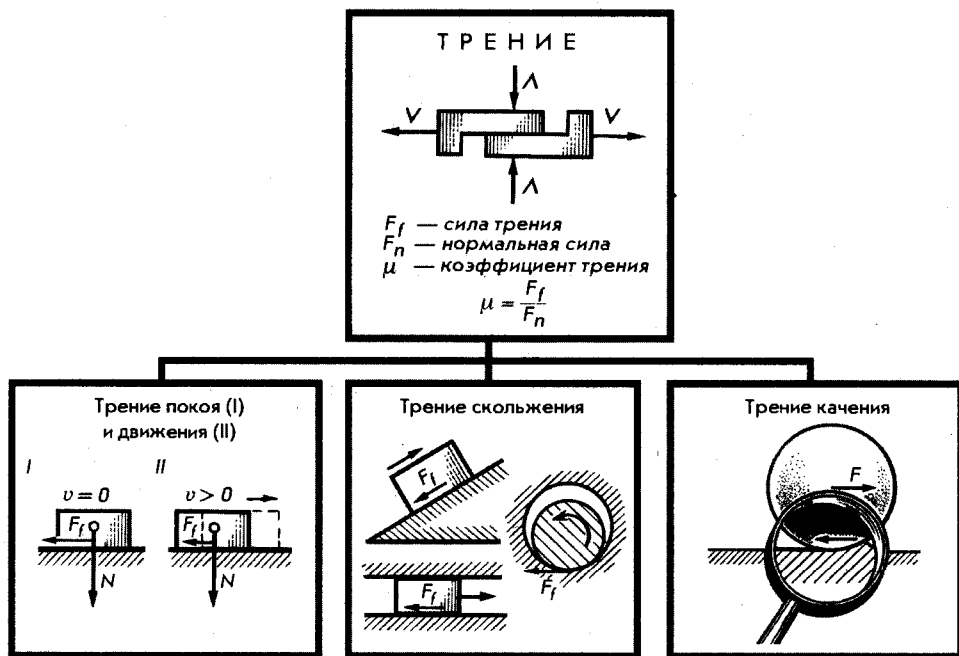


Рис. 13

Таким образом, трение является весьма полезным и нужным для человека явлением, делающим возможным его существование на Земле. Но не следует забывать, что в определенных условиях оно приносит вред и его нужно по возможности уменьшать, если нельзя совершенно устранить.

Трение покоя возникает между соприкасающимися твердыми телами до начала их движения, причем относительное перемещение тел совершенно отсутствует или бесконечно мало. К примеру, именно эта сила удерживает кирпичи и другие строительные материалы на ленте транспортера, подающего их к месту работы в наклонном положении; она позволяет предметам сохранять состояние покоя и не двигаться по наклонным плоскостям до тех пор, пока угол наклона не станет чрезмерно большим.

Главной причиной трения скольжения является шероховатость соприкасающихся поверхностей. При скольжении выступы одной поверхности входят во впадины другой, в результате чего возникает сопротивление движению. Кроме того, оказывает влияние молекулярное сцепление контактирующих тел. Особенно значительно это влияние для чисто обработанных поверхностей, когда в непосредственном контакте находится максимальное число молекул.

Трение сопровождается механическими и тепловыми процессами. Выступы обеих поверхностей подвергаются под действием давления разрушению, что приводит к износу трущихся поверхностей. Одновременно механическая энергия трения превращается в тепловую, вызывая нагрев тел.

Степень истирания и нагрева трущихся поверхностей определяется условиями трения. В зависимости от этих условий различают чистое, сухое, граничное, жидкостное, полусухое и полужидкостное трения (рис. 14).

Чистым трением называется такое, при котором на соприкасающихся поверхностях совершенно отсутствуют посторонние вещества (прилипшие жидкости, газы, окислы). Такие поверхности можно получить только путем специальной обработки в вакууме.

Сухое трение происходит при отсутствии смазки и загрязнений между поверхностями, на которых, однако, всегда имеются пленки окислов, молекулы газов или жидкостей (рис. 14, I).

Граничное трение характеризуется тем, что между поверхностями находится очень тонкий менее  $0,1 \text{ мкм}$ , слой смазки (рис. 14, II).

При жидкостном трении поверхности полностью разделены слоем смазки (рис. 14, III).

Полусухое трение — смешанное, состоящее частично из граничного и частично из сухого трения.

Полужидкостное трение — также смешанное, но состоящее из жидкостного и граничного трения. Все эти виды трения можно наблюдать при работе подшипника скольжения.

Если подшипник сконструирован правильно, то при установившемся режиме работы поверхность вала опирается на устойчивый масляный слой достаточной толщины и не соприкасается непосредственно с вкладышем подшипника. Такой масляный слой не выдавливается под действием нагрузки и не прерывается под влиянием ударных сил. В этом случае подшипник работает в условиях гидродинамической смазки, то есть имеет место жидкостное трение.

Но жидкостное трение может перейти в полужидкостное, если скорость вращения вала уменьшится или увеличится нагрузка на подшипник.

Если масло сильно нагреется и резко потеряет свою вязкость, то при чрезмерно увеличенной нагрузке может наступить полусухое трение. В этом случае между трущимися поверхностями образуется слишком тонкая, а главное, неустойчивая масляная пленка, отчего происходит повышенный износ вала и вкладыша подшипника.

В момент остановки и запуска механизма в подшипниках скольжения может образоваться как сухое, так и полужидкостное трение. Это учитывают при эксплуатации механизмов, не нагружают подшипники до пол-

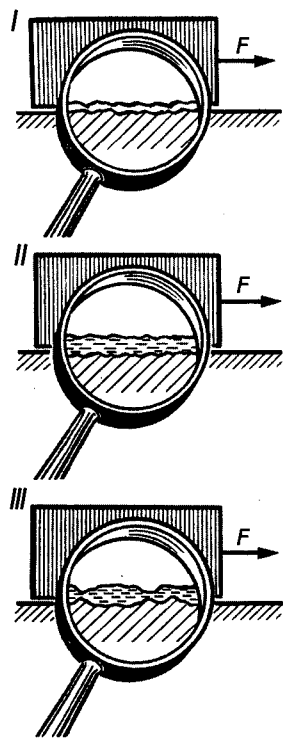


Рис. 14

ного разгона вала, а после монтажа тщательно опробывают их на холостом ходу.

Зависимость силы трения от силы нормального давления объясняется глубиной проникновения выступов одной поверхности во впадины другой. Действительно, чем больше сила давления между трущимися поверхностями, тем сильнее механический контакт между поверхностями, тем больше сила трения.

Сила трения зависит от материалов и состояния трущихся поверхностей. Эта зависимость определяется силами молекулярного сцепления и шероховатостью поверхностей.

Сила трения не зависит от величины площади трущихся поверхностей и, наконец, сила трения в движении меньше, чем в покое: с увеличением скорости сила трения скольжения уменьшается.

**Примечание.** Для некоторых органических материалов (кожа, резина и др.) с увеличением скорости сила трения возрастает.

Величина сдвигающей силы численно равна силе трения между данными телами. Отношение силы трения к силе нормального давления выражает коэффициент трения скольжения (рис. 13).

При трении качения во время перекатывания твердого тела по какой-либо поверхности в контактном слое возникают деформации, в результате которых впереди тела образуется некоторый выступ, оказывающий сопротивление движению (см. рис. 13). Сопротивление, возникающее при перекатывании одного тела по поверхности другого, называют трением качения.

Образовавшийся выступ по всей площади контакта создает силы реакции с нормальной силой, противодействующей внешней нагрузке, и представляющей собой силу трения скольжения на площади контакта.

Сила трения качения прямо пропорциональна силе нормального давления, обратно пропорциональна радиусу тела и зависит от свойства упругости материалов трущихся тел.

Трение при качении во много раз меньше трения скольжения, поэтому на практике всегда стремятся заменить скольжение качением, где это возможно.

### **3. КИНЕМАТИКА**

**3.1. Содержание и основные понятия кинематики.** Чтобы обработать деталь на металлорежущем станке, необходимо предварительно настроить станок. В коробке скоростей и в механизмах подачи детали, передающие вращение от электродвигателя, соединяют так, что обеспечиваются вполне определенные перемещения детали и инструмента в течении некоторого времени. Перемещение одних тел или частей тела относительно других называется механическим движением. Раздел механики, изуча-

ющий механическое движение на основании законов геометрии, называют к и н е м а т и к о й. При этом не принимаются во внимание ни свойства движущихся тел, ни силы, под воздействием которых происходит движение. Так как при движении тела различные его точки могут двигаться по-разному, то в кинематике сначала изучается движение более простого объекта, а именно материальной точки.

М а т е р и а л ь н о й т о ч к о й называют такое тело, размерами и формой которого можно пренебречь в данной задаче. Например, изучая движение искусственного спутника Земли, можно пренебречь его линейными размерами по сравнению с теми большими расстояниями, которые он преодолевает. В такой задаче спутник может рассматриваться как материальная точка.

Введение понятия материальной точки вносит значительное упрощение в исследование движения тел. Для решения задач о движении тела в целом достаточно знать движение одной или двух его точек.

Движущееся тело всегда проходит определенный путь в пространстве от начальной до конечной точки движения, на что затрачивается определенное время.

Таким образом, м е х а н и ч е с к о е д в и ж е н и е е с т ь п е р е м е щ е н и е т е л в п р о с т р а н с т в е и в о в р е м е н и.

Пространство и время являются такими же необходимыми условиями существования окружающего нас мира, как и движение.

Изучая движение в пространстве и во времени, устанавливают геометрические показатели движения — пройденный путь и траекторию движения. В то же время определяют качественные зависимости движения — быстроту движения и интенсивность ее изменения. Рассматривая тело в движении, отмечают начало и конец движения, и на этом отрезке определяют особенности движения.

В материальном мире покой и движение относительны. Наблюдаемые нами неподвижные тела (здания, сооружения, неработающие машины) находятся лишь в относительном покое, то есть в покое относительно Земли. В действительности они осуществляют сложное движение вместе с Землей в мировом пространстве.

В относительном покое можно рассматривать и некоторые подвижные тела. К примеру, неподвижный пассажир в движущемся вагоне находится в движении лишь по отношению к Земле, а по отношению к вагону он в покое.

Отсюда следует, что в с я к о е д в и ж е н и е о т н о с и т е л ь н о, так как рассматривается по отношению к определенным телам. Принцип относительности движения позволяет установить особенности его различных видов. Так, конец педали велосипеда по отношению к раме описывает окружность, а по отношению к Земле — сложную кривую.

Используя принцип относительности, можно неподвижное тело принять за подвижное, если рассматривать его относительно движущегося тела.



Именно такой эффект можно наблюдать из неподвижного вагона в тот момент, когда рядом расположенный состав находится в движении: нам кажется, что состав неподвижен, а в движении находится вагон, в котором мы находимся.

Таким образом, всякий покой и движение относительны, и рассматривать механическое движение необходимо в каждом случае с учетом конкретных условий движения и времени.

К основным понятиям кинематики относятся: траектория движения, его продолжительность, пройденный путь, скорость, ускорение.

Т р а е к т о р и е й называют линию, которую описывает движущаяся точка в пространстве (рис. 15). Траектории весьма разнообразны: они мо-

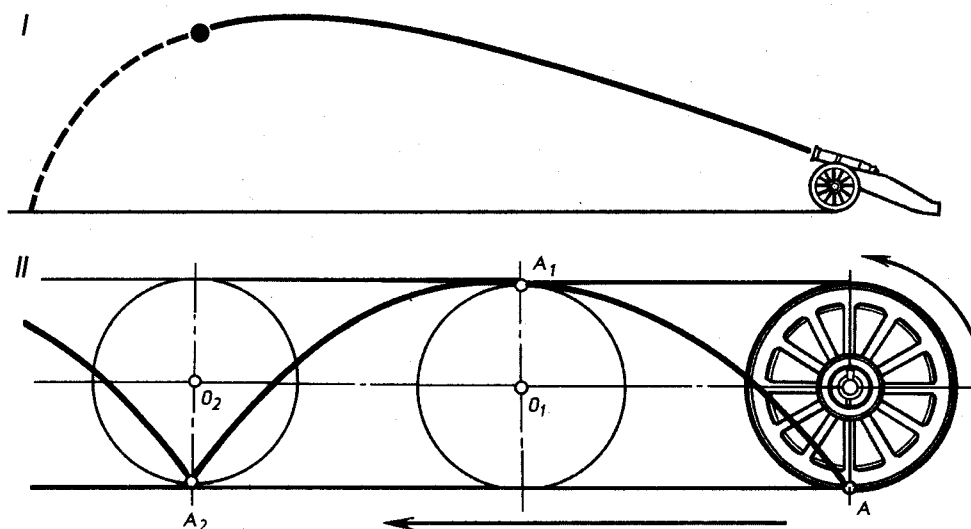


Рис. 15

гут иметь вид прямой линии, окружности, эллипса, параболы (I), циклоиды (II) и других кривых. Длина траектории при движении материальной точки характеризует пройденный путь. При движении по прямой от одной точки пространства к другой пройденный путь равен расстоянию между точками, при движении по другим траекториям путь получается больше расстояния.

Величина пути и продолжительность движения во времени определяют скорость движения.

С к о р о с т ь есть быстрота перемещения тел от одной точки пространства к другой, которая определяется величиной пути, проходимого за единицу времени.

Движение тела с постоянной скоростью называют **равномерным**, движение с переменной скоростью — **переменным**.

Величина, определяющая изменение скорости с течением времени, называется **ускорением**.

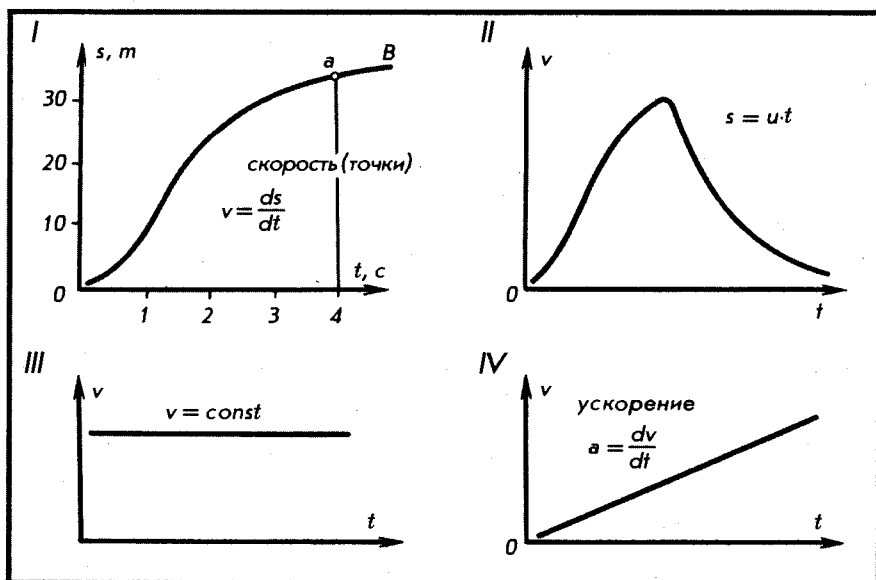


Рис. 16

Из рассмотрения основных понятий кинематики следует, что между кинематическими величинами механического движения существует тесная связь.

Пройденный путь, скорость и ускорение зависят от времени: с течением времени путь возрастает, а скорость и ускорение могут оставаться постоянными или меняться в большую или меньшую сторону.

Закон движения точки может быть выражен графически прямой или кривой линией в координатных осях пути и времени. На рис. 16, I график движения представлен кривой  $AB$ , каждая точка которой соответствует определенному пути и времени. Например, точка  $a$  показывает, что к концу 4-й секунды движения пройден путь 35 м.

Используя графический метод, можно построить график пути в зависимости от скорости и времени (рис. 16, II), график ускорения в зависимости от времени, график скорости в зависимости от времени и ускорения (рис. 16, III и IV). Следует иметь в виду, что график движения определяет не форму траектории, а зависимость между указанными величинами.

Кинематика имеет большое прикладное значение. На ее основе изучается движение звеньев механизмов и рабочих органов машин, делаются выводы, которые используются при проектировании новых механизмов, машин, приборов и других механических устройств.

**3.2. Простейшие движения твердого тела.** Простейшим видом движения тела является равномерное прямолинейное движение. В таком движении, к примеру, находится поезд на прямом участке пути и т. д. Движение, при котором тело перемещается по прямой и за равные отрезки времени проходит

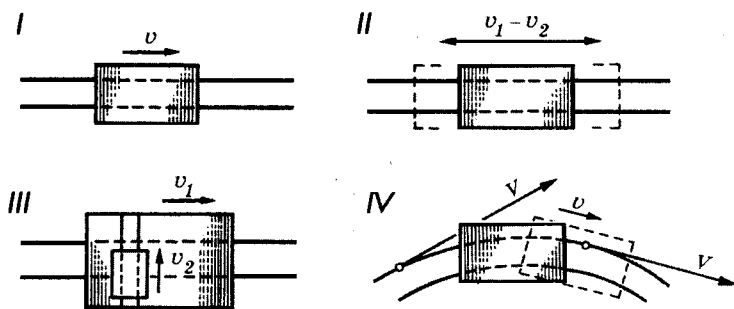


Рис. 17

одинаковые пути, называется **равномерным прямолинейным** (рис. 17, I).

Скорость равномерного движения определяется отношением пройденного пути ко времени движения. Единицы скорости устанавливаются по единицам пути и времени. Если, например, путь выражен в метрах, а время в секундах, то скорость получается в  $м/с$ . В таких единицах измеряют скорость течения воды по трубам, движение воздуха под действием вентилятора и т. д. Скорость резания металла на станках измеряют в  $м/мин$ , а скорость транспортных машин — в  $км/ч$ .

В движении тело может совершать различные перемещения с различными скоростями и ускорениями. Одно из таких перемещений — **прямолинейное возвратно-поступательное движение** (рис. 17, II). Наиболее типичный пример такого движения — поршень механизма двигателя внутреннего сгорания. Но в отличие от равномерного движения тела в первом примере, поршень движется неравномерно, так как при повороте кривошипа (коленчатого вала), с которым он сочленен, на равные углы, поршень проходит неравные пути.

Движение, при котором за равные отрезки времени тело проходит неравные пути, называют **переменным или неравномерным**. Такое движение происходит во время разбега машин или торможения.

В переменном движении скорость изменяется непрерывно, ее величина различна в каждый момент времени. Поэтому такую скорость называют **мгновенной**.

Движение, при котором скорость возрастает, называют **ускоренным**, а прирост скорости за единицу времени называют **ускорением**. Численная величина ускорения определяется отношением разности мгновенных скоростей между рассматриваемыми точками пути ко времени, в течении которого происходило изменение скорости.

Движение тела по отношению к неподвижной системе отсчета называется **абсолютным движением**. Движение тела по отношению к движущейся системе отсчета называется **относительным движением** (рис. 17, III).

Криволинейное движение является одним из самых распространенных видов движения в механизмах многих машин. В криволинейном движении тело также занимает последовательные положения на траектории и в каждый момент времени имеет определенную мгновенную скорость.

Криволинейным (рис. 17, IV) принято называть такое движение, при котором тело при перемещении описывает кривую линию — траекторию относительно выбранной системы отсчета.

Рассматривая положения тела через бесконечно малые отрезки времени, можно считать, что вектор скорости совпадает с направлением движения. Но так как направление в криволинейном движении непрерывно меняется, то и вектор скорости тела при переходе его в каждое новое положение изменяет свое направление по отношению к предыдущему направлению.

Таким образом, вектор скорости тела в криволинейном движении непрерывно изменяет свое направление соответственно форме траектории, оставаясь все время касательным к ней.

Этот вывод подтверждается многочисленными примерами из практики: раскаленные частицы камня и металла отлетают от точильного круга при его вращении по касательным; потоки воды в работающем центробежном насосе устремляются из колеса по касательным к ее окружностям; частицы при отрыве от общей массы тела на криволинейной траектории также отлетают по касательной к траектории в месте отрыва.

**3.3. Поступательное и вращательное движения твердого тела.** Поступательным называют такое

движение, при котором все точки тела имеют одинаковые траектории. Если соединить две любые точки поступательно движущегося тела прямой линией, то эта прямая остается все время параллельна самой себе (рис. 18).

Сохранение параллельности прямых во всех положениях тела — главный признак поступательного движения.

В большинстве случаев точки поступательно движущегося тела имеют прямолинейные траектории (рис. 18, I). В таком движении находятся, например, поршни компрессоров и насосов, транспортные машины на прямом участке пути и т. п.

Но могут быть случаи криволинейного поступательного движения (рис. 18, II). Так движется, например, рычаг, соединяющий ведущие колеса паровоза. Он прикреплен к колесам шарнирно на равном расстоянии от осей.

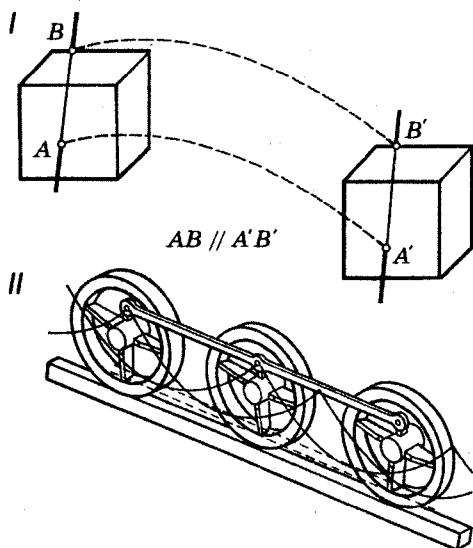


Рис. 18

Благодаря этому при перекачивании колес по рельсам рычаг остается параллельным самому себе, а все точки (см. рис. 18) описывают в пространстве кривые векторного переноса (одинаковые кривые со сдвигом).

Сохранение параллельности линий движущегося тела возможно в том случае, когда все точки этих линий, перемещаясь из одного положения в другое, проходят одинаковый путь. Отсюда следует, что в поступательном движении все точки тела имеют одинаковые скорости и ускорения, поэтому для характеристики поступательно движущегося тела достаточно знать скорость и ускорение какой-либо одной его точки.

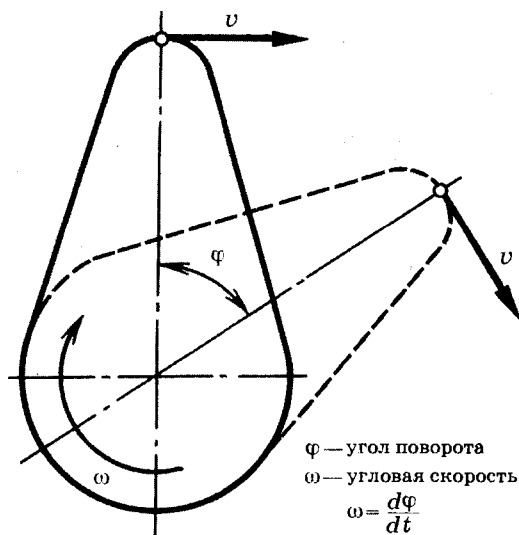


Рис. 19

Вращательное движение широко распространено в природе и технике. Планеты Солнечной системы вращаются вокруг своей оси. Во многих механизмах и машинах так движутся валы, шкивы, зубчатые колеса, маховики и другие детали.

Вращательное движение характеризуется тем, что все точки тела описывают концентрические окружности относительно неподвижной оси, расположенной в пределах тела. Ось вращения называется геометрическое место точек, остающихся неподвижными при вращении тела (рис. 19).

Кинематическими параметрами вращающегося тела являются угло-

вое перемещение, угловая скорость и угловое ускорение. Угловое перемещение измеряется величиной угла, на который поворачивается тело за время вращения. За единицу углового перемещения принят радиан — центральный угол, длина дуги которого равна радиусу этой дуги.  $1 \text{ рад} = 57,3^\circ$ . Центральный угол содержит  $360^\circ : 57,3^\circ = 6,28$  или  $2\pi \text{ рад}$ .

Вращательное движение может быть равномерным и неравномерным. Равномерным называют такое вращение, при котором за равные промежутки времени тело поворачивается на равные углы. Величина поворота тела за единицу времени определяет угловую скорость.

Численная величина угловой скорости в равномерном вращательном движении определяется отношением углового перемещения ко времени, в течении которого происходит это перемещение.

В практических расчетах угловая скорость обычно выражается числом оборотов тела за одну минуту времени.

## 4. ДИНАМИКА

**4.1. Основные понятия динамики.** Все виды механического движения тесно связаны с действующими силами. Оказывая воздействие на тело, силы определяют характер движения, форму траектории, изменение скорости, ускорения. Раздел теоретической механики, посвященный изучению движения материальных тел под действием сил, называется **динамикой**.

Динамика учитывает очень важную величину — массу тел, которая, как и сила, является одним из факторов механического движения. Рассматривая зависимость движения от действующих сил и масс, устанавливают основные законы движения тел.

В динамике, как и в других разделах механики, используют понятия о материальной точке и абсолютно твердом теле. В основе динамики лежат три закона механики, установленных и научно обоснованных Галилеем и Ньютоном.

**Первый закон** динамики получил название закона инерции: всякое тело стремится сохранить состояние покоя или прямолинейного и равномерного движения, пока воздействия со стороны других тел не заставят его изменить это состояние.

Действительно, ни одно тело не придет в движение без воздействия внешних сил и ни одно движущееся тело не останавливается до тех пор, пока на него не подействуют какие-либо силы, причем тело всегда стремится двигаться прямолинейно и равномерно.

Свойство тел сохранять состояние покоя или прямолинейного и равномерного движения получило название **инерции** от латинского слова инертность, что значит бездеятельность. Именно этим свойством объясняется то противодействие, которое возникает со стороны тела при действии на него внешней силы.

Инертность материальных тел проявляется даже при незначительном изменении величины и направления скорости движения. Известно, что когда машина начинает движение, находящиеся в ней пассажиры отклоняются назад, потому что они стремятся остаться в покое. При торможении машины пассажиры отклоняются вперед, так как стремятся двигаться с прежней скоростью. Когда же машина делает поворот, инертность тел пассажиров, заставляя их двигаться в прежнем направлении, отклоняет их в сторону, обратную повороту машины.

**Второй закон** динамики объясняет характер движения тел в зависимости от их масс и действующих сил и является следствием первого закона: если при отсутствии сил тело остается в покое или движется равномерно и прямолинейно, то под действием сил тело выходит из состояния покоя и начинает двигаться ускоренно.

Ускорение, которое получает тело под действием силы, прямо пропорционально силе и обратно пропорционально массе тела.

Второй закон динамики позволяет реально представить массу тела как меру механического противодействия внешней силе. Согласно этому закону, чем больше сила и меньше масса, тем большее ускорение сообщается телу. К примеру, ненагруженный поезд под действием силы локомотива получает большее ускорение, и он разгоняется быстрее груженного состава.

Когда же очень большая сила действует на малую массу, то она сообщает массе в короткий отрезок времени значительную скорость. Например, при выстреле из огнестрельного оружия пуля малой массы под действием большой силы пороховых газов получает скорость порядка  $900 \dots 1000 \text{ м/с}$ .

Таким образом, различные материальные тела обладают различной инертностью и мерой инертности тел является их масса.

Действующая сила является движущей, если она совпадает с направлением движения тела. Если же сила направлена против движения, она является тормозящей силой.

В реальных условиях на движущееся тело действуют движущие силы и силы сопротивлений. Если движущие силы встречают равное противодействие со стороны сил сопротивлений, то эти силы уравниваются и тело остается в покое или движется равномерно.

Отсюда следует вывод: для равномерного движения необходимо равенство движущих сил и сил сопротивления; для ускоренного движения движущие силы должны превышать силы сопротивления, для замедленного — уступать им.

**Третий закон динамики** устанавливает, что при взаимодействии тел возникают равные по величине, но противоположные по направлению силы, то есть действие равно противодействию. Третий закон динамики объясняет многие явления, связанные с взаимодействием тел. Например, при ударе молотком по заготовке его действие вызывает равное и противоположно направленное противодействие, в результате чего молоток подскакивает. При выстреле из орудия давление пороховых газов выбрасывает из ствола снаряд и создает противодействие на орудие, вызывая «отдачу».

Внешние силы при деформациях тел производят действие, внутренние силы упругости — противодействие, которое называют **с о п р о т и в л е н и е м м а т е р и а л о в**.

Третий закон динамики лежит в основе реактивного движения — полетов реактивных самолетов, ракет. Особое значение приобретает закон действия и противодействия в современную эпоху космических полетов и освоения космического пространства.

**4.2. Механические единицы.** При решении задач динамики преимущественное применение имеет международная система единиц (СИ).

Основными механическими единицами в этой системе являются: единица пути —  $\text{м}$ , единица массы —  $\text{кг}$ , единица времени —  $\text{с}$ . Производные единицы: единица скорости —  $\text{м/с}$ , единица ускорения —  $\text{м/с}^2$ , единица силы — ньютон ( $\text{Н}$ ).

Н ь ю т о н — это сила, способная массе 1 кг сообщить ускорение  $1 \text{ м/с}^2$ . Размерность ньютона определяется из основного уравнения движения по единицам массы и ускорения.

За техническую единицу массы принимают такую массу, которая под действием постоянной силы 1 кгс получает ускорение  $1 \text{ м/с}^2$ . Численная величина массы  $m$  определяется по весу тела и ускорению свободного падения (рис. 20).

$$m = \frac{\text{кгс}}{\text{м/с}^2}.$$

Свободное падение тела под действием силы тяжести есть равномерно ускоренное движение с ускорением свободного падения.

**4.3. Работа, мощность и энергия.** Применяемые в технике машины предназначены для выполнения определенной полезной работы: на металлорежущих станках изготавливают детали, в компрессорах получают сжатый воздух, при помощи транспортных машин перемещают грузы и т. д. Во всех машинах движущие силы преодолевают различные сопротивления, выполняют механическую работу. Таким образом, под механической работой понимают преодоление сопротивлений при движении.

Работу считают положительной, если вектор силы совпадает с направлением движения, и отрицательной при векторе силы, направленном в противоположную движению сторону. Примером отрицательной работы может быть действие тормозящей силы.

Одну и ту же работу можно выполнить за различное время. Быстрота выполнения работы характеризует работоспособность машин и называется мощностью.

За единицу мощности принимается работа, выполненная за 1 с времени. Численная величина мощности определяется отношением работы ко времени, в течение которого выполнена эта работа

$$N = \frac{A}{t},$$

где:  $A$  — работа;  $t$  — время.

Для решения задач установлены следующие единицы измерения работы и мощности. В Международной системе за единицу работы принят модуль (Дж) — работа, которая выполняется силой 1 Н на пути 1 м. В технической системе единиц работа измеряется в кгс · м:

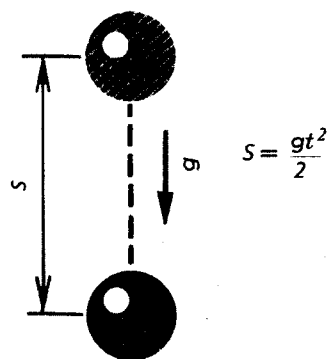


Рис. 20



$$1 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 9,81 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ Дж} = 0,102 \text{ кгс} \cdot \text{м}.$$

За единицу мощности в Международной системе принят ватт ( $\text{Вт}$ ) — мощность, при которой работа в  $1 \text{ Дж}$  выполняется за  $1 \text{ с}$  времени. Мощность, равная  $1000 \text{ Вт}$ , называется киловаттом ( $\text{кВт}$ ). В технической системе мощность выражается в  $\text{кгс} \cdot \text{м/с}$  и лошадиных силах ( $\text{л.с.}$ ). Мощность  $1 \text{ кгс} \cdot \text{м}$  — это такая мощность, когда работа в  $1 \text{ кгс} \cdot \text{м}$  выполняется за  $1 \text{ с}$  времени:

$$1 \text{ кгс} \cdot \text{м/с} = 9,81 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ л.с.} = 75 \text{ кгс} \cdot \text{м/с} = 75 \cdot 9,81 = 736 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ кВт} = 102 \text{ кгс} \cdot \text{м/с} = 102 \cdot 9,81 = 1000 \text{ Вт}.$$

С работой и мощностью связано понятие о механической энергии.

Механическая энергия — это особая физическая величина, характеризующая способность тел совершать работу. Отсюда следует, что работа и энергия — эквивалентные величины: затрачивая энергию, выполняют соответствующую работу; совершая работу, тело приобретает определенную скорость и получает запас энергии. Таким образом, работа есть энергия в движении, а энергия — запас работоспособности тела. Эквивалентность работы и энергии дает основание измерять эти величины в одинаковых единицах, то есть в джоулях и килограммометрах.

Различают два вида механической энергии: кинетическую и потенциальную (рис. 21).

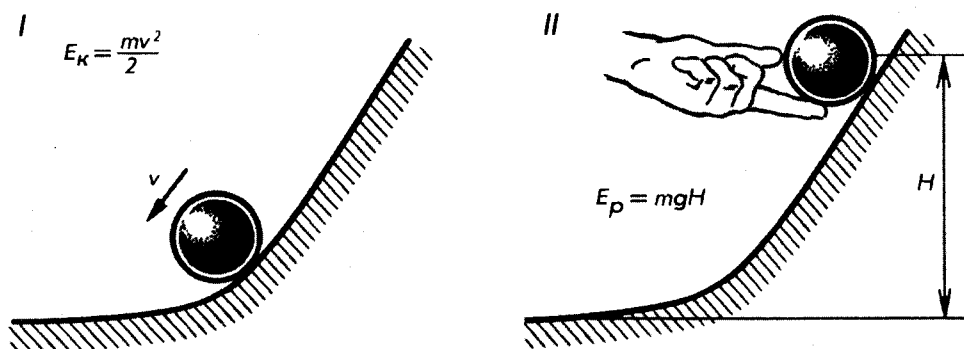


Рис. 21

Кинетической энергией называют энергию движущихся тел. Примером могут служить движущиеся части машин и др. Численная величина кинетической энергии может быть определена затратой работы на приращение скорости движения. В результате приращения скорости тело получает кинетическую энергию, равную полупроизведению массы тела на квадрат скорости движения.

Потенциальной энергией (от слова потенциал, что значит запас) называют энергию поднятого тела, определяемого его положением над поверхностью Земли (рис. 21, II).

Потенциальная энергия поднятого тела определяется произведением его веса на высоту над поверхностью Земли. Потенциальной энергией обладают также упругие тела — сжатые газы, растянутые и закрученные пружины и др. Энергия упругих тел определяется величиной работы, которая затрачивается на преодоление сопротивления упругости тел при переводе их в напряженное состояние.

**4.4. Закон сохранения энергии.** Между потенциальной и кинетической энергией существует тесная связь. Поднимая груз, затрачивают кинетическую энергию, но в результате подъема груз получает потенциальную энергию. При падении груз расходует потенциальную энергию, но увеличивая скорость, приобретает кинетическую энергию.

Уменьшение потенциальной энергии при падении груза и соответствующее увеличение кинетической энергии есть переход механической энергии из одного вида в другой.

На основании многочисленных наблюдений и опытов великий русский ученый М.В. Ломоносов установил закон сохранения энергии:

при всяких превращениях энергии из одного вида в другой количество энергии не изменяется;

сколько было затрачено одного вида энергии, столько же энергии других видов получается;

энергия не исчезает, а переходит из одного вида в другой в равных количествах.

**4.5. Механический коэффициент полезного действия.** Выполнение полезной работы машиной сопровождается преодолением вредных сопротивлений, главным образом сил трения в подвижных частях. По этой причине полезная работа машины всегда получается меньше затраченной энергии на приведение в действие машины.

Полезная работа машины численно равна разности между затраченной энергией двигателя и работой сил сопротивлений  $A_n = A_z - A_c$ ,

где:  $A_n$  — полезная работа;  $A_z$  — затраченная работа;  $A_c$  — работа сил сопротивления.

Для оценки совершенства машины в зависимости от затраченной энергии и полезной работы определяют коэффициент полезного действия машины (КПД).

Численная величина КПД определяется отношением полезной работы машины к потребляемой энергии:

$$\text{КПД} = \frac{\text{полезная работа}}{\text{потребляемая энергия}} .$$

Вследствии наличия вредных сопротивлений коэффициент полезного действия не может быть равен единице или быть больше ее. Коэффициент полезного действия обычно выражают в процентах.

Коэффициент полезного действия можно определить также отношением полезной мощности машины к затраченной мощности двигателя:

$$КПД = \frac{\text{мощность, передаваемая механизмом потребителю}}{\text{мощность, подведенная к механизму}}.$$

Данное определение КПД показывает как величина мощности влияет на совершаемую механическую работу.

С целью экономии энергии конструктора все время совершенствуют машины и механизмы, повышая их коэффициент полезного действия. Основные пути его повышения — уменьшения трения смазкой трущихся поверхностей, применение подшипников трения качения, уменьшение веса подвижных частей механизмов.

**4.6. Силы инерции движения тел.** Ранее уже упоминалось, что все материальные тела стремятся сохранить состояние покоя или прямолинейного равномерного движения и что они оказывают сопротивление внешним силам, стремящимся нарушить это состояние.

Сила противодействия внешним силам, возникающая со стороны материального тела при его ускоренном или замедленном движении, называется **силой инерции**.

По третьему закону динамики сила инерции равна той силе, которая сообщает телу ускорение, но направлена противоположно ей. Величина силы инерции равна произведению массы материального тела на сообщаемое ему ускорение  $F_u = -ma$ ,

где:  $F_u$  — сила инерции;  $m$  — масса материального тела;  $a$  — ускорение.

Знак минус здесь показывает, что сила инерции направлена в сторону, противоположную ускорению.

В криволинейном движении тело имеет нормальное и касательное ускорения. Учитывая, что причиной появления ускорений являются силы, можно сделать вывод, что на тело в криволинейном движении действуют две силы: нормальная  $F_n$  и касательная  $F_r$  ( $\omega$  — угловая скорость).

Сила, которая создает нормальное ускорение и заставляет тело двигаться по кривой, называется **нормальной или центростремительной силой** (рис. 22).

По касательной к траектории на материальное тело действует касательная сила, которая обеспечивает ускоренное или замедленное движение тела. Нормальная и касательная силы вызывают противодействие со стороны тела, стремящегося двигаться равномерно и прямолинейно.

Сила, направленная противоположно нормальному ускорению и стремящаяся вывести тело из движения по кривой, называется **центробеж-**

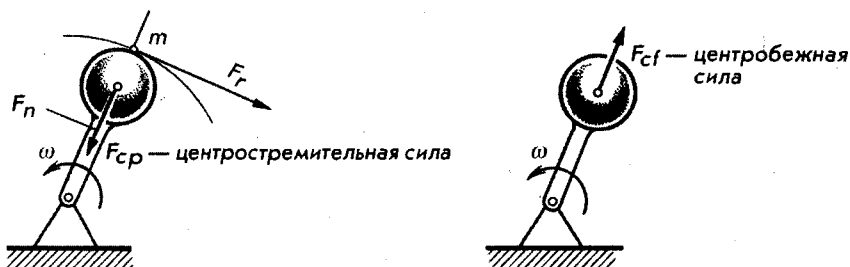


Рис. 22

н о й с и л о й. Центробежная сила инерции, по величине равная нормальной силе  $F_n$ , определяется по формуле  $F_{цб} = (m \cdot v^2) / r$ ,

где:  $m$  — масса тела;  $v$  — линейная скорость тела;  $r$  — радиус вращения тела.

Силы инерции в машинах могут играть как отрицательную, так и положительную роль. Например, когда железнодорожный состав с места начинает движение и при ускоренном движении под действием сил инерции создаются динамические нагрузки на сцепке вагонов. Такие нагрузки испытывают многие элементы механических устройств.

Полезное действие сил инерции, особенно центробежных, широко используется в работе многих машин. На таком принципе работают центробежные вентиляторы, насосы, турбокомпрессоры, сепараторы и другие механизмы. Центробежные силы позволяют улучшить качество изготовления некоторых видов продукции и упростить многие технологические процессы. В качестве примеров можно назвать широко распространенный способ центробежного литья, процессы изготовления железобетонных труб, арматуры и других изделий.

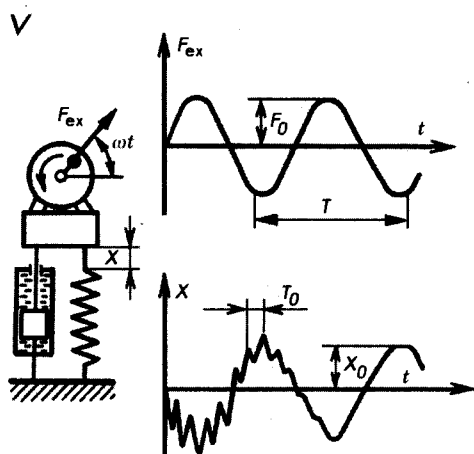
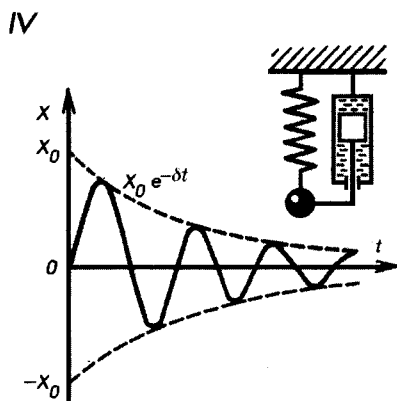
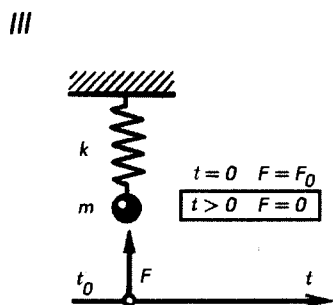
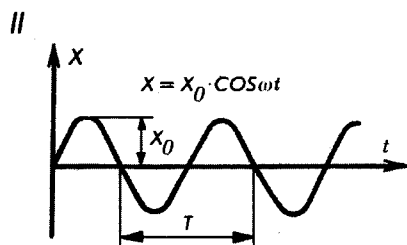
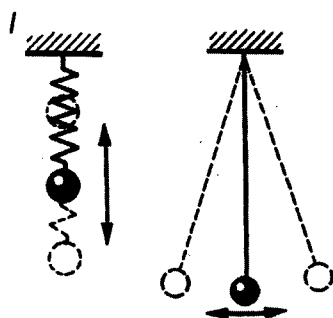
**4.7. Кинетическая энергия колебаний.** Колебания — это движения (изменения состояния), характеризующиеся той или иной степенью повторяемости во времени. Колебания могут иметь различную физическую природу, а также отличаться и «механизмом» возбуждения, характером, степенью повторяемости и быстротой смены состояний.

В теории колебаний рассматриваются периодические и непериодические колебания. Наиболее простыми являются периодические колебания, при которых значение физических величин  $s$ , изменяющихся в процессе колебания, повторяются через равные промежутки времени  $s(t + T) = s(t)$ ,

где:  $t$  — время,  $T$  — период колебания.

За период совершается одно полное колебание. Число полных колебаний в единицу времени  $\nu = 1/T$  называется частотой периодичности колебаний.

Колебательные устройства могут иметь различное с конструктивной разновидностью количество звеньев, объединенных общим определением к о л е б а т е л ь н а я с и с т е м а. (рис. 23, I). Простейшие периодические колебания — г а р м о н и ч е с к и е колебания (рис. 23, II). Произвольное



$F_{ex}$  — вынуждающая (возмущающая) сила

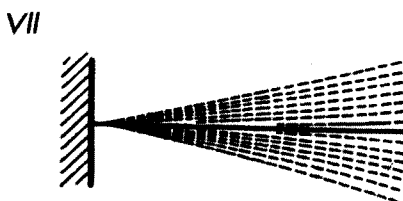
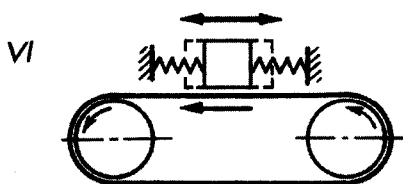


Рис. 23

колебание можно представить в виде суммы гармонического колебания, у которого амплитуда ( $x_0$ ) и период ( $T$ ) колебаний в данный период времени постоянны.

**С в о б о д н ы е** колебания (собственные колебания) — колебания (рис. 23, III), которые возникают в системе, не подвергающейся переменным внешним воздействиям, вследствие какого-либо начального отклонения этой системы от состояния устойчивого равновесия. Характер свободного колебания в основном определяется параметрами колебательной системы (массой, упругостью, моментом инерции и т. п.).

**З а т у х а ю щ и е** колебания (рис. 23, IV) — постепенно ослабленные с течением времени колебания. Это явление обусловлено потерями энергии колебательной системой. Затухающие колебания в механических системах вызываются главным образом трением и возмущением в окружающей среде упругих волн.

Во многих машинах и механизмах, подверженных вредным колебаниям во время работы, принято устанавливать специальные механические, пневматические и гидравлические гасители типа амортизаторов и демпферов, о них речь пойдет ниже.

**В ы н у ж д е н н ы е** колебания (рис. 23, V) — колебания, возникающие в колебательной системе под влиянием переменных внешних воздействий. Поскольку характер подобных воздействий может быть разным, то и характер колебаний различен. Вынужденные колебания — всегда вредные колебания, отражающиеся в конечном счете на полезной работе и даже на целостности всей конструкции машины, механизма.

**А в т о к о л е б а т е л ь н о й** (рис. 23, VI) называется система, в которой возникают незатухающие колебания. Энергия автоколебаний поддерживается за счет регулируемого поступления энергии от специального источника, содержащегося в самой системе. Примерами автоколебания могут служить колебания маятника часов, струн в смычковых и др.

В колебательных системах зачастую возникают чрезвычайно вредные и опасные явления — это вибрация и резонанс. **В и б р а ц и я** (латинское слово — колебание) — это прежде всего механические колебания (рис. 23, VII).

Полезная вибрация (и такая может быть) возбуждается специальными вибраторами и служит для выполнения различных технологических операций. К примеру, вибратор для уплотнения бетонной смеси и грунта в строительстве, для выбивки литья из опок, при испытании конструкций, приборов и аппаратов на виброустойчивость и т. п.

Вредная вибрация возникает при движении транспортных средств, работе машин, механизмов и при большой интенсивности нарушает режим работы или разрушает устройства, приводит к быстрой утомляемости людей. Наибольшую опасность представляет вибрация у самолетов от переменных аэродинамических сил, возникающих в результате срывов воздушных потоков. Подобные вибрации приводят к появлению остаточных деформаций, выходу

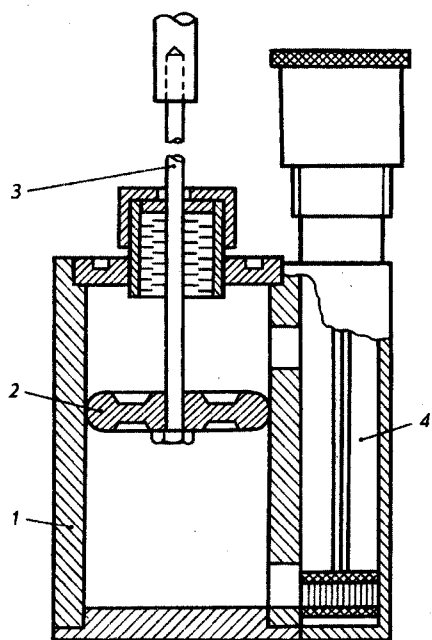


Рис. 24

из строя агрегатов и деталей, расположенных в зоне значительной тряски, и даже к разрушению конструкции.

**Резонанс** — более или менее резкое возрастание амплитуды установившихся вынужденных колебаний системы, когда частота внешнего воздействия на колебательную систему приближается к какой-либо из частот ее собственных колебаний.

В практике эксплуатации пролетных сооружений — мостов имели случаи их разрушения по причине «вхождения в резонанс». Известно, что подразделениям солдат перед входом на мост приказывают сменить строевой шаг на вольный. Это делается, чтобы резонансная частота, создаваемая одновременными ударами многих ног солдат подразделения о настил моста, случайно не совпала с резонансной частотой самого сооружения, что может привести к его разрушению.

На всех машинах и механизмах, на которых во время работы возникают вредные колебания, принято ставить специальные гасители.

**Амортизатор** — устройство для смягчения ударов в конструкциях машин и сооружений в целях защиты от сотрясений и больших нагрузок. Амортизаторы применяют для гашения колебаний при движении автомобиля по неровной дороге, для смягчения удара при посадке самолета и т. д. В конструкциях амортизаторов используют рессоры, торсионы (пружины, работающие на кручение), резиновые элементы и др., а также жидкости и газы.

**Демпфер** — устройство для успокоения (демпфирования) или предотвращения вредных механических колебаний звеньев машин и механизмов путем поглощения энергии. Разновидностью демпфера является **катаракт** (греческое слово, означающее водопад). Катаракт — устройство для гашения колебаний и ослабления ударов в машинах, железнодорожных вагонах, автомобилях, артиллерийских орудиях, автоматических регуляторах и др. Катаракт поглощает механическую энергию движения, обращая ее в тепло. Катаракты выполняются в виде поршневых, мембранных, сильфонных и др. устройств переменного объема, заполненными жидкостью (рис. 24: 1 — цилиндр, наполняемый вязкой жидкостью; 2 — поршень; 3 — шток; 4 — перепускной канал). В отличие от амортизаторов, катаракт не имеет упругих частей и механическая энергия в нем не аккумулируется, а преобразуется в тепловую, рассеиваемую в пространстве.

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О МЕХАНИЗМАХ И МАШИНАХ

## 1. МЕХАНИЗМ И МАШИНА

В современной технике используется огромное количество машин и механизмов разнообразного назначения и устройства.

М а ш и н о й принято называть механическое устройство, выполняющее определенную полезную работу, связанную с процессом производства или преобразованием энергии. Во всякой машине имеется исполнительный (рабочий) орган, который приводится в действие машиной-двигателем через систему механизмов.

М е х а н и з м о м называют определенную совокупность подвижных и неподвижных частей, которые обеспечивают передачу и преобразование движений и сил для выполнения машиной полезной работы.

Тела, входящие в механизм, называются з в е н ь я м и. Звено может состоять из одной или нескольких неподвижно соединенных между собой деталей. В любом механизме, кроме подвижных звеньев, обязательно имеется н е п о д в и ж н о е з в е н о. Звено, движение которому сообщается за счет приложения внешних сил или моментов сил, называют в е д у щ и м, а звено, которому движение передается, называют в е д о м ы м. Так, в машинных тисках рукоятка — ведущее звено, подвижная губка — ведомое звено, а неподвижная губка вместе с корпусом образует неподвижное звено. Иногда механизмы имеют самостоятельное применение — преобразователи движения (механизмы часов, арифмометров, тахометров и т. п. приборов), но чаще всего механизм является кинематической основой машины.

Таким образом, машину и механизм отличает от сооружения основной признак: при выполнении своего назначения элементы сооружения находятся в статическом состоянии, в то время как в механизме и машине отдельные части обязательно находятся в движении.

В то же время механизм от машины отличается тем, что механизм не предназначен ни для преодоления полезных сопротивлений (то есть для совершения полезной работы), ни тем более, для преобразования энергии, в то время как машина именно эти функции и выполняет.

## 2. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ МЕХАНИЗМОВ

Чтобы разобраться в устройстве механизма, следует обратить внимание не на отдельно взятые звенья, а на характер их соединения. Подвиж-



ное соединение двух звеньев в механизмах называется кинематической парой. При этом следует интересоваться лишь кинематическими возможностями пар (то есть возможностью звеньев совершать определенные движения) и не принимать во внимание конструктивные особенности.

В кинематических парах звенья могут получать относительное, вращательное, поступательное или сложное движение. Соответственно и различают вращательные, поступательные и пары сложного движения. Например, зубчатые колеса образуют вращательную пару, ползун и направляющие устройства — поступательную пару, винт и гайка — пару сложного движения или винтовую пару.

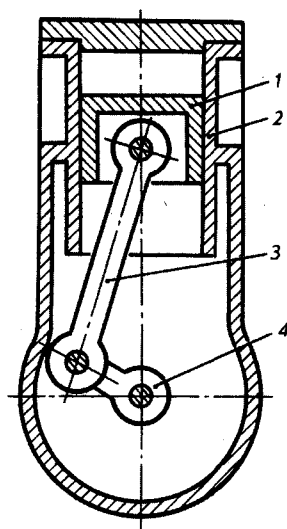


Рис. 25

Соединения кинематических пар, в свою очередь, образуют кинематическую цепь. Для изображения механизмов и их составных частей — звеньев и кинематических пар — пользуются стандартными условными обозначениями. Неподвижность звеньев в парах всех видов отмечается на схемах подштриховкой.

В качестве примера приведем последовательное изображение кинематической схемы двигателя внутреннего сгорания, конструкция которого показана на рис. 25.

Ведущим звеном, конечно, является поршень 1, так как движение ему сообщают внешние силы (давление газа или пара). Поршень совершает возвратно-поступательное движение относительно стенок неподвижного цилиндра 2. Ведомое звено — вал с кривошипом 4 — совершает вращательное движение. Между ведущим и ведомым звеньями находится промежуточное — шатун 3, совершающий плоскопараллельное движение.

Поршень — это ползун, стенки цилиндра — направляющие, следовательно, эта кинематическая пара согласно стандартным условным изображениям изобразится как показано на рис. 26, I. Вал с кривошипом, совершающий вращательное движение относительно неподвижной опоры, изобразится как показано на рис. 26, II. Шатун — это

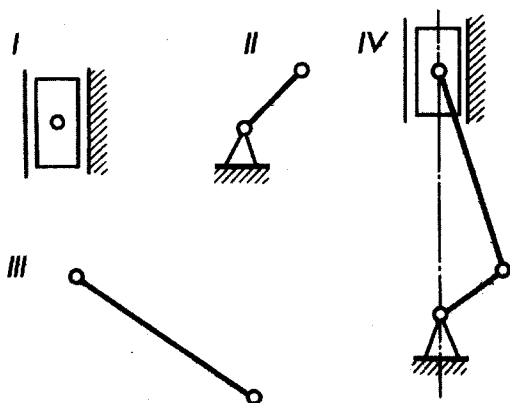


Рис. 26

стержень, концы которого связаны: один с ползуном, другой с кривошипом (рис. 26, III). Связав все звенья воедино, получим схематическое изображение механизма двигателя (рис. 26, IV).

В этом механизме — четыре звена: ползун, шатун, кривошип и одно неподвижное звено, обозначенное в двух местах подштриховкой. Однако следует обратить внимание на то, что с кинематической точки зрения — это одно звено, хотя реальных деталей может быть несколько (цилиндр, корпус и т. д.). Кинематических пар также четыре — три вращательных и одна поступательная.

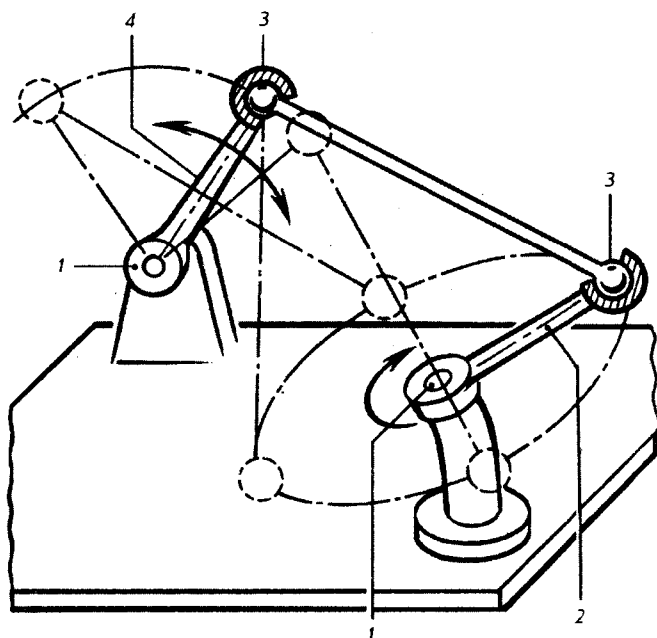


Рис. 27

По структурно-конструктивным признакам различают механизмы плоские, у которых точки звеньев описывают траектории, лежащие в параллельных плоскостях, и пространственные, которые осуществляют взаимодействие между звеньями, расположенными в различных плоскостях.

На рис. 27 приведена схема пространственного механизма, у которого звенья (стержни) сочленены двумя парами шарниров: шарнирами с одной осью 1 и сферическими шарнирами 3. Как видно из схемы, ведущее 2 и ведомое 4 звенья могут совершать вокруг шарниров 1 только вращательное движение, каждое в своей плоскости. Промежуточное звено, заключенное между двумя сферическими шарнирами 3, будет совершать сложные колебательные движения.

Плоский механизм (рис. 28) отличается от пространственного тем, что все его звенья, в том числе и опоры, и исполнительного звена (поступатель-

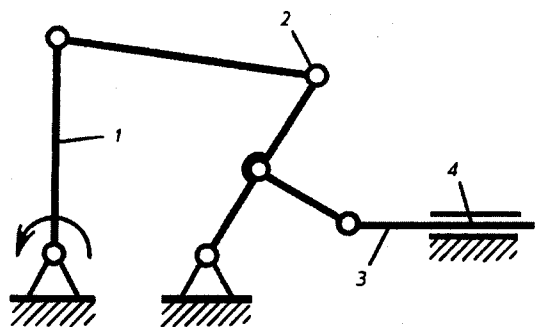


Рис. 28

ной пары 4), лежат в одной плоскости. Изображенный на схеме механизм содержит шесть вращательных пар 2— шарниров, каждое из которых представляет сочленение двух звеньев 1 и 3 с одной осью, допускающей вращательное их движение только в одной плоскости.

Звенья механизмов, в зависимости от их конструктивной особенности, могут быть неподвижны, совершать вращательные, по-

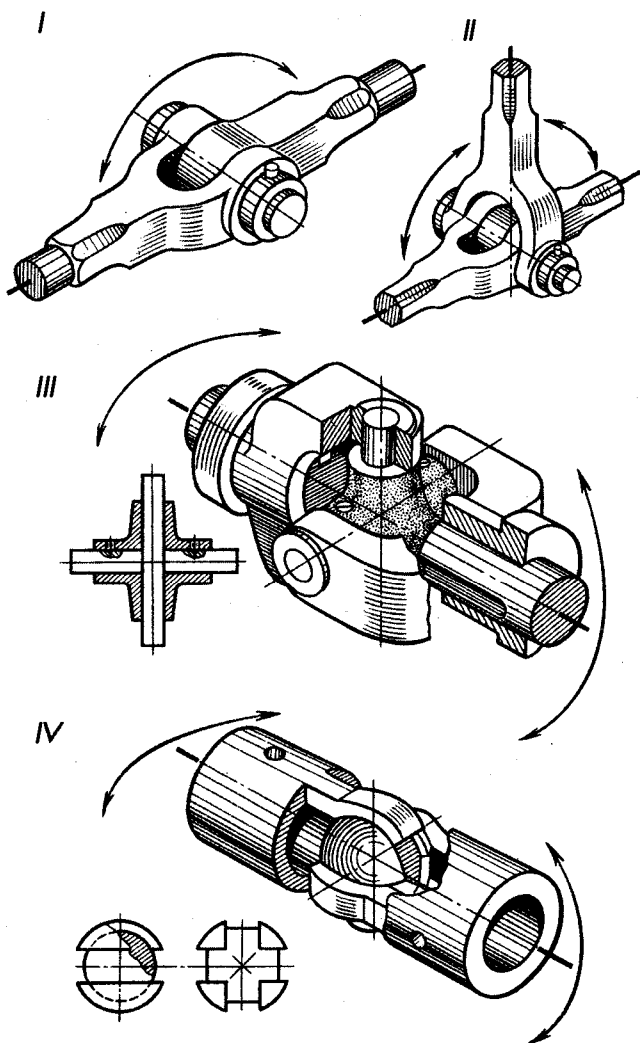


Рис. 29

ступательные и другие движения. Но в каждом механизме, преобразующем движение, имеются, как уже можно было увидеть из вышеприведенных примеров, шарниры с заданными наперед кинематическими свойствами.

На рис. 29 изображены конструктивные разновидности шарнирных сочленений. Поз. I и II — шарнирные сочленения с одной осью двух и трех звеньев, которые могут совершать только круговые движения в одной плоскости. Поз. III и IV — шарнирные сочленения, которые допускают вращательные движения своих звеньев во взаимно-перпендикулярных плоскостях.

При разработке новых механизмов конструктор прочерчивает несколько вариантов кинематических схем и из них выбирает оптимальный. На основании отобранной схемы производится техническая и технологическая разработка деталей и их конструктивное формообразование. Именно кинематическая схема, разработанная на стадии эскизного проектирования, является отправной конструкцией будущего механизма.

### 3. МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ

Механическая энергия многих машин-двигателей обычно представляет собой энергию вращательного вала. Однако не во всех станках и механизмах рабочие органы также совершают вращательное движение. Зачастую им необходимо сообщить поступательное или возвратно-поступательное движения. Возможна и обратная картина. В подобных случаях применяют механизмы, преобразующие движение. К ним относятся: зубчато-реечный, винтовой, кривошипно-шатунный, кулисный и кулачковый механизмы.

**3.1. Зубчато-реечный механизм.** Зубчато-реечный механизм (рис. 30) состоит из зубчатого цилиндрического колеса и зубчатой рейки — планки с нарезанными на ней зубьями. Такой механизм можно использовать для различных целей:

вращая зубчатое колесо на неподвижной оси, перемещать поступательно рейку (например, в реечном домкрате, в механизме подачи сверлильного станка);

обкатывая колесо по неподвижной рейке, перемещать ось колеса относительно рейки (например, при осуществлении продольной подачи суппорта в токарном станке).

**3.2. Винтовой механизм.** Для преобразования вращательного движения в поступательное очень часто при-

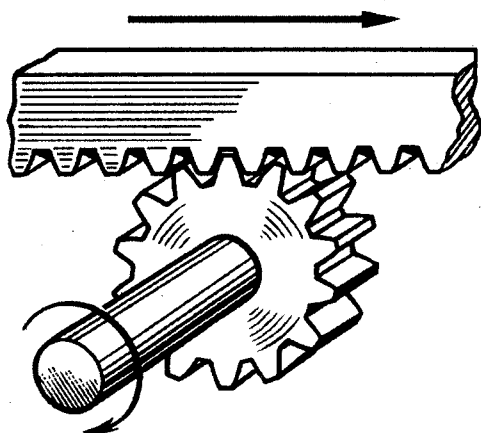


Рис. 30

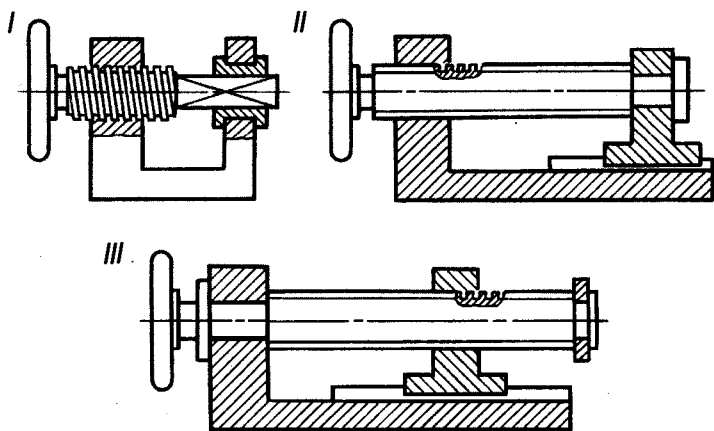


Рис. 31

меняется механизм, основными частями которого являются винт и гайка.

Такой механизм (рис. 31) применяют в различных конструкциях:

гайка (внутренняя резьба нарезана в корпусе) неподвижна, винт вращается и одновременно поступательно перемещается (рис. 31, I);

гайка неподвижна, винт вращается и одновременно поступательно перемещается с салазками. Салазки шарнирно соединены с винтом и могут совершать возвратно-поступательное движение в зависимости от направления движения винта по направляющим (рис. 31, II);

винт закреплен так, что может лишь вращаться, а гайка (в данном случае салазки) лишена возможности вращаться, так как ее нижняя (или другая) часть установлена между направляющими. В этом случае гайка (салазки) будет перемещаться поступательно (рис. 31, III).

В перечисленных винтовых механизмах применяются резьбы различного профиля, чаще всего прямоугольная и трапецевидная (к примеру в слесарных тисках, домкратах и т. п.). Если угол подъема винтовой линии небольшой, то ведущим движением является вращательное. При очень большом угле подъема винтовой линии возможно преобразование поступательного движения во вращательное и тому примером может служить быстродействующая отвертка.

**3.3. Кривошипный механизм.** К р и о ш и п (рис. 32) — звено кривошипного механизма, которое может совершать полный оборот вокруг неподвижной оси. Кривошип (I) имеет цилиндрический выступ — ш и п I, ось которого смещена относительно оси вращения кривошипа на расстояние  $r$ , которое может быть постоянным или регулируемым. Более сложным вращающимся звеном кривошипного механизма является к о л е н ч а т ы й в а л. Э к с ц е н т р и к (III) — диск, насаженный на вал с эксцентриситетом, то есть со смещением оси диска относительно оси вала. Эксцентрик можно рассматривать как конструктивную разновидность кривошипа с малым радиусом.

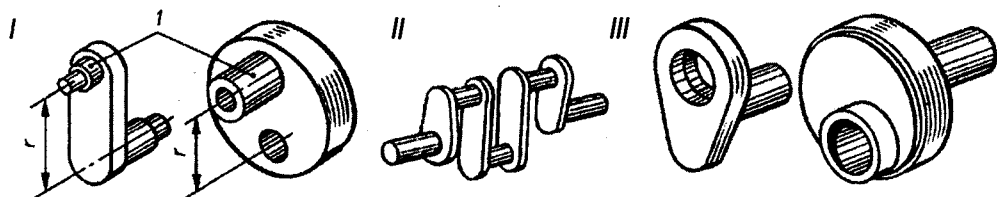


Рис. 32

**Кривошипный механизм** — механизм, преобразующий один вид движения в другой. Например, равномерно вращательное — в поступательное, качательное, неравномерное вращательное и т. д. Вращающееся звено кривошипного механизма, выполненное в виде кривошипа или коленчатого вала, связано со стойкой и другим звеном вращательными кинематическими парами (шарнирами). Принято различать подобные механизмы на кривошипно-шатунные, кривошипно-коромысловые, кривошипно-кулисные и др. в зависимости от характера движения и наименования того звена, в паре с которым работает кривошип.

Используются кривошипные механизмы в поршневых двигателях, насосах, компрессорах, прессах, в приводе движения металлорежущих станках и других машинах.

**Кривошипно-шатунный механизм** — один из самых распространенных механизмов преобразования движения. Его применяют как для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное (например, поршневые насосы), так и для преобразования возвратно-поступательного во вращательное (например, двигатели внутреннего сгорания).

**Шатун** — деталь кривошипно-шатунного (ползунного) механизма, передающая движение поршня или ползуна на кривошип коленчатого вала. Часть шатуна, служащая для присоединения к коленчатому валу, называется кривошипной головкой, а противоположная часть — поршневой (или ползунной) головкой.

Механизм состоит из стойки 1 (рис. 33), кривошипа 2, шатуна 3 и ползуна 4. Кривошип совершает непрерывное вращение, ползун — возвратно-поступательное движение, а шатун — сложное, плоско-параллельное движение.

Полный ход ползуна получается равным удвоенной длине кривошипа. Рассматривая перемещения ползуна из одного положения в другое, нетрудно увидеть, что при повороте кривошипа на равные углы ползун проходит разное расстояние: при движении от крайнего положения к среднему участки пути ползуна увеличиваются, а при движении от среднего положения к крайнему — уменьшаются. Это свидетельствует о том, что при равномерном движении кривошипа ползун движется неравномерно. Так скорость движения ползуна меняется от нуля в начале его движения и достигает наибольшей величины, когда кривошип и шатун образуют между собой прямой угол, затем снова уменьшается до нуля при другом крайнем положении.

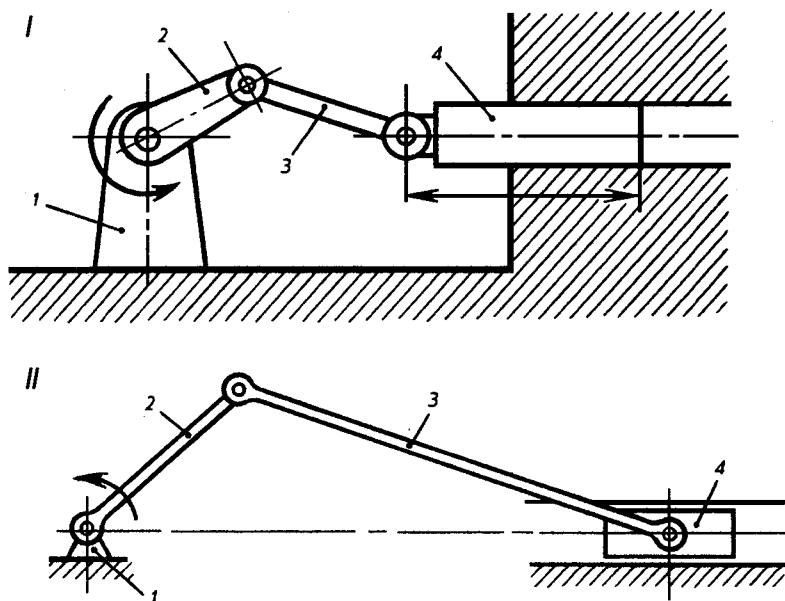


Рис. 33

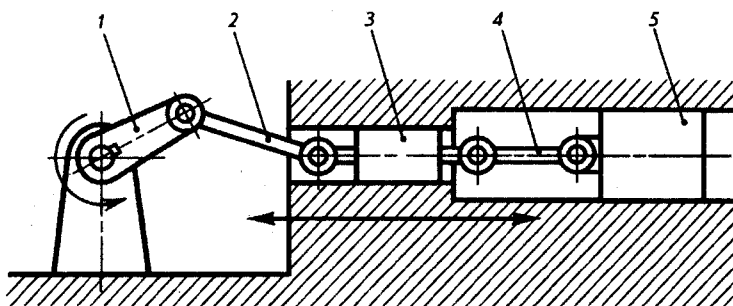


Рис. 34

Неравномерность хода ползуна вызывает появление сил инерции, оказывающих отрицательное влияние на весь механизм. В этом главный недостаток кривошипно-ползунного механизма.

В некоторых кривошипно-шатунных механизмах возникает необходимость в обеспечении прямолинейности движения поршневого штока 4 (рис. 34). Для этого между кривошипом 1, шатуном 2 и ползуном 5 используют так называемый к р е й ц к о п ф 3, воспринимающий на себя качательные движения шатуна (4 — шток промежуточный).

Э к с ц е н т р и к о в ы й механизм. Подобно кривошипно-ползунному работает эксцентрик, в котором роль кривошипа выполняет эксцентрик, укрепленный на ведущем валу. Цилиндрическая поверхность экс-

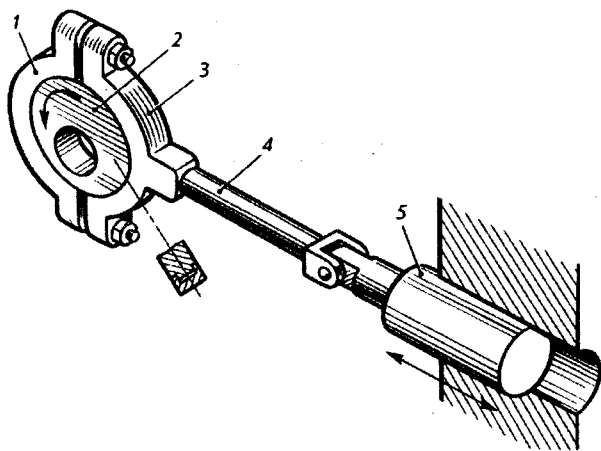


Рис. 35

центрика 2 (рис. 35) свободно охватывается хомутом 1 и бугелем 3, к которому прикреплен шатун 4, передающий во время вращения ведущего вала поступательное движение ползуну 5. В отличие от кривошипно-ползунного эксцентриковый механизм не может преобразовывать возвратно-поступательное движение ползуна во вращательное движение эксцентрика вследствие того, что между хомутом и эксцентриком, несмотря на наличие смазки, остается достаточное трение, чтобы препятствовать движению.

По этой причине эксцентриковый механизм применяют только в тех машинах, где необходимо вращательное движение преобразовывать в возвратно-поступательное движение и создавать небольшой ход исполнительному органу при значительных силах. К таким машинам относятся штампы, прессы и др.

**Кривошипно-коромысловый механизм.** Коромысло — звено рычажного механизма и представляет собой деталь в виде двуплечего рычага, качающегося около

средней неподвижной оси на стойке. На рис. 36 представлены конструктивная (I) и кинематическая (II) схемы такого механизма. Кривошип 1 может совершать вращательное движение. Кинематическая цепочка: криво-

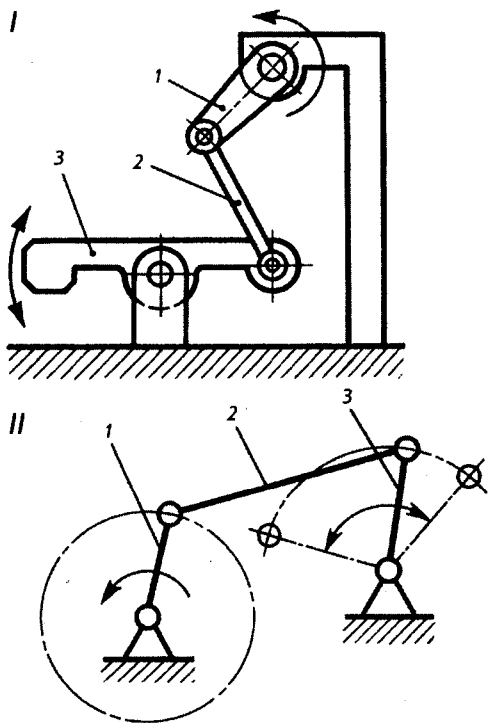


Рис. 36



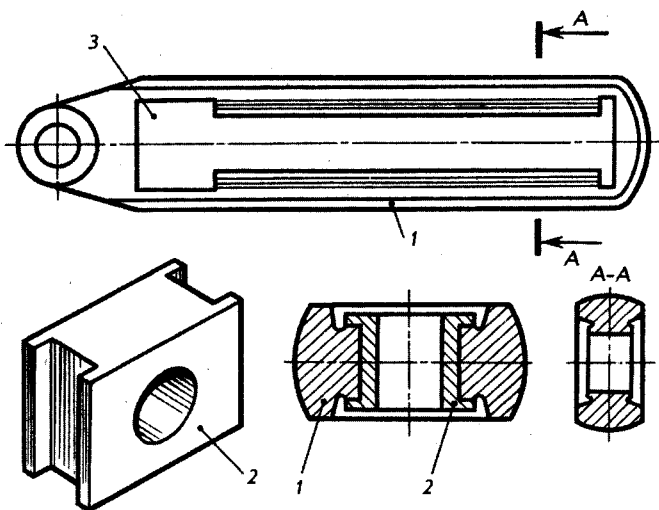


Рис. 37

шип 1, шатун 2 и коромысло 3, связанная шарнирными сочленениями, заставляет коромысло совершать качательные движения вокруг неподвижной оси на стойке.

Применяют кривошипно-коромысловый механизм в рессорных подвесках паровозов, вагонов, в конструкциях машин для испытания материалов, весов, буровых станков и др.

**3.4. Кулисный механизм.** Кулиса 1 — звено (деталь) кулисного механизма, снабженное прямолинейной или дугообразной прорезью, в которой перемещается небольшой ползун — кулисный камень 2 (рис. 37). Кулисный механизм — рычажный механизм, преобразующий вращательное или качательное движения в возвратно-поступательное и наоборот. По виду движения различают кулисы: вращающиеся, качающиеся и прямолинейно движущиеся (3 — отверстие, через которое вставляется и удаляется кулисный камень).

**Кривошипно-кулисный механизм.** На рис. 38 показаны наиболее распространенные конструктивные разновидности таких механизмов.

На рис. 38, I показано, что вокруг неподвижной оси вращается кривошип 3, шарнирно соединенный одним концом с ползуном (кулисным камнем) 2. При этом ползун начинает скользить (перемещаться) в продольном прямолинейном пазу, прорезанном в рычаге (кулисе) 1, и поворачивать его вокруг неподвижной оси. Длина кривошипа позволяет придать кулисе вращательное движение. Подобные механизмы служат для преобразования равномерного вращательного движения кривошипа в неравномерное вращательное движение кулисы, но если при этом длина кривошипа равна расстоянию между осями опор кривошипа и кулисы, то получается кривошипно-шатунный механизм с равномерно вращающейся кулисой.

Кривошипно-кулисный механизм с качающейся кулисой (рис. 38, II) служит для преобразования вращательного движения кривошипа 3 в качательное движение кулисы 1 и при этом происходит быстрый ход при движении ползуна в одну сторону и медленный — в другую. Механизм широко применяется в металлорежущих станках, например: в поперечно-строгальных, зубодолбежных и др.

Кривошипно-кулисный механизм с поступательно движущейся кулисой (рис. 38, III) служит для преобразования вращательного движения кривошипа 3 в прямолинейно-поступательное движение кулисы 1. В механизме кулиса может быть расположена вертикально или наклонно. Применяется такой механизм для малых длин хода и находит широкое применение в счетных машинах (синусный механизм).

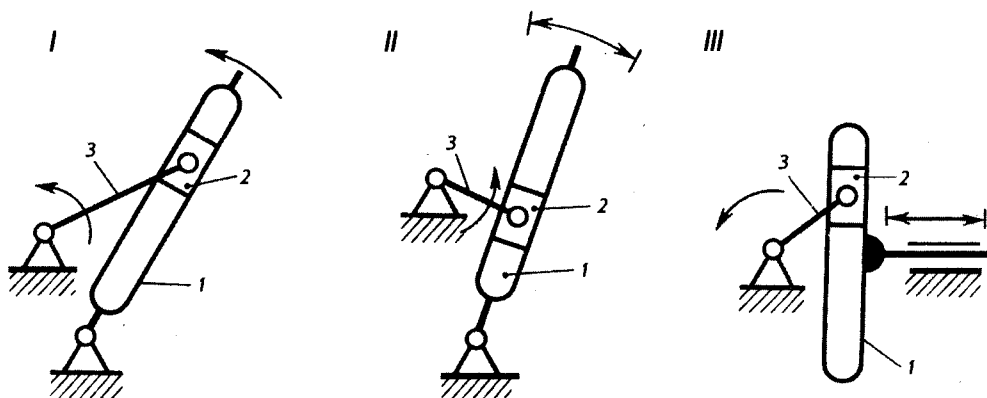


Рис. 38

**3.5. Кулачковый механизм.** Кулачок — деталь кулачкового механизма с профилированной поверхностью скольжения, чтобы при своем вращательном движении передавать сопряженной детали (толкателю или штанге) движение с заданным законом изменения скорости. Геометрическая форма кулачков может быть различной: плоской, цилиндрической, конической, сферической и более сложной.

Кулачковые механизмы — преобразующие механизмы, изменяющие характер движения. В машиностроении широко распространены кулачковые механизмы, преобразующие вращательное движение в возвратно-поступательное и возвратно-качательное. Кулачковые механизмы (рис. 39 и 40), как и другие виды механизмов, подразделяют на плоские и пространственные.

Кулачковые механизмы применяют для выполнения различных операций в системах управления рабочим циклом технологических машин, станков, двигателей и т. д. Основным элементом системы газораспределения двигателя внутреннего сгорания является простейший кулачковый механизм, изображенный на рис. 39, I. Механизм состоит из кулачка 1, штанги

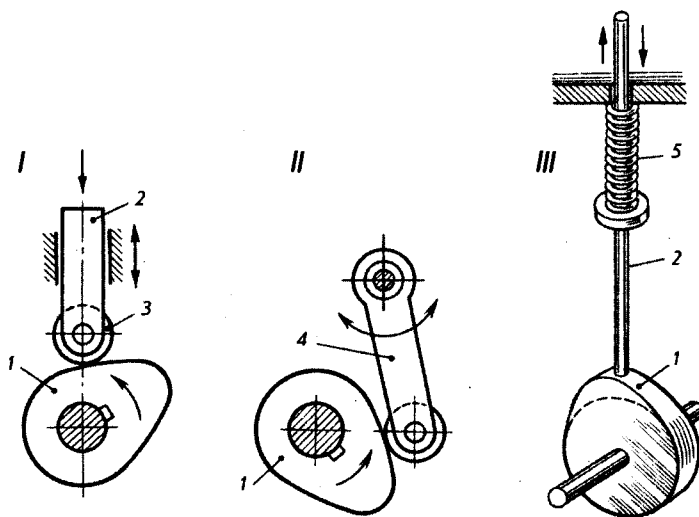


Рис. 39

2, связанной с рабочим органом, и стойки, поддерживающей в пространстве звенья механизма и обеспечивающей каждому звену соответствующие степени свободы. Ролик 3, устанавливаемый в некоторых случаях на конце штанги, не влияет на закон движения звеньев механизма. Штанга, совершающая поступательное движение, называется толкателем 2, а вращательное — коромыслом 4 (рис. 39, II). При непрерывном движении кулачка толкатель совершает прерывное поступательное, а коромысло — прерывное вращательное движения.

Обязательным условием нормальной работы кулачкового механизма является постоянное касание штанги и кулачка (замыкание механизма). За-

мыкание механизма может быть силовым и геометрическим. В первом случае замыкание обычно обеспечивается пружиной 5 (рис. 39, III), прижимающей штангу к кулачку, во втором — конструктивным оформлением толкателя, особенно, его рабочей поверхности. К примеру, толкатель с плоской поверхностью (рис. 39, III) касается кулачка разными точками, потому его применяют только в случае передачи малых усилий.

В машинах легкой промышленности для обеспечения весьма сложного взаимосвязанного движения деталей,

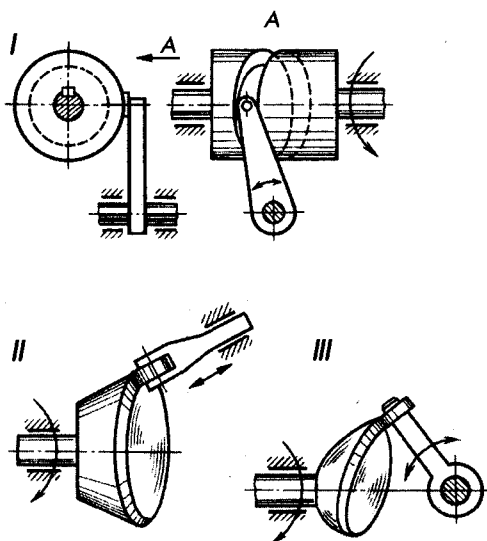


Рис. 40

наряду с простейшими плоскими, применяют пространственные кулачковые механизмы. В пространственном кулачковом механизме можно увидеть типичный пример геометрического замыкания — цилиндрический кулачок с профилем в виде паза, в который входит ролик толкателя (рис. 40, I).

При выборе типа кулачкового механизма стараются остановиться на применении плоских механизмов, имеющих значительно меньшую стоимость по сравнению с пространственными, и во всех случаях, когда это возможно, используют штангу качающейся конструкции, так как штангу (коромысло) удобно устанавливать на опоре с применением подшипников качения. Кроме того, в этом случае габаритные размеры кулачка и всего механизма в целом могут быть меньше.

Изготовление кулачковых механизмов с коническими и сферическими кулачками (рис. 40, II и III) является сложным техническим и технологическим процессом, а потому и дорогим. Поэтому такие кулачки применяют в сложных и точных приборах.

# РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В любой работающей машине все детали испытывают действие нагрузок и в процессе эксплуатации (конечно, в разной степени) изменяют свою форму и размеры.

Изменения формы и размеров тел под действием внешних сил называют деформациями. Величина деформации тел зависит главным образом от характера действующих на них сил, то есть от их величины и направления, размеров тел и механических свойств материала.

Деталей в машине много, и на каждую из них действуют разнообразные нагрузки. Одни нагрузки растягивают или сжимают детали, другие изгибают, третьи скручивают. Многие детали подвергаются сложному воздействию нагрузок, которые одновременно растягивают и изгибают, скручивают и сжимают детали. Не все нагрузки, действующие на детали, постоянны по величине и направлению. Действие всех сил должно быть учтено при конструировании. Ведь от того, насколько правильно будут рассчитаны детали машин на прочность, зависит не только целостность машины, но и безопасность людей, обслуживающих и эксплуатирующих ее.

Чем точнее будут установлены величины внешних сил, действующих на детали машины, тем рациональнее можно предусмотреть запас ее прочности и, следовательно, тем полнее будет использован материал для ее изготовления.

Методы расчета машин и сооружений на прочность, жесткость и устойчивость отражены в одном из разделов технической механики — сопротивлении материалов. Наука о сопротивлении материалов базируется не только на общеизвестных положениях механики, но и на экспериментальных данных, полученных в результате испытаний материалов на растяжение, сжатие, сдвиг, кручение и изгиб.

При конструировании машины всегда возникает вопрос, какие размеры нужно назначить деталям, входящим в нее. Если эти размеры задать чрезмерно большими, то машина получится тяжелой, металлоемкой, то есть потребляющей большое количество металла. При слишком малых размерах может получиться машина ненадежная в эксплуатации из-за недостаточной износоустойчивости деталей.

Для того, чтобы проектируемое изделие было надежно в работе и экономически целесообразно, необходимо рассчитать его конструкцию, то есть

дать оценку прочности. Этот процесс обычно осуществляется в такой последовательности.

1. Реальную конструкцию приводят к так называемой расчетной схеме. Для одной и той же конструкции может быть предложено несколько расчетных схем, в зависимости от того, что именно в каждом конкретном случае интересует конструктора.

Основной упрощающий прием — приведение геометрической формы тела, рассчитываемого на прочность, к одному из следующих простейших видов: брус, оболочка, пластина и массив.

К форме б р у с а. Под брусом понимают всякое тело, одно из измерений которого (длина) много больше двух других. Брус с прямолинейной осью часто называют с т е р ж н е м.

К форме о б о л о ч к и — тела, ограниченного двумя криволинейными поверхностями, расстояние между которыми мало по сравнению с другими размерами.

К форме п л а с т и н ы. Под пластиной понимают тело, ограниченное двумя плоскими поверхностями, когда одно из измерений тела (толщина) намного меньше двух других.

К форме м а с с и в а — тело, у которого все три размера, его составляющие, одного порядка.

2. Пользуясь законами механики, определяют нагрузки, действующие на детали и характер их изменения. Затем по этим усилиям рассчитывают детали на прочность, жесткость, вибрацию, долговечность и т. д. Таким образом, обосновывают наивыгоднейшие режимы работы машины, размеры и формы деталей.

С расчетной точки зрения все детали любой машины подразделяются на: нагруженные детали, размеры основных элементов которых определяют расчетным путем (например, валы, оси, зубчатые колеса, звездочки, ответственные крепежные детали, пружины и др.);

нагруженные детали, размеры основных элементов которых нельзя или весьма трудно рассчитать. Размеры таких деталей устанавливаются на основании компоновочных и конструктивно-технологических соображений. К данной категории деталей можно отнести корпус и крышку редуктора, главным критерием работоспособности которых является их жесткость;

детали, практически не испытывающие нагрузок, все размеры которых устанавливают исходя из конструктивных соображений. К этой категории деталей относятся крышки смотровых отверстий, распорные втулки, стаканы, кольца и др.

Таким образом, расчетным путем определяют размеры только основных элементов первой категории деталей.

3. Выбирают материал для изготовления изделия. При выборе материала всегда учитывают следующие основные требования: материал должен

обеспечивать необходимую прочность и надежность конструкции в работе, ее минимальную стоимость, обладать оптимальными технологическими свойствами.

Сведения о материалах обычно берут из справочников, где приведены различные характеристики материалов, полученные при испытании стандартных образцов в стандартных условиях.

4. Предварительно рассчитывают некоторые наиболее характерные размеры изделия по тем критериям работоспособности, которые являются в данном случае наиболее важными, и согласовывают эти размеры с действующими стандартами.

Надежный расчет возможен тогда, когда известны форма и абсолютные размеры детали, а также другие данные, характеризующие ее работу в сборочной единице. Предварительные расчеты позволяют определить лишь исходные размеры для проектирования детали и сборочной единицы.

5. На общем виде сборочной единицы прорабатывают все детали, а затем производят детализовку, то есть подробную конструктивную разработку деталей с указанием на рабочем чертеже всех ее размеров, допусков и посадок, классов шероховатости поверхностей, специальных технологических требований (термообработки, покрытий и др.).

6. На заключительном этапе производят проверочные расчеты по основным критериям работоспособности, то есть определяют запасы прочности в расчетных сечениях, деформации (прогибы, углы закручивания), критические скорости и т. д., и сопоставляют их величины с допустимыми значениями. В тех случаях, когда требуемое соответствие между этими величинами не обеспечивается, в конструкцию вводят изменения, после чего вновь производят проверочные расчеты.

Последовательным приближением удастся обеспечить требуемое соответствие между расчетными и допустимыми значениями запасов прочности, прогибов и т. д.

В процессе проектирования всегда стремятся найти оптимальное решение, для чего разрабатывают несколько вариантов конструкции, затем их сопоставляют, оценивают и выбирают из них наиболее подходящий.

## 2. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ДЕФОРМАЦИЙ

Изменение формы, или *д е ф о р м а ц и я*, какого-нибудь тела происходит вследствие воздействий, которые оказывают на него окружающие тела. Непосредственное механическое воздействие одного тела на другое принято называть *с и л о й*.

Силы измеряются в ньютонах ( $H$ ); на схемах, эскизах и чертежах силы изображаются векторами и обозначаются буквой  $F$ .

Если сила  $F$  приложена к телу, например, к рукоятке грузоподъемной

лебедки или к ключу, затягивающему гайку (рис. 41) на некотором плече  $l$ , то величину воздействия силы на тело оценивают произведением величины силы на плечо. Например, силы, прикладываемой к ключу, на его длину (плечо).

Произведение силы на плечо называют моментом силы и обозначают буквой  $M$ . Из рис. 41 видно, что  $M$  равен произведению  $F \cdot l$ .

Способность тел противостоять действию нагрузок во многом зависит от упругости или пластичности материала, из которого они изготовлены. Детали из таких материалов, как сталь, чугун, специальные сплавы, наиболее устойчивы к воздействию на них силам.

На рис. 42 показан прямой вертикальный стальной стержень, защемленный неподвижно с одной стороны. Если к верхнему концу стержня приложить силу и незначительно изогнуть стержень, а затем действие нагрузки снять, то стержень вернется в исходное положение. Такие деформации, которые исчезают после прекращения действия внешних сил, называют упругими. Деформации, остающиеся в телах после прекращения действия нагрузок, называют остаточными или пластическими (рис. 43).

В зависимости от направления действия сил на тела говорят о различных видах деформации. Рассмотрим кратко основные из них.

Если на середину доски, лежащей на двух опорах, положить большой груз (рис. 44), то она прогнется. Деформация, испытываемая доской, называется деформацией изгиба или изгибом.

Если к концу цилиндрического стержня (например, к стержню болта) приложить силу, действующую в плоскости, перпендикулярной к его оси (например, при навинчивании гаечным ключом гайки с резьбой), а другой конец стержня (головка болта) будет неподвижно зажат, то стержень будет закручиваться, то есть испытывать деформацию кручения (рис. 45).

Если две равные, но противоположные силы действуют по одной прямой вдоль нагружаемого тела (например, крюка) в разные стороны, то тело бу-

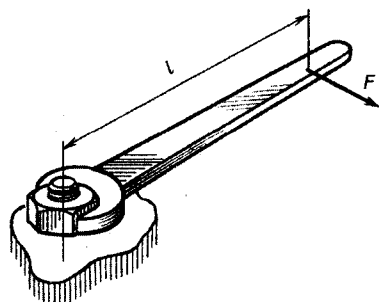


Рис. 41

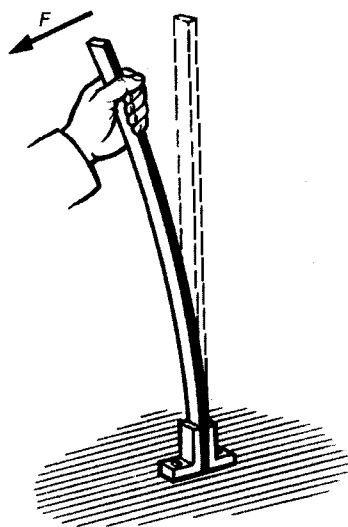


Рис. 42



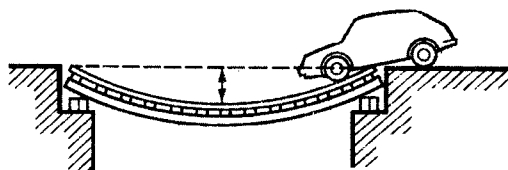


Рис. 43

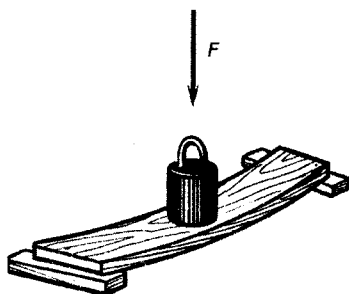
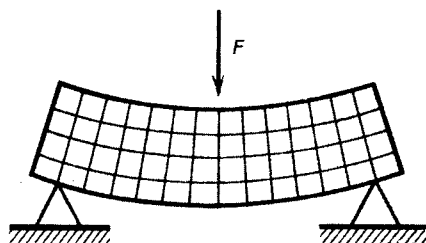


Рис. 44

дет удлиняться, то есть испытывать деформацию растяжения (рис. 46).

Если две равные, но противоположные силы действуют по одной прямой вдоль оси стержня (например, ходового винта домкрата) по направлению к его середине, то силы вызывают в нем деформацию сжатия (рис. 47).

Если к стальной пластине, укрепленной между двух балок с помощью трех заклепок, приложить силу (подвешиваемый груз) перпендикулярную оси заклепок в местах соприкосновения плоскостей 1 пластины и балок, то заклепки будут испытывать деформацию сдвига (среза) (рис. 48).

### 3. КЛАССИФИКАЦИЯ НАГРУЗОК

Воздействия, испытываемые стойкой от согнувшей ее руки (см. рис. 42), доской от груза (см. рис. 44), цилиндрическим стержнем болта при навинчивании гай-

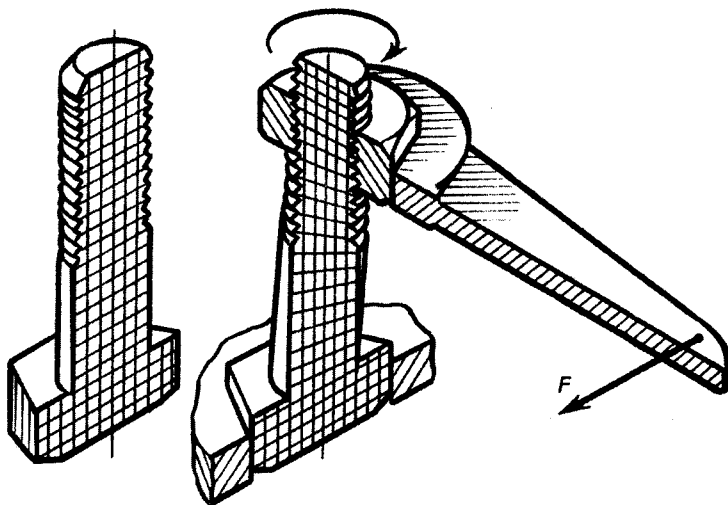


Рис. 45

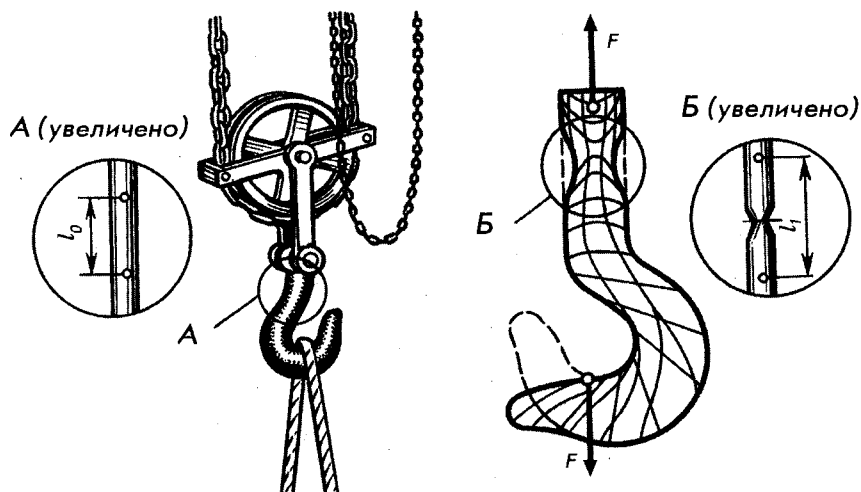


Рис. 46

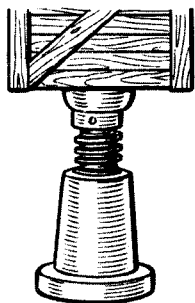


Рис. 47

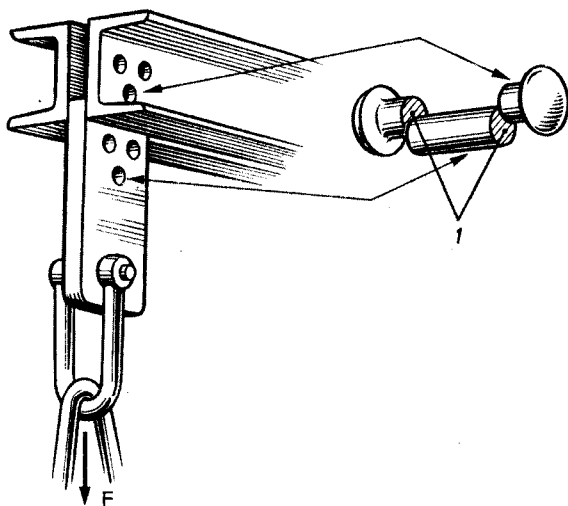
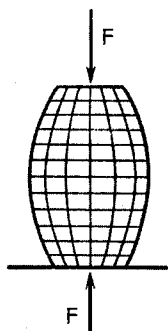


Рис. 48

ки гаечным ключом (см. рис. 45) и т. д., представляют собой внешние силы или нагрузки. Силы, возникающие в местах закрепления стойки и опирания доски, называются реакциями.

По способу приложения нагрузки делятся на сосредоточенные и распределенные (рис. 49).

Сосредоточенные нагрузки передают свое действие через очень малые площади. Примерами таких нагрузок могут служить давление колес железнодорожного вагона на рельсы, давление тележки тали на монорельс и т. д.

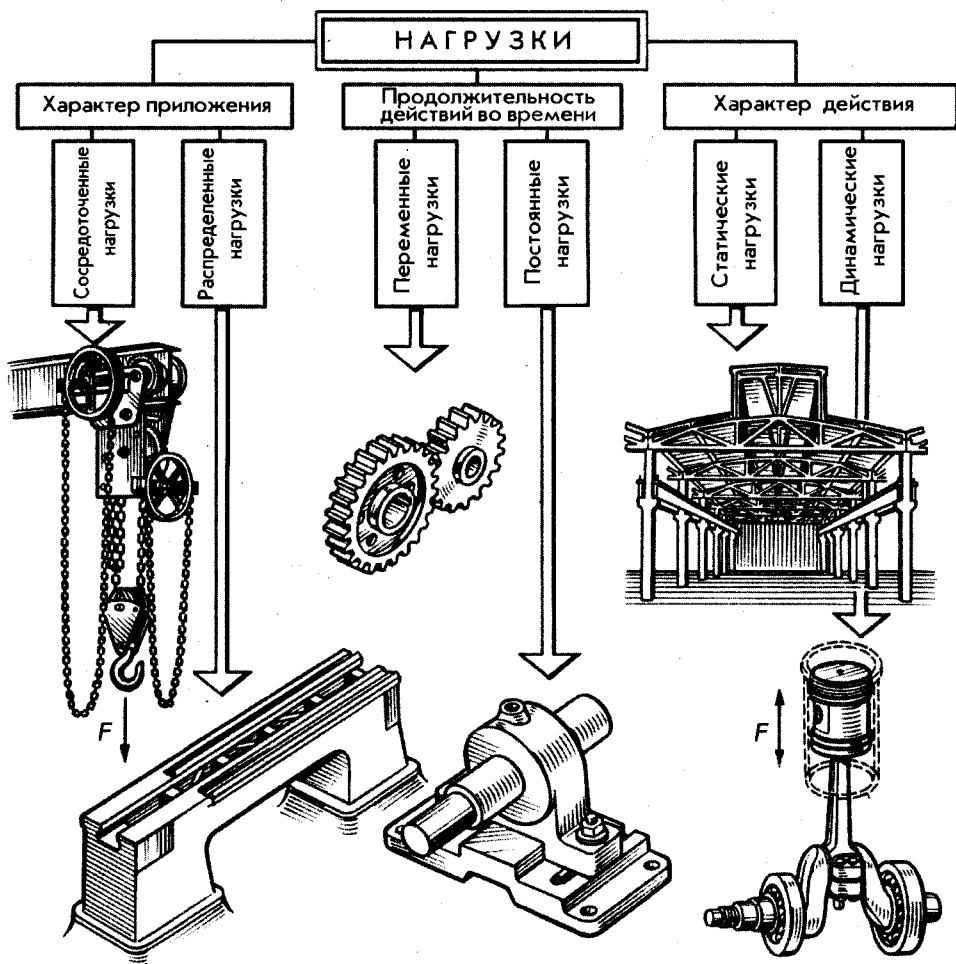


Рис. 49

Распределенные нагрузки действуют на сравнительно большой площади. Например, вес станка передается через станину на всю площадь соприкосновения с фундаментом.

По продолжительности действия принято различать постоянные и переменные нагрузки. Примером постоянной нагрузки может служить давление подшипника скольжения — опоры валов и осей — и его собственный вес на кронштейн.

Переменной нагрузке подвержены в основном детали механизмов периодического действия. Одним из таких механизмов служит зубчатая передача, у которой зубья в зоне контакта смежных пар зубчатых колес испытывают переменную нагрузку.

По характеру действия нагрузки могут быть статическими и динамическими. Статические нагрузки почти не изменяются в течение

ние всего времени работы конструкции (например, давление ферм на опоры). Динамические нагрузки действуют непродолжительное время. Их возникновение связано в большинстве случаев с наличием значительных ускорений и сил инерции.

Динамические нагрузки испытывают детали машин ударного действия, таких, как прессы, молоты и т. д. Детали кривошипно-шатунных механизмов также испытывают во время работы значительные динамические нагрузки от изменения величины и направления скоростей, то есть наличия ускорений.

#### 4. ПОНЯТИЯ О РАБОЧИХ, ПРЕДЕЛЬНЫХ И ДОПУСКАЕМЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ

До сих пор говорилось о действии нагрузок на тела. Способность тел противостоять им во многом зависит от возникающих внутренних сил (сил упругости).

Для определения внутренних усилий (или внутренних силовых факторов) применяют так называемый метод сечений, который заключается в следующем:

1. В интересующем нас месте мысленно делают разрез бруса (рис. 50, I);
2. Одну из частей (обычно ту, к которой приложено больше сил) отбрасывают;
3. Действие отброшенной части бруса на оставшуюся часть заменяют неизвестными силами (рис. 50, II);

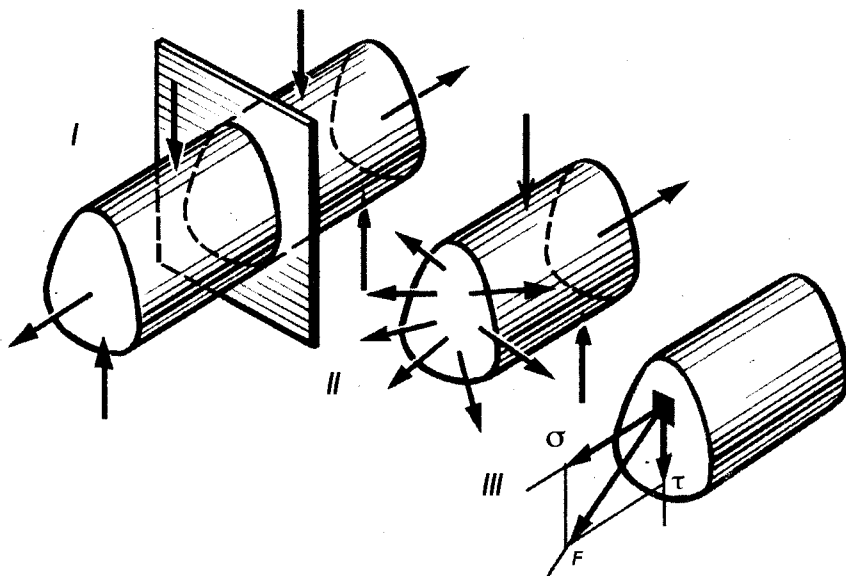


Рис. 50

4. Находят значение этих сил из уравнения равновесия, составленного для оставшейся части бруса.

В частном случае в поперечном сечении стержня может возникнуть только продольная сила. Если сила направлена от сечения, то этот случай нагружения называется растяжением, в противном случае — сжатием; только поперечная сила (случай сдвига, или среза); только крутящий момент (случай кручения); только изгибающий момент (случай изгиба).

В случае сложных деформаций в поперечном сечении могут возникнуть несколько внутренних силовых факторов, например продольная сила и изгибающий момент (одновременное действие растяжения и изгиба), крутящий и изгибающий моменты (одновременное действие кручения и изгиба) и т. д. Интенсивность внутренних сил характеризуется **н а п р я ж е н и е м**, которое определяется силой  $F$ , приходящейся на единицу площади  $ds$  сечения элемента детали.

Представим теперь (рис. 50, III) внутреннюю силу (как и всякую силу) через вектор. Если разложить вектор внутренних сил, а значит и напряжений, по двум взаимно перпендикулярным направлениям, то напряжение, направленное перпендикулярно сечению тела, называют **н о р м а л ь н ы м** и на схемах обозначают буквой  $\sigma$ . Напряжение, действующее в плоскости сечения тела, называют **к а с а т е л ь н ы м** и обозначают буквой  $\tau$ . К этим буквам в качестве индексов добавляют обозначения вида деформаций:  $p$  — растяжение;  $s$  — сжатие;  $k$  — кручение;  $u$  — изгиб;  $sp$  — срез или сдвиг. Например,  $\sigma_p$  — нормальное напряжение при растяжении;  $\tau_k$  — касательное напряжение при кручении и т. д.

При конструировании машин необходимо обеспечить безопасные напряжения в деталях при рабочей нагрузке. Напряжения, соответствующие нормальной рабочей нагрузке, называют **р а б о ч и м и н а п р я ж е н и я м и**. Рабочие напряжения могут колебаться от средней величины в небольших пределах. Если машина в работе испытывает значительные перегрузки, то напряжения создают опасность изменения формы и разрушения деталей.

Напряжения, после превышения которых возникают остаточные деформации и опасность разрушения деталей, называют **п р е д е л ь н ы м и н а п р я ж е н и я м и**. Для пластичных материалов опасным будет напряжение, при котором переход из состояния упругости в состояние пластичности сопровождается появлением остаточных деформаций. Такое напряжение называют **п р е д е л о м т е к у ч е с т и**  $\sigma_m$ .

Для упругих материалов предельным считают напряжение, после превышения которого наступает разрушение. Такое напряжение называют **п р е д е л о м п р о ч н о с т и**  $\sigma_{nc}$ .

Для всех конструкционных материалов величины предельных напряжений определены экспериментальными механическими испытаниями, результаты которых приведены в технических справочниках.

Напряжение, которое допускается для безопасной работы деталей машин, исключаяющее опасность появления остаточных деформаций или разрушения, называют до п у с к а е м ы м н а п р я ж е н и е м  $\sigma_p$ . Допускаемое напряжение меньше предельного в несколько раз.

Отношение предельного напряжения к допускаемому называют к о э ф ф и ц и е н т о м з а п а с а п р о ч н о с т и ( $k$ ), то есть  $k = \sigma_{пч} / \sigma_p$ .

Коэффициент запаса прочности задают в зависимости от многих факторов: механических свойств материалов, характера нагрузки, назначения изделия и пр.

Для большинства деталей машин и конструкций этот коэффициент при статических нагрузках равен 3...5, при динамических 6...10. Для изделий, поломка которых может вызвать большие разрушения и гибель людей, коэффициент запаса прочности берут равным 10...12.

## 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ. ЗАКОН ГУКА

Как известно, различные металлы и сплавы имеют разные механические и технологические свойства, которые определяют качество деталей машин, а также обрабатываемость металла. Эти свойства металла выявляют соответствующими испытаниями на растяжение, сжатие, изгиб, твердость и др.

**5.1. Испытание на растяжение.** Чтобы определить прочность металла, работающего на растяжение, изготавливают образец 1 и устанавливают его в зажимы (или захваты) 2 разрывной машины. Для этих целей чаще всего используют машины с гидравлической системой передачи усилия или с винтовой системой.

Растягивающая сила  $F$  (рис. 51) создает напряжение в испытываемом образце и вызывает его удлинение. Когда напряжение превысит прочность образца, он разорвется.

Результаты испытания обычно изображают в виде диаграммы. По оси абсцисс откладывают нагрузку  $F$ , по оси ординат — абсолютное удлинение  $\Delta l$ .

Из диаграммы видно, что вначале образец удлиняется пропорционально нагрузке. Прямолинейный участок  $OA$  соответствует обратимым, упругим деформациям. При разгрузке образец принимает исходные размеры (этот процесс описывается все тем же прямолинейным участком кривой). Искривленный участок  $AC$  соответствует необратимым, пластическим деформациям. При разгрузке (штриховая прямая  $CB$ ) образец не возвращается к начальным размерам и сохраняет некоторую остаточную деформацию.

От точки  $C$  образец удлиняется без увеличения нагрузки. Горизонтальный участок  $CM$  диаграммы называется площадкой текучести. Напряже-

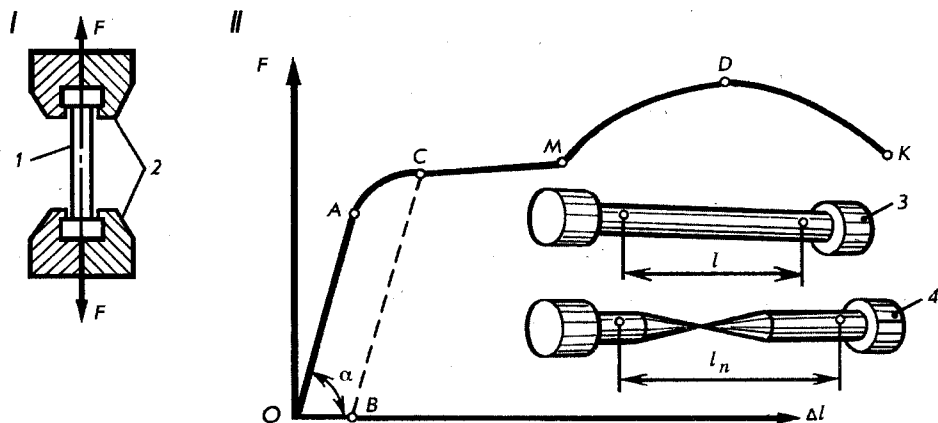


Рис. 51

ние, при котором происходит рост деформаций без увеличения нагрузки, называется пределом текучести.

Как показывают исследования, текучесть сопровождается значительными взаимными сдвигами кристаллов, в результате чего на поверхности образца появляются линии, наклонные к оси образца под углом  $45^\circ$ . Претерпев состояние текучести, материал снова обретает способность сопротивляться растяжению (упрочняется), и диаграмма за точкой  $M$  поднимается вверх, хотя гораздо более полого, чем раньше. В точке  $D$  напряжение образца достигает своей наибольшей величины, и на образце появляется резкое местное сужение, так называемая шейка. Площадь сечения шейки быстро уменьшается и, как следствие, происходит разрыв образца, что на диаграмме соответствует положению точки  $K$ . Предел прочности образца определяют по формуле  $\sigma_{нч} = F_D / S$ ,

где:  $\sigma_{нч}$  — предел прочности;

$F_D$  — нагрузка, при которой через определенный промежуток времени наступает разрушение растянутого образца,  $H$  (кгс);

$S$  — площадь поперечного сечения образца в исходном положении,  $мм^2$  ( $мм^2$ ).

Обычно при испытании различных металлов и сплавов на растяжение определяют относительное удлинение  $\epsilon$  — отношение прироста длины образца до разрыва к начальной длине образца. Его определяют по формуле  $\epsilon = \Delta l / l_0 \cdot 100$ ,

где:  $\epsilon$  — относительное удлинение;

$\Delta l = l_1 - l_0$  — абсолютное удлинение;

$l_0$  — начальная длина образца;

$l_1$  — длина образца после испытания.

Экспериментально было установлено, что напряжение в материале при упругой деформации возрастает пропорционально относительному удлинению образца. Эта зависимость получила название закона Гук а.

Для одностороннего (продольного) растяжения закон Гука имеет вид  $\sigma = E \cdot \epsilon$ ,

где:  $\sigma = F/s$  — нормальное напряжение;

$F$  — растягивающая сила;

$s$  — площадь поперечного сечения;

$\epsilon$  — относительное удлинение;

$E$  — постоянная величина, зависящая от материала стержня.

**Примечание.** В системе СИ единицей измерения напряжений служит п а с к а л ь — напряжение, вызванное силой 1 ньютон ( $H$ ), равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью 1  $m^2$ .

1  $Па = 0,102 \cdot 10^{-4}$   $кгс/см^2$ ;

1  $Па = 0,102 \cdot 10^{-6}$   $кгс/мм^2$ ;

1  $кгс/см^2 = 9,81 \cdot 10^4$   $Па$

1  $кгс/мм^2 = 9,81 \cdot 10^6$   $Па$ .

В связи с тем, что единица напряжения паскаль очень мала, приходится пользоваться более крупной единицей — м е г а п а с к а л ь 1  $МПа = 10^6$   $Па$ .

Госстандарт допускает к применению единицу н ь ю т о н н а к в а д р а т н ы й м и л л и м е т р ( $H/мм^2$ ). Числовые значения напряжений, выраженные в  $H/мм^2$  и в  $МПа$ , совпадают. Единица  $H/мм^2$  удобна и потому, что размеры на чертежах проставляют в миллиметрах.

Коэффициент пропорциональности  $E$  называется модулем упругости при растяжении или м о д у л е м Ю н г а. Каков физический смысл модуля упругости? Обратимся к диаграмме растяжения образца (см. рис. 51, II). Модуль упругости на ней пропорционален тангенсу угла наклона  $\alpha$  к оси абсцисс. Значит, чем круче прямая  $OA$ , тем жестче материал, и тем большее сопротивление оказывает он упругой деформации.

Для характеристики металла важно знать не только относительное удлинение  $\epsilon$ , но и относительное сужение площади поперечного сечения, которое также позволяет характеризовать пластичность материала.

Естественно, что при растяжении образца площадь поперечного сечения уменьшается. В месте разрыва она будет наименьшей. Относительное сужение определяют по формуле  $\varphi = (S_0 - S_1) / S_0 \cdot 100\%$ ,

где:  $\varphi$  — относительное сужение;

$S_0$  — площадь поперечного сечения образца до испытания;

$S_1$  — площадь сечения образца в месте разрыва (в шейке).

Чем больше относительное удлинение и относительное сужение поперечного сечения образца, тем более пластичен материал.

Кроме трех рассмотренных характеристик механических свойств металлов: предела прочности ( $\sigma_{пч}$ ), относительного удлинения ( $\epsilon$ ) и относительного сужения ( $\varphi$ ), можно определить, пользуясь записанной на машине диаграммой, предел упругости ( $\sigma_y$ ) и предел текучести ( $\sigma_m$ ).

**5.2. Испытание на сжатие.** Для испытания металлов на сжатие (рис. 53) чаще всего применяют прессы, в которых сжимающая сила образуется пу-



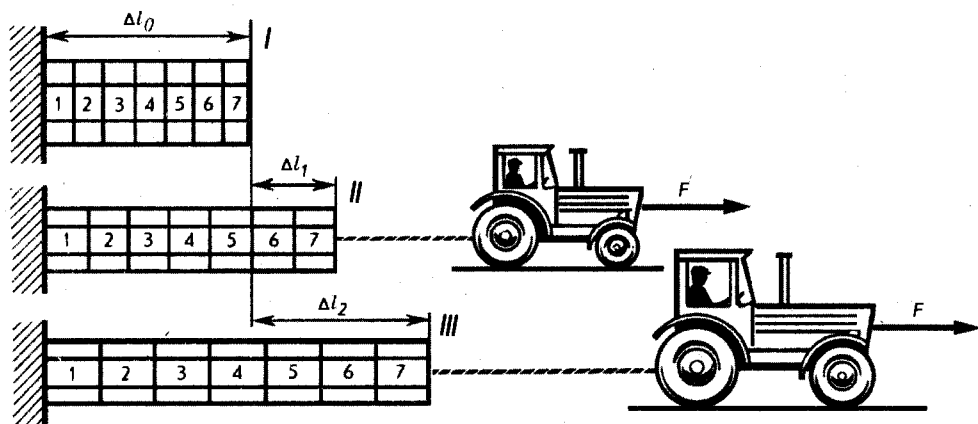


Рис. 52

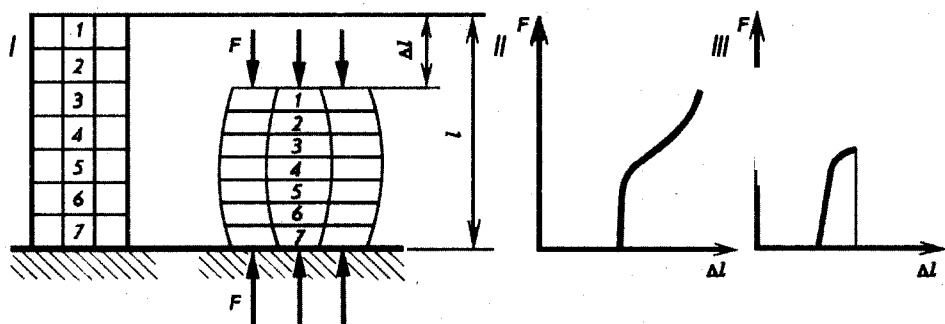


Рис. 53

тем увеличения гидравлического давления. При сжатии образца из пластичного материала, например малоуглеродистой стали (рис. 53, I), его поперечные размеры увеличиваются, в то время как длина значительно уменьшается. Нарушение целостности образца при этом не происходит (рис. 54). Из диаграммы сжатия (рис. 53, II) видно, что в начальной стадии нагружения деформация возрастает пропорционально нагрузке, затем деформация резко возрастает при незначительном увеличении нагрузки, далее рост деформации постепенно замедляется вследствие увеличения сечения образца.

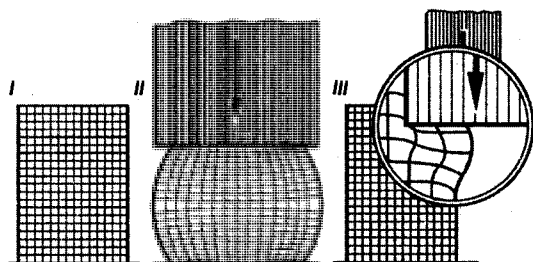


Рис. 54

Образцы из хрупких материалов при сжатии разрушаются (рис. 54, III). Например, стержень из чугуна при достижении разрушающей нагрузки распадается на

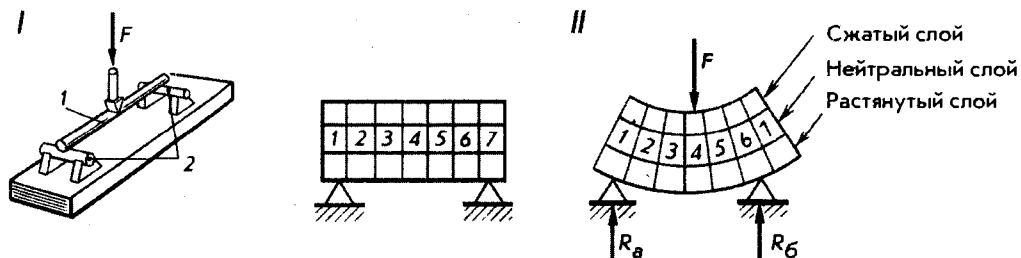


Рис. 55

части, которые сдвигаются относительно друг друга по косым площадкам (рис. 53, III).

Для сжатия полностью применим закон Гука, согласно которому материалы противодействуют сжатию пропорционально приложенной силе до предела упругости. Модуль упругости при сжатии для большинства материалов равен модулю упругости при растяжении. Исключение составляют только некоторые хрупкие материалы — бетон, кирпич и т. д. Аналогия в характере напряжения сжатия с напряжением растяжения позволяет описывать эти процессы одними и теми же математическими уравнениями.

**5.3. Испытание на изгиб.** При испытании на изгиб образец (брус) укладывают концами на две опоры и в середине нагружают (рис. 55). О сопротивлении материала изгибу судят по величине прогиба образца.

Представим теперь себе в брусе воображаемые продольные волокна. При деформации изгиба волокна одной зоны сжимаются, другой — растягиваются (рис. 55, II).

Между зонами сжатия и растяжения расположен нейтральный слой, волокна которого не подвергаются деформации, то есть их длина не изменяется. Из рис. 55 видно, что, чем больше волокна расположены от нейтрального слоя, тем большую деформацию они испытывают. Таким образом, можно сделать вывод, что при изгибе в поперечных сечениях бруса под действием внутренних сил возникают нормальные напряжения сжатия и растяжения, величина которых зависит от положения рассматриваемых точек в сечении. Наибольшие напряжения принято обозначать: в зоне сжатия —  $\delta_{\max}$ , в зоне растяжения —  $\delta_{\max}$ . В точках, расположенных на нейтральной оси, напряжения равны нулю. Нормальные напряжения, возникающие в различных по высоте точках поперечного сечения, возрастают пропорционально расстоянию от нейтрального слоя и могут быть рассчитаны по формуле  $\delta = (E \cdot z) / \rho$ ,

где:  $\delta$  — нормальные напряжения;

$z$  — расстояние от интересующего нас волокна до нейтрального слоя;

$E$  — модуль упругости;

$\rho$  — радиус кривизны нейтрального слоя.

**5.4. Испытание на срез.** При испытании на срез (рис. 56) металлический образец 3, имеющий цилиндрическую форму, вставляют в отверстие приспособления, представляющего собой вилку 1 и диск 2. Машина вытягивает диск из вилки, вследствие чего происходит перемещение средней части образца относительно крайних его частей. Рабочая площадь  $S$  (площадь среза) равна удвоенной площади поперечного сечения образца,

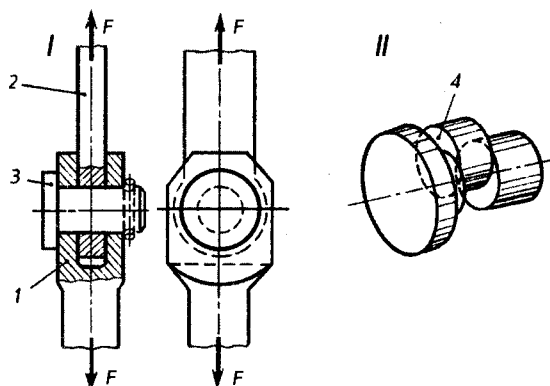


Рис. 56

так как срез происходит одновременно по двум плоскостям.

При срезе все точки деформируемых сечений, ограниченных плоскостями действующих сил, смещаются на равные расстояния, то есть материал в этих точках испытывает одинаковую деформацию. Это означает, что во всех точках сечения будут одинаковые действующие напряжения.

Величину напряжения определяют делением равнодействующей  $F$  внутренних (поперечных) сил на площадь поперечного сечения стержня  $S$ . Так как вектор напряжения расположен в плоскости сечения, в ней возникает касательное напряжение, определяемое по формуле  $\tau_{ср} = F/2S$ ,

где:  $\tau_{ср}$  — величина напряжения среза;

$F$  — равнодействующая сила;

$S$  — площадь поперечного сечения образца.

Срез — это разрушение в результате сдвига одной части материала относительно другой, возникающее под действием касательных напряжений. Для деформации сдвига справедлив закон Гука: в зоне упругости напряжения прямо пропорциональны относительным деформациям. Коэффициентом пропорциональности служит величина модуля упругости при сдвиге  $G$ . Относительный сдвиг (угол сдвига) обозначается  $\gamma$ . Таким образом, закон Гука для деформации сдвига имеет вид  $\tau = G\gamma$ ,

где:  $\tau = F/S$  — касательное напряжение;

$F$  — касательная сила;

$S$  — площадь сдвигающихся слоев;

$\gamma$  — угол сдвига;

$G$  — модуль сдвига, зависящий от материала тела.

**5.5. Испытание на кручение.** При испытании образцов на кручение один конец трубы 2 закрепляют неподвижно 1, другой вращают с помощью рычага 3 (рис. 57). Кручение характеризуется взаимным поворотом

поперечных сечений стержня, вала, трубы под влиянием моментов (пар сил), действующих в этих сечениях. Если на поверхности стержня до приложения сил кручения нанести прямолинейные образующие (рис. 57, I), то после скручивания эти образующие принимают вид винтовых линий, а каждое поперечное сечение по отношению к соседнему поворачивается на некоторый угол (см. рис. 57, II). Это значит, что в каждом сечении происходит деформация сдвига и возникают касательные напряжения. Степень смещения материала при кручении определяется углами закручивания  $\varphi$  и сдвига  $\gamma$ . Абсолютная величина кручения определяется углом закручивания рассматриваемого сечения относительно неподвижно закрепленного сечения. Наибольший угол закручивания получается на самом большом расстоянии от закрепленного конца стержня.

Отношение угла закручивания  $\varphi$  к длине участка  $l$ , подвергающегося кручению, называют относительным углом закручивания  $\Theta = \varphi / l$ ,

где:  $\Theta$  — относительный угол закручивания;

$\varphi$  — угол закручивания;

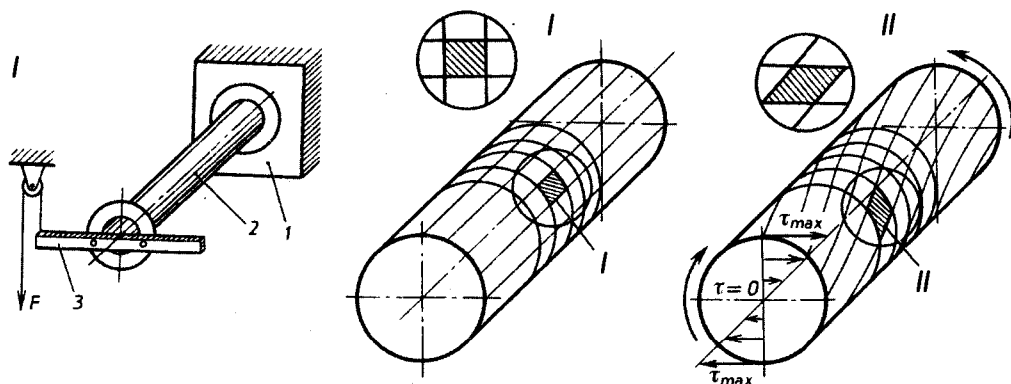


Рис. 57

$l$  — длина участка.

Из рис. 57, II видно, что, чем дальше точка деформируемого сечения отстоит от оси стержня, тем больше ее перемещение по дуге окружности при кручении. Следовательно, по закону Гука и напряжения в различных точках будут различны. Наибольшие напряжения кручения  $\tau_{\max}$  возникают в наиболее удаленных точках, расположенных на поверхности стержня. Напряжение в любой точке равно  $\tau = \rho / (R \cdot \tau_{\max})$ ,

где:  $\tau$  — напряжение кручения;

$\rho$  — расстояние точки до оси стержня;

$R$  — радиус стержня.

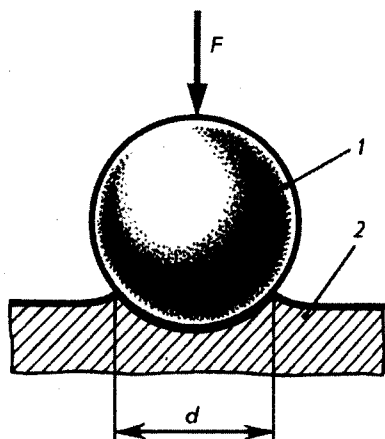


Рис. 58

**5.6. Испытание на твердость.** При определении твердости материалов в заводской и лабораторной практике пользуются двумя методами: методом Бринелля и методом Роквелла.

**Метод Бринелля.** Этот метод основан на том, что при измерении твердости металлов стальной шарик 1 диаметром 2,5; 5 или 10 мм вдавливается в поверхность испытуемого образца 2 при заданной нагрузке 3 от 625 Н до 30 кН (62,5 до 3000 кгс). После удаления нагрузки измеряется диаметр  $d$  отпечатка, оставшегося на поверхности образца (рис. 58), который тем меньше, чем тверже металл.

**Примечание.** Стальной шарик должен быть выполнен из термически обработанной стали твердостью не менее  $HB850$ . Шероховатость поверхности  $R_z$  не ниже параметра 0,100 по ГОСТ 2789-73. На поверхности шарика не должно быть дефектов, видимых с помощью лупы при 5-кратном увеличении.

Число твердости по Бринеллю вычисляются по формуле

$$HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

где:  $HB$  — число твердости;

$F$  — нагрузка на шарик, Н (кгс);

$D$  — диаметр шарика, мм;

$d$  — диаметр отпечатка, мм.

Специальная таблица (ГОСТ 9012-59) дает возможность определить твердость наиболее распространенных металлов.

Следует отметить, что между твердостью стали по Бринеллю  $HB$  и пределом ее прочности  $\sigma_{нч}$  для обычных углеродистых сталей существует соотношение, выраженное формулой  $\sigma_{нч} = 0,36 HB$ .

Следовательно, зная твердость стали по Бринеллю, можно вычислить и предел прочности при растяжении.

Эта формула имеет большое практическое значение. Методом Бринелля обычно определяют твердость незакаленных сталей, чугуна, цветных металлов. Твердость же закаленных сталей измеряют на приборе Роквелла.

**Метод Роквелла.** При измерении твердости металлов по этому методу наконечник стандартного типа (алмазный конус для твердых ме-

таллов или стальной шарик — для более мягких) вдавливаются в испытуемый образец под действием двух последовательно прикладываемых нагрузок: предварительной ( $F_0$ ) 100 Н (10 кгс) и окончательной ( $F_1$ ) 1000 Н (100 кгс) — для шарика и 1500 Н (150 кгс) — для алмазного конуса.

Под действием предварительной нагрузки конус проникает в металл на глубину  $h_0$  (рис. 59, I); при добавлении к предварительной основной нагруз-

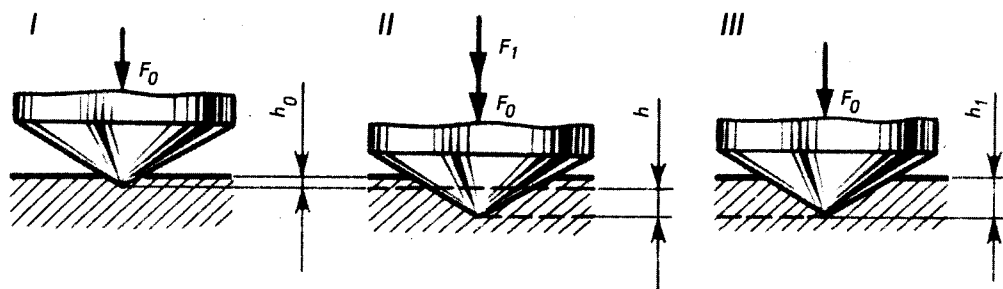


Рис. 59

ки глубина отпечатка увеличивается до  $h$  (рис. 59, II) и после снятия основной нагрузки остается равной  $h_1$  (рис. 59, III).

Глубина отпечатка  $h = h_1 - h_0$ , полученная за счет основной нагрузки  $F_1$ , характеризует твердость по Роквеллу. Испытания по методу Роквелла производят специальными приборами, снабженными индикатором, который показывает число твердости сразу по окончании испытания.

Индикатор имеет две шкалы: черную (С) для испытания алмазным конусом и красную (В) для испытания шариком.

Твердость по Роквеллу измеряется в условных единицах.

Пример обозначения твердости по Роквеллу: *HRC*50 (твердость 50 по шкале С).

О п р е д е л е н и е т в е р д о с т и т а р и р о в а н н ы м и н а п и л ь н и к а м и. Твердость *HRC* может быть определена с помощью ряда напильников, подвергнутых термической обработке на различную твердость насечки. Обычно интервал насечек колеблется от 3 до 5 единиц *HRC*. Тарирование напильников производится по эталонным плиткам, твердость которых заранее точно определена на приборе.

Твердость испытуемой детали определяется двумя напильниками с минимальным интервалом по твердости, один из которых может только скользить по детали, а второй ее слегка царапать. Если напильник с *HRC*62 царапает металл, а с *HRC*59 только скользит по поверхности детали, то твердость *HRC*60—61.

Практически этим способом пользуются для установления твердости инструментов (разверток, фрез и т. п.), твердость которых измерить иным способом бывает трудно.

Существуют и другие способы определения твердости (способ Виккерса, электромагнитные способы и др.), которые в данной книге не рассматриваются.

## 6. ПОНЯТИЕ О НАДЕЖНОСТИ, ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ

Любое изделие должно обладать основными категориями качества: надежностью, прочностью и жесткостью в работе.

**Надежность** (по ГОСТ 27.002-89) — свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в определенных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость в отдельности или определенное сочетание этих свойств как для объекта, так и для его частей.

Надежность не касается требований, непосредственно не влияющих на эксплуатационные показатели<sup>1</sup>, например повреждение окраски и т. д.

Таким образом, надежность характеризуется показателями, которые выявляются в процессе эксплуатации и позволяют судить о том, насколько изделие оправдывает надежды его изготовителей и потребителей.

**Безотказность** — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность<sup>2</sup> в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Это свойство очень важно для машин и механизмов, входящих в комплексные системы, где даже временная остановка одного звена может вызвать сбой в работе всей автоматизированной линии.

**Долговечность** — свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. Предельное состояние изделия характеризуется невозможностью дальнейшей его эксплуатации, снижением эффективности или безопасности. Основным показателем долговечности деталей, сборочных единиц и агрегатов служит **технический ресурс** — наработка объекта от начала эксплуатации или ее возобновления после ремонта до наступления предельного состояния, оговоренного в стандартах или технических условиях на изделие.

**Ремонтпригодность** — свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

<sup>1</sup> *Эксплуатационные показатели* — показатели производительности, скорости, расхода электроэнергии, топлива и т. п.

<sup>2</sup> *Работоспособность* — состояние изделия, при котором оно в данный момент времени соответствует всем требованиям, установленным в отношении параметров, характеризующих нормальное выполнение изделием заданных функций, установленных стандартами или техническими условиями на изделие.

**Сохраняемость** — свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение и после хранения и (или) транспортирования.

**Прочность** — один из основных критериев работоспособности изделия, обусловливаемой циклическими и контактными напряжениями. Отсюда принято различать циклическую прочность и контактную прочность.

Детали, подвергающиеся длительной переменной нагрузке, разрушаются при напряжениях, значительно меньших предела прочности материала при статическом нагружении. Особенно большое внимание при конструировании машин уделяется так называемым знакопеременным нагрузкам, которые много раз подряд меняют направление своего действия и «изматывают» или утомляют металл.

Детали машин, обладающие в обычных условиях нагружения хорошими эксплуатационными качествами, при знакопеременной нагрузке могут разрушаться от усталости без видимых деформаций так, как будто они выполнены из хрупкого материала.

**Усталость металла** — изменение состояния металла в результате многократного (циклического) деформирования, приводящее его к прогрессирующему разрушению. Если проанализировать процесс разрушения детали от действия переменных напряжений, то можно выделить две его фазы: образование микротрещины, а затем ее дальнейшее развитие до полного разрушения образца. Протекание первой фазы связано со структурными особенностями материала, состоянием поверхности и амплитудой цикла. Во второй фазе сохраняют влияние структурные особенности и амплитуда цикла, но вступают в силу новые факторы, такие, как размеры и форма детали и законы распределения напряжений по ее объему.

Статистика показывает, что до 80% поломок и аварий при эксплуатации машин связано с усталостными явлениями. Поэтому проблема усталостной прочности является важнейшей для повышения надежности и долговечности машин. Сопротивление усталости характеризуется **пределом выносливости**, то есть наибольшим напряжением, которое может выдерживать металл без разрушения заданное число раз (для стали — 5 млн. циклов, для легких литейных сплавов — 20 млн. циклов).

Наиболее явно циклические нагрузки выражены в машинах и механизмах с возвратно-поступательным движением (поршневые машины, шатунно-кривошипные группы, кулачковые механизмы).

Во всех зубчатых передачах зубья колес подвержены циклическим нагрузкам. Валы, работающие под нагрузкой постоянного направления (валы зубчатых, ременных и цепных передач), также подвергаются циклическому нагружению.

Диаграмма сравнительной характеристики усталостной прочности для различных соединений типа «вал — ступица», характеризующая выносли-



вость валов при циклическом кручении в зависимости от конструкции соединения, представлена на рис. 60.

Анализ причин, определяющих степень снижения усталостной прочности валов в рассматриваемых соединениях, свидетельствует о значительном влиянии конструктивных особенностей подступичной части вала и формы

ступицы на распределение контактных давлений.

Изучение характера поломок деталей машин показало, что на их долговечность влияют главным образом форма и способы обработки. Остановимся на этом более подробно.

Установлено, что прочность деталей машин существенно отличается от прочностных характеристик материалов, из которых эти детали были изготовлены. Наглядное представление об этом дает диаграмма (рис. 61). Если принять прочность образца из данного мате-

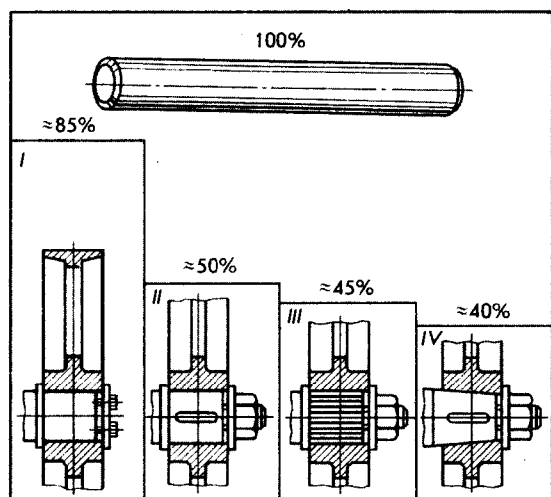


Рис. 60

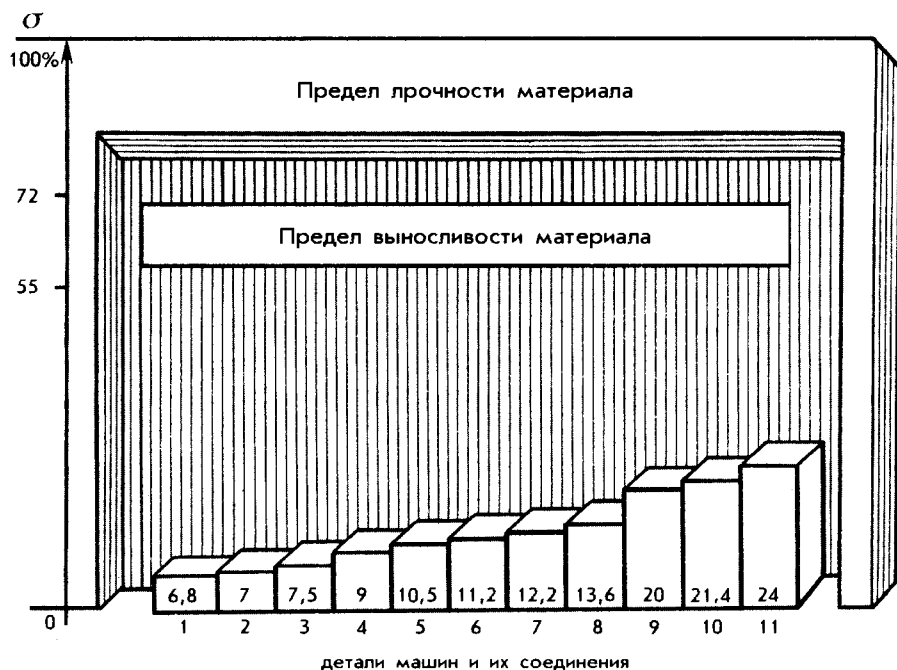


Рис. 61

риала при испытании на разрыв за 100%, то предел выносливости образца составит 55...72%, а прочность деталей в зависимости от формы и типа соединений составит всего 7...24%. На диаграмме в процентах по сравнению с прочностью образца при разрыве представлена прочность деталей: сложной формы 2, 3, 4 и 5, соединения типа «вал — ступица» 7, 8 и 9, соединений болтового, заклепочного и сварного 1, 6, 10 и 11, представляющих наиболее типичные случаи конструктивного исполнения деталей и соединений.

Усталостная прочность деталей резко падает при наличии ослаблений, резких переходов, острых углов, поднутрений и т. п., вызывающих местную концентрацию напряжений. Зоны концентрации напряжений (у краев отверстий, в выкружках, во входящих углах и т. д.) наиболее перегружены и служат местами начала пластической деформации или разрушения.

Степень концентрации напряжений зависит от вида концентраторов, состояния поверхности и размеров детали, материала детали, его химического состава и однородности, термообработки, механической прочности, характера рабочего цикла детали.

Среди концентраторов напряжений (рис. 62) различают геометрические (концентраторы формы) и технологические (концентраторы, появление которых связано с нарушением структурообразования материала при изготовлении изделия).

Основными источниками геометрической концентрации напряжения на валах и осях служат их ступенчатая форма, выточки, поперечные отверстия, шпоночные канавки, шлицы и т. д. Чем больше перепад сечений на участке перехода и чем резче переход, тем выше местное напряжение.

Технологические концентраторы напряжения в деталях, подвергающихся механической обработке, возникают в результате перерезания волокон при обработке заготовки давлением. В литых деталях участки перехода часто бывают ослаблены такими литейными дефектами, как микротрещины, пористость, воздушные раковины и т. д. У кованных и штампованных деталей участки перехода в изгибах имеют пониженную прочность вследствие вытяжки металла на этих участках.

Примеры появления очагов концентрации напряжений на деталях приведены на рис. 63.

Грубые риски, оставшиеся после обработки на поверхности впадины шпоночного паза 1, между зубьями шестерни, вызывают появление постепенно растущих трещин усталости. Изломы валов чаще всего происходят в

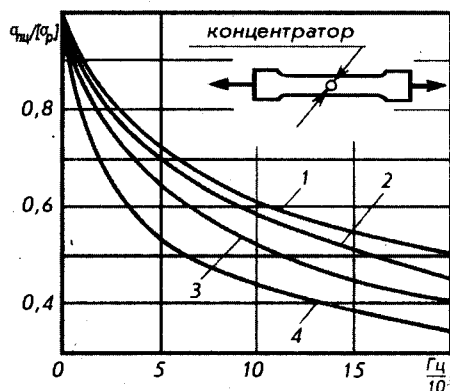


Рис. 62

участках резкого перехода от большого диаметра к меньшему III (типа лысок и отверстий — IV, V), выполненному без галтели. В этом случае в местах грубых рисок, острых углов и местах резких переходов происходит сосредоточение (концентрация) напряжений, приводящих к поломке деталей. Отсюда можно сделать вывод, что при конструировании деталей следует избегать острых углов в ее конфигурации.

При статической нагрузке величина концентрации напряжения зависит от степени пластичности материала. У пластичных материалов явление концентрации напряжения выражено слабо. При повышении напряжения

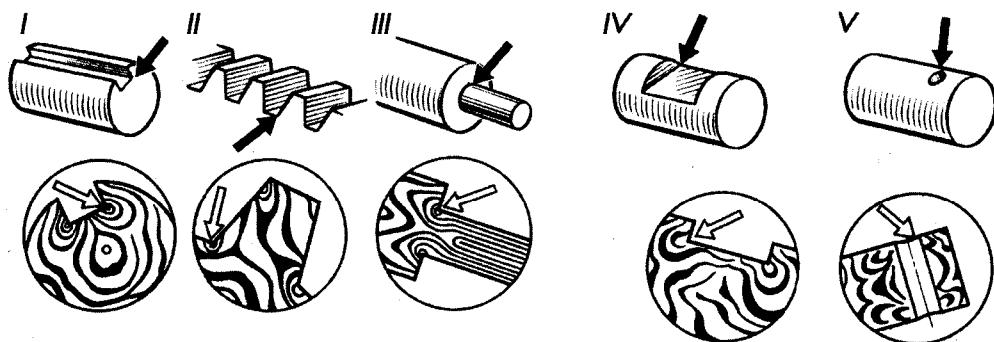


Рис. 63

в зоне ослабления такие материалы переходят в состояние текучести. Хрупкие материалы при переходе местных напряжений за предел прочности разрушаются.

При циклических нагрузках явление концентрации напряжений выражено значительно сильнее.

На практике повышение усталостной прочности деталей достигают как технологическими, так и конструктивными способами.

К технологическим способам относятся термическая и химико-термическая обработка сталей, дробеструйная обработка и накатывание деталей роликами, алмазное выглаживание (уплотнение поверхности скругленным алмазным инструментом), ультразвуковое упрочнение и т. д. Например, накатывание резьб повышает прочность детали в 1,5...2 раза и практически устраняет концентрацию напряжений у основания резьбы.

Конструктивные способы повышения усталостной прочности деталей не всегда полностью могут устранить концентраторы напряжений. В таких случаях стремятся заменить резкие концентраторы умеренно действующими.

С целью повышения усталостной прочности переходных участков валов уменьшают перепад диаметров и вводят галтели, эффективность которых зависит от величин их радиусов. Для больших перепадов диаметров рекомендуется брать  $R/d \geq 0,1$ , для малых перепадов —  $R/d = 0,05...0,08$  (рис. 64, I).

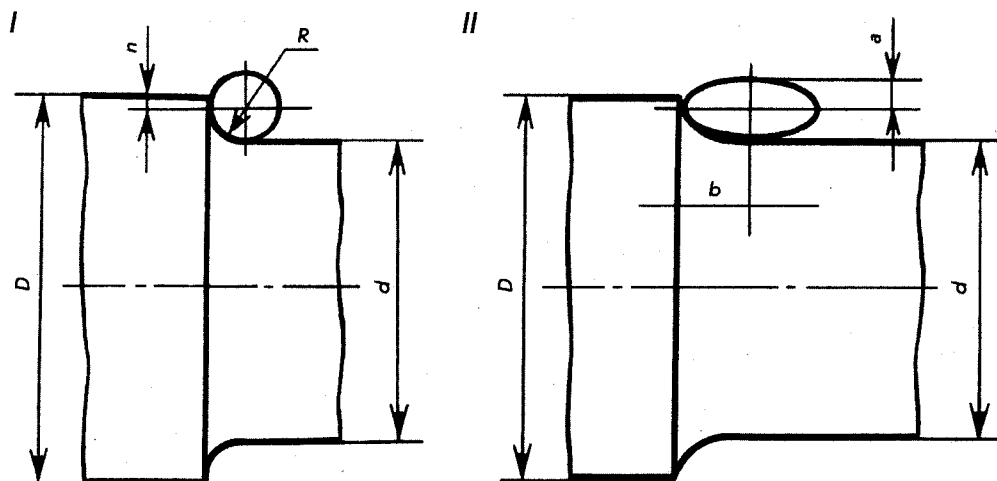


Рис. 64

Эллиптические галтели (рис. 64, II) обеспечивают при одинаковых перепадах диаметров относительно большее (примерно на 20%) увеличение прочности. Эффективность таких галтелей зависит от отношения большой полуоси  $b$  эллипса к диаметру вала  $d$ . Чем больше  $b/d$  и  $a/b$ , тем ниже коэффициент концентрации напряжений.

Введение эллиптических галтелей сокращает длину цилиндрической части вала, что не всегда желательно (например, в случае установки насадных деталей).

Концентрация напряжений возникает и в поверхностном слое металла при контактном нагружении, когда сила действует на весьма ограниченном участке поверхности. Этот вид нагружения чаще всего встречается при соприкосновении сферических и цилиндрических тел с плоскими, сферическими или цилиндрическими поверхностями.

В зоне соприкосновения образуется плоская площадка, размеры которой зависят от упругости материала и формы сжимаемых тел.

Усталостное разрушение (питтинг), обусловленное периодически изменяющимися контактными напряжениями, сопровождается отслаиванием и выкрошиванием крупных частиц металла, в результате чего сочленение, как правило, выходит из строя. Характерным примером такого разрушения служит питтинг рабочих поверхностей зубьев зубчатых колес. Концентрация напряжений возникает на участках зубьев, близких к начальной окружности.

При конструировании сферических и цилиндрических сочленений, несущих высокие нагрузки, следует учесть, что соприкасающиеся детали должны быть закалены до твердости не ниже  $HRC60...62$  и поверхностью, обработанной не ниже параметра шероховатости  $R_a 0,080$ .

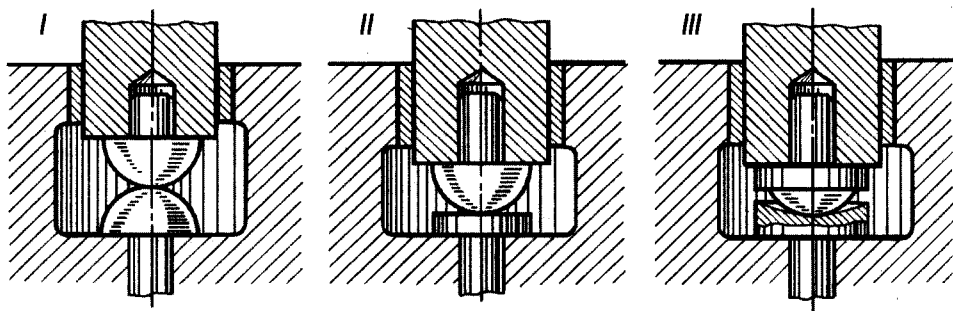


Рис. 65

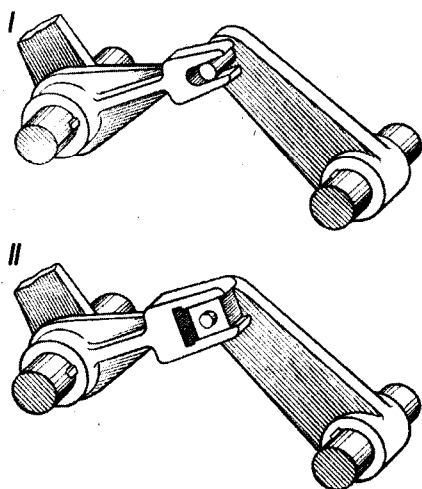


Рис. 66

С целью уменьшения контактных напряжений в тех случаях, когда это допускают условия работы сочленения, детали, воспринимающие нагрузку, следует помещать в гнезда, имеющие диаметр, близкий к диаметру детали ( $D/d = 1,01 \dots 1,02$ ).

Пример последовательного упрочнения сферического сочленения приведен на рис. 65. Наиболее выгодна конструкция со сферой большого диаметра, расположенной в сферическом гнезде (рис. 65, III).

Другим примером может служить сочленение двух рычагов при помощи цилиндрического пальца, закрепленного в одном из рычагов и скользящего в проушине другого. Конструкция на рис. 66, I нерациональна, так как линейный контакт на поверхности трения приводит к быстрому изнашиванию поверхности проушины пальцем. В рациональной конструкции (рис. 66, II) на палец надет сухарь, скользящий боковыми гранями в проушине рычага. Здесь контакт между пальцем и отверстием сухаря, а также между гранями сухаря и проушиной поверхностный, что резко повышает долговечность сочленения.

При конструировании машины, механизма конструктор всегда стремится соблюдать принцип равнопрочности.

Р а в н о п р о ч н ы м и называются конструкции, детали которых имеют одинаковый запас прочности на всех участках по отношению к действующим на них нагрузкам.

Формы деталей, требуемые по условию равнопрочности, часто технологически трудно выполнимы, и поэтому их приходится упрощать. Кроме того, почти во всякой детали имеются такие дополнительные элементы, как цап-

фы, буртики, канавки, выточки, проточки, резьбы, вызывающие местное усиление, а чаще концентрацию напряжений и местное ослабление детали.

По всем этим причинам понятие равнопрочности деталей относительно. Конструирование равнопрочных деталей практически сводится к приближительному воспроизведению форм, диктуемых условием равнопрочности, при всемерном уменьшении влияния всех источников местной концентрации напряжений.

На рис. 67, I изображен фланцевый вал со шлицами. Участки *A*, *B* и *C* такого вала, нагруженного постоянным крутящим моментом, неравнопрочны. Наиболее значительны напряжения на участке *A* детали, где имеются шлицы. Менее значительны напряжения на участке *C* и еще меньше — на участке *B* между фланцем и шлицами, где толщина стенок полого вала до-

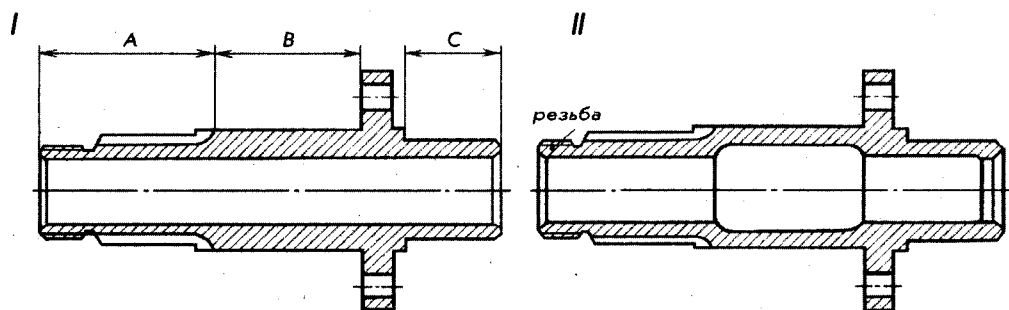


Рис. 67

стигает наибольшей величины. После расчета на постоянство момента сопротивления кручению на всех участках вала пришли к более равнопрочной конструкции (рис. 67, II).

Большое значение для прочности деталей при прочих равных условиях имеет правильный выбор материала. По величине прочностных и деформационных характеристик судят о пригодности материала для тех или иных целей.

Одним из основных факторов, определяющих работоспособность конструкции и имеющих такое же, если не большее значение для надежности, как и прочность, является жесткость.

**Жесткость** — это способность детали или системы сопротивляться образованию деформации. Для машиностроения можно сформулировать следующее определение: жесткость — это способность изделия сопротивляться действию внешних нагрузок с деформациями, допустимыми без нарушения работоспособности изделия.

Жесткость оценивают коэффициентом жесткости  $\lambda_p$ , представляющим собой отношение силы  $F$ , приложенной к изделию, к максимальной деформации  $f$ , вызываемой этой силой.

Для простейшего случая растяжения — сжатия бруса постоянного сечения в пределах упругой деформации — коэффициент жесткости согласно закону Гука определяют по формуле  $\lambda_p = F/f = ES/l$ ;

где:  $\lambda_p$  — коэффициент жесткости;  
 $F$  — сила;  
 $f$  — максимальная деформация;  
 $E$  — модуль нормальной упругости материала;  
 $S$  — сечение бруса;  
 $l$  — длина бруса.

На жесткость изделий сильно влияют размеры и форма сечений. В изделиях, состоящих из многих отдельных деталей, жесткость зависит также от жесткости сочленения отдельных деталей. Наличие зазоров в сопрягаемых деталях приводит к появлению деформаций, иногда во много раз превосходящих собственные упругие деформации элементов конструкции. В этом случае эффективными способами увеличения жесткости являются силовая затяжка сочленения, посадка с натягом, увеличение опорных поверхностей и придание деталям повышенной жесткости на участках сопряжения.

Для увеличения жесткости изделий применяют следующие основные способы:

- всемерное устранение изгиба, как невыгодного по жесткости и прочности вида нагружения, замена его сжатием и растяжением;

- целесообразную расстановку опор для деталей, работающих на изгиб, исключение невыгодных по жесткости видов нагружения;

- рациональное, не сопровождающееся возрастанием массы усиление участков перехода от одного сечения к другому;

- для деталей коробчатого типа — применение скорлупных, сводчатых, сферических и эллипсных форм.

Рассмотрим несколько примеров увеличения жесткости конструкций.

1. Сравним конструкции литых кронштейнов. Балочный кронштейн (рис. 68, I) под воздействием внешних сил подвергается изгибу. Как известно, в случае изгиба нагружены преимущественно крайние волокна сечения. Предел нагружения наступает, когда напряжения в них достигают опасных значений, в то время как сердцевина остается недогруженной. Кронштейн ферменного типа (рис. 68, II) несколько более жесток, чем предыдущий, но так как верхний горизонтальный стержень его для ограничения деформации не используется, то по жесткости он значительно уступает раскосному кронштейну (рис. 68, III). В этом кронштейне условия работы стержней видоизменены, они работают преимущественно на растяжение — сжатие. При растяжении — сжатии напряжения одинаковы по всему сечению; материал используется полностью. Кроме того, при растяжении — сжатии величина нагрузки не зависит от длины детали, что имеет место в случае изгиба. Конструкция становится еще более прочной и жесткой, если стержни кронштейна соединить сплошной перемычкой (рис. 68, IV).

2. На примере клеммового соединения видно, что в первой конструкции (рис. 69, I) ушки клеммы при затяжке болтового соединения будут сги-

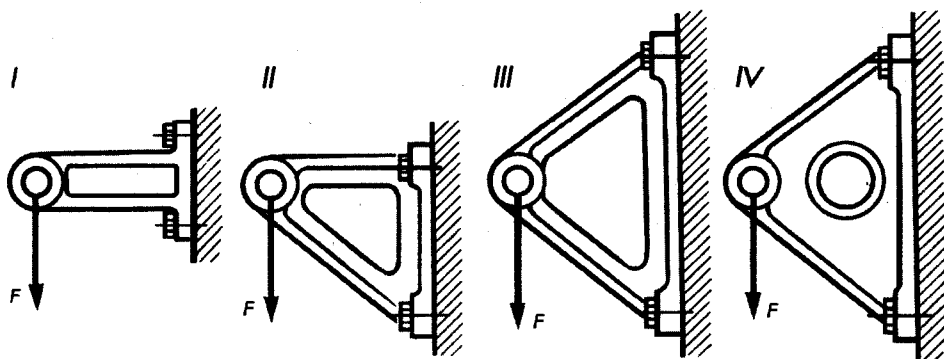


Рис. 68

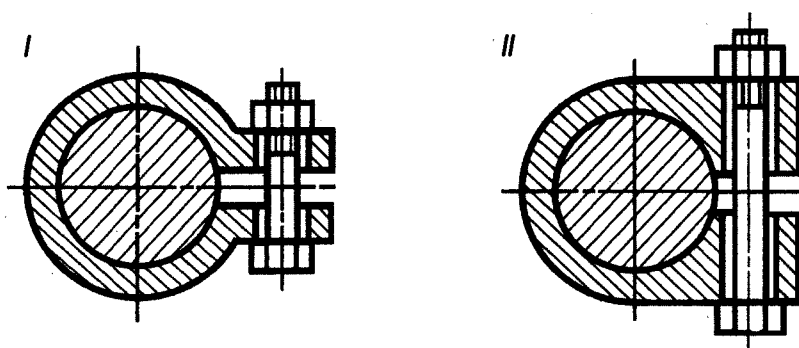


Рис. 69

баться, поэтому силовая затяжка невозможна. Если немного изменить конструкцию: усилить клемму, приблизить стяжной болт к валу — станет возможна силовая затяжка (рис. 69, II). Это означает резкое повышение жесткости конструкции.

3. На рис. 70 показан клапан двигателя внутреннего сгорания. В первом случае (рис. 70, I) тарелка клапана конструктивно оформлена нежестко, так как слаба связь между штоком и тарелкой. Во втором случае (рис. 70, II) тарелка имеет тюльпанообразную форму, что придает штоку и тарелке более массивную связь: на ободке тарелки образован пояс жесткости.

4. Наибольшей продуманности с точки зрения обеспечения высокой жесткости требуют оболочковые конструкции (например, самолеты, ракеты и т. д.). Увеличение габаритов и уменьшение толщины стенок в них выдвигают на

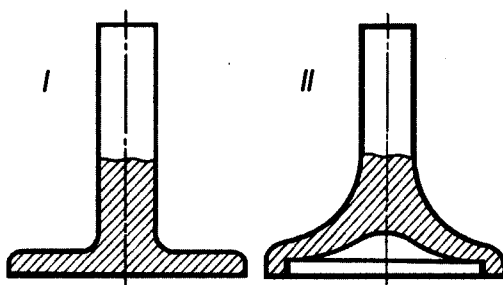


Рис. 70



первый план задачу повышения радиальной жесткости и предупреждения потери устойчивости конструкций под действием нагрузок. Для придания деталям высокой жесткости применяют ребра различной конструктивной разновидности (рис. 71).

На рис. 72 показан корпус головной части ракеты с оребрением внутренней части.

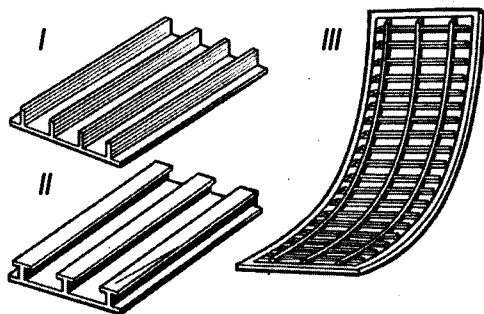


Рис. 71

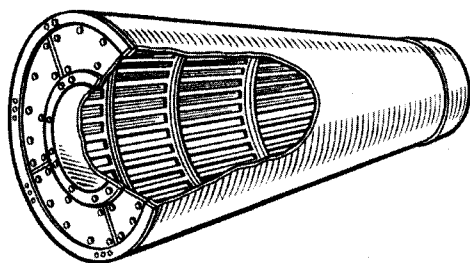


Рис. 72

## 7. РАЦИОНАЛЬНЫЕ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА ИЗГИБ

Детали, работающие на изгиб (в основном, балки), весьма распространены в любых конструкциях, в том числе и в машинах. Особенно сильно изгибу подвергаются детали, у которых поперечные размеры значительно меньше продольных.

Изгибом называют вид деформации, характеризующийся искривлением оси деформируемого объекта (балки, плиты, оболочки и т. д.) под действием изгибающих моментов.

Снижение напряжений в деталях, подверженных деформации изгиба, может быть достигнуто за счет уменьшения величины расчетного изгибающего момента и увеличения момента сопротивления внутренних сил. Рациональным размещением опор можно добиться уменьшения расчетного изгибающего момента, а выбором рациональной формы сечения детали — увеличения момента сопротивления.

Предположим, вы захотели сломать палку. Ухватившись руками за ее края, вы прикладываете палку серединой к колену и, сгибая, ломаете ее. Причем чем длиннее палка, тем легче ее сломать, чем короче — тем труднее. Последовательно уменьшая длину палки, вы заметите, что на каком-то этапе оставшийся кусок палки не будет поддаваться изгибающему моменту. Это объясняется тем, что при последовательном сближении рук (точек приложения сил) длина плеч уменьшается, и изгибающий момент, равный произведению силы на плечо, также уменьшается. Когда его величина станет меньше момента сил сопротивления, палку этим способом сломать невозможно.

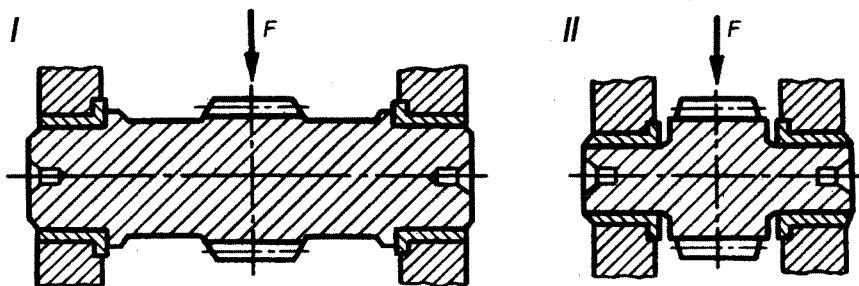


Рис. 73

Отсюда можно сделать вывод, что для деталей, работающих на изгиб, следует подобрать такое соотношение величины поперечного сечения детали к расстоянию между точками опоры, при котором детали наименее поддавались бы деформации изгиба.

На рис. 73 показан пример двухопорной установки зубчатого колеса. Если расстояние между опорами сократить в 3 раза, то максимальный изгибающий момент и напряжения в вале уменьшатся также почти в 3 раза, а максимальный прогиб — в 27 раз.

Во многих случаях жесткость системы удастся увеличить введением дополнительных опор. На рис. 74 показаны приемы увеличения жестко-

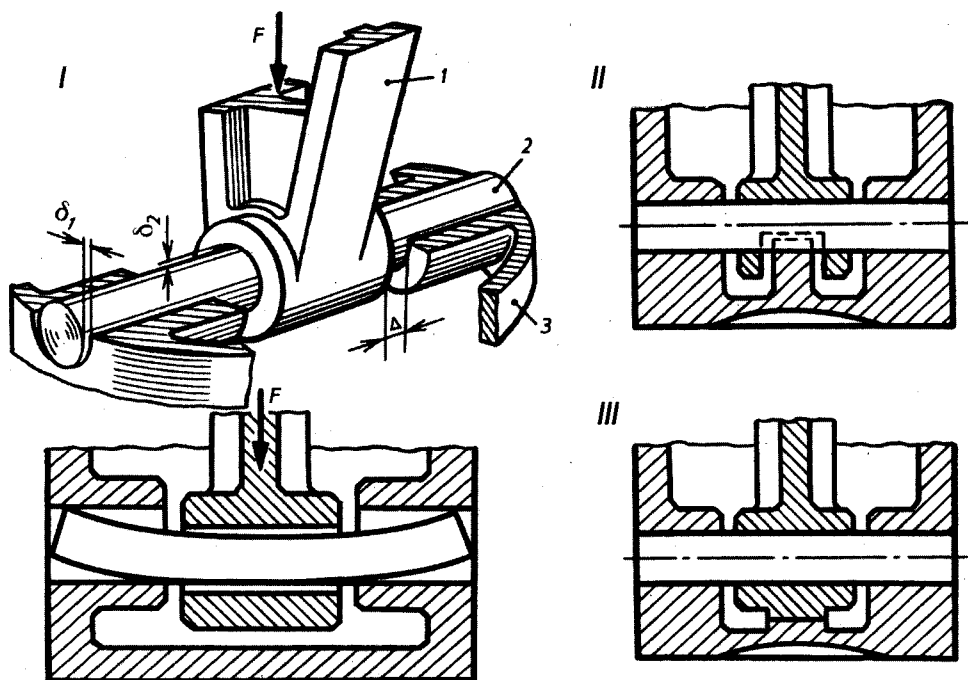


Рис. 74

сти и прочности шатунно-поршневого сочленения. Часто применяемая конструкция (рис. 74, I), в которой палец 2 работает на изгиб, обладает малой жесткостью, особенно, если в сочленении имеются радиальные ( $\delta_1, \delta_2$ ) и боковые ( $\Delta$ ) зазоры. Упрочнение шатунно-поршневого сочленения достигают увеличением числа опор и уменьшением пролетов, подвергающихся изгибу. В усовершенствованные конструкции (рис. 74, II и III) введены дополнительные опоры: в одном случае поршневой палец непосредственно опирается на поршень 3, в другом — на головку шатуна 1. Ввиду сокращения вдвое плеча действия сил напряжение изгиба уменьшилось в 2 раза, а деформация — в 8 раз по сравнению с исходной конструкцией.

Рассмотрим теперь консольную балку. Возьмем доску, закрепленную одним концом в неподвижной опоре, и приложим к ее свободному концу

силу  $F$  (рис. 75). Будут ли все сечения равноопасны? Опыт говорит, что нет. Возможные разрушения могут произойти прежде всего в сечениях, совпадающих с заделкой. Дело в том, что момент, создаваемый силой  $F$  (изгибающий момент), в этом сечении будет наибольшим. Ведь величина момента зависит не только от величины силы, но и от ее плеча, и именно для сечений, совпадающих с заделкой, плечо наибольшее.

Нетрудно предвидеть, что в первом варианте (рис. 75, I) доска изогнется при сравнительно небольшой величине силы  $F$ . Во втором варианте (рис. 75, II) для достижения того же результата понадобится значительно большая сила. Чем отличается положение балок? В первом случае деформируемые слои материала доски в сечении ближе расположены к нейтральной оси ( $x - x$ ), а во втором (ось  $y - y$ ) —

дальше. Из предыдущего материала уже известно, что нейтральная ось (нулевая линия) — это геометрическое место точек поперечного сечения, в которых нормальные напряжения равны нулю.

Отсюда можно сделать вывод: поскольку основное сопротивление изгибу оказывают периферийные слои материала, целесообразно при изгибе применять брусья с сечениями, в которых материал расположен дальше от нейтральной оси.

Этот пример помогает понять, почему рычаги машин, шатуны и другие детали, а также рельсы, балки, корпуса и рамы машин в плоскости действия изгибающего момента имеют особую форму сечения, при которой усилены части, наиболее удаленные от нейтральной оси. В целом эти сечения напоминают доску, поставленную на ребро (рис. 76).

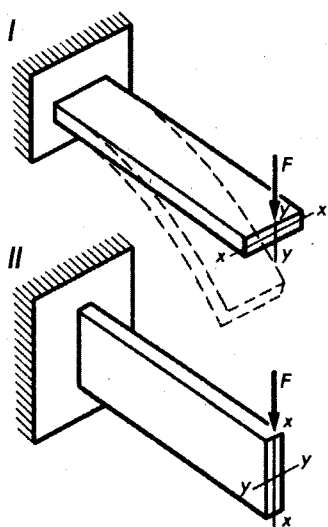


Рис. 75

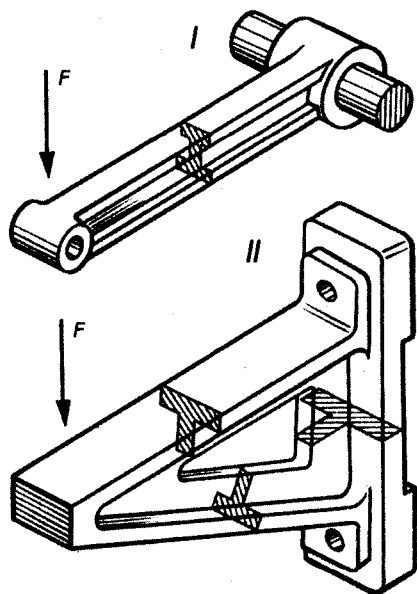


Рис. 76

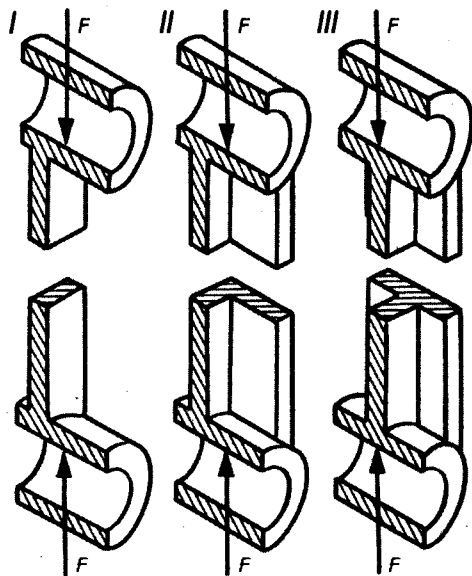


Рис. 77

При конструировании для увеличения жесткости изделия стремятся всемерно устранить изгиб, заменить его сжатием и растяжением.

На рис. 77 показан пример конструктивного разгрузки шатуна от изгиба. Внецентровое приложение нагрузки  $F$  (рис. 77, I) вызывает в стержне шатуна дополнительные напряжения изгиба, из-за чего приходится увеличивать сечение стержня, а следовательно, и массу конструкции. Тот же недостаток, но в меньшей степени, присущ конструкции, приведенной на рис. 77, II. Здесь внецентральной изгиб возникает вследствие асимметрии сечения стержня относительно направления действия сил. Рациональной является конструкция с симметричными относительно нагрузки сечения (рис. 77, III). В этом случае нагрузка приводится к одному сжатию при прочих равных условиях масса конструкции наименьшая.

Пример нецелесообразного и целесообразного нагружения деталей на изгиб показан на рис. 78. В первом случае (рис. 78, I) кронштейн относительно направления изгибающей нагрузки ориентирован нецелесообразно, так как ребро жесткости, способное воспринимать большие нагрузки сжатия, испытывает большие напряжения растяжения. Следует иметь в виду, что большинство хрупких конструкционных материалов, таких, как чугун, лучше сопротивляются сжатию, чем растяжению. В другом случае (рис. 78, II) соотношение между максимальными напряжениями сжатия ребра жесткости чугунного кронштейна и растяжения его стенки наиболее рационально.

Многие детали машин, подвергающиеся нагружению изгиба, имеют непостоянное по длине поперечное сечение (кривошип, рычаги, шатуны, ва-

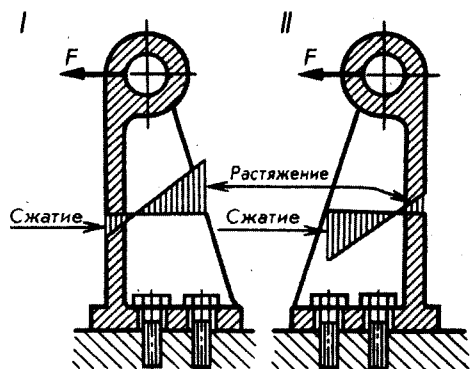


Рис. 78

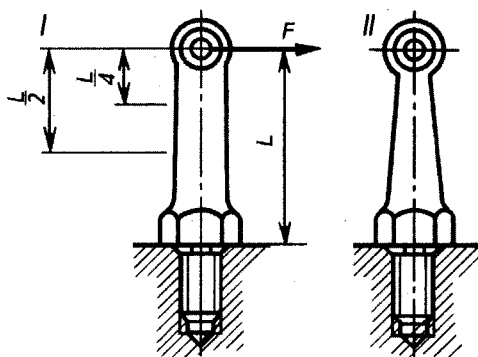


Рис. 79

лы и др.). Это объясняется различием моментов, действующих в разных участках детали. Рассмотрим это более подробно.

Предположим, что на стойку, ввернутую в плиту (рис. 79, I), действует сила  $F$ , которая стремится изогнуть стойку. Наибольший изгибающий момент при этом равен произведению  $F \cdot L$ : где  $L$  — высота стойки. Определим теперь изгибающий момент в некоторых сечениях стойки по высоте. На расстоянии  $L/4$  от верхнего конца изгибающий момент равен  $(F \cdot L)/4$ , по середине стойки —  $(F \cdot L)/2$ , у основания —  $F \cdot L$ .

Но если в разных сечениях стойки действуют неодинаковые моменты, то размеры сечений стойки по высоте также следует выполнить неодинаковыми: в верхней части стойки поперечные сечения должны быть меньше, чем в нижней части (рис. 79, II). Если сравнить две конструкции стоек, то нетрудно заметить, что на вторую потребуется меньше материала, чем на первую.

Рациональными формами сечений деталей, работающих на изгиб, являются двутавровые (рис. 80, I), швеллерные (рис. 80, II), коробчатые (рис. 80, III) и трубчатые (рис. 80, IV) полые сечения. Круглые полые сечения также эф-

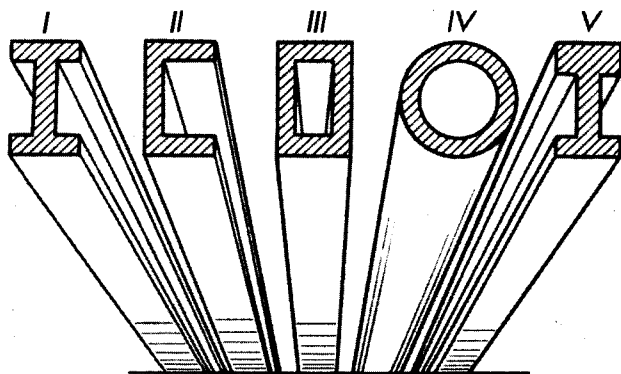


Рис. 80

фективны при работе деталей на изгиб. Этим объясняется все более широкое применение этих сечений для вращающихся деталей, подвергающихся также изгибающим усилиям (например, для осей железнодорожных вагонов).

Если материал балки имеет различную прочность на растяжение и сжатие, то наиболее рациональным будет сечение в виде несимметричного двутавра (рис. 80, V).

Способность поперечного сечения сопротивляться деформации изгиба характеризуется осевым моментом сопротивления изгибу  $W$ . Величина  $W$  зависит от формы и размеров поперечного сечения и от его ориентации по отношению к изгибающей силе. К обозначению  $W$  добавляют индекс, соответствующий обозначению нейтральной оси (например,  $W_x$  или  $W_y$ ), относительно которой вычисляют момент сопротивления изгибу.

На рис. 81 приведена диаграмма соотношения моментов сопротивления  $W_x$  и  $W_y$  для некоторых профилей проката, широко применяющихся в машиностроении.

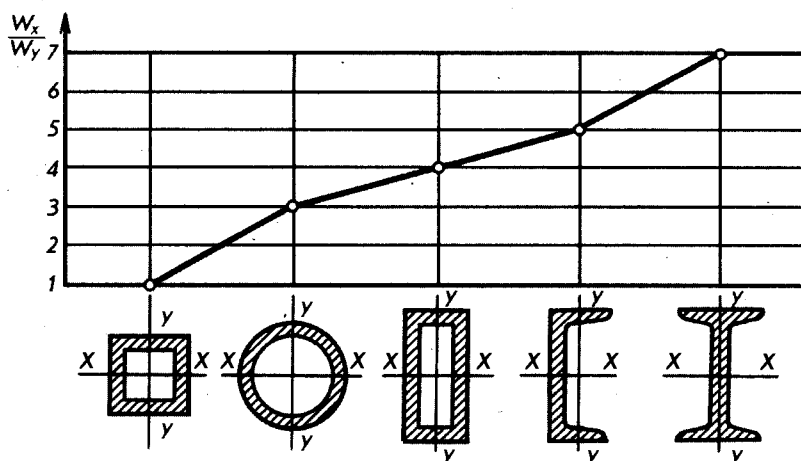


Рис. 81

Из диаграммы видно, что отношение  $W_x/W_y$  колеблется в больших пределах от 1 до 7. В связи с этим для лучшего использования материала в деталях с нагрузками в плоскостях « $x-x$ » и « $y-y$ » профиль проката следует выбирать в соответствии с величиной изгибающих моментов. Для стандартных профилей типа двутавров и швеллеров величины осевых моментов сопротивления изгибу приведены в справочниках.

## 8. РАЦИОНАЛЬНЫЕ ФОРМЫ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ

Деформации растяжения подвержены детали грузоподъемных устройств и механизмов, стяжных устройств, некоторых типов фланцевых

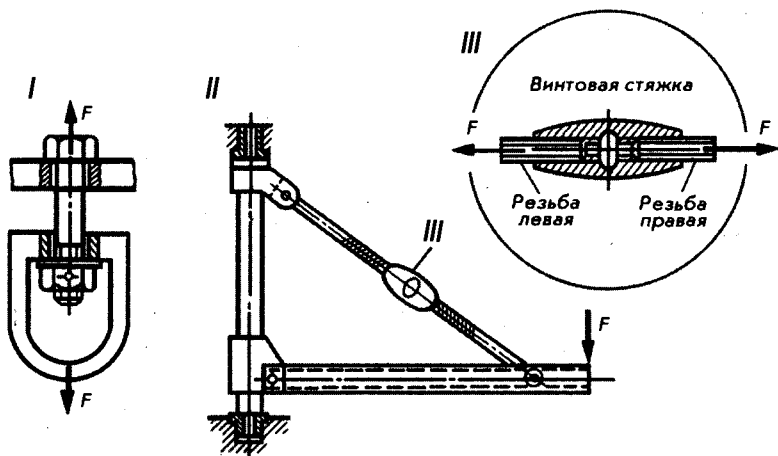


Рис. 82

соединений и т. д. (рис. 82), деформации сжатия — опорные конструкции зданий, мостов, механических станков, домкраты и т. д.

Для стержней, испытывающих в работе усилие сжатия и рассчитываемых на устойчивость, имеет значение не только форма поперечного сечения, но и закономерность изменения поперечных размеров стержня по его длине.

Наиболее выгодными являются круглые полые сечения с небольшой толщиной стенок. Этим объясняется все более широкое применение тонкостенных полых сечений в сжимаемых элементах различных конструкций.

В стержнях, работающих на сжатие, несущую способность повышают увеличением сечений к середине. На практике себя оправдали, а потому чаще применяются стержни со ступенчатым (рис. 83, I) или коническим (рис. 83, II, III) изменением сечений по длине, которые оказываются легче призматических. При больших сжимающих усилиях сплошные стержни уступают решетчатым (рис. 83, IV, V).

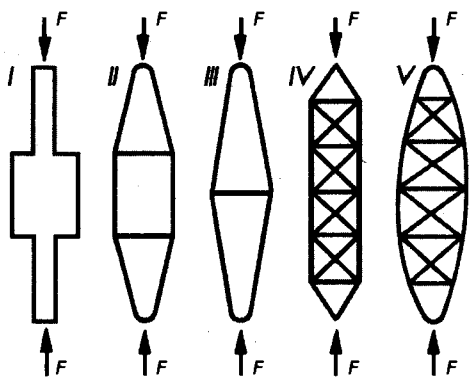


Рис. 83

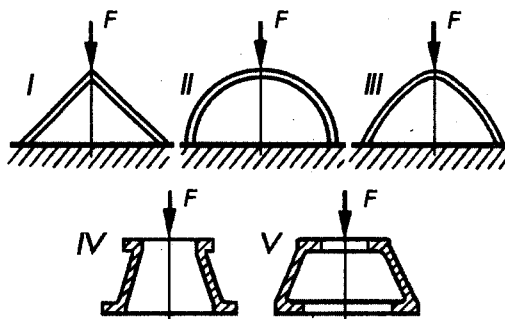


Рис. 84

При конструировании тонкостенных опорных конструкций последним принято большей частью придавать коническую форму. В этом случае стенки конуса работают преимущественно на сжатие (рис. 84, I). Наибольшей жесткостью при наименьшей массе обладают конусы с углом при вершине  $60...90^\circ$ . Повышенную жесткость имеют близкие к конусу формы: сферическая (рис. 84, II), эллипсоидная (рис. 84, III) и т. п.

Существенным условием повышения жесткости и прочности в этих случаях является придание деталям кольцевых поясов жесткости (рис. 84, IV, V), из которых верхний работает на сжатие, а нижний — на растяжение.

## 9. РАЦИОНАЛЬНЫЕ ФОРМЫ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИЕ НА КРУЧЕНИЕ

Кручение испытывают очень многие детали машин, такие как валы, шпиндели, рычаги, болты, колонки и др.

При кручении стержня его ось остается прямой, в то время как в каждом его сечении происходит сдвиг материала по окружности относительно оси. Если на цилиндрическую поверхность стержня до начала скручивания нанести сетку, то после приложения крутящего момента прямые, образующие цилиндр, станут винтовыми линиями (рис. 85).

При расчетах, а затем и экспериментальной проверке деформации деталей, подверженных кручению, было отмечено, что вблизи оси напряжение очень мало. Тут материал недогружен, и его прочность почти не исполь-

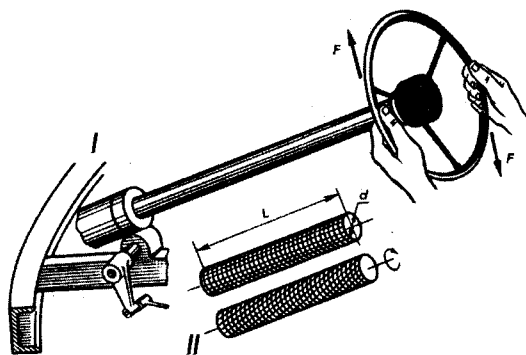


Рис. 85

зуется. Это обстоятельство и навело на мысль о применении трубчатых сечений, которые в настоящее время очень распространены в машинах, а особенно в самолетах и автомобилях. Трубчатые тонкостенные сечения более прочны по сравнению со сплошными стержнями и экономят до 60% материала.

В машиностроении широко используются круглые профили (валы, оси и другие цилиндрические детали). На рис. 86 приведен график зависимости момента сопротивления равнопрочных на изгиб и кручение цилиндрических деталей от толщины стенок ( $a$  — отношение внутреннего и наружного диаметров  $a = d/D$ ) и постоянной заданной массы детали.

График выразительно свидетельствует о преимуществах пустотелых тонкостенных конструкций. При  $d/D$  равном 0,9 момент сопротивления де-



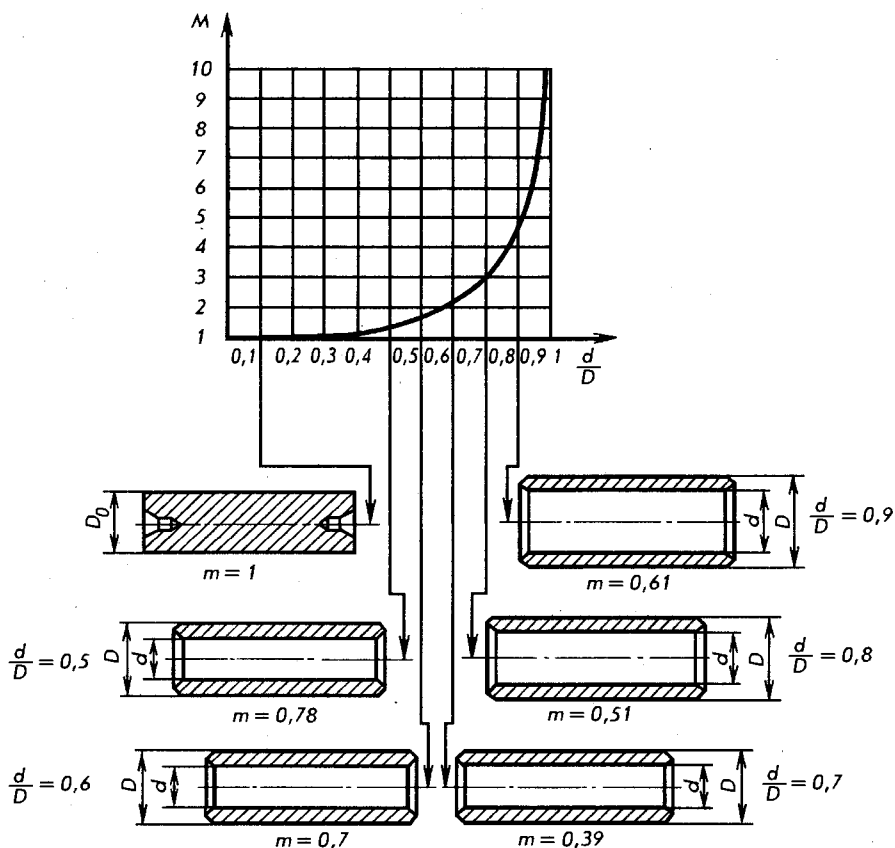


Рис. 86

тали увеличивается в 4,5 раза, а при  $d/D = 0,95$  — в 6 раз по сравнению с массивной деталью.

Увеличение относительного размера наружных диаметров с одновременным введением внутренних полостей и отверстий приводит к резкому возрастанию показателей прочности и жесткости при одновременном уменьшении массы детали.

Приведенные в примере закономерности лежат в основе характерной для современного машиностроения тенденции применять тонкостенные конструкции для деталей, от которых требуется наиболее высокая прочность и жесткость при наименьшей массе.

В заключение можно сделать вывод: размеры, форма, а следовательно, и масса деталей машин, в первую очередь, зависят от нагрузок, действующих на деталь. Правильно выбранные размеры и форма деталей машин определяют прочность конструкции в целом.

# ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ДЕТАЛЯХ МАШИН

## 1. КЛАССИФИКАЦИЯ МАШИН

В современном понимании техника — это развивающаяся материальная совокупность средств труда, предметов труда и самого труда. Динамичное состояние этой совокупности на конкретный момент времени называется **уровнем техники**, в свою очередь, характеризуемым уровнем научно-технических знаний и производственной базы.

Машины составляют основу техники, поэтому развитие техники может происходить только на основе совершенствования существующих и создания новых видов машин.

С развитием техники повышается технический уровень машин, меняются выполняемые ими функции и совершенствуются принципы их конструирования. Если до середины XX в. основной функцией машин была замена мускульной энергии человека и животных, то во второй половине века появились машины, облегчающие труд человека.

Создание новых образцов машин, как правило, предопределяется необходимостью значительного повышения производительности труда, реализации новых технологических процессов и практическим воплощением научных открытий.

По характеру выполняемой работы (рис. 87) различают следующие виды машин: технологические, транспортные, грузоподъемные, энергетические.

**Технологические машины** предназначены для выполнения рабочих процессов производства, связанных с выпуском готовой продукции. К ним относятся станки для обработки материалов, текстильные, полиграфические, сельскохозяйственные и другие машины.

**Транспортные машины** используют для перемещения грузов в горизонтальном направлении или под углом к горизонту. К транспортным машинам относятся автомобили, конвейеры, вентиляторы, насосы и др.

**Грузоподъемные машины** применяют для подъема грузов в вертикальном направлении. Эти машины выполняются в виде домкратов, подъемных кранов, лебедок и т. д.

**Энергетические машины** служат для преобразования механической в другие ее виды. К ним относятся электрогенераторы, компрессоры, холодильные машины и др.

Все рабочие машины приводятся в движение машинами-двигателями, которые являются преобразователями тепловой, электрической и других

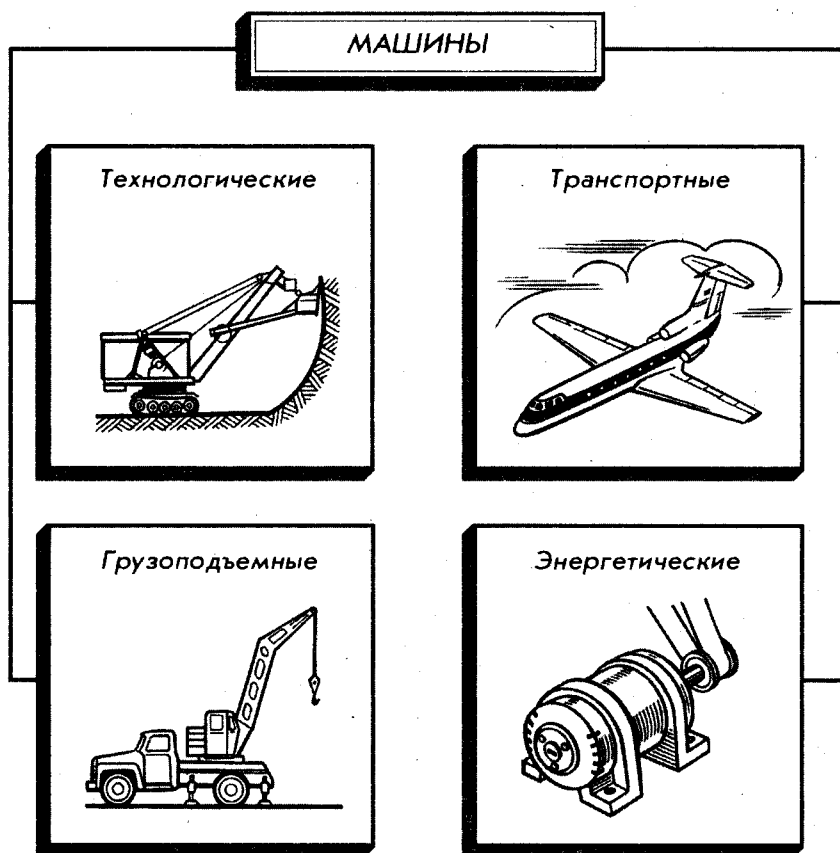


Рис. 87

видов энергии в механическую энергию. Двигатель соединяют с рабочей машиной непосредственно или через передаточный механизм<sup>1</sup>. Двигатель и рабочая машина, соединенные для выполнения определенной полезной работы, образуют машинный агрегат. Примерами машинных агрегатов могут быть: турбогенератор, состоящий из турбины и генератора, насосная установка, состоящая из двигателя и насоса и т. п.

Машины и агрегаты различного назначения механизмируют трудоемкие работы, повышают эффективность производства и облегчают труд рабочих. На многих предприятиях действуют автоматические линии, которые без прямого участия человека выполняют все технологические операции, начиная с обработки сырья и кончая упаковкой готовых изделий. Ручной труд в таком случае ограничивается предварительной наладкой, пуском в ход и устранением неисправностей во всей системе машин и приборов.

<sup>1</sup> О механических передачах см. в гл. VI.

Любая машина с течением времени стареет и заменяется новой, более совершенной. С точки зрения морального износа машина имеет определенные «циклы жизни» в сферах воспроизводства и эксплуатации.

**М о р а л ь н ы й   и з н о с** — результат старения машин, находящихся в эксплуатации, при котором нецелесообразна дальнейшая эксплуатация еще работоспособных машин ввиду наличия новых, более прогрессивных машин аналогичного назначения.

**И з н о с** — изменение размеров, формы, массы или состояния поверхности изделия вследствие разрушения (изнашивания) поверхностного слоя изделия при трении. Износ изделий — деталей машин, элементов строительных конструкций зависит от условий трения и свойств материала изделия.

**И з н о с о с т о й к о с т ь, или и з н о с о у с т о й ч и в о с т ь** — сопротивление материалов, деталей машин и других трущихся изделий изнашиванию. Износоустойчивость оценивается при эксплуатации или во время испытаний на стенде по длительности работы материалов или изделий до заранее заданного или предельного значения износа.

Стендовые испытания машин проводятся с целью проверки взаимодействия механизмов в работе, их приработке и снятия основных характеристик, а также выявления дефектов. Кроме стендовых, опытные образцы машин обычно подвергают еще двум видам испытаний: полигонным и приемо-сдаточным. В ходе полигонных испытаний на основании фактических замеров уточняется техническая производительность машины. Основная цель приемо-сдаточных испытаний — окончательная проверка на практике соответствия созданной машины технико-экономическим и эксплуатационным требованиям.

В результате таких испытаний определяют техническую и эксплуатационную производительность, ресурс работы машины, показатели технической эстетики и безопасности работы, степень автоматизации, удельные эксплуатационные затраты.

Методы исследования и проектирования механизмов составляют часть теории машин и механизмов.

## **2. КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ**

Все машины состоят из отдельных поэлементных частей, называемых деталями, которые тем или иным способом соединяются друг с другом, образуя сборочные единицы, агрегаты и машины.

В современных машинах количество деталей исчисляется иногда десятками и сотнями тысяч. Например, современный самолет имеет более миллиона деталей, шагающий экскаватор — несколько десятков тысяч.

Все детали, из которых собираются различные машины, отличаются друг от друга формой, размерами, материалом, назначением и т. п. Среди многообразия деталей можно выделить такие, которые в различных маши-

нах выполняют одно и то же назначение. Например, такая распространенная деталь, как болт, входит в конструкцию авиационного двигателя, трактора, зенитного орудия, велосипеда и т. д. и во всех изделиях служит для соединения деталей. Другую, не менее распространенную деталь — вал можно встретить в любом двигателе, в металлорежущих станках, и всюду вал выполняет одну и ту же роль: передает вращение от одной детали к другой.

Такие детали, которые, входя в состав самых различных машин, выполняют одну и ту же функцию, называют деталями общего назначения.

Есть и такие детали, которые встречаются только в определенных машинах, например лопатки турбины реактивного двигателя, крыльчатка центробежного насоса и др. Такие детали называют деталями специального назначения.

Классификация деталей машин (а под этим названием мы теперь будем подразумевать только детали общего назначения) была сделана профессором А.П. Соколовским, разработавшим основные положения по типизации технологических процессов. Под типовым технологическим процессом понимают схематизированный процесс изготовления многих деталей одного класса.

По А.П. Соколовскому, класс — совокупность деталей, характеризующая общностью назначения, конструктивной формы и основных технологических процессов. Так как габаритные размеры деталей одного класса различны, например вал турбины и ось наручных часов, возникла необходимость в дальнейшем разделении классов на подклассы, группы и типы.

Подкласс — это группа деталей, имеющих общую конфигурацию и сходные технологические маршруты обработки.

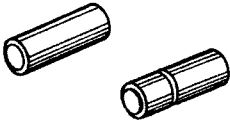
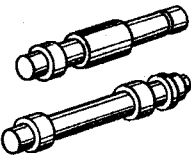
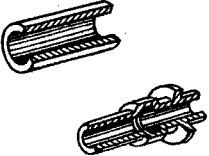
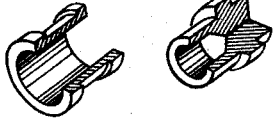



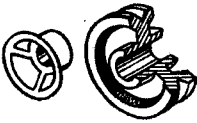
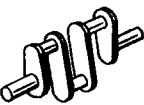
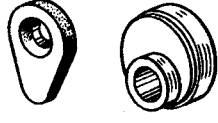
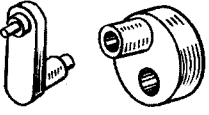
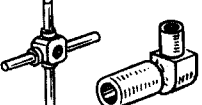
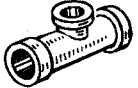

Группа — это часть подкласса, имеющая близкие элементы конструкции и количество переходов (операций), необходимых для их изготовления. Например, гладкие валы — одна группа, ступенчатые — другая.

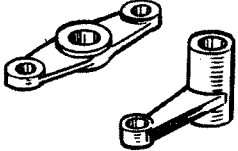
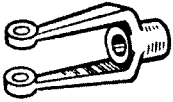
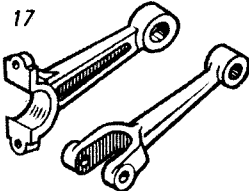
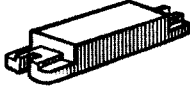
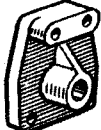

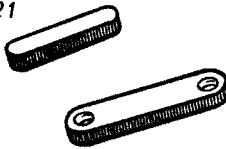
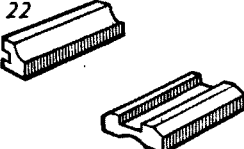
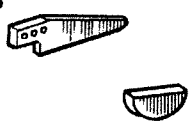

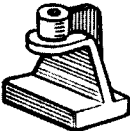
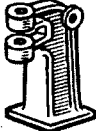
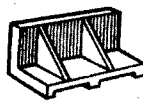
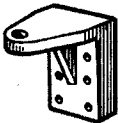
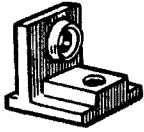
Тип — часть группы, в которую входят детали, имеющие близкую конфигурацию и одинаковые операции обработки.

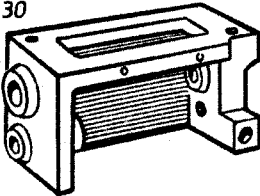
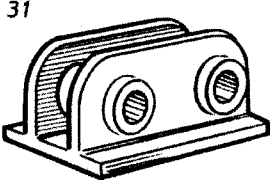
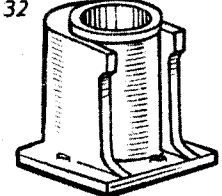
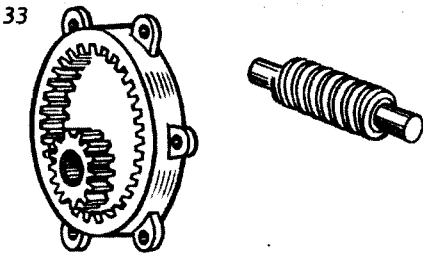
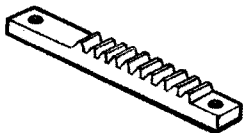
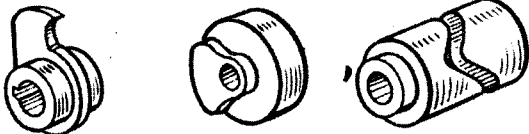

Основные классы деталей машин показаны в табл. 1. Остановимся кратко на особенностях каждого из них. При рассмотрении деталей класса «Валы» (валы, валики, оси, штоки, шпиндели, штифты и т. д.) следует отметить, что они образованы чаще всего наружными цилиндрическими или коническими поверхностями и несколькими буртами (запечиками). Основная задача при обработке деталей класса валов — обеспечить правильную геометрическую форму участков поверхности вала, соосность отдельных поверхностей, перпендикулярность торцов к оси, определенную шероховатость и физико-механические свойства поверхности.

К деталям класса «Втулки» относятся различные втулки, буксы, вкладыши, гильзы и т. д. Характерным признаком этих деталей служит со-

## Основные классы деталей

Наименование класса	Подразделение деталей на группы и примеры деталей, входящих в состав класса		
ВАЛЫ	гладкие	ступенчатые	пустотелые
	1 	2 	3 
ВТУЛКИ	с гладкими отверстиями		со ступенчатыми отверстиями
	4 	5 	
ДИСКИ	диски	кольца	колеса
	6 	7 	8 
ЭКСЦЕНТРИКОВЫЕ ДЕТАЛИ	коленчатые валы	со смещенными отверстиями	со смещенными наружными поверхностями и отверстиями
	9 	10 	11 
КРЕСТОВИНЫ	крестовины	арматура	поршни
	12 	13 	14 

Наименование класса	Подразделение деталей на группы и примеры деталей, входящих в состав класса		
	простые	сложные	шатуны
РЫЧАГИ	15 	16 	17 
	без отверстий	с отверстиями	со сложной обработкой поверхности вращения
ПЛИТЫ	18 	19 	20 
	с постоянным прямоуголь- ным сечением	с постоянным фигур- ным сечением	с переменным сечением
ШПОНКИ	21 	22 	23 
	без отверстий	с одним основным отверстием	с несколькими отверстиями
СТОЙКИ	24 	25 	26 
	без отверстий	с отверстиями	со сложной токар- ной обработкой
УГОЛЬНИКИ	27 	28 	29 

Наименование класса	Подразделение деталей на группы и примеры деталей, входящих в состав класса		
БАБКИ И БЛОКИ	бабки	блоки	цилиндры
	30 	31 	32 
ЗУБЧАТЫЕ КОЛЕСА И РЕЙКИ	зубчатые колеса и червяки		зубчатые рейки
	33 		34 
ФАСОННЫЕ КУЛАЧКИ	35 		
МЕЛКИЕ КРЕПЕЖНЫЕ ДЕТАЛИ	36 		

размерность наружной и внутренней поверхностей вращения. При большой длине деталей их следует относить к пустотелым валам.

К деталям класса «Д и с к и» относятся различные диски, кольца, колеса, шкивы, венцы, ободья, маховики, фланцы, круглые крышки и т. д. Для деталей этого класса характерны следующие признаки: большие торцовые поверхности, размер вдоль оси меньше диаметра. Первую группу класса составляют диски — детали, у которых ступица соединена с ободом сплошным диском, обычно обработанным; вторую группу — кольца — детали, не имеющие ступицы; третью группу — колеса — детали, у которых ободья отделены от ступиц и соединены с ними необработанными спицами или стенками.



К классу «Эксцентрики» относятся эксцентрики, коленчатые валы, кривошипы и т. д. Детали этого класса характеризуются наличием нескольких обработанных поверхностей вращения, имеющих строго параллельные оси при общей конфигурации тел вращения. Первую группу этого класса составляют коленчатые валы — детали, у которых в основном обрабатываются наружные поверхности вращения; вторую группу — детали со смещенными эксцентрично расположенными отверстиями; третью группу — детали со смещенными наружными поверхностями и отверстиями.

К классу «Крестовины» относятся крестовины, тройники, корпуса вентиля и кранов и т. д. Характерным признаком для деталей этого класса служит наличие нескольких поверхностей вращения, имеющих взаимно перпендикулярные оси или в общем случае оси, расположенные под разными углами друг к другу. Первую группу деталей этого класса составляют крестовины, у которых обрабатываются наружные или внутренние (либо и те и другие) поверхности вращения; вторую — арматура и т. п. детали, в которых обрабатываются в основном отверстия; третью — детали типа поршней, у которых обрабатываются наружная поверхность вращения и пересекающееся с ней отверстие.

К классу «Рычаги» относятся детали типа рычагов, шатунов, тяг, серег, балансиров и т. д. Для деталей этого класса характерно наличие нескольких обработанных поверхностей вращения, соединенных между собой стержнями. Детали первой группы — простые рычаги, имеющие обработанные отверстия с параллельными осями; второй — сложные рычаги, оси отверстий которых располагаются под углами; третьей — шатуны.

Класс «Плиты» составляют детали типа плит, станин, рам, плоских крышек и т. п. Детали этого класса отличаются наличием больших плоскостей, требующих прямолинейной обработки. К первой группе относятся детали, не имеющие основных отверстий (эти отверстия, сопрягаемые с цилиндрическими деталями, называются посадочными); ко второй — детали с основными отверстиями; к третьей — детали, у которых обработка отверстий или других поверхностей вращения является операцией, равной по значимости обработке плоскостей.

Класс «Шпонки» составляют детали типа шпонок, защелок, вкладышей, ограничителей и т. д. Характерным признаком этих деталей служит наличие поверхностей прямолинейной обработки. Длина деталей значительно превышает их поперечные размеры. В первую группу входят шпонки прямоугольного сечения; во вторую — фигурного сечения; в третью — переменного сечения.

К классу «Стойки» относятся детали типа стойки, кронштейны, опоры, стенки и т. д. У них обрабатываются главным образом сравнительно узкие плоскости, расположенные перпендикулярно к основной стенке, что и служит отличительным признаком деталей этого класса. Эти плоскости

обычно являются сборочными базами. Первую группу составляют детали без основных отверстий; вторую — детали с одним основным отверстием; третью — детали с несколькими основными отверстиями.

К классу «Угольники» относятся детали типа угольников, угловых станин, угловых кронштейнов и т. д. Детали этого класса характеризуются наличием больших обработанных поверхностей, расположенных относительно друг друга под прямым (или другим заданным) углом. Детали первой группы выполнены без основных отверстий; второй — с основными отверстиями; третий — с большими отверстиями, требующими сложной специальной обработки.

Класс «Бабки и блоки» составляют детали типа бабок, коробок, корпусов, картеров, блоков, цилиндров и т. д. Детали этого класса имеют коробчатую форму и обычно являются пустотелыми отливками. У них обрабатываются как плоскости, так и отверстия (поверхности вращения). К первой группе этого класса относятся детали типа бабок, у которых отверстия невелики по сравнению с плоскостями; ко второй — блоки. Это те же детали, имеющие только одно большое отверстие.

Класс «Зубчатые колеса и рейки» составляют цилиндрические и конические зубчатые колеса, червяки, червячные колеса, храповые колеса, звездочки для цепной передачи и т. д. Сюда же можно отнести и зубчатые рейки. Для всех деталей класса характерно наличие зубьев на рабочей поверхности. К первой группе относятся детали, рабочая поверхность которых имеет в целом форму тел вращения; ко второй — зубчатые рейки — детали, у которых зубья расположены на прямолинейной поверхности.

Класс «Фасонные кулачки» составляют детали типа кулачков сложной конфигурации. Детали этого класса требуют сложной и точной обработки наружной и внутренней поверхностей.

К классу «Мелкие крепежные детали» относятся шпильки, гайки, болты и винты, изготавливаемые на автоматах или полуавтоматах из пруткового материала.

### **3. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К МАШИНАМ И ИХ ДЕТАЛЯМ**

В процессе проектирования технически совершенных и экономически целесообразных машин, приборов и аппаратов конструктор параллельно решает три основные группы задач: конструктивные, технологические и эксплуатационные.

Остановимся кратко на характеристике каждой группы.

**Конструктивные задачи:**

1. Выбор принципиальной схемы конструкции, обеспечивающей простоту компоновки изделия;
2. Обеспечение простых конструктивных решений сборочных единиц, агрегатов и их сборки;

3. Расчленение изделий на части для удобного монтажа и регулировки, а также для параллельной независимой сборки (что особенно важно);
4. Уменьшение количества различных наименований деталей;
5. Выбор простейших геометрических форм деталей;
6. Рациональный выбор материалов;
7. Разметка заготовок, обеспечивающих наименьшие расход материала и затраты на обработку;
8. Обоснованный выбор баз и системы простановки размеров;
9. Рациональный выбор классов шероховатости обрабатываемых поверхностей, допусков на сборочные размеры и размеры деталей;
10. Обеспечение экономически целесообразной взаимозаменяемости деталей, сборочных единиц и агрегатов;
11. Унификация материалов, деталей и их элементов, сборочных единиц, агрегатов, приборов и т. д.

#### Технологические задачи:

1. Сокращение сроков подготовки производства и освоения изделия при заданном объеме выпуска;
2. Использование современных, наиболее производительных технологических процессов обработки и сборки;
3. Обеспечение заданной точности изготовления деталей и сборки узлов агрегатов и всего изделия в целом в соответствии с технологическими требованиями;
4. Выбор рациональных методов и средств контроля;
5. Максимальное использование типовых технологических процессов изготовления деталей и сборки изделия.

#### Эксплуатационные задачи:

1. Обеспечение надежности и срока службы, установленного для данного изделия.
2. Выбор простых методов обслуживания, эксплуатации и ремонта.
3. Сокращение количества запасных частей.
4. Обеспечение малой массы изделия.

# СОЕДИНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Соединения деталей, применяемые в машино- и приборостроении, принято делить на подвижные, обеспечивающие перемещение одной детали относительно другой, и неподвижные, в которых две или несколько деталей жестко скреплены друг с другом (рис. 88).

Каждый из этих двух типов соединений подразделяют на две основные группы: разъемные и неразъемные. Разъемными и называются такие соединения, которые позволяют производить многократную сборку и разборку сборочной единицы без повреждения деталей. К разъемным неподвижным соединениям относятся резьбовые, штифтовые, шпоночные, шлицевые, а

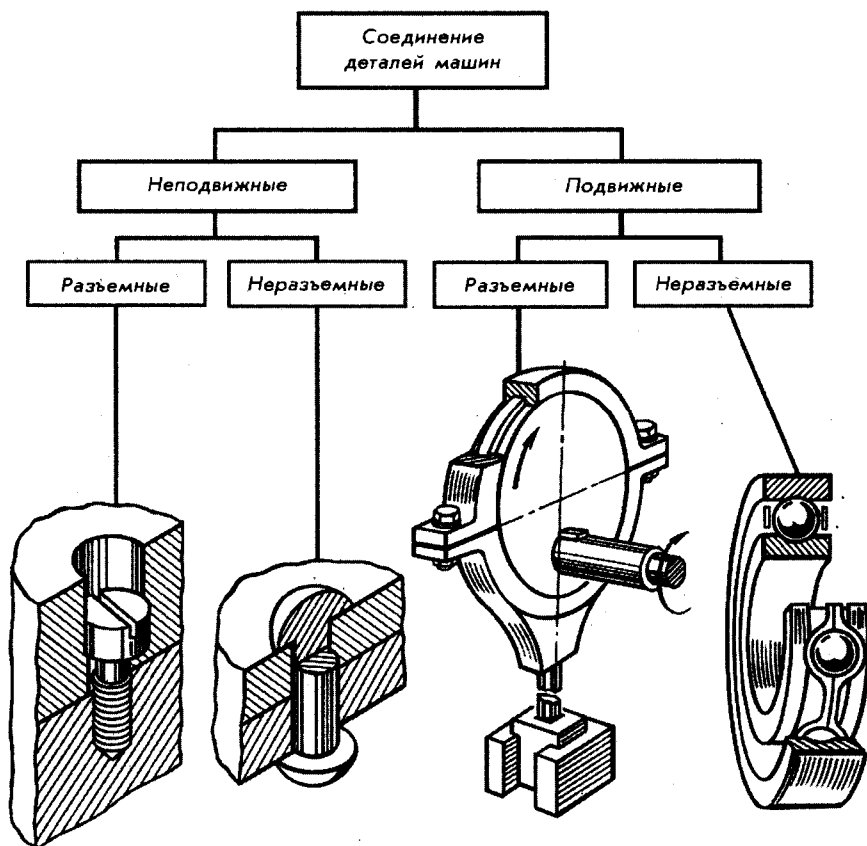


Рис. 88

также соединения, осуществляемые переходными посадками. Разъемные подвижные соединения имеют подвижные посадки (посадки с зазором) по цилиндрическим, коническим, винтовым и плоским поверхностям.

Неразъемными называются такие соединения, которые могут быть разобраны лишь путем разрушения или недопустимых остаточных деформаций одного из элементов конструкции. Неразъемные неподвижные соединения осуществляются механическим путем (запрессовкой, склепыванием, загибкой, кернением и чеканкой), с помощью сил физико-химического сцепления (сваркой, пайкой и склеиванием) и путем погружения деталей в расплавленный материал (заформовка в литейные формы, в пресс-формы и т. п.)

Подвижные неразъемные соединения собирают с применением развальцовки, свободной обжимки. В основном это соединения, заменяющие целую деталь, если изготовление ее из одной заготовки технологически невозможно или затруднительно и неэкономично.

## 2. ЗАКЛЕПОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

В заклепочных соединениях функцию соединительных элементов выполняют заклепки — стержни 1 круглого поперечного сечения с головками на концах. Непоставленные в соединение заклепки имеют по одной головке, которая называется закладкой 3; вторая головка образуется

в процессе клепки, ее называют замыкающей 4. Головки заклепок могут быть различной формы.

Соединение заклепками относится к неразъемным соединениям. Чтобы разобрать это соединение, необходимо вырубить или высверлить заклепки.

Приемы соединения деталей заклепками показаны на рис. 89. В соединяемых деталях сверлят отверстия несколько большего диаметра, чем диаметр стержня заклепки. В отверстие вставляют заклепку (рис. 89, I) и вначале сжимают (осаживают) соединяемые детали (рис. 89, II), пользуясь для этого снизу поддержкой 4 с выточкой по форме головки. Затем заклепывают свободный конец заклепки (рис. 89, III) и для образования полукруглой замыкающей головки пользуются обжимкой 5.

В серийном и массовом производстве применяется механическая клепка,

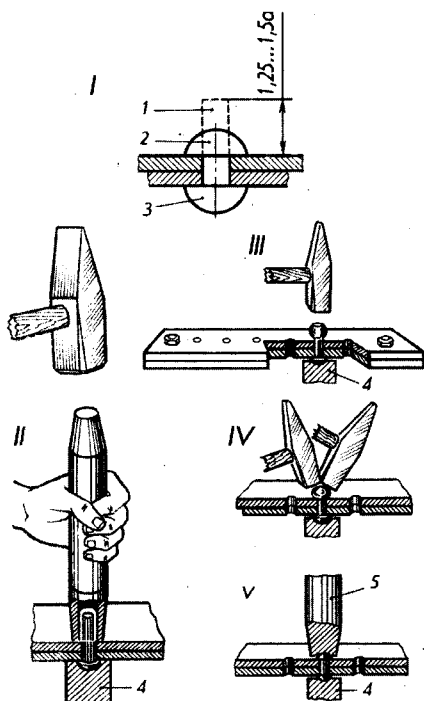


Рис. 89

осуществляемая пневматическими молотками, клепальными машинами и прессами. Способ клепки пневматическим молотом показан на рис. 90.

Стандартом предусмотрено несколько типов заклепок нормальной точности общего назначения, основными из которых в общем машиностроении являются: с полукруглой головкой ГОСТ 10299-80 (рис. 91, I); с потайной головкой ГОСТ 10300-80 (рис. 91, II); с полупотайной головкой ГОСТ 10301-80 (рис. 91, III) и др.

В тех случаях, когда нет доступа к зоне замыкающей головки, применяют взрывные заклепки (рис. 91, IV) с частично полым стержнем, заполненным взрывчатим веществом.

Для слабонагруженных соединений применяют иногда трубчатые заклепки (их называют также пистонами), для соединения металлических

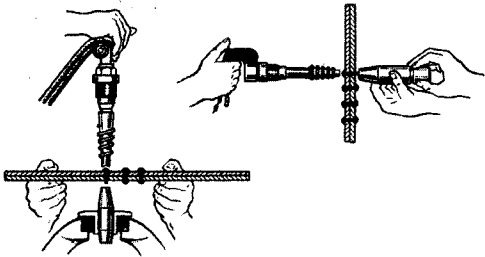


Рис. 90

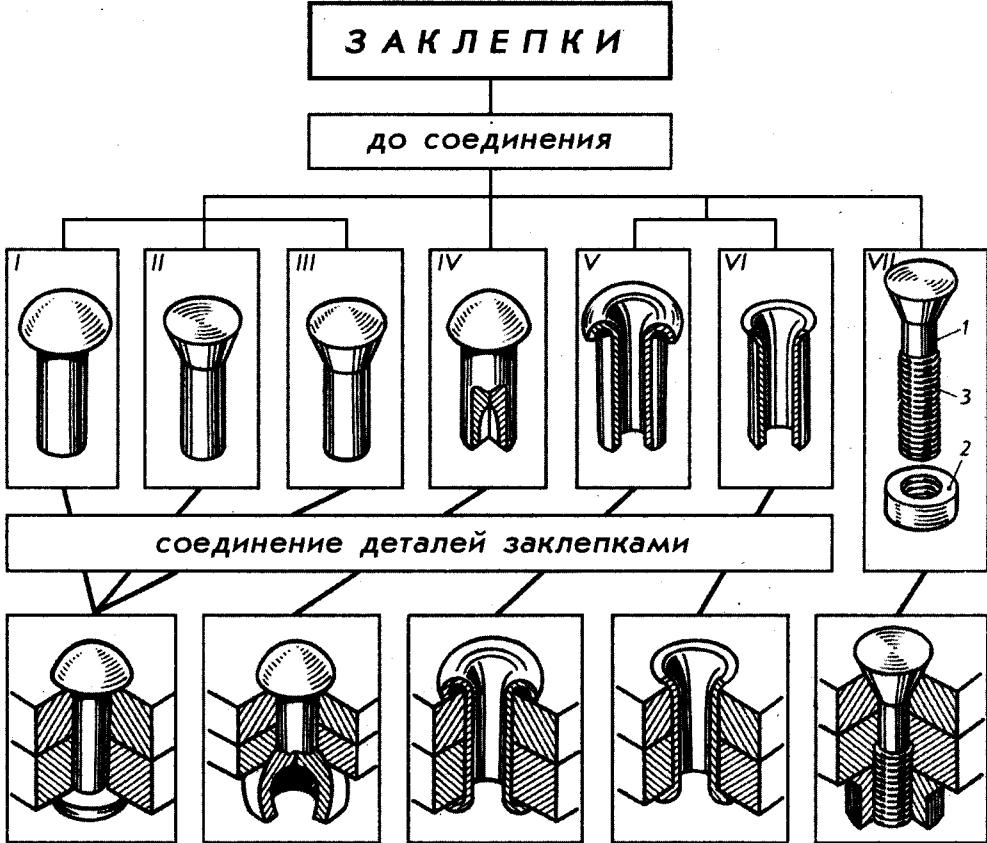


Рис. 91

деталей — заклепки, показанные на рис. 91, V, а для податливых материалов (кожи, некоторых пластмасс и др.) — показанные на рис. 91, VI.

В настоящее время для соединения металлоконструкций больших перекрытий находят применение так называемые болты-заклепки.

Болт-заклепка (рис. 91, VII) состоит из двух деталей: стержня 1 и кольца 2. При соединении деталей болтом-заклепкой зажимы специального устройства захватывают нижний ее конец (хвостовик 3 с проточками — ребрами) и, упираясь в соединяемые детали выступами, оказывают усилие растяжения на стержень. Одновременно на стержень болта-заклепки одевается кольцо, прижимается с усилием к соединяемым деталям и обжимается за средний участок стержня с накатанными кольцевыми проточками (ребрами). После обжатия кольца в шейке стержня происходит отрыв хвостовика.

По назначению клепанные швы делятся на два вида: прочные, применяемые для соединения ферм, мостов, радиомачт, подвижных кранов и т. п.; плотные, используемые при изготовлении баков, сосудов, резервуаров и т. п. (такие швы должны обладать высокой герметичностью).

По характеру расположения соединяемых деталей различают: соединения внахлестку (рис. 92, I, II, III), когда один лист накладывают на другой; соединения встык, когда листы подводят встык и соединяют наложенной на них одной (рис. 92, IV, IX) или двумя накладками.

По расположению заклепок швы делятся на однорядные (рис. 92, I, IV, IX), двухрядные (рис. 92, II, III, VIII и рис. 93), многорядные (рис. 92, III, VI, IX) — параллельные (рис. 94, I) и шахматные (рис. 94, II). Необходимое количество заклепок, их диаметр и длину определяют расчетным путем. Диаметр заклепок выбирают в зависимости от толщины склепываемых листов по формуле  $d = \sqrt{2s}$ ,

где:  $d$  — диаметр заклепки, мм;

$s$  — толщина склепываемых листов, мм.

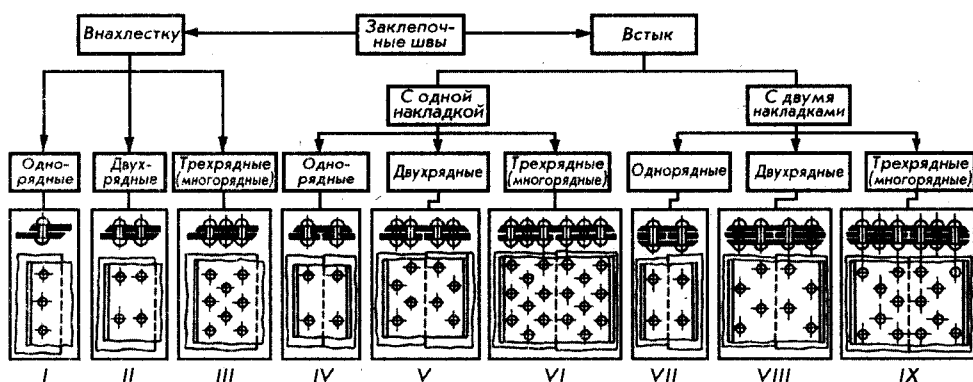


Рис. 92

Расстояние между центрами отверстий для заклепок (шаг заклепок —  $t$ ) и расстояние от центра заклепки до края листа (размер  $a$ ) при параллельном и шахматном расположении заклепок указаны на рис. 94.

Длина стержня заклепки зависит от толщины склепываемых листов и формы замыкающей головки. Замыкающая головка образуется из выступающей части стержня. Длина этой части стержня для образования полукруглой головки составляет  $1,2 \dots 1,5d$ , а для потайной или полупотайной головки  $0,8 \dots 1,2d$ .

Полная длина стержня при клепке с образованием полукруглой замыкающей головки рассчитывается по формуле  $l = S + (1,2 \dots 1,5)d$ , а при потайной или полупотайной клепке по формуле  $l = S + (0,8 \dots 1,2)d$ ,

где:  $l$  — длина стержня, мм;

$S$  — толщина склепываемых листов, мм;

$d$  — диаметр заклепки, мм.

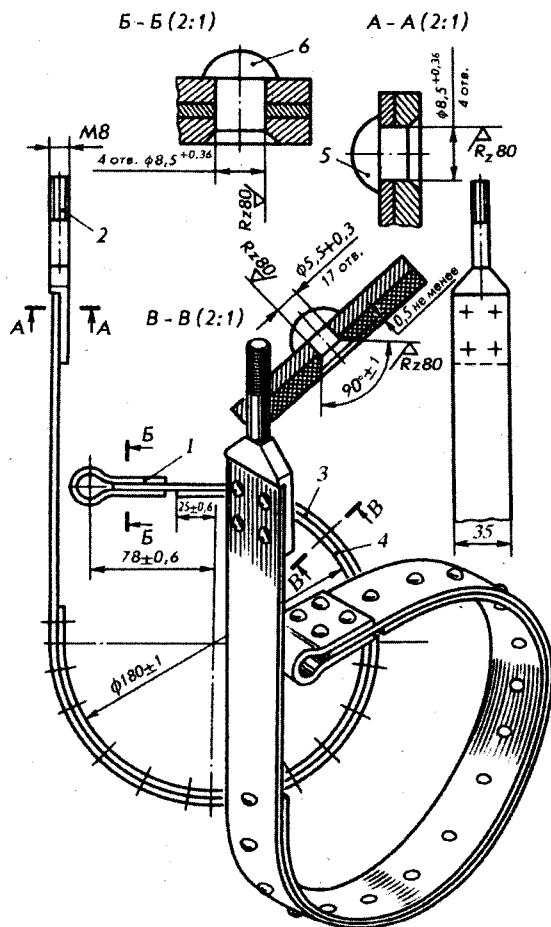


Рис. 93



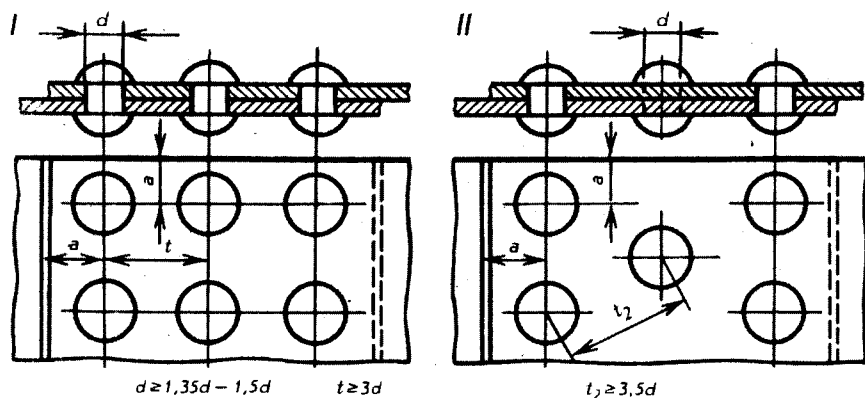


Рис. 94

Заклепки изготовляют как из стали различных марок, так и из сплавов цветных металлов. Стали для заклепок, как правило, выбирают малоуглеродистые, обладающие высокой пластичностью, например Ст.2, Ст.3. В специальных случаях заклепки изготовляют из легированных сталей.

Для склепывания деталей из цветных металлов и их сплавов применяют заклепки из цветных сплавов, например латуни Л63, магниевого литейного сплава Мл3, алюминиевого сплава АД1.

### 3. СВАРНЫЕ, ПАЯНЫЕ И КЛЕЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

**3.1. Общие сведения.** Сваркой называется процесс получения неразъемных соединений посредством местного нагрева и расплавления кромок, соединяемых поверхностей металлических деталей. Сваркой можно соединять также термопластичные пластмассы (такая сварка осуществляется горячим воздухом или разогретым инструментом).

Сварка имеет ряд преимуществ перед клепаными соединениями:

1. Экономия металла. В сварных конструкциях стыки выполняются без вспомогательных элементов, утяжеляющих конструкцию, в клепаных — посредством накладок (см. рис. 92, II и 93). В сварных конструкциях масса наплавленного металла, как правило, составляет 1...1,5% и редко превышает 2% массы изделия, в то время как в клепаных масса заклепок достигает 3,5...4%;

2. Снижение трудоемкости изготовления. Для заклепочного соединения требуется сверлить отверстия, которые ослабляют соединяемые детали, точно размечать центры отверстий, зенковать под потайные заклепки, применять много разнообразных приспособлений и т. п. В сварных конструкциях не требуется выполнять перечисленные предварительные операции и использовать сложное вспомогательное оборудование;

3. Уменьшение стоимости изделий. Стоимость сварных изделий ниже клепаных за счет уменьшения массы соединений и трудоемкости их изготовления;

4. Увеличение качества и прочности соединения. Сварные швы создают по сравнению с клепаными абсолютно плотные и герметичные соединения, что имеет исключительно большое значение при изготовлении резервуаров, котлов, вагонов, цистерн, трубопроводов и т. д.

К технологии сварочных работ относятся различные процессы, иногда даже противоположные по своему характеру. Например: резка металлов и других материалов, наплавка, напыление и металлизация, упрочнение поверхности. Однако основная и главная задача — получение неразъемных соединений между одинаковыми или различными металлами и неметаллическими материалами в самых разнообразных изделиях.

Форма и размеры таких соединений меняются в широких пределах от сварной точки в несколько микрометров (рис. 95), соединяющей полупроводник с проводником в какой-либо микросхеме радиоэлектроники, до нескольких километров сварных швов 1, которые выполняются при строительстве морских судов. Материалы для изготовления сварных конструкций весьма разнообразны: алюминий и его сплавы, стали всех типов и назначений, титан и его сплавы и даже такой тугоплавкий металл, как вольфрам (температура плавления  $\sim 3400^\circ \text{C}$ ).

Также различны по своим свойствам неметаллические материалы, подвергающиеся сварке: полиэтилен, полистирол, капрон, графит, керамика из окиси алюминия и др.

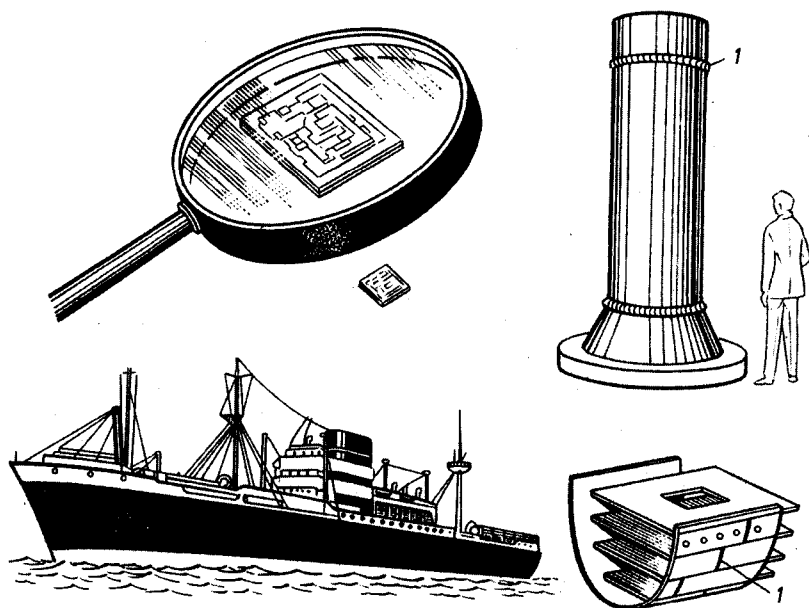


Рис. 95

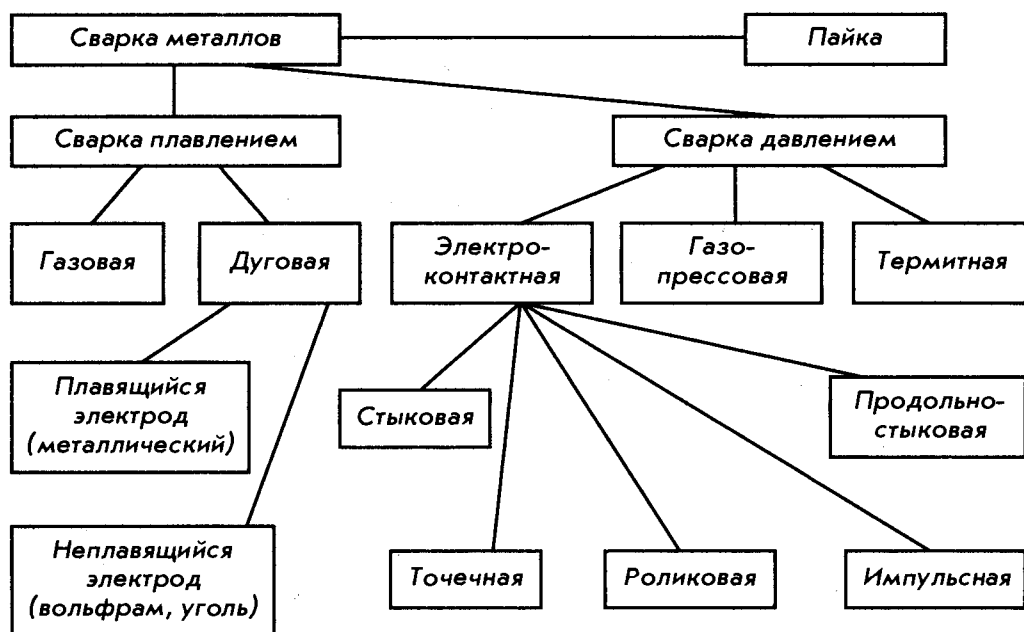


Рис. 96

**П а й к а**, хотя и отличается по своей природе от сварки, также относится к области сварочной технологии и находит очень широкое применение в приборостроении и машиностроении, кроме того ее начинают применять даже в строительных конструкциях.

С каждым годом применение сварки в народном хозяйстве расширяется, а клепки — сокращается. Однако сварные соединения имеют существенные недостатки — термические деформации, возникающие в процессе сварки (особенно тонкостенных конструкций); невозможность сваривания деталей из тугоплавких материалов.

Классификация основных видов сварки показана на рис. 96. Все способы делятся на две группы: сварка плавления и сварка давлением.

**3.2. Сварка плавлением.** С в а р к а п л а в л е н и е м — это процесс соединения двух деталей, или заготовок в результате кристаллизации общей сварочной ванны, полученной расплавлением соединяемых кромок. Источник энергии при сварке плавлением должен быть большой мощности, высокой сосредоточенности, то есть концентрировать выделяющуюся энергию на малой площади сварочной ванны и успевать расплавлять все новые и новые участки металла, обеспечивая этим определенную скорость процесса.

Процесс сварки (2 — сварочный шов) плавлением осуществляется источником энергии 1, движущимся по свариваемым кромок 3 с заданной скоростью (рис. 97). Размеры и форма сварочной ванны зависят от мощности источника и от скорости его перемещения, а также от теплофизических свойств металла.

В сварном соединении принято различать три области (рис. 98): основной металл — соединяемые части будущего изделия, предназначенного для эксплуатации; зона термического влияния (околошовная зона) — участки металла, в которых он находится некоторое время при высокой температуре, доходящей на линии сплавления до температуры плавления металла; сварной шов — металл шва, представляющий литую структуру с характерными особенностями.

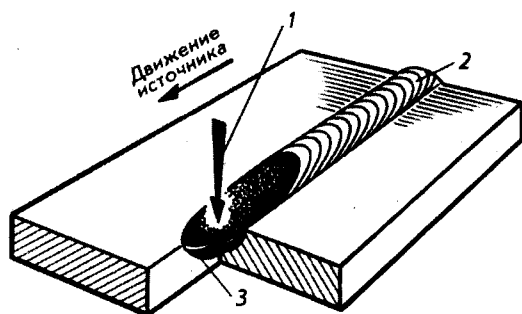


Рис. 97

Каждый вид сварочного процесса имеет свои особенности и находит применение в той или иной сфере производства, где он дает необходимое качество изделия и экономически целесообразен. Наиболее широкое применение для сварки металлов плавлением нашли газовая и дуговая виды сварки.

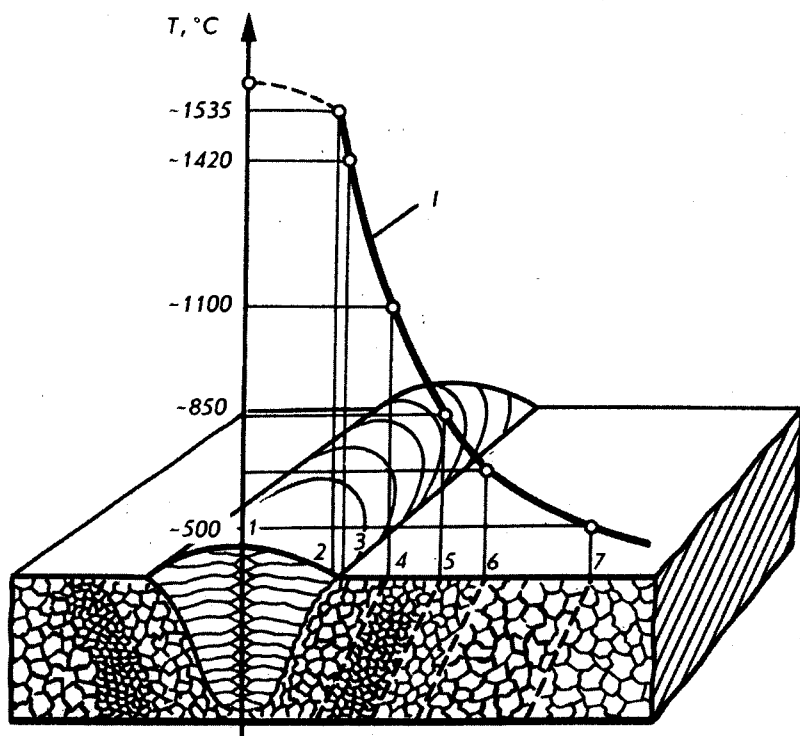


Рис. 98

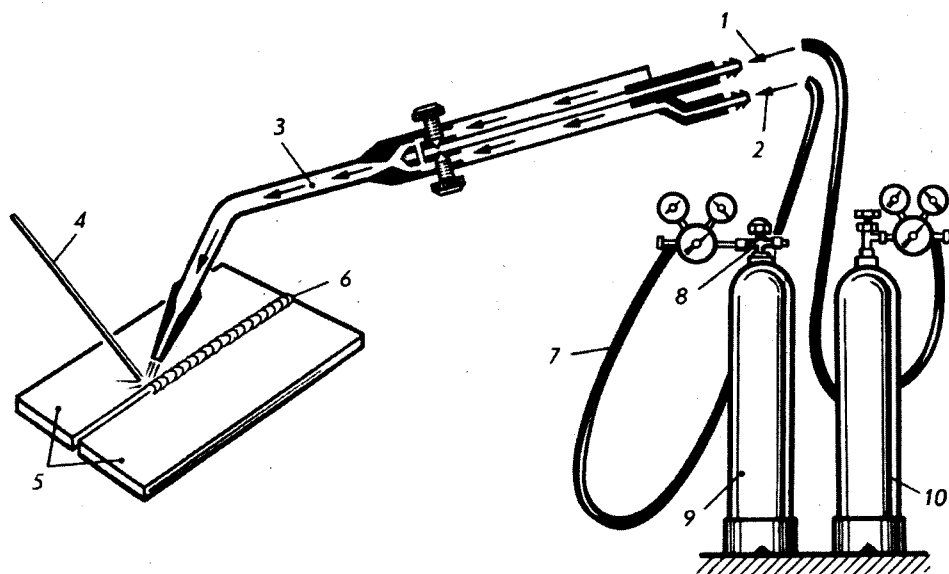


Рис. 99

При газовой (или автогенной) сварке в качестве источника энергии используют пламя ацетиленокислородной горелки (рис. 99), имеющей высокую температуру (около  $3000^{\circ}\text{C}$ ) и значительную мощность, зависящую от количества ацетилена (8 — редуктор для регулирования величины подачи газа), сгорающего в секунду. Кислород 1 из кислородного баллона 10 и ацетилен 2 из ацетиленового баллона 9 подаются по шлангам 7 в газовую горелку, где образуется горючая смесь 3. На выходе из сопла горелки возникает пламя. Когда нагреваемое место свариваемых деталей доводится до расплавленного состояния, к пламени подводят присадочный материал 4, который, расплавляясь вместе с кромками детали 5, образует сварочный шов 6.

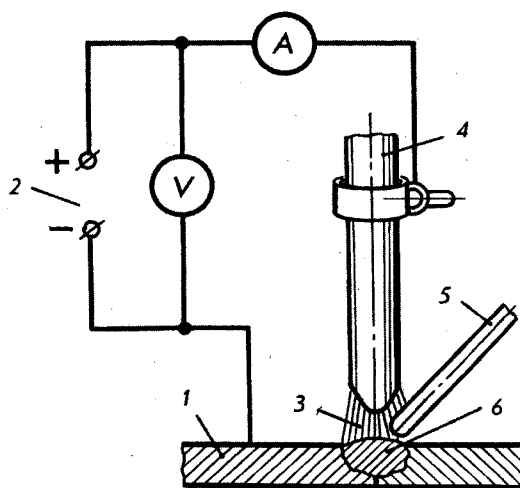


Рис. 100

При дуговой сварке (рис. 100) в качестве источника энергии 2 используется электрический дуговой разряд 3, возникающий при присоединении свариваемых деталей 1 к одному, а электрода 4 — к другому полюсу источника тока. Движение электрода с дуговым разрядом и подве-

денным в его зону присадочным материалом (в виде прутка) 5 относительно кромок изделия заставляет перемещаться сварочную ванну, образующую сварной шов 6.

Электрошлаковая сварка применяется для автоматической сварки вертикальных швов из металла большой толщины.

При электрошлаковой сварке (рис. 101) свариваемые детали устанавливаются вертикально и собирают под сварку с зазором между кромками. Электродные проволоки 5 (их может быть несколько и притом разного состава) подаются силовыми роликами 4 через изогнутые токопроводящие мундштуки 6 в зазор между свариваемыми деталями 1. В процессе сварки автомат движется вверх по направляющим, а мундштуки совершают

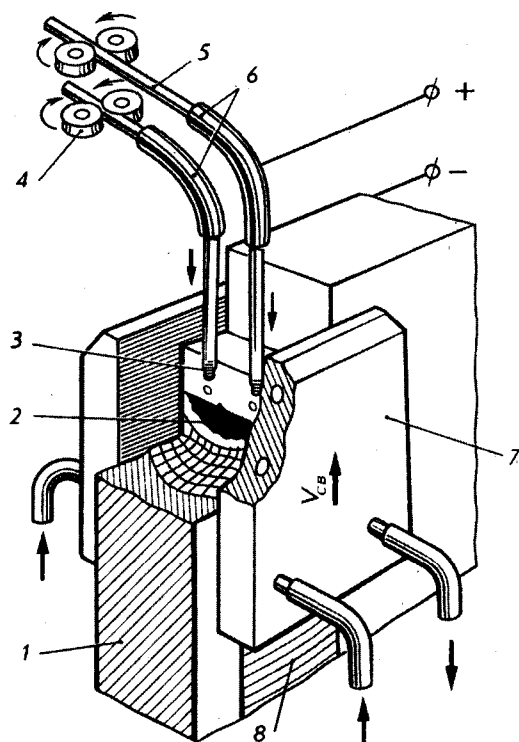


Рис. 101

колебательные движения, подавая проволоки в жидкую шлаковую ванну 2, в которой они расплавляются при температуре  $T$  равной  $1539^{\circ}\text{C}$  вместе с металлом сплавляющихся кромок и образуют сварной шов 8. Жидкая шлаковая и металлическая ванны удерживаются поднимающимися вместе с автоматом медными ползунами 7, охлаждаемыми изнутри водой. Шлак 3, отделяясь от металла, всплывает.

Плазменная сварка. При плазменной сварке используют дуговой разряд в плазмотроне, который дает плазменную струю 1 с очень высокой температурой (рис. 102).

Плазмотрон представляет собой прибор 2, в котором дуговой разряд 3 возбуждается в канале 4, и давлением газа (аргона, азота, воздуха) столб дуги растягивается и вырывается из сопла, охлаждаемого проточной водой 5, за пределы плазмотрона. Может быть два типа плазмотронов: с собственным анодом, на который замыкается разряд за счет дрейфа электронов, или дугой косвенного действия — дуговой разряд возникает между двумя электродами, но не замыкается на изделие 6. В сварочной технике чаще используют плазмотрон второго типа. Плазменная сварка и обработка материалов нашла широкое применение в промышленности.

При сварке а л ю м и н и е в ы х с п л а в о в качество сварных соединений зависит от надежности защиты зоны сварки инертным газом и от подготовки кромок изделия.

А р г о н о д у г о в а я с в а р к а. Так для аргонодуговой сварки (3 — сопло) алюминия применяют плавящийся электрод-проволоку 7, совпадающую по составу с основным металлом свариваемых изделий 2 или неплавящийся вольфрамовый электрод (рис. 103). Для ответственных конструк-

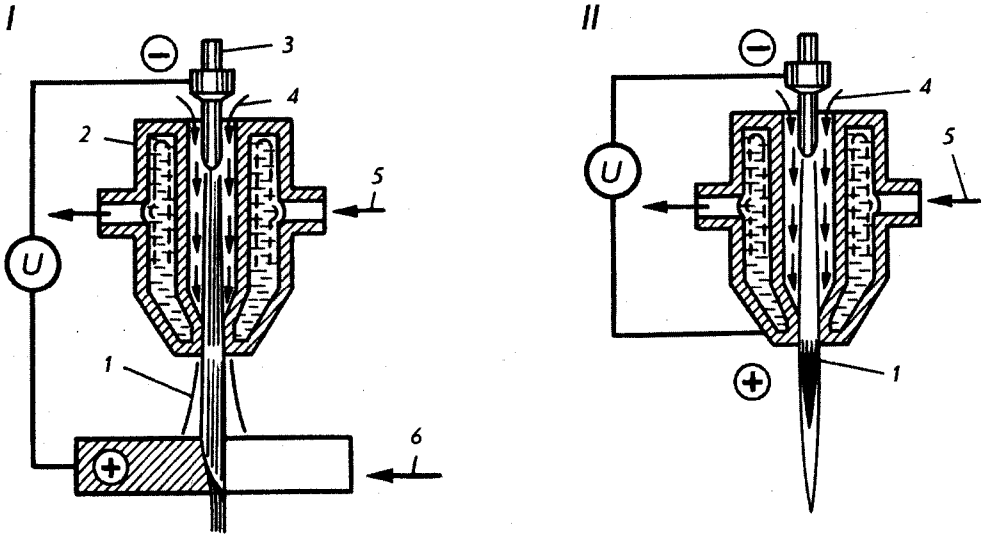


Рис. 102

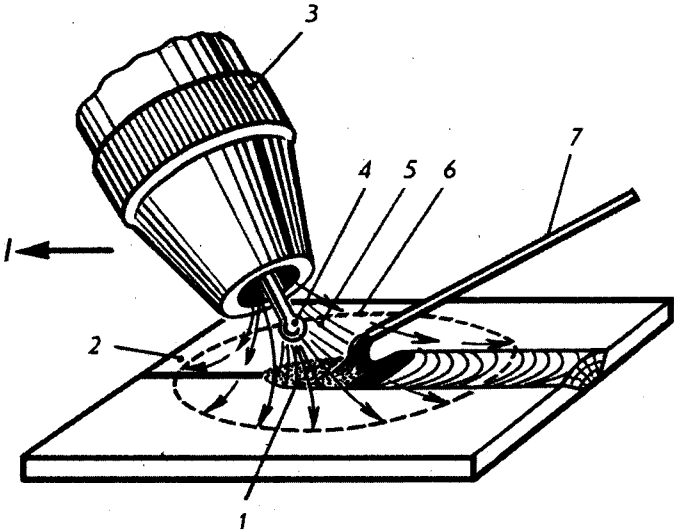


Рис. 103

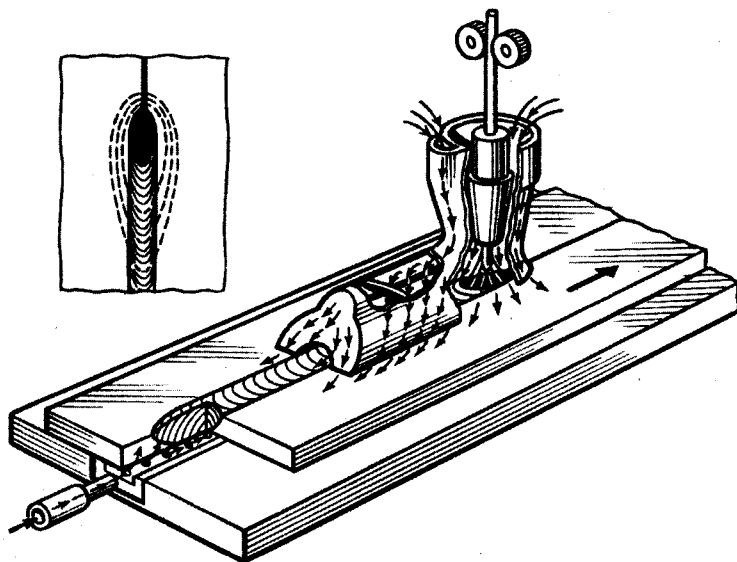


Рис. 104

ций чаще применяют последний метод, при этом присадочный металл подают сбоку непосредственно в дуговой разряд 4, 5, 6 или в сварочную ванну 1 рядом с дуговым разрядом.

Аргонодуговую сварку применяют также для соединения деталей из титана и его сплавов. Титан — металл, напоминающий по внешнему виду сталь, обладает также весьма высокой химической активностью, несколько уступая в этом отношении алюминию. Титан имеет температуру плавления —  $1668^{\circ}\text{C}$ .

При обычной температуре титан очень устойчив к воздействию окружающей среды, так как закрыт окисной пленкой. В таком пассивном состоянии он даже устойчивее, чем коррозионно-стойкая сталь. При высоких температурах окисный слой перестает защищать титан. При температуре выше  $500^{\circ}\text{C}$  он начинает активно реагировать с окружающей средой. Поэтому титан и его сплавы можно сваривать (рис. 104) только в защитной атмосфере аргона, с которым он реагировать не может.

**3.3. Сварка давлением.** Сварка давлением — это процесс соединения поверхностных слоев деталей. При соединении происходит активная диффузия частиц, ведущая к полному исчезновению границы раздела и к прорастанию через нее кристаллов.

В современном машиностроении и приборостроении сварку давлением осуществляют несколькими путями в зависимости от типа изделий и требований, которые к ним предъявляются.

Контактная сварка широко применяется в машиностроении для изготовления изделий и конструкций, главным образом из сталей. Она относится к сварке с применением нагрева и давления. Нагрев осуществляется электри-



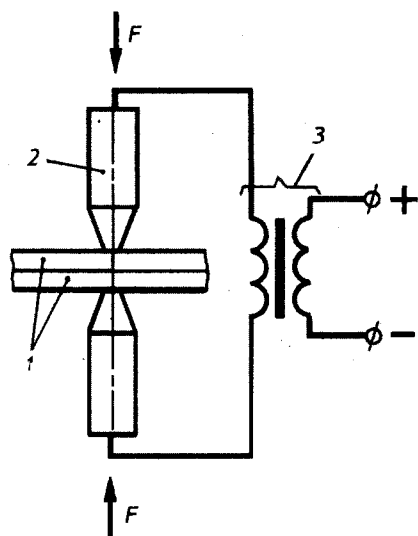


Рис. 105

ческим током, который проходит через место контакта двух свариваемых деталей. Давление, необходимое для сварки, создается или электродами, подводящими электрический ток, или специальными приспособлениями.

Различают три разновидности контактной сварки: *точечную* — отдельными точками (рис. 105), применяемую для тонколистовых конструкций из стали (например, кузова автомашин). Свариваемые заготовки 1 зажимаются между электродами 2, через которые проходит электрический ток большой силы от вторичной обмотки понижающего трансформатора 3. Место контакта свариваемых частей разогревается до высокой температуры, и под давлением усилия  $F$  происходит сварка;

*стыковую* — оплавлением или давлением (рис. 106), применяемую для изготовления металлорежущего инструмента и др. В этом случае свариваемые детали 1 с силой стыкуются и удерживаются зажимами 2, к которым подводится электрический ток; *роликую* (рис. 107, где 1 — свариваемые детали; 2 — ролики; 3 — электроды; 4 — источник энергии) — обеспечивающую непрерывный (герметичный) или прерывистый шов.

В строительных конструкциях и в машиностроении сварка — основной способ получения неразъемных соединений деталей из сталей всех марок, чугуна, меди, латуни, бронзы, алюминиевых сплавов и пр.

### 3.4. Автоматизация процесса сварки. Широкое распространение сварки

в промышленности стимулировало создание оборудования для механизации и автоматизации сварочных процессов. В то же время автоматизация сварки потребовала коренного изменения технологического процесса. В одних случаях сварочный аппарат неподвижен, а изделие перемещается относительно него с заданной скоростью, а в других — устанавливается на самодвижущуюся тележку 6 — «трактор», идущий по направляющим 2, прикрепленным на неподвижном изделии 1, или рядом с ним (рис. 108).

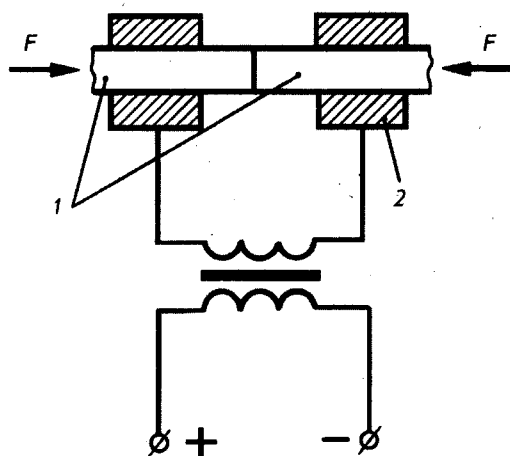


Рис. 106

На производстве нашла широкое применение полуавтоматическая дуговая сварка, сущность которой заключается в следующем: механизм подачи электродной проволоки 3, 4 и пульт управления 5 устанавливают отдельно от головки или инструмента, сварочная проволока подается по гибкому шлангу, через который также подводится электрическое питание к сварочному инструменту 7.

Функции сварщика в этом случае значительно упрощаются, так как ему нужно двигать только сварочную головку (инструмент) в нужном направлении и на определенной высоте от изделия.

**3.5. Электронно-лучевая сварка.** Этот вид сварки представляет собой результат взаимодействия пучка электронов, ускоренных электрическим полем, с поверхностью металла которой эти электроны отдают накопленную в электрическом поле энергию (энергия торможения), расплавляя и даже частично испаряя ее.

Прототипом оборудования для получения пучка электронов служит рентгеновский аппарат для просвечивания биологических объектов в медицинских целях или исследований. Схема установки для сварки электронным лучом показана на рис. 109. В камере 2 с глубоким вакуумом (давление  $1 \cdot 10^{-4}$  Па и менее) между катодом 3, эмитирующим (обеспечивающим электрическую связь) электроны, и анодом 4, имеющим в середине отверстие, создается поток электронов, или электронный луч 1. Для увеличения плотности энергии электронный луч фокусируют магнитными линзами и направляют на изделие 7, соединенное с землей. Управление 8 электронным лучом осуществляется магнитным устрой-

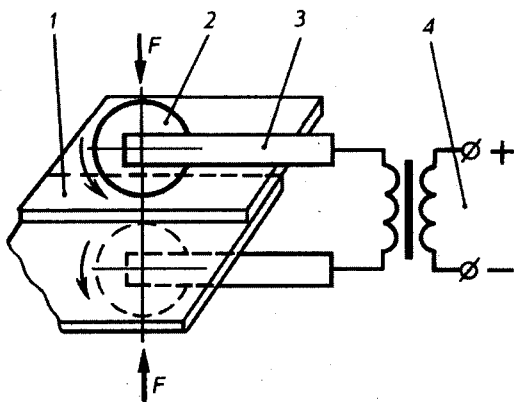


Рис. 107

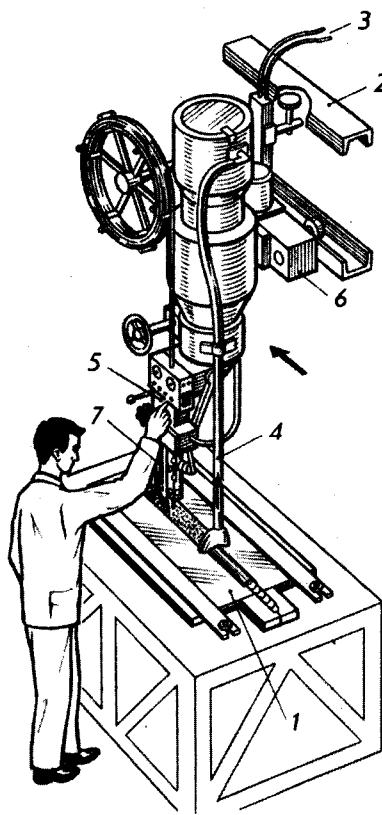


Рис. 108

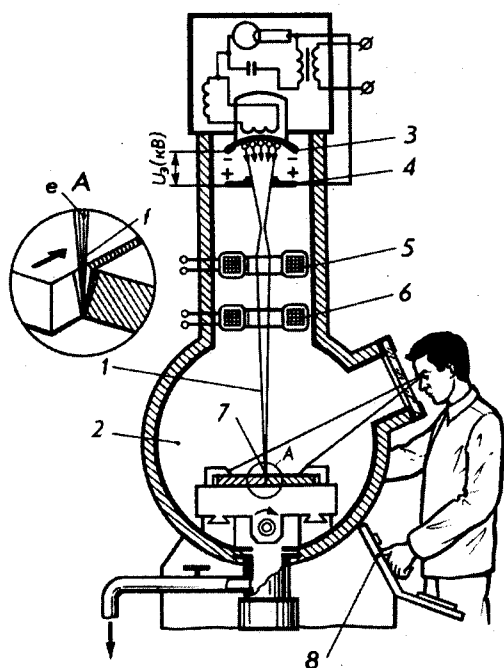


Рис. 109

ством, отклоняющим луч в нужном направлении.

Физическая сущность этого процесса сварки заключается в том, что электроны при прохождении электрического поля большой напряженности ускоряются и приобретают большой запас энергии, которую они и передают в виде теплоты свариваемым изделиям.

Недостаток этого метода — необходимость надежной защиты обслуживающего персонала от рентгеновского излучения, вредно влияющего на живые организмы.

**3.6. Лазерная сварка.** Лазер, или оптический квантовый генератор (ОКГ), создает мощный импульс монохроматического излучения за счет оптического возбуждения атомов примеси в кристалле рубина или в газах.

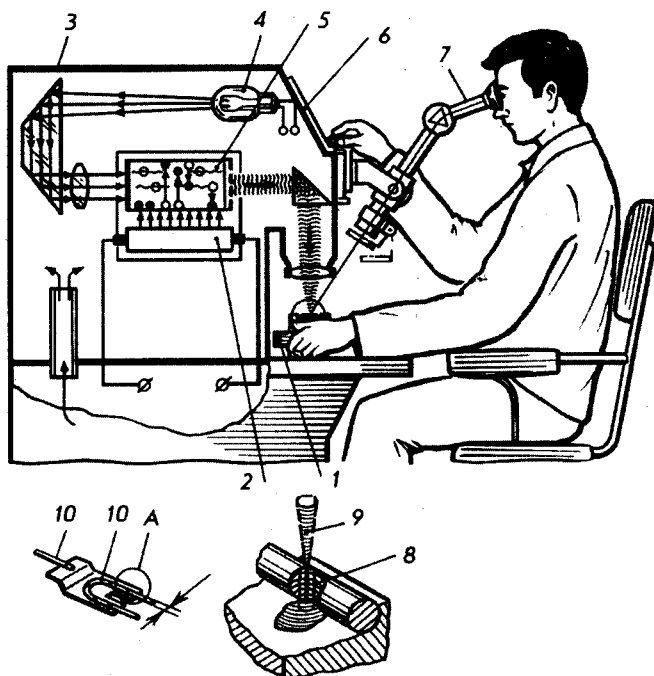


Рис. 110

Этот совершенно новый источник энергии высокой концентрации сразу нашел применение в технике связи в промышленности для обработки металлов.

Сущность процесса получения мощного потока световых квантов заключается в том, что атомы любого вещества могут находиться в стабильных и возбужденных состояниях и при переходе из возбужденного состояния в стабильное они выделяют энергию возбуждения в виде квантов лучистой энергии.

Возбуждение атомов может происходить различными путями, но наиболее часто это осуществляется в результате поглощения лучистой энергии.

Схема оптического квантового генератора, или лазера, представлена на рис. 110, где 1 — манипулятор для настройки расположения детали относительно луча; 2 — газоразрядная импульсная лампа; 3 — оптический квантовый генератор; 4 — осветитель места сварки; 5 — рубин (источник, испускающий фотоны); 6 — пульт управления; 7 — бинокулярный микроскоп; 8, 10 — свариваемые детали; 9 — световой луч. Атомы какого-либо элемента возбуждаются непрерывным источником энергии (лампы накачки) и электроны этих атомов переходят в новое качество — энергию. Поток квантов энергии (фотонов), направленный на поверхность твердого тела, трансформирует свою энергию в тепловую, и температура твердого тела резко возрастает, так как поток фотонов обладает очень высокой концентрацией энергии.

Сварка лазером не требует вакуума и идет всегда в импульсном режиме. Режим сварки регулируется частотой импульсов и некоторым расфокусированием луча до уровня плотности энергии, необходимой для сварки изделия.

**Примечание.** В промышленности используются и другие виды сварки, как, например, сварка металлов взрывом, химическо-термическая сварка, при которой используется энергия химической реакции и другие.

**3.7. Виды конструктивных соединений деталей сваркой.** Различают следующие виды конструктивных соединений деталей сваркой (рис. 111): стыковое (СЗ); внахлестку (Н1); тавровое (Т1); угловое (У4).

По форме получаемого при этом поперечного сечения шва (рис. 112) принято различать: усиленные (выпуклые); нормальные; ослабленные (вогнутые).

Кромки соединяемых деталей в зависимости от технологии сварки (ручная или автоматическая) и расположения шва (свободный доступ к нему с одной или двух сторон) могут быть ровными или специально подготовленными (срезанными) для дальнейшего соединения сваркой.

В зависимости от толщины свариваемых деталей (рис. 113) производят различную подготовку кромок: при толщине металла до 8 мм сварку производят без разделок кромок; при толщине до 26 мм производят V-образную разделку кромок; при толщине более 20 мм сваривают с криволиней-

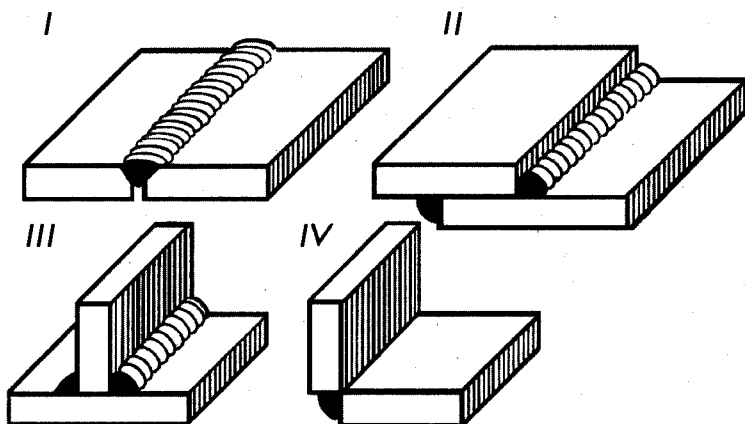


Рис. 111

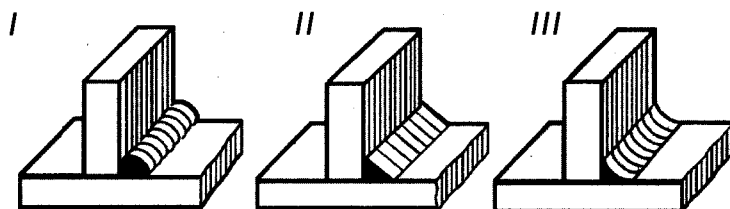


Рис. 112

ным скосом кромок; при толщине металла более 12 мм рекомендуется двусторонняя X-образная разделка кромок.

Широкое распространение получили швы с нормальным очертанием. Длина катета углового шва нормального очертания называется его толщиной и обозначается буквой  $K$  (рис. 114). Длина перпендикуляра, опущенного из вершины прямого угла на гипотенузу (сечение А—А), носит название расчетной толщины шва. В швах с формой равнобедренного треугольника расчетная толщина  $k_0 = k \sin 45^\circ = 0,7k$ .

В большинстве случаев катет шва  $k$  равен толщине детали  $s$ , но может быть и меньше.

Наименьшая толщина рабочих швов в машиностроительных конструкциях равна 3 мм. Исключение составляют конструкции, у которых толщина самого металла меньше 3 мм.

Верхний предел толщины соединяемой сваркой конструкции не ограничен, но применение швов, у которых  $k > 20$  мм, встречается редко.

**3.8. Паяные соединения.** П а я н и е м называют процесс образования неразъемного соединения материалов при помощи расплавленного металла или сплава, называемого припоем 1. От сварки паяние отличается тем, что

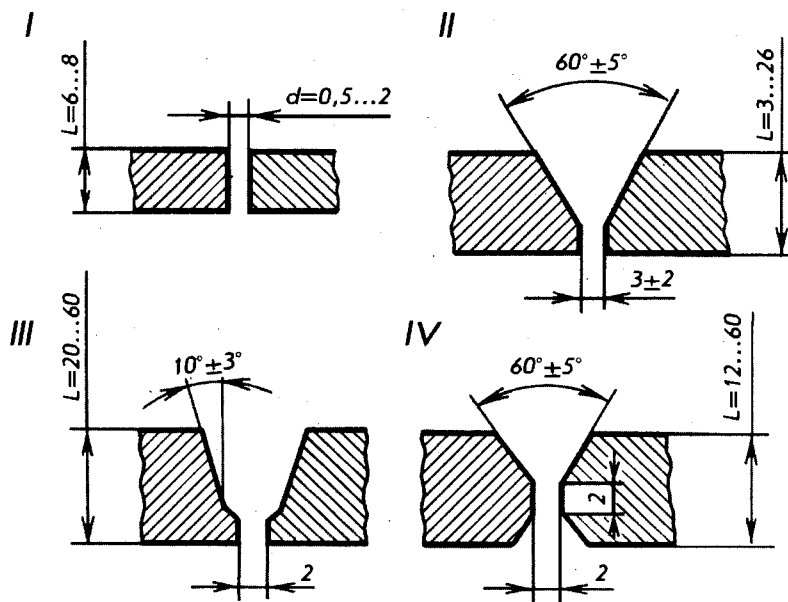


Рис. 113

кромки соединяемых деталей не расплавляются, а только нагреваются до температуры плавления припоя. Припой имеет более низкую температуру плавления, чем металлы, из которых изготовлены соединяемые детали 2. Припой расплавляется и затвердевает в зазорах между поверхностями соединяемых деталей (рис. 115).

Различают паяние легкоплавкими и тугоплавкими припоями. Легкоплавкие припои имеют температуру плавления до  $500^{\circ}\text{C}$  и незначительную механическую прочность. В состав легкоплавких припоев входят олово и свинец.

Тугоплавкие припои имеют температуру плавления выше  $500^{\circ}\text{C}$ . Такими припоями можно получить прочность паяного соединения, близкую к прочности основного металла соединяемых деталей.

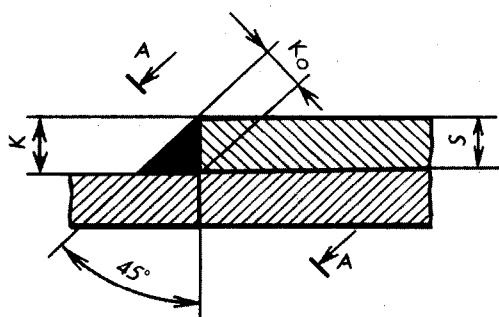


Рис. 114

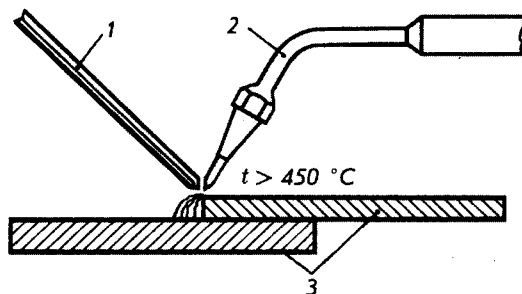


Рис. 115

Тугоплавкие припои состоят из сплава меди, цинка, серебра, никеля, железа, кадмия и других металлов.

Чтобы повысить качество паяния, применяют флюсы, которые растворяют окислы на поверхности металлов и защищают нагретые детали и жидкий припой от окисления.

**3.9. Клеевые соединения.** Склеивание как метод сборки неподвижных соединений основан на важнейшем свойстве любого клея — адгезии, то есть способности сцепляться с поверхностью любого материала. Адгезия может быть различна в зависимости от вида клея и характера склеиваемых поверхностей.

В настоящее время склеивание применяют для соединения не только неметаллических материалов, но и деталей из различных металлов как между собой, так и с неметаллическими материалами.

Промышленность выпускает большое количество клеев. Так, широкое применение получил карбиновый клей БФ. Созданы теплостойкие склеивающие составы, выдерживающие нагревание до температуры 50...300° С.

Механическая прочность клеевого соединения зависит от вида и качества клея, качества склеиваемых поверхностей, толщины слоя клея и равномерности его распределения, а также от соблюдения температурных и других режимов.

В настоящее время большое распространение в различных отраслях промышленности нашли сочетания клея с другими видами соединений: клеезаклепочные, клеерезьбовые и клеесварные соединения.

Применение клееклепанных конструкций (например, на самолете Як-40) способствует увеличению выносливости изделий, так как склейка уменьшает концентрацию напряжения у заклепок и задерживает распространение трещин.

В заклепочном соединении передача сил от листа на стрингер (продольный элемент конструкции корпуса-каркаса летательного аппарата) происходит через заклепку (рис. 116, I), при этом и в листе, и в профиле напряжения возрастают как из-за ослабления сечения отверстием под заклепку, так и в результате возникновения концентрации напряжений у края отверстия.

Клеевое соединение надежнее не только из-за отсутствия сверления в материале листа и профиля, но и вследствие более равномерной передачи сил через всю площадь клеевой пленки (рис. 116, II).

Следовательно, в клееклепаном соединении (рис. 116, III), благодаря склейке, можно значительно уменьшить число заклепок — концентраторов напряжений, а потому, сократить площадь сечения, ослабленного отверстиями под заклепки.

Клееклепаное соединение типа «лист-профиль» является монолитной конструкцией, в которой лист и профиль составляют одно целое.

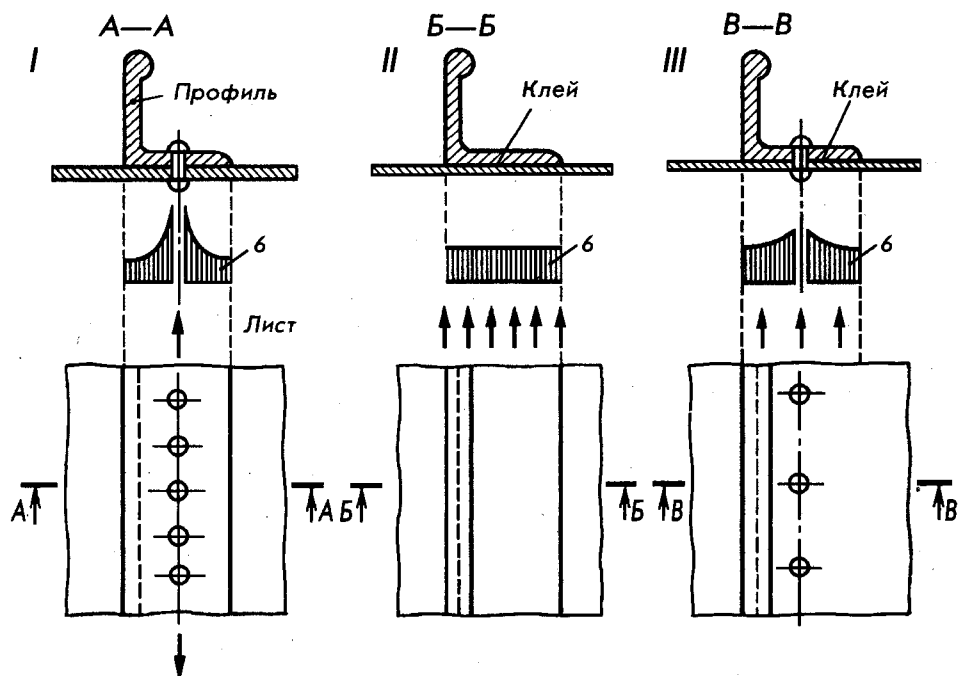


Рис. 116

## 4. РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

**4.1. Понятие о резьбах.** Резьбовые соединения широко распространены в машиностроении. Они обладают такими достоинствами, как универсальность, высокая надежность, способность воспринимать большие нагрузки, удобство сборки и разборки, простота изготовления.

Основным элементом всех резьбовых соединений является резьба.

**Резьба** — поверхность, образованная при винтовом движении плоского контура по цилиндрической или конической поверхности.

Резьбы классифицируются по следующим признакам (рис. 117):

1. В зависимости от формы поверхности, на которой нарезана резьба, они подразделяются на цилиндрические и конические;
2. В зависимости от расположения резьбы на поверхности стержня или отверстия они подразделяются на внешние и внутренние;
3. В зависимости от формы профиля различают резьбы треугольного, прямоугольного, трапецеидального, круглого и других профилей;
4. По эксплуатационному назначению резьбы делятся на крепежные (метрические, дюймовые), крепежно-уплотнительные (трубные, конические), ходовые (трапецеидальные, упорные, прямоугольные, круглые), специальные и др.;



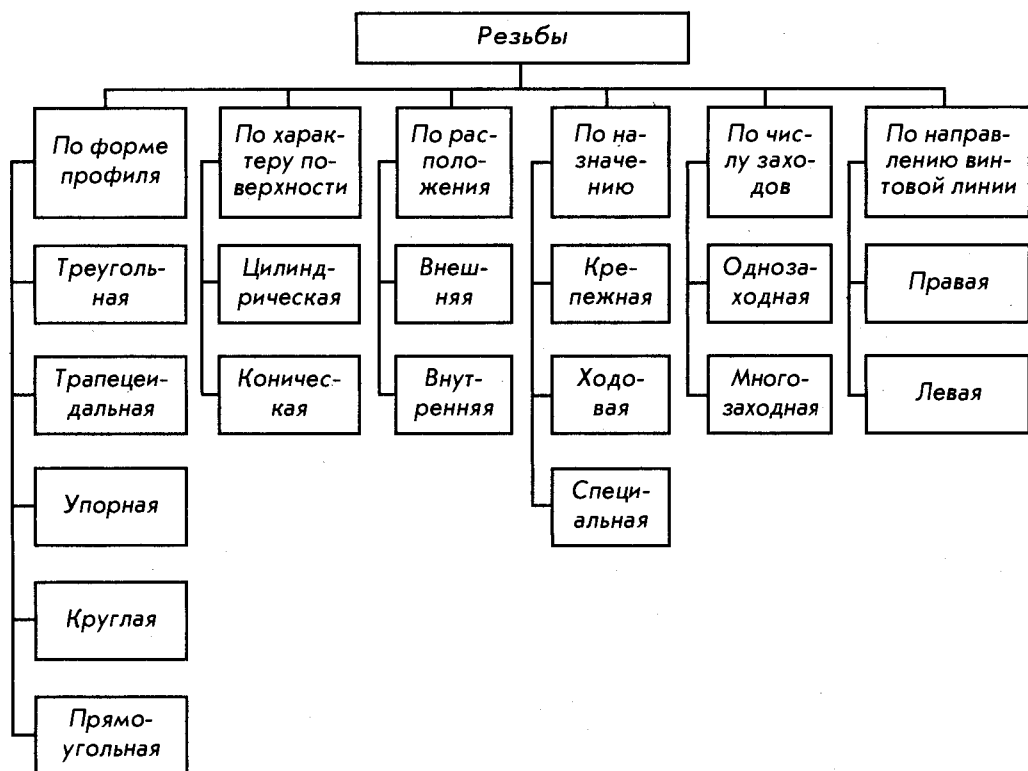


Рис. 117

5. В зависимости от направления винтовой поверхности различают правые и левые резьбы;

6. По числу заходов резьбы подразделяются на однозаходные и многозаходные (двух-, трехзаходные и т. д.).

Все резьбы разделяют на две следующие группы: **с т а н д а р т и з и р о в а н н ы е** — резьбы с установленными стандартами параметрами: профилем, шагом и диаметром; **н е с т а н д а р т и з и р о в а н н ы е**, или **спец**иальные (резьбы, параметры которых не соответствуют стандартизированным).

Основные элементы и параметры резьбы имеют следующие определения по ГОСТ 11708-82 и приведены ниже.

**Л е в а я р е з ь б а** — образована контуром, вращающимся против часовой стрелки и перемещающимся вдоль оси в направлении от наблюдателя (рис. 118, I).

**П р а в а я р е з ь б а** — образована контуром, вращающимся по часовой стрелке и перемещающимся вдоль оси в направлении от наблюдателя (рис. 118, II).

**П р о ф и л ь р е з ь б ы** — контур резьбы в плоскости, проходящей через ее ось.

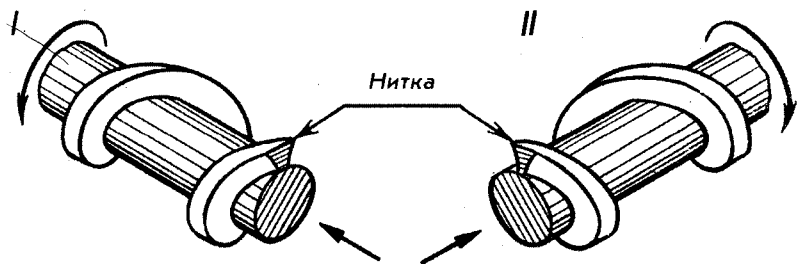


Рис. 118

Угол профиля — угол между боковыми сторонами профиля.

Шаг резьбы  $P$  — расстояние между соседними одноименными боковыми сторонами профиля в направлении, параллельном оси резьбы.

Ход резьбы  $P_h$  — расстояние между ближайшими одноименными боковыми сторонами профиля, принадлежащими одной и той же винтовой поверхности, в направлении, параллельном оси резьбы. Ход резьбы — величина относительного осевого перемещения винта (гайки) за один оборот (рис. 119).

Наружный диаметр резьбы ( $d$  — для болта,  $D$  — для гайки) — диаметр воображаемого цилиндра, описанного вокруг вершин наружной резьбы или впадин внутренней резьбы.

Внутренний диаметр резьбы ( $d_1$  — для болта,  $D_1$  — для гайки) — диаметр воображаемого цилиндра, вписанного во впадины наружной резьбы или в вершины внутренней резьбы.

Средний диаметр резьбы ( $d_2$  — для болта,  $D_2$  — для гайки) — диаметр воображаемого соосного с резьбой цилиндра, который пересекает витки резьбы таким образом, что ширина выступа резьбы и ширина впадины (канавки) оказываются равными.

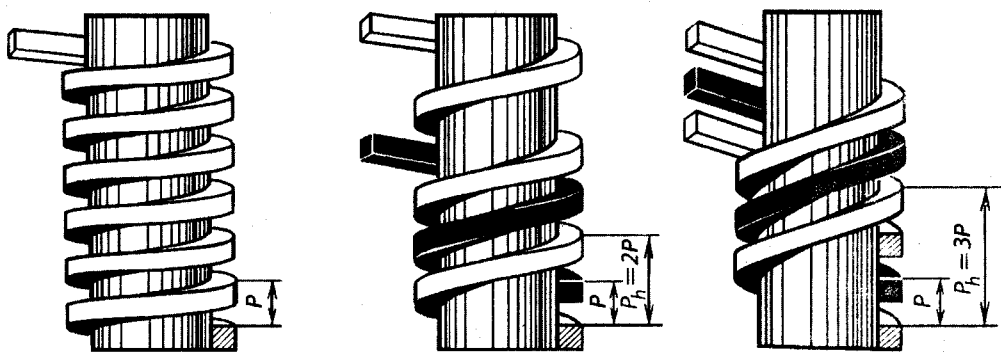


Рис. 119

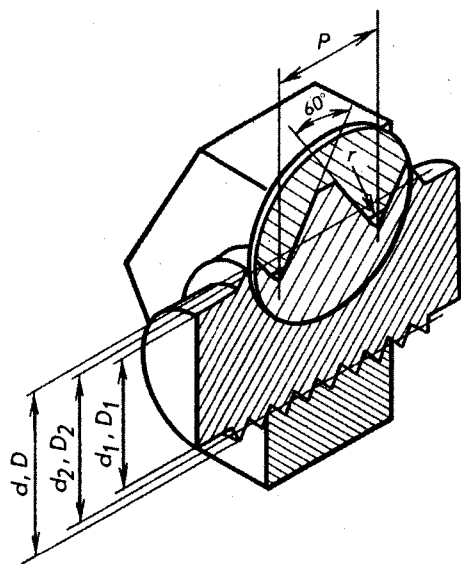


Рис. 120

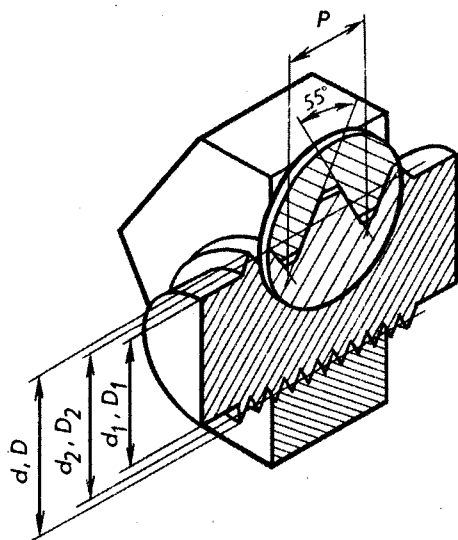


Рис. 121

Резьба может быть однозаходной и многозаходной (см. рис. 119).

**4.2. Формы и типы резьб.** Метрическая резьба (рис. 120). Основным типом крепежной резьбы в России является метрическая резьба с углом треугольного профиля  $\alpha$  равным  $60^\circ$ . Размеры ее элементов задаются в миллиметрах.

Согласно ГОСТ 8724-81 метрическая резьба для диаметров от 1 до 600 мм делится на два типа: с крупным шагом (для диаметров от 1 до 68 мм) и с мелким шагом (для диаметров от 1 до 600 мм).

Резьба с крупным шагом применяется в соединениях, подвергающихся ударным нагрузкам. Резьба с мелким шагом — в соединениях деталей с тонкими стенками и для получения герметичного соединения. Кроме того, мелкая резьба широко применяется в регулировочных и установочных винтах и гайках, так как с ее помощью легче осуществить точную регулировку.

При проектировании новых машин применяется только метрическая резьба.

**Дюймовая резьба** (рис. 121). Это резьба треугольного профиля с углом при вершине  $55^\circ$  ( $\alpha$  равным  $55^\circ$ ). Номинальный диаметр дюймовой резьбы (наружный диаметр резьбы на стержне) обозначается в дюймах. В России дюймовая резьба допускается только при изготовлении запасных частей к

старому или импортному оборудованию и не применяется при проектировании новых деталей.

**Трубная цилиндрическая резьба** ГОСТ 6357-81, представляет собой дюймовую резьбу с мелким шагом, закругленными впадинами и треугольным профилем с углом  $55^\circ$ . Трубную цилиндрическую резьбу нарезают на трубах до 6". Трубы свыше 6" сваривают. Профиль трубной ци-

линдрической резьбы приведен на рис. 122.

Трубные конические резьбы применяются двух типоразмеров. Трубная коническая резьба ГОСТ 6211-81, соответствует закругленному профилю трубной цилиндрической резьбы с углом  $55^\circ$  (рис. 123, I).

Коническая дюймовая резьба ГОСТ 6111-52 имеет угол профиля  $60^\circ$  (рис. 123, II). Конические резьбы применяются почти исключительно в трубных соединениях для получения герметичности без специальных уплотняющих материалов (льняных нитей, пряди с суриком и т. д.).

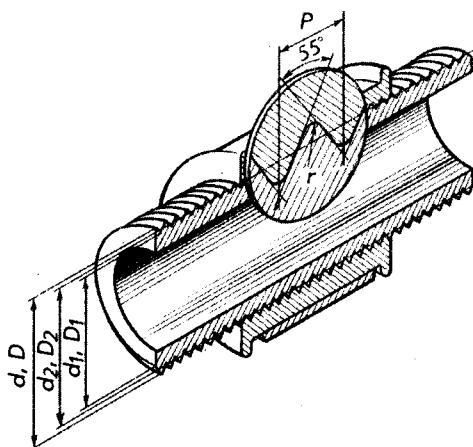


Рис. 122

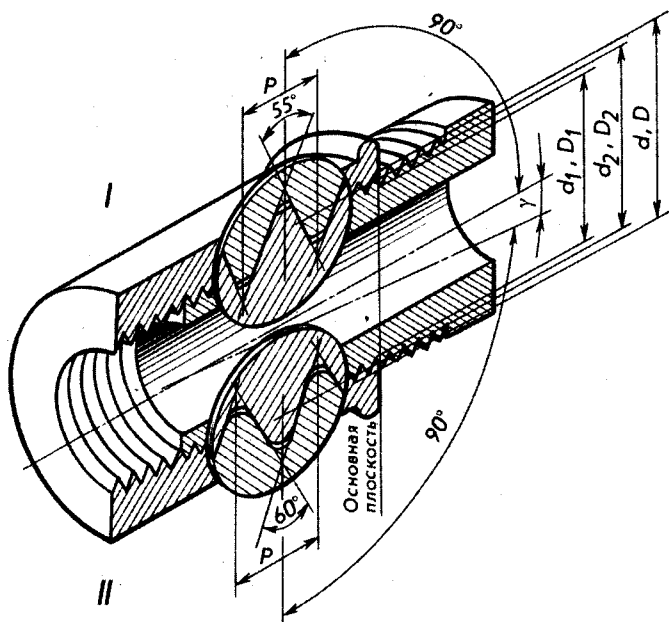


Рис. 123

Теоретический профиль конической резьбы приведен на рис. 124. Конусность поверхностей, на которых изготавливается коническая резьба, обычно 1 : 16. Биссектриса угла профиля перпендикулярна оси резьбы.

Диаметральные резьбы конических резьб устанавливаются в основной плоскости (2 — торец муфты), которая перпендикулярна к оси и отстоит от торца трубы 1 на расстоянии  $l$ , регламентированном стандартами на конические резьбы (3 — муфта; 4 — торец трубы; 5 — ось трубы).

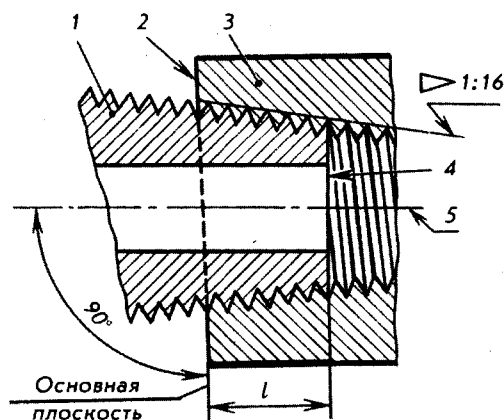


Рис. 124

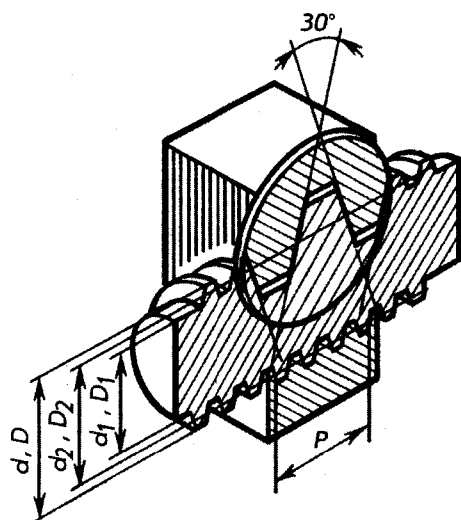


Рис. 125

В основной плоскости диаметры резьбы равны номинальным диаметрам трубной цилиндрической резьбы. Это позволяет конические резьбы свинчивать с цилиндрическими, так как шаг и профили данных резьб для определенных диаметров совпадают.

Коническим резьбам присущи аналогичные цилиндрическим резьбам определения и понятия, такие, как наружный, средний и внутренний диаметры резьбы. Шаг резьбы  $P_h$  измеряется вдоль оси.

При свинчивании трубы и муфты с номинальными размерами резьбы без приложения усилия длина свинчивания равна  $l$ .

Обозначение трубной резьбы обладает особенностью, которая заключается в том, что размер резьбы задается не по тому диаметру, на котором нарезается резьба, а по внутреннему диаметру трубы. Этот внутренний диаметр называется диаметром трубы «в свету» и определяется как условный проходной размер трубы.

Трапецеидальная резьба ГОСТ 9484-81 (рис. 125). Профиль резьбы — равнобочная трапеция с углом  $\alpha$  равным  $30^\circ$ .

Трапецеидальная резьба применя-

ется для передачи осевых усилий и движения в ходовых винтах. Симметричный профиль резьбы позволяет применять ее для реверсивных винтовых механизмов.

Упорная резьба ГОСТ 10177-82 (рис. 126). Профиль резьбы — неравнобочная трапеция с углом рабочей стороны  $3^\circ$  и нерабочей —  $30^\circ$ . Упорная резьба обладает высокой прочностью и высоким КПД. Она применяется в грузовых винтах для передачи больших усилий действующих в одном направлении (в мощных домкратах, прессах и т. д.).

В прессостроении применяется также упорная резьба. Профиль этой резьбы несколько отличается от упомянутой выше упорной резьбы. Про-

филь такой упорной резьбы по ГОСТ 13535-87 представляет собой неравнобочную трапецию с углом рабочей стороны  $0^\circ$  и нерабочей —  $45^\circ$ .

Прямоугольная и квадратная резьбы (рис. 127) имеют высокий КПД и дают большой выигрыш в силе, поэтому они применяются для передачи осевых усилий в грузовых винтах и движения в ходовых винтах. Прямоугольные и квадратные резьбы не стандартизированы, так как имеют следующие недостатки: в соединении типа «болт — гайка» трудно устранить осевое биение; обладают прочностью меньшей, чем трапецеидальная резьба, так как основание витка у трапецеидальной резьбы при одном и том же шаге шире, чем у прямоугольной или квадратной резьбы; их труднее изготовить, чем трапецеидальную.

**Примечание.** В ответственных соединениях эти резьбы заменены трапецеидальной.

**4.3. Резьбы специального назначения и ограниченного применения.** Наряду с резьбами, которые были рассмотрены выше, в технике применяются и другие резьбы, имеющие специальное назначение. К ним относятся:

часовая резьба ГОСТ 9000-81 применяется в часовой промышленности. Ее диапазон охватывает резьбы с диаметрами  $0,25 \dots 0,9$  мм; часовая резьба относится к метрическим резьбам;

резьба метрическая на деталях из пластмасс ГОСТ 11709-81 для диаметров от 1 до 120 мм. Эта резьба характерна тем, что наряду с крупными и мелкими шагами резьбы по ГОСТ 9150-80 она имеет особо крупные шаги резьбы, которые устанавливаются стандартом с учетом эксплуатационных требований, предъявляемых к резьбовым соединениям, и механических свойств данной марки пластмасс;

резьба для объективов микроскопов ГОСТ 3469-83 предназначена для соединения тубуса

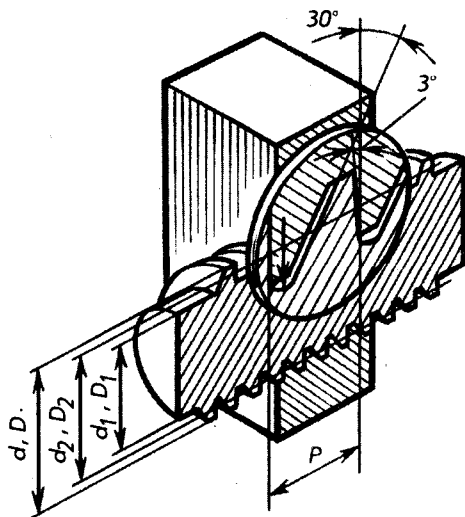


Рис. 126

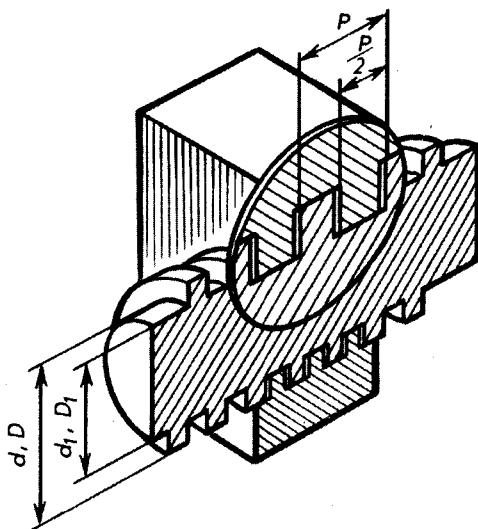


Рис. 127

с объективом микроскопа. Эта резьба имеет два размера: с дюймовой резьбой — диаметр  $4/5''$  (20,270 мм) и шаг 0,705 мм (36 ниток на 1"); с метрической резьбой — диаметр 27 мм и шаг 0,75 мм;

окулярная многозаходная резьба ГОСТ 5359-77 применяется для оптических приборов. Ее нарезают на трубчатых тонкостенных деталях, требующих значительного осевого перемещения при ограниченном угле поворота (менее  $360^\circ$ ). Профиль резьбы — равнобочная трапеция с углом  $\alpha$  равным  $60^\circ$ ;

круглая резьба ГОСТ 2746-90Е предназначена для цоколей и патронов электрических ламп. Профиль круглой резьбы, изготавливаемой накаткой на тонкостенных изделиях, характерен малой высотой и отсутствием прямолинейного участка, что важно для уменьшения деформации металла в процессе накатки;

круглая резьба для предохранительных стекол и корпусов электроосветительной арматуры ГОСТ 9503-86, имеет постоянный шаг 7,5 мм при трех разных наружных диаметрах, постоянную высоту закругленного профиля 3,5 мм с широкими впадинами и углами резьбы (для стекла —  $50^\circ$  и для электроарматуры —  $35^\circ$ );

резьба круглая для санитарно-технической арматуры ГОСТ 13536-68. Ее применяют для шпинделей вентилях, смесителей, а также для туалетных и водопроводных кранов;

резьба коническая вентилях и баллонов для газов ГОСТ 9909-81.

**Примечания:** 1. Вентиль (от немецкого слова — клапан) трубопроводный — запорное приспособление для включения или выключения участка трубопровода.

2. Шпиндель (или шток) — цилиндрический стержень с резьбой, соединяющий маховик с запорным элементом вентиля.

**4.4. Понятие о допусках резьбовых соединений.** При изготовлении резьбы получается отклонение действительного профиля резьбы от теоретического. Для обеспечения условий взаимозаменяемости резьбовых соединений и достижений необходимых конструктивных резьбовых сопряжений эти отклонения устанавливаются допусками. Допуски на наружный и внутренний диаметры задаются таким образом, чтобы исключить возможность касания и зацепления по вершинам и впадинам резьбы.

**Примечание.** Эту закономерность можно отнести ко всем профилям резьб, кроме прямоугольной, у которой центрирование предпочитают выполнять не по сторонам профиля, а по внутреннему диаметру, так как требуемую точность трудно получить.

Основным элементом, определяющим характер резьбового соединения, является средний диаметр резьбы. Сопряжение резьбового соединения должно происходить только по сторонам (образующим) резьбового профиля. Основной и наиболее распространенной посадкой для резьбовых соединений является скользящая посадка, при которой номинальный средний

диаметр равен наибольшему среднему диаметру резьбы болта и наименьшему среднему диаметру резьбы гайки.

По характеру использования и назначения сопряжения резьбовые соединения подразделяются на неподвижные и подвижные (кинематические). Неподвижное сопряжение имеют обычные крепежные и соединительные резьбовые соединения типа «болт — гайка», «труба — муфта» и т. д., в которых используются резьбы крепежные, трубные и др.

К подвижным резьбовым сопряжениям относят ходовые винты: микрометрические, дифференциальные, грузовые, в которых используются трапецеидальные, упорные и другие резьбы.

**4.5. Конструктивные элементы резьбовых соединений.** Резьбовые соединения осуществляются непосредственным свинчиванием соединяемых деталей, имеющих резьбу, без применения каких-либо дополнительных соединительных деталей, таких, как болты, винты, шпильки, фитинги и т. п.

На рис. 128 приведена краткая классификация основных видов резьбовых соединений. Стандарт устанавливает геометрическую форму и размеры крепежных изделий, их основные физико-химические и механические свойства, защитные и декоративные покрытия, шаги и классы точности резьбы.

**Б о л т ы.** Болт представляет собой цилиндрический стержень с шестигранной головкой на одном конце и винтовой резьбой на другом. Обычно болты применяют для скрепления (соединения) деталей не очень большой толщины и при необходимости частого соединения и разъединения.

Подобные болты с шестигранной головкой ГОСТ 7798-70 имеют наиболее широкое применение. Их изготавливают повышенной, нормальной и грубой точности (классов точности А, В, С), с нормальной или уменьшенной головкой, с крупным или мелким шагом резьбы, в одном или нескольких исполнениях (рис. 129): 1 — без отверстия в стержне и головке; 2 — с отверстием в стержне, применяют в паре с прорезными или корончатыми гайками при стопорении разводными шплинтами; 3 — с двумя отверстиями в головке при стопорениях проволоочной обвязкой.

Второе исполнение головок предусматривает цилиндрический подголовок. Подобные болты применяют для большего обжатия опорной поверхности детали под головкой. Такое обжатие снижает возможность ослабления затяжки болта и изгиб стержня болта в случае неполного прилегания головки к поверхности соединяемой детали.

**Б о л т ы** выпускают следующих размеров: с номинальным диаметром резьбы от 6 до 48 мм и длиной от 8 до 300 мм. Головка болта может иметь и иную форму: квадратную, полукруглую, с квадратным подголовком или «усом» для предотвращения от проворачивания при навинчивании гайки и др. Выбор головки болта для соединения деталей зависит от технологических особенностей данного соединения.



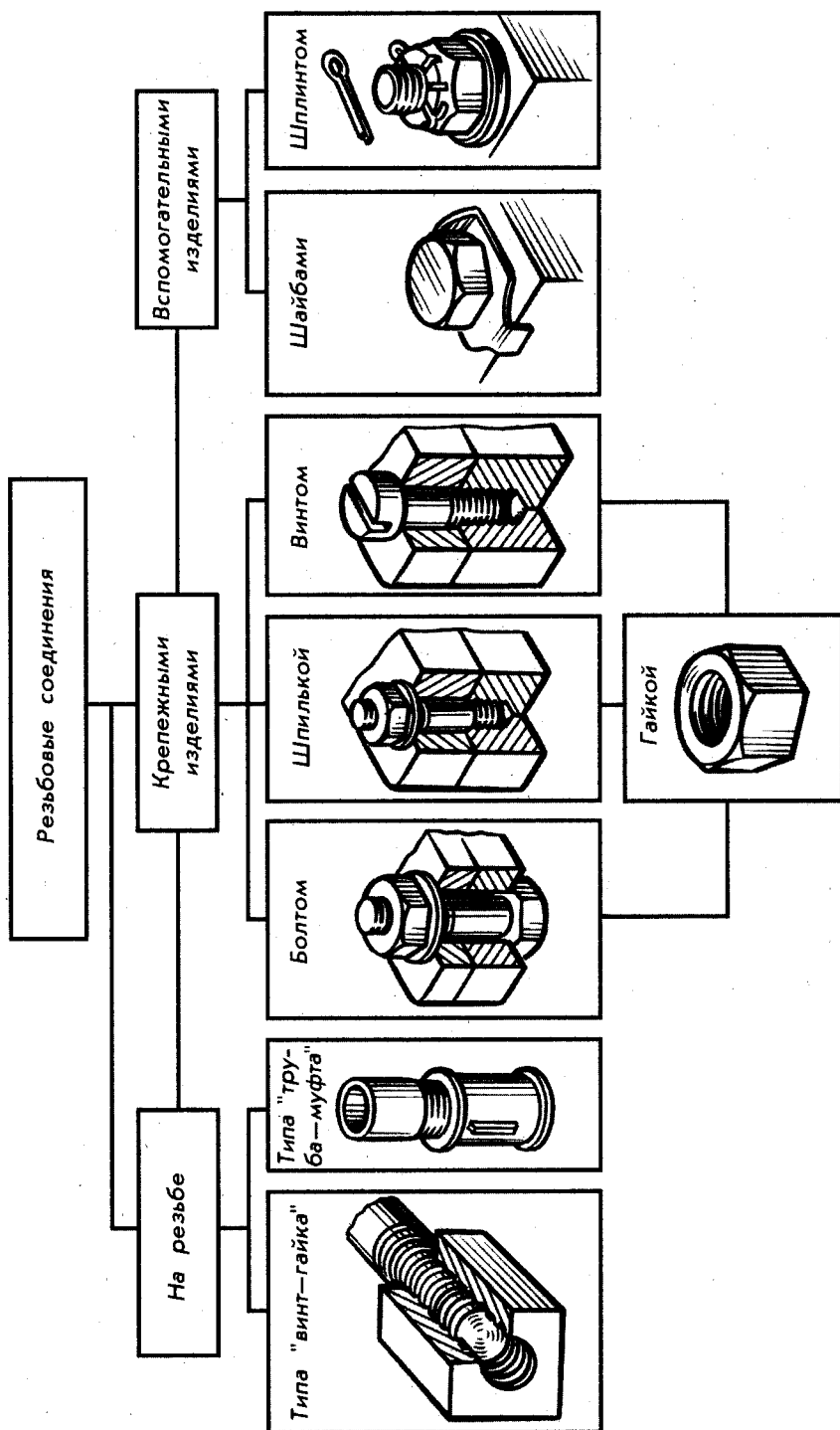


Рис. 128

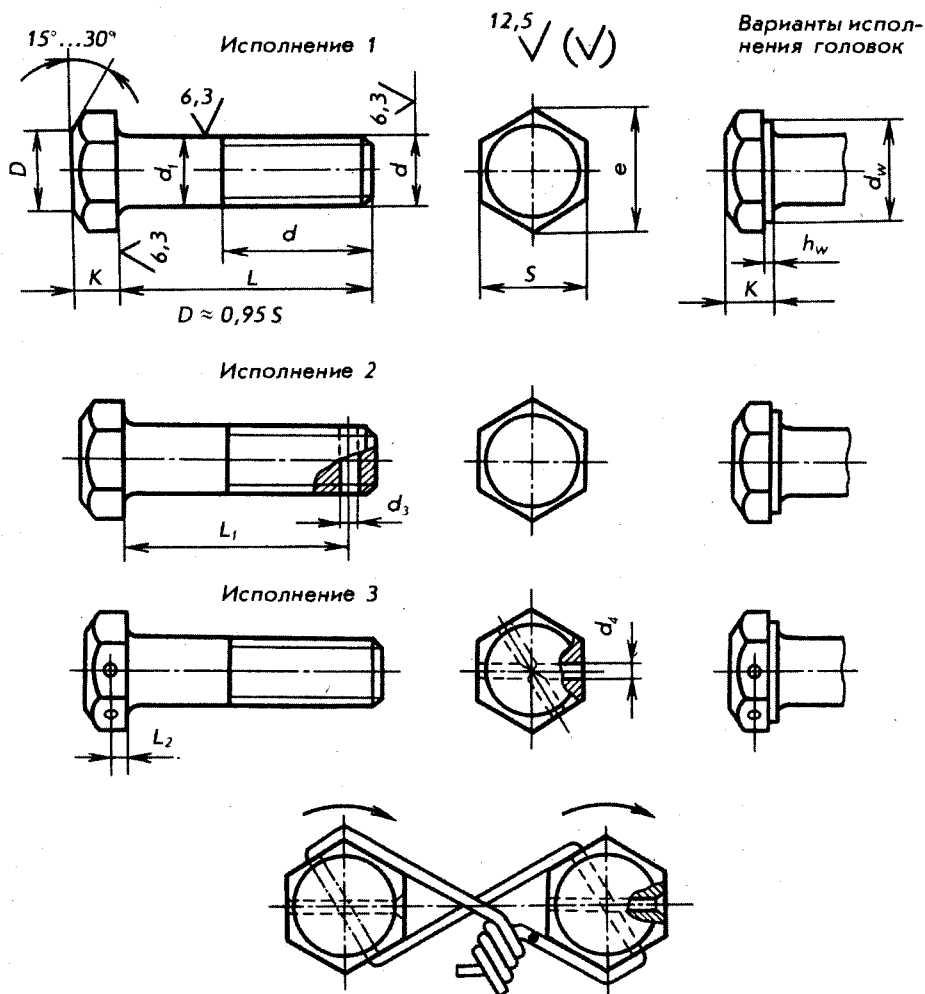


Рис. 129

На рис. 130 приведены примеры болтов специального назначения и ограниченного применения. Рым-болт ГОСТ 4751-73 («рым» от голландского слова — кольцо) — металлическое кольцо, закрепляемое с помощью резьбы на машинах или их частях. Рым-болт (рис. 130, I) предназначен для захвата и перемещения машин при монтаже, разборке или транспортировке. К примеру, рым-болт, ввертываемый в редуктор для его подъема и спуска на тросах при монтаже.

Откидной болт ГОСТ 3033-79 (рис. 130, II) предназначен для тех устройств или приспособлений, в которых по условию работы необходимо повременно быстро зажимать или освобождать соединяемые детали, к примеру, крышку к сосуду.

Болт с полукруглой головкой и с квадратным подголовком ГОСТ 7802-81 (рис. 130, III) применяют в соединениях, в которых по условию монтажа доступ к головке труднодоступен или вообще невозможен. Поэтому в одной из соединяемых деталей предусмотрен продольный паз (или квадратное углубление) для закладки в него квадратного подголовка болта, после чего болт не будет проворачиваться при навинчивании на него гайки.

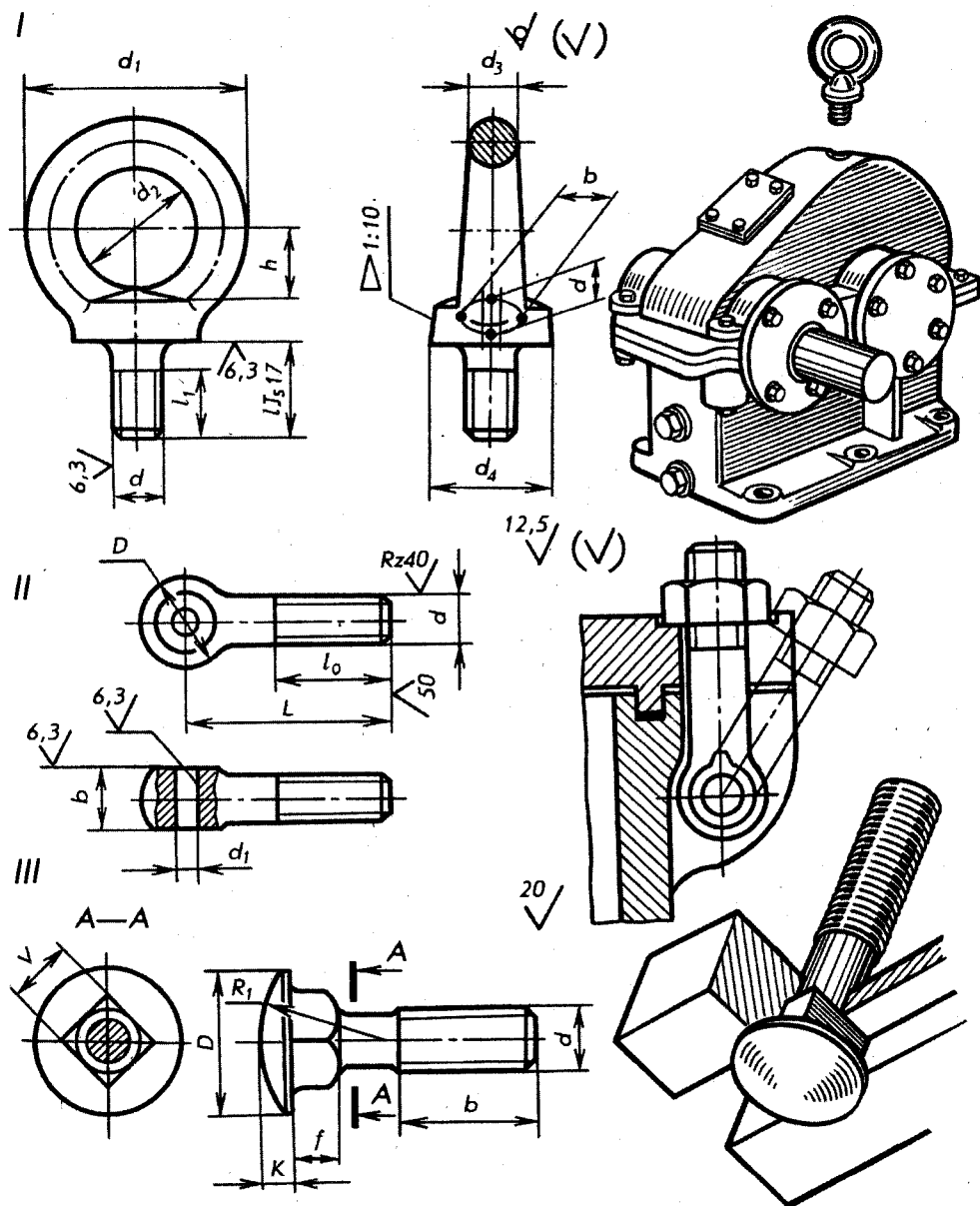


Рис. 130

**В и н т ы.** Винты по своему назначению принято подразделять на крепежные и установочные (нажимные, регулирующие и др.). Наиболее широко применяют винты крепежные общего назначения (рис. 131): I — с цилиндрической головкой ГОСТ 1491-80; II — с полукруглой ГОСТ 17473-80; III — с потайной ГОСТ 17475-80; IV — с полупотайной головкой ГОСТ 17474-80.

Головки крепежных винтов выпускают с одной прорезью (шлицем) или крестообразным углублением под отвертки. При сборке машин крепежные винты применяют в тех случаях, когда к основной детали требуется прикрепить какую-нибудь вспомогательную деталь, например, смотровую крышку к редуктору. Кроме того, крепежные винты с потайной головкой часто применяют вместо болтов, когда выступающие головки обычных болтов мешают работе механизма.

**Установочные винты** (рис. 132) отличаются от крепежных тем, что их стержень полностью нарезан и имеет нажимной конец, который входит в соответствующее углубление в детали.

При сборке машин установочные винты применяют в тех случаях, когда нужно зафиксировать одну деталь относительно другой. Чаще всего с помощью винтов фиксируются детали, насаженные на оси или валы. Например: установочные кольца, дистанционные втулки, рычаги, рукоятки и т. д.

На рис. 132 приведена классификация установочных винтов. По рисунку видно, что формообразование винтов производят от соединения выбранной формы головки с определенной формой конца винта. Таким образом, при одной форме головки (об этом можно судить по линиям связи, указанным на рисунке) могут быть различной формы концы винта: 1,6 — винт с прямым шлицем и коническим концом ГОСТ 1476-84. При затяжке этот винт создает в отверстии большую силу трения, которая стопорит винт. Применяется в нагруженных валах; 1,7 — винт с прямым шлицем и плоским концом ГОСТ 1477-84. Применяется для стопорения деталей в разных положениях; 2,6 — винт с внутренним шестигранным углублением «под ключ» и коническим концом ГОСТ 8878-84 аналогичен п.п. 1,6; 3,8 — винт с малой квадратной головкой под торцовый ключ с цилиндрическим концом ГОСТ 1482-84. Как правило, применяется при больших диаметрах винтов; 4,8 — винт с шестигранной головкой и цилиндрическим концом ГОСТ 1481-84 имеет широкое применение в условиях хорошей защиты (ограждений). Легко стопорится гайкой; 5,11 — винт с квадратной головкой и за сверленным концом. При затяжке конец врежется в металл и тем самым обеспечивает стопорение; 5,10 — винт с квадратной головкой и ступенчатым концом ГОСТ 1483-84 применяется при тяжелых условиях работы.

**Ш п и л ь к и.** Если болт нельзя пропустить насквозь через обе детали (в случае, когда одна деталь имеет очень большую толщину), вместо него ставится шпилька, представляющая собой цилиндрический стержень с резьбой на обоих концах.

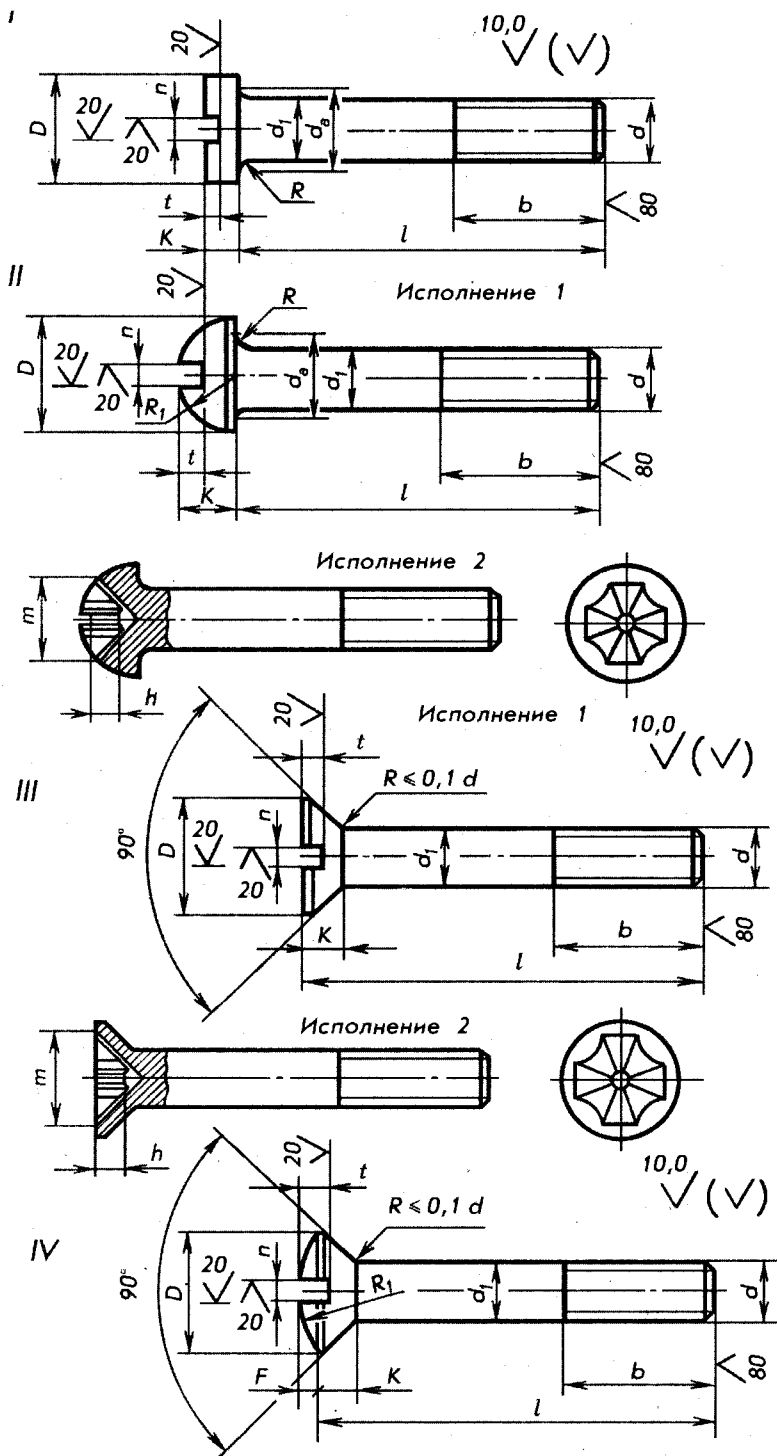


Рис. 131

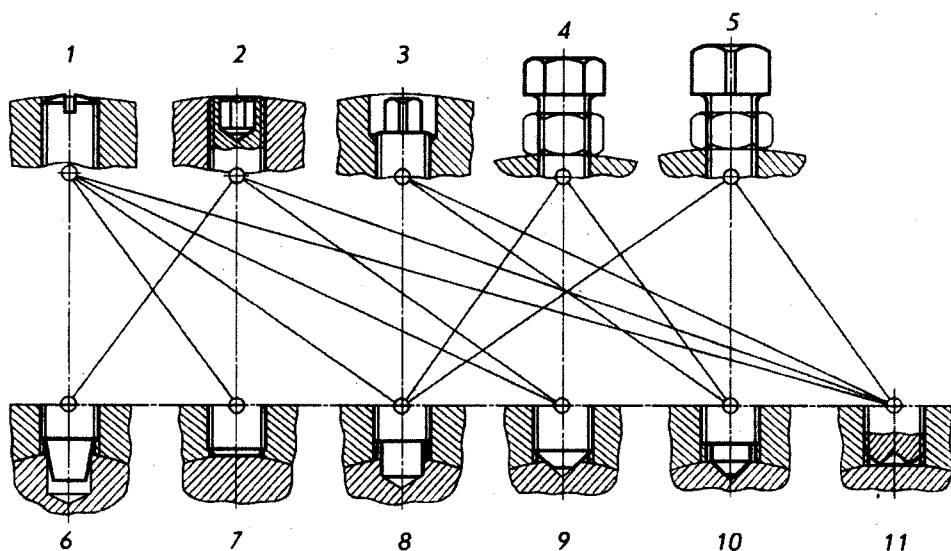


Рис. 132

Шпильки по ГОСТ 22032-76 ... 22041-76 имеют разную длину ввинчиваемого конца, которая в зависимости от вязкости металла колеблется от  $1d$  до  $2,5d$  (рис. 133). Вначале шпильку ввертывают до отказа в деталь, в которой имеется отверстие с резьбой, после чего устанавливают вторую соединяемую деталь и сверху навинчивают гайку.

Шпильки по ГОСТ 22042-76 и 22043-76 изготавливают для деталей с гладкими отверстиями. Такие шпильки не ввинчивают, а вкладывают «на проход» с зазором (по типу болтов) в гладкие отверстия двух соединяемых деталей. Затем с обеих сторон на резьбовые концы навинчивают гайки. Шпильки выпускают классов точности *A* и *B* с диаметром резьбы  $2...48$  мм и длиной  $10...300$  мм. В первом случае это длина стяжного конца, во втором — длина обоих резьбовых концов.

**Г а й к и.** Гайки представляют собой один из важнейших элементов резьбового соединения. Они бывают различной формы в зависимости от назначения и условий эксплуатации. Наиболее широко применяют гайки шестигранные, выпускаемые в одном, двух и трех исполнениях (рис. 134). Они могут быть повышенной, нормальной и грубой точности, что соответствует классам точности *A*, *B* и *C*; нормальной высоты ГОСТ 5915-70, низкие ГОСТ 5929-70, высокие ГОСТ 15524-70 и особо высокие ГОСТ 5931-70, с нормальным или уменьшенным размером «под ключ», с крупным или мелким шагом резьбы.

**Примечание.** Кроме шестигранных в машиностроении широко применяют гайки специальной формы: круглые, квадратные, гайки-барашки и др.

Разновидностями шестигранных гаек служат г а й к и п р о р е з н ы е и к о р о н ч а т ы е ГОСТ 5918-73 (рис. 135, I), устанавливаемые на резьбо-

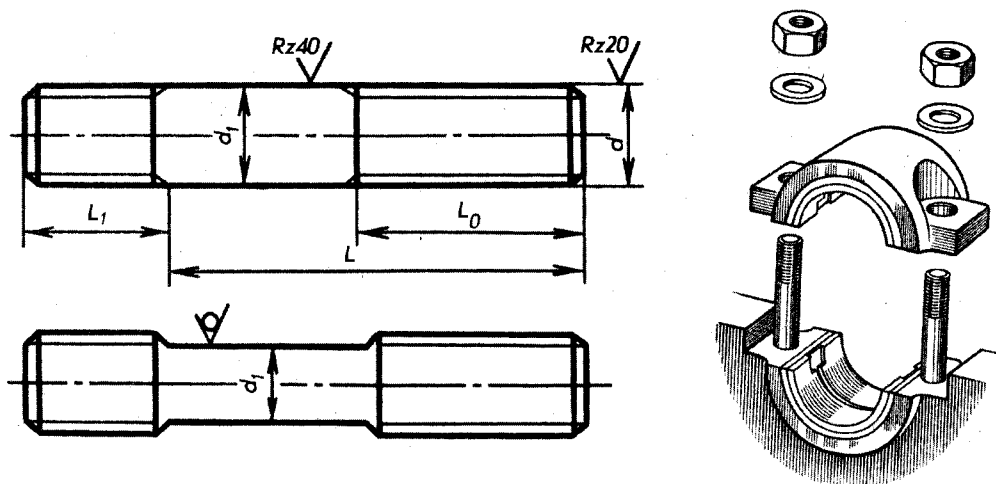


Рис. 133

вых соединениях, подлежащих стопорению с помощью шплинтов. Эти гайки обычно выполняются с увеличенной общей высотой.

Гайки круглые шлицевые ГОСТ 11871-88 (рис. 135, II) обычно устанавливают на валах для закрепления на них подшипников качения.

При небольших стяжных усилиях и частом завинчивании и отвинчивании применяют гайки-барашки с двумя ушками ГОСТ 3032-76 (рис. 135, III) для удобства вращения от руки.

Шайбы. При сборке резьбовых соединений под гайки подкладывают шайбы. Шайбы ставят в тех случаях, когда нужно увеличить опорную поверхность под гайкой, предохранить поверхность детали от задираания ее гранями гайки или когда наружная поверхность детали имеет неровности и может получиться перекос гайки.

Шайбы различают: обычные круглые ГОСТ 11371-78 (рис. 136, I), пружинные ГОСТ 6402-70 (рис. 136, II), сферические ГОСТ 13438-68 (рис. 136, III), косые ГОСТ 10906-78 (рис. 136, IV) и разной формы стопорные деформируемые шайбы. О назначении обычных круглых шайб было указано выше. Пружинные шайбы применяют для стопорения резьбовых соединений или для предотвращения резьбового соединения от самопроизвольного развинчивания во время вибраций машины или механизма. Сферические шайбы устанавливают на детали со сферическим углублением, что позволяет, например, крюку даже с грузом вращаться вокруг вертикальной оси. Косые шайбы устанавливают большей частью на полках уголков, швеллеров и двутавровых балок, имеющих уклон, для предотвращения перекоса шпильки или болта. О стопорных деформируемых шайбах см. рис. 144 и п. 4.7.

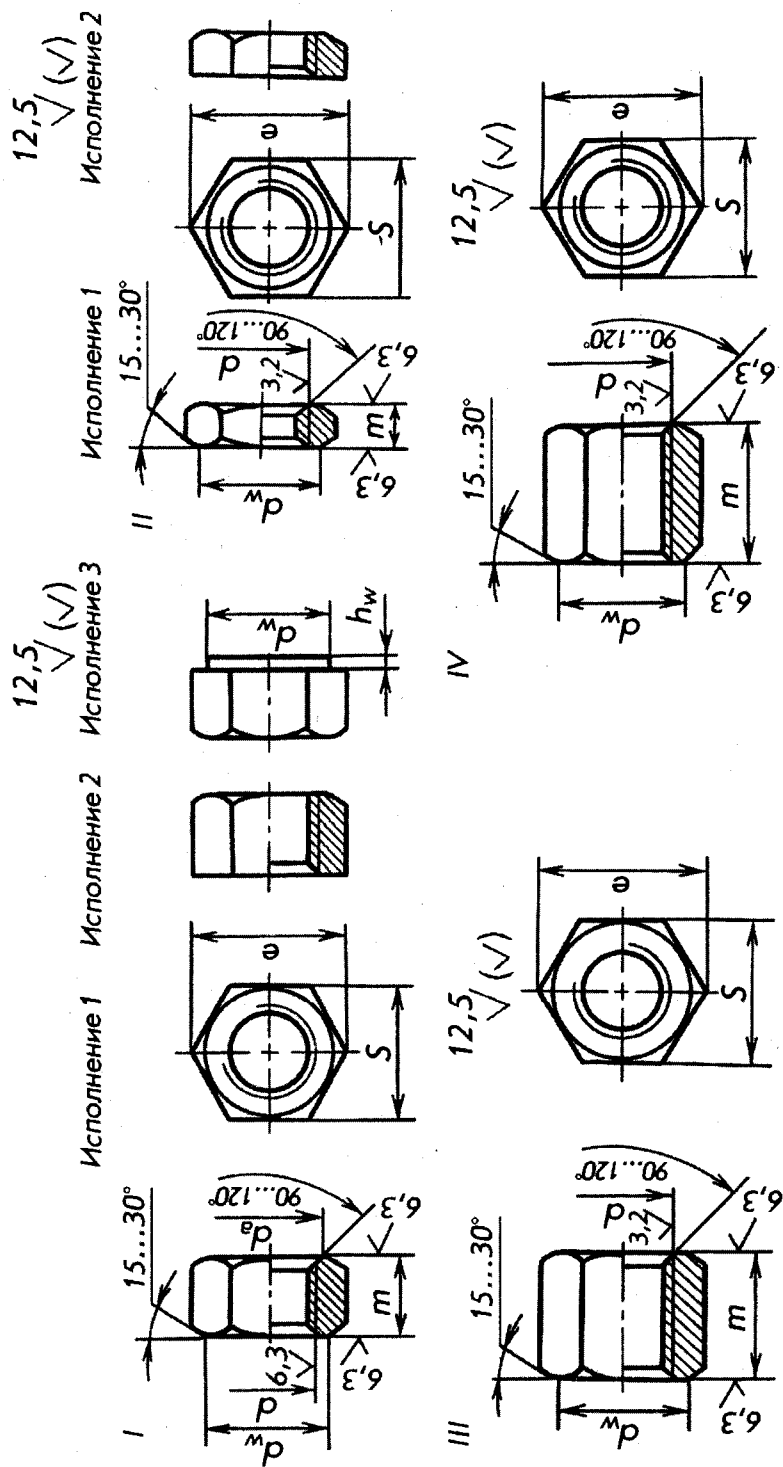
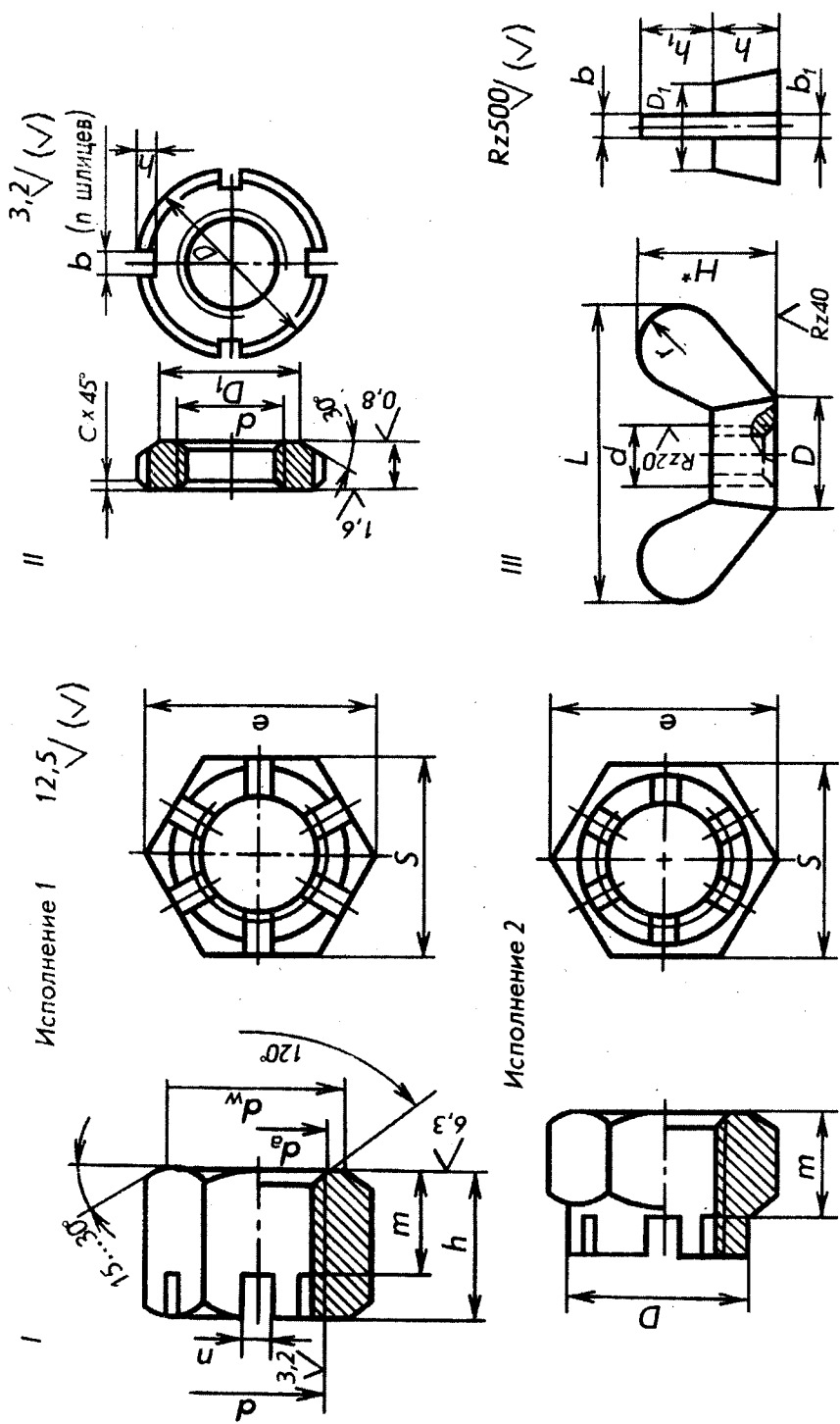


Рис. 134







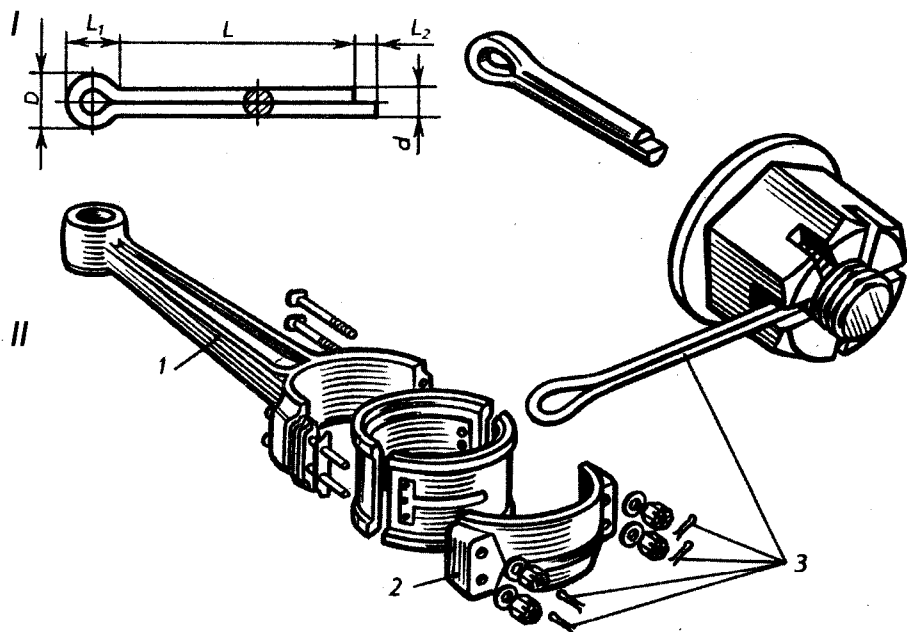


Рис. 137

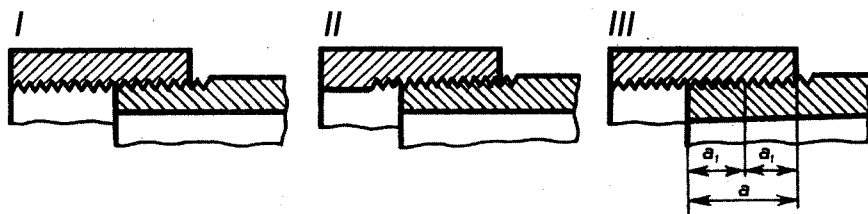


Рис. 138

Трубные соединения на конической резьбе более герметичны. Соединение «конус на конус» (рис. 138, II) имеет перед другими большое преимущество, заключающееся в том, что оно дает более плотное соединение без применения уплотнительных материалов. Применяются такие соединения в трубопроводных сетях, к которым предъявляются повышенные требования в отношении плотности (непроницаемости).

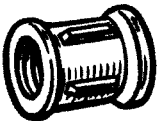
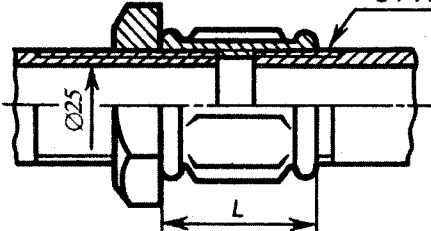
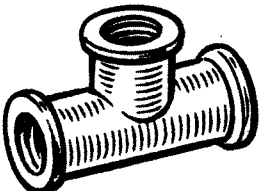
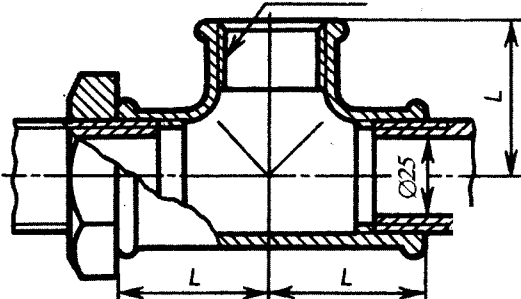
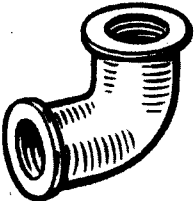
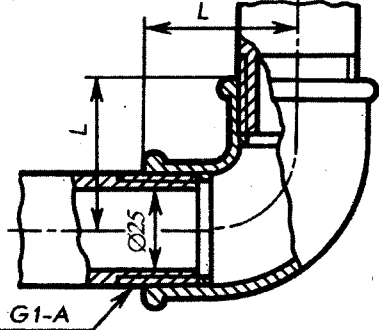
В связи с тем, что профиль и шаг конической резьбы ГОСТ 6211-81 соответствует профилю и шагу трубной цилиндрической резьбы ГОСТ 6357-73, в практике применяются соединения трубопроводов, имеющих коническую резьбу, с соединительными элементами или арматурой, которые имеют цилиндрическую резьбу (рис. 138, III).

Фасонные соединительные части трубопроводов (фитинги) характеризуются большой и разнообразной номенклатурой изделий: муфты, тройники, крестовины, угольники, штуцеры, ниппели и т. д. Некоторые из них приве-

дены в табл. 2. Все эти изделия могут быть «прямыми», то есть иметь одинакового размера резьбу на присоединительных концах, а также «переходными» — с разными размерами резьбовых концов.

Таблица 2

Фитинги и условное изображение трубного соединения

Вид детали	Изображение соединения
<p data-bbox="244 387 330 413">Муфта</p>  <p data-bbox="191 600 369 626">ГОСТ 8954-75</p>	<p data-bbox="483 378 675 404">ГОСТ 21856-78</p> 
<p data-bbox="244 664 345 690">Тройник</p>  <p data-bbox="191 956 369 982">ГОСТ 8948-75</p>	<p data-bbox="483 656 675 682">ГОСТ 21862-78</p> 
<p data-bbox="238 1041 351 1067">Угольник</p>  <p data-bbox="191 1347 369 1373">ГОСТ 8946-75</p>	<p data-bbox="483 1024 675 1050">ГОСТ 21859-78</p> 

**4.6. Понятие о прочности резьбовых соединений.** Болтовое соединение предназначено в основном для восприятия осевой растягивающей нагрузки (рис. 139). Разрушение болтового соединения, работающего на осевую нагрузку, может произойти в следующих случаях: при недостаточной высоте

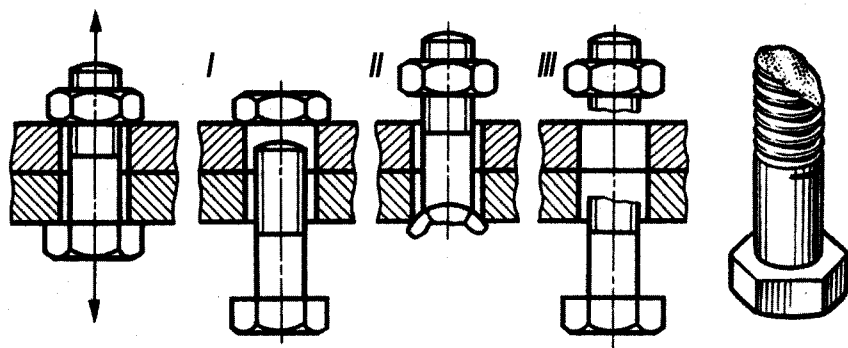


Рис. 139

гайки возможен срыв резьбы этой гайки (рис. 139, I); при недостаточной высоте головки болта она разрушается от изгиба, то есть головка болта частично как бы втягивается в отверстие (рис. 139, II); при недостаточном диаметре стержня возможен разрыв болта по ослабленному резьбой сечению (рис. 139, III).

Кроме того, для деталей, имеющих твердость меньше, чем твердость гайки или головки болта, опасной деформацией может быть смятие деталей. Для предотвращения смятия соединяемых деталей устанавливают шайбы, размеры которых определяют для стальных деталей по формуле  $D_{ш} = 2,2d$ ,

где:  $D_{ш}$  — наружный диаметр;  
 $d$  — внутренний диаметр.

Для обеспечения прочности болтового соединения необходимо, чтобы прочность всех его элементов на различные деформации была одинаковой, то есть болтовое соединение должно быть равнопрочным.

Так, например, из условия равнопрочности стержня болта на растяжение под действием осевой нагрузки и резьбы гайки на изгиб, на срез и смятие определяют необходимую высоту гайки. По расчету высота гайки получается около  $0,6d$ , нормальная же высота по стандарту принята  $H = 0,8d$ . Делать гайку более высокой нецелесообразно, так как исследованиями проф. Н.Е. Жуковского установлено, что первый от точки приложения силы виток резьбы воспринимает 34% всей нагрузки, второй — 23%, третий — 15%, а десятый — только 0,9%. Таким образом, все витки резьбы гайки после десятого практически никакой нагрузки не воспринимают. Соответствующие схемы направления силовых линий и характеры распределения нагрузки между витками резьбы приведены на рис. 140.

Так же как резьба гайки, работает резьба гнезда, в которое ввинчивается винт или шпилька. В зависимости от того, из какого материала изготовлены детали, в которые ввинчиваются шпильки, меняется и глубина завинчи-

вания шпилек. Здесь уже учитывается и величина осевой нагрузки, ибо, чем она больше, тем больше диаметр шпильки, а тем, следовательно, больше и глубина завинчивания.

Из условия равнопрочности стержня болта на растяжение и головки болта на изгиб находится необходимая высота головки болта  $h$ . Практически для нормального болта  $h = 0,7d$ .

Таким образом, принятые по стандарту размеры высоты гайки и высоты головки болта вполне обеспечивают прочность болтового соединения при условии, что сам стержень болта диаметром  $d$  будет прочен на растяжение. Следовательно, для того чтобы спроектировать прочное болтовое соединение, нужно исходить из условия прочности на растяжение диаметр болта, а по нему определить размеры всех остальных элементов соединения.

В зависимости от условий работы и сборки конструкций болтовые соединения, работающие на осевую нагрузку, делятся на две основные группы: *н е н а п р я ж е н н ы е*, в которых до приложения внешней нагрузки никаких напряжений не возникает; *н а п р я ж е н н ы е*, в которых еще до приложения внешней нагрузки уже имеются так называемые предварительные напряжения.

Для обеспечения плотности и герметичности соединения болты ставят с предварительной затяжкой, то есть при сборке так затягивают гайку ключом, что в теле болта еще до приложения внешней нагрузки возникают напряжения. Необходимая величина затяжки болтов зависит от свойств материала самого болта и соединяемых деталей или прокладки.

Кроме того, учитывают трение в резьбе и в опорной поверхности гайки, возникающее при затяжке. Если болтовое соединение несет нагрузку, дей-

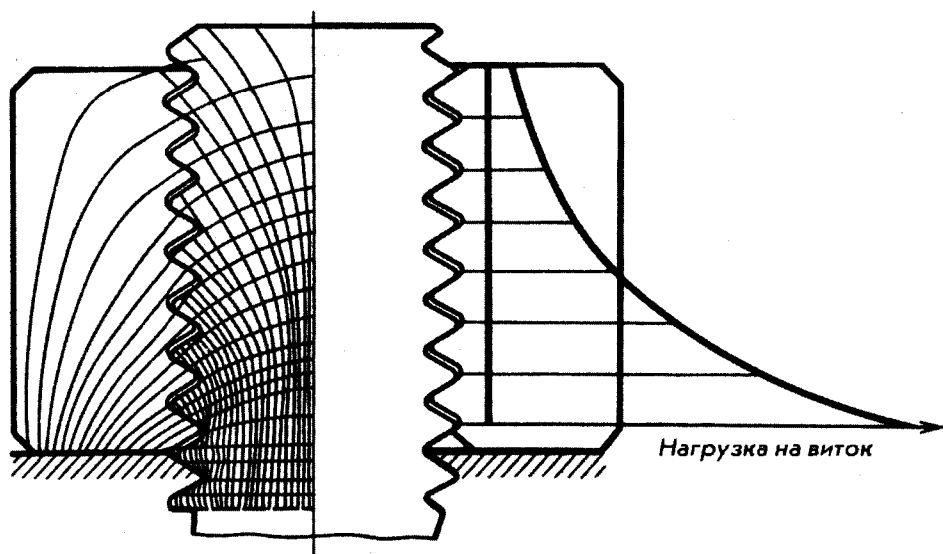


Рис. 140

ствующую перпендикулярно оси болта, то в результате сдвига деталей может произойти изгиб болта (рис. 141).

Чтобы избежать этого, при конструировании машин стремятся по возможности не придавать болтовым соединениям поперечной нагрузки. Если это сделать невозможно, применяют различные средства, предохраняющие болты от поперечной нагрузки (рис. 142). Прочность резьбовых соединений во многом определяется прочностью материала, из которого изготовлены детали этих соединений.

Наиболее часто применяют резьбовые детали из мало- и среднеуглеродистой стали Ст.3, Ст.5, Сталь 35, Сталь 45 и др. В соединениях, работающих при переменных нагрузках и высокой температуре до  $400^{\circ}\text{C}$ , применяют легированные стали 38ХА, 40ХНМА, 16ХСН и др. При рабочей температуре

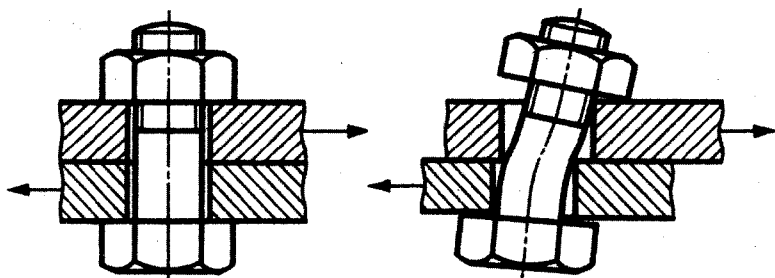


Рис. 141

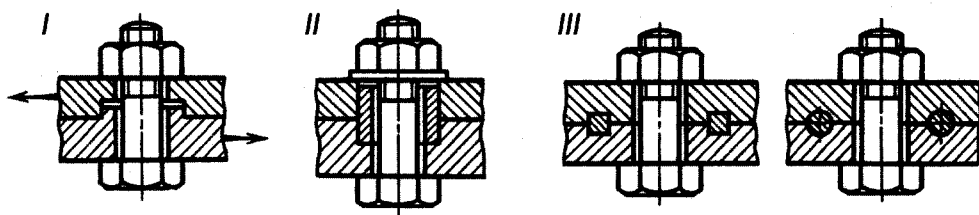


Рис. 142

$400\ldots 700^{\circ}\text{C}$  применяют нержавеющие стали, например 1Х17Н2 и др. В электропромышленности применяют резьбовые изделия из латуни ЛС59-1 и др.

Для повышения прочности резьбовых соединений крепежные детали подвергают термообработке, а для защиты от коррозии и влияния температур на них наносят металлические покрытия или оксидные пленки (цинкование, хромирование, никелирование, оксидирование и пр.).

**4.7. Стопорение резьбовых соединений.** Часто при сборке изделий принимаются меры к стопорению резьбовых соединений. Вызвано это тем, что от толчков и сотрясений, которые неизбежны при работе любой машины, может произойти самоотвинчивание резьбовых соединений.

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся способы стопорения резьбовых соединений (рис. 143).

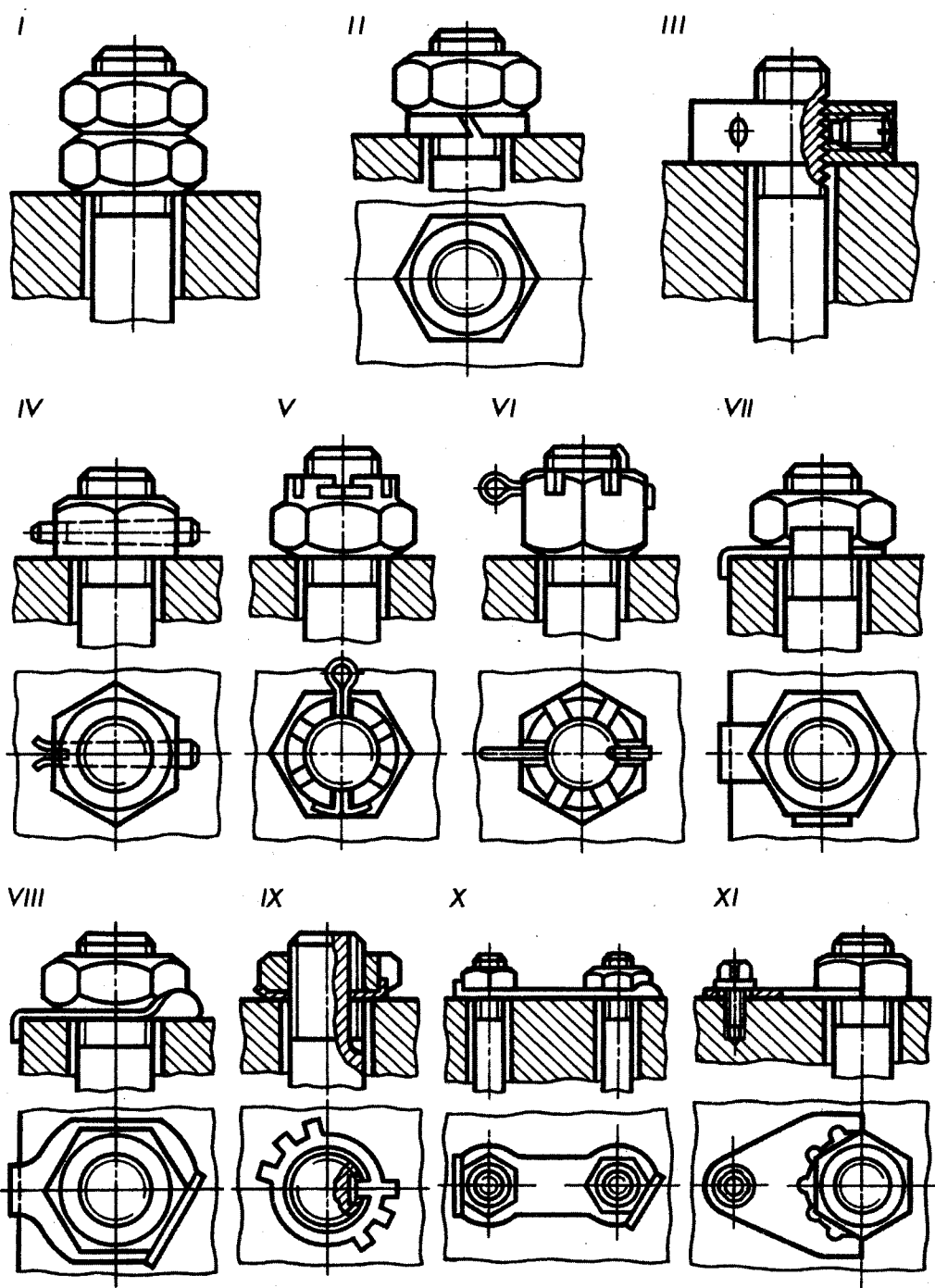


Рис. 143



Стопорение контргайкой (рис. 143, I), осуществляется за счет трения, возникающего в резьбе и на торцовых поверхностях гаек. Основным недостатком этого способа является утяжеление соединения.

Стопорение пружинной шайбой (рис. 143, II), основано на том, что пружинная шайба создает дополнительное напряжение в резьбовом соединении, и, кроме того, острые закаленные кромки шайбы, врезаясь в опорную поверхность гайки, предотвращают тем самым ее самоотвинчивание.

Стопорение винтом, ввинченным в гайку (рис. 143, III), — способ, позволяющий стопорить гайку в любом положении. Для того чтобы не отвинчивался сам стопорный винт, шаг его резьбы должен быть по возможности мал. Недостаток этого способа заключается в том, что часть резьбы болта сминается стопорным винтом.

Стопорение штифтом коническим разводным (рис. 143, IV) — простой и надежный способ. После затяжки гайки ее просверливают вместе с болтом. В отверстие вставляют конический штифт и разводят его концы.

Стопорение разводным шплинтом (рис. 143, V, VI) — один из наиболее надежных способов. Шплинт изготавливают из стальной проволоки полукруглого сечения. Он имеет головку в виде кольца. Отверстие в болте под шплинт просверливают до или после монтажа. Разводной шплинт вставляют в это отверстие и в пазы корончатой или прорезной гайки.

Стопорение деформируемыми шайбами широко применяют в технике. Существует много конструкций деформируемых и фигурных шайб, некоторые из них приведены на рис. 143, VIII—XI. Обычно один ус шайбы отгибают по краю детали, а другой — по грани гайки. Применяют и фигурные шайбы, которые наподобие вилки обхватывают грани гайки.

**4.8. Понятие о сборке резьбовых соединений.** При сборке резьбовых соединений болт обычно заводят в отверстие снизу, а затем, придерживая его одной рукой за головку, навинчивают на него гайку. Окончательно закрепляют гайку с помощью ключа, при этом вторым ключом поддерживают болт за головку, предохраняя его от проворачивания.

При соединении деталей шпилькой это крепежное изделие должно сидеть в детали плотно, так чтобы при свинчивании с него гайки, даже с тугой резьбой, оно не вывинчивалось.

Плотная посадка шпильки может быть осуществлена следующими способами:

1. Резьба на шпильке имеет постепенный сбеги. При ввинчивании такой шпильки в тело детали происходит смятие не полностью нарезанных начальных витков, чем достигается надежная ее посадка в гнездо. Вызвано это тем, что при смятии начальных витков происходит заклинивание шпильки.

2. В ответственных соединениях шпильки заворачиваются с гарантированным натягом по резьбе. Такая шпилька идет в гнездо очень туго, так как резьба на ней выполнена по наибольшим предельным размерам. В этом случае завинчивание шпильки в гнездо возможно за счет пластической податливости свинчиваемых материалов.

Шпильку в гнездо можно ввернуть несколькими способами. Самый простой из них — ввертывание с помощью двух гаек, навинченных на шпильку. Ключ при этом вращает верхнюю гайку, служащую контргайкой (рис. 144). Винт заворачивается с помощью отвертки или гаечного ключа в зависимости от формы головки.

В производственных условиях для быстроты и облегчения сборочных операций широко применяется механический инструмент: шпильковерты, гайковерты, винтоверты и т. п. (рис. 145). Так при нажиме на инструмент шпиндель вместе со специальным патроном вращается в сторону заворачивания, а при оттягивании — в обратную сторону, то есть в сторону свинчивания ключа со шпильками, если есть в том необходимость.

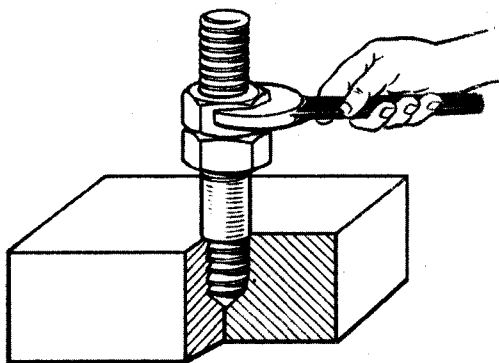


Рис. 144

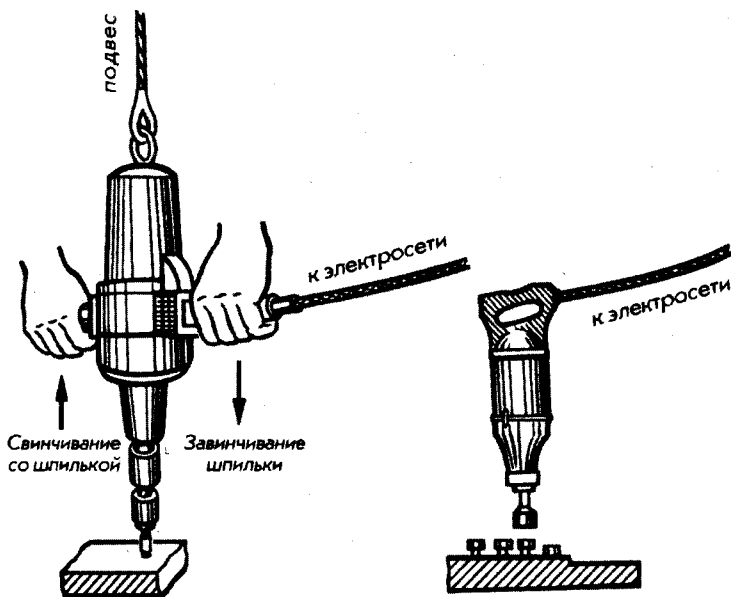


Рис. 145

## 5. ШПОНОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Шпоночные соединения получили широкое распространение в машиностроении в связи с простотой и надежностью конструкции, низкой стоимостью и удобством сборки и разборки.

**Ш п о н к а** — это металлическая или деревянная деталь, которую устанавливают в пазах двух соприкасающихся деталей для предотвращения относительного вращения или сдвига этих деталей. Шпонка служит для передачи вращающего момента в соединении вала со шкивом, зубчатым колесом, маховиком и другими деталями, вращающимися вместе с валом. При работе шпонка подвергается деформациям изгиба, среза и сжатия (см. гл. III).

В машиностроении применяются различные типы шпонок: призматические, сегментные, клиновые и др. (рис. 146). Основные типы шпонок стандартизированы. Шпоночные пазы на валах и втулках (ступицах) получают на фрезерных (II, III, IV), протяжных (I) и долбежных (V) станках (рис. 147).

ГОСТ предусмотрены два исполнения шпоночных соединений по глубине установки шпонки в вал и ступицу. Если ступица изготовлена из чугуна и других материалов более низкой прочности, чем материал вала, применя-

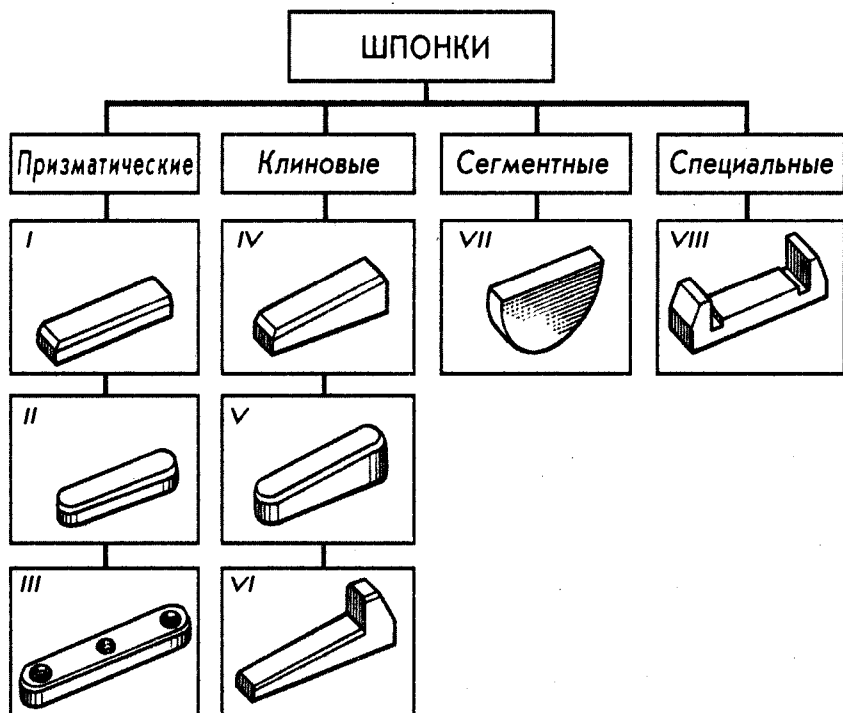


Рис. 146

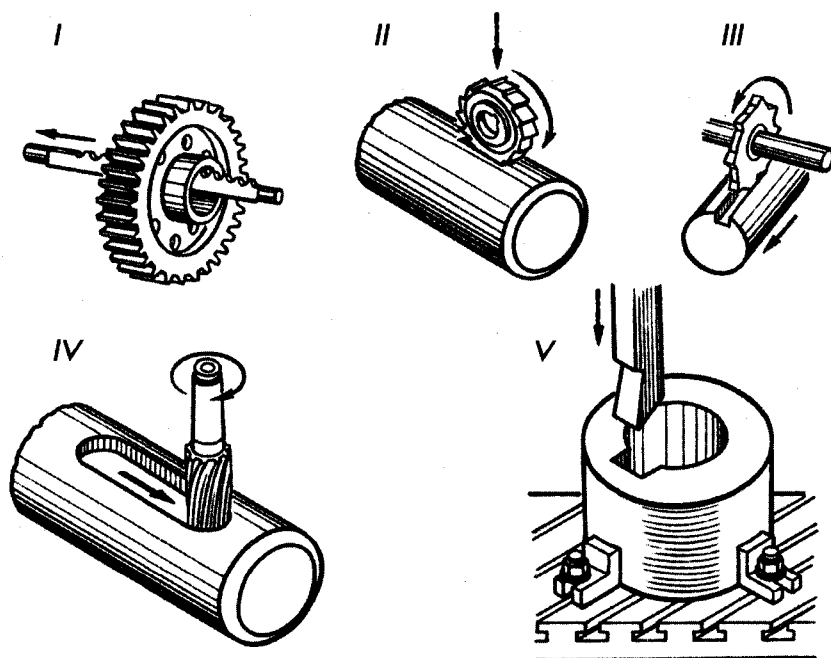


Рис. 147

ют первое исполнение с глубокой установкой в ступицу, а для прочих случаев — второе исполнение.

**5.1. Соединение призматической шпонкой.** Призматические шпонки могут быть выполнены с плоскими или скругленными концами (рис. 148). По назначению их подразделяют на простые и направляющие.

Простые шпонки 3 закладывают в паз 2 вала 1 без крепления и называют их врезными. Примерно половина их высоты помещается в пазу вала, а другая половина — в пазу 6 ступицы 7.

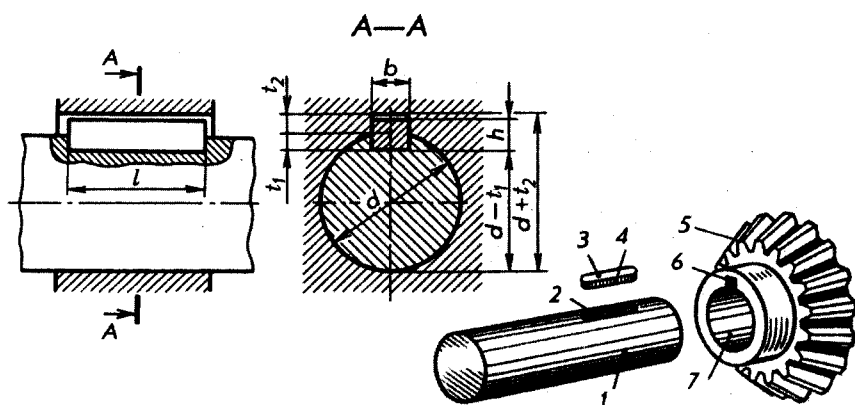


Рис. 148

Направляющие шпонки отличаются от простых длиной, соответствующей необходимой величине перемещения. Их закрепляют на валу 4 винтами 2 (рис. 149). Среднее отверстие с резьбой у этих шпонок 3 позволяет при необходимости снять шпонку. После того как будут вывернуты установочные винты, в это отверстие с резьбой 5 заворачивают винт, который концом упирается в основание шпоночного паза вала и отжимает вверх шпонку.

Обычно в соединение ставят по одной призматической шпонке, но если прочность соединения является недостаточной, то устанавливают две, а в некоторых случаях и три шпонки, под углом  $120^\circ$  и  $180^\circ$ .

**5.2. Соединение сегментной шпонкой.** Сегментные шпонки 2 — пластины в виде сегмента (рис. 150), которые закладывают в соответствующую форму паза на валу 3. Эти шпонки по принципу работы подобны призматическим и также работают боковыми гранями (1 — зубчатое колесо).

К достоинствам сегментных шпонок относится высокая технологичность соединения, не требующая ручной подгонки, устойчивое направление на валу, исключаящее перекося, который имеет место в призматических шпон-

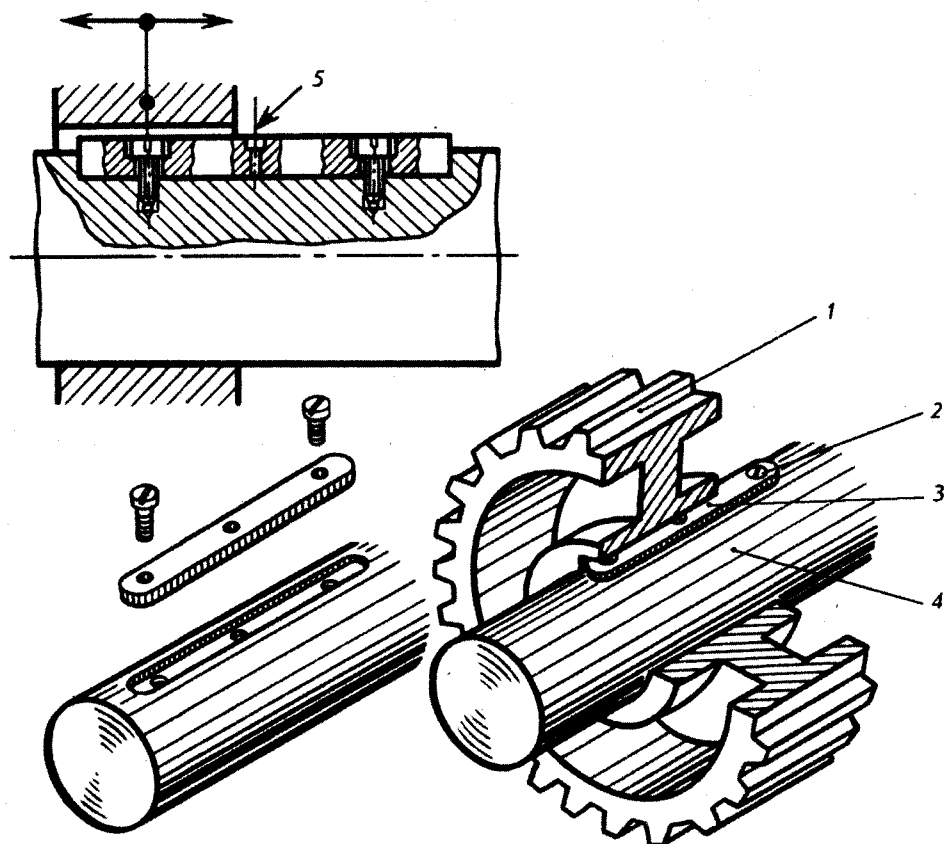


Рис. 149

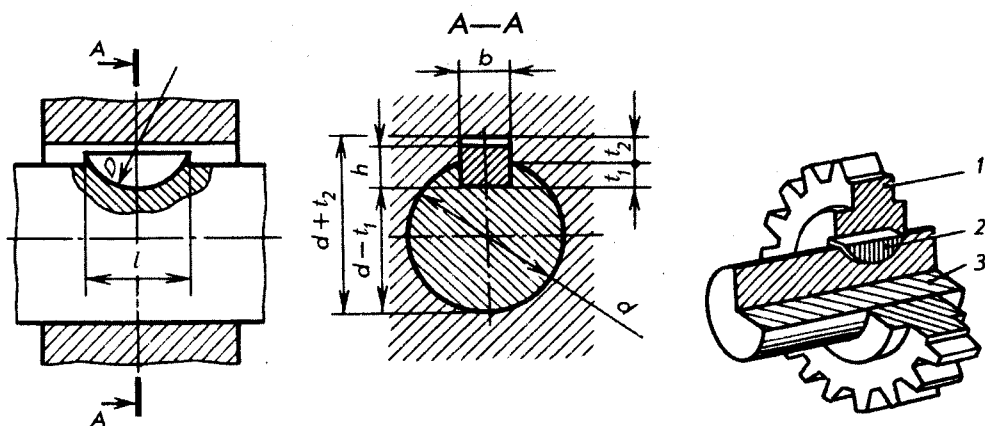


Рис. 150

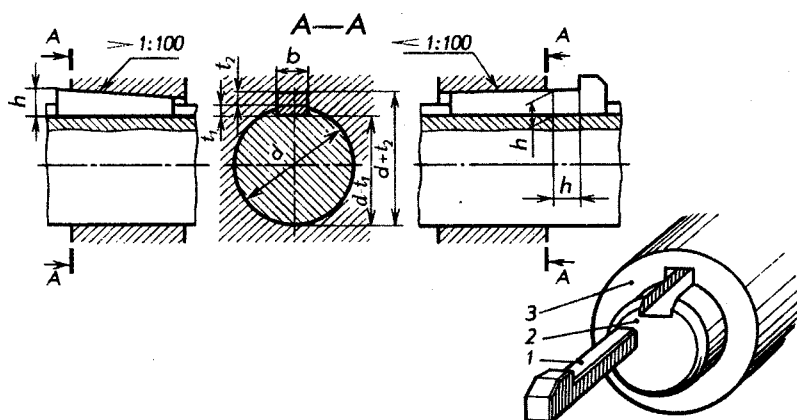


Рис. 151

ках. Недостатком сегментных шпонок является необходимость выполнения глубокого шпоночного паза, что в значительной степени ослабляет вал. По этой причине сегментные шпонки применяют при передаче небольших вращающих моментов.

**5.3. Соединение клиновой шпонкой.** Клиновые шпонки 1 изготавливают с уклоном 1 : 100 (рис. 151). Их устанавливают в пазы с некоторым усилием (обычно ударами молотка). Для паза ступицы 3 предусмотрен тот же уклон.

Если шпоночные пазы выполнены на валу и во втулке, то клиновые шпонки называют врезными. При этом примерно половина высоты клиновых врезных шпонок помещается в пазу вала 2, а другая половина в пазу ступицы 3.

Клиновые шпонки передают не только вращающий момент, но и осевое усилие.

**Примечание.** *Осевое усилие* — силовое воздействие на деталь, возникающее при рабочем перемещении вдоль оси вала.

По своей конструкции клиновые врезные шпонки подразделяют на шпонки клиновые с плоскими или скругленными торцами и шпонки с головкой. Головка предназначена для выбивания шпонки из паза. Из клиновых шпонок наиболее распространенными являются врезные, так как они более надежны и более технологичны.

**5.4. Соединение специальными шпонками.** В конструкциях со значительными осевыми перемещениями насаженных на вал 2 деталей 1 применяют скользящие шпонки 3 (рис. 152). Такие шпонки скрепляются высту-

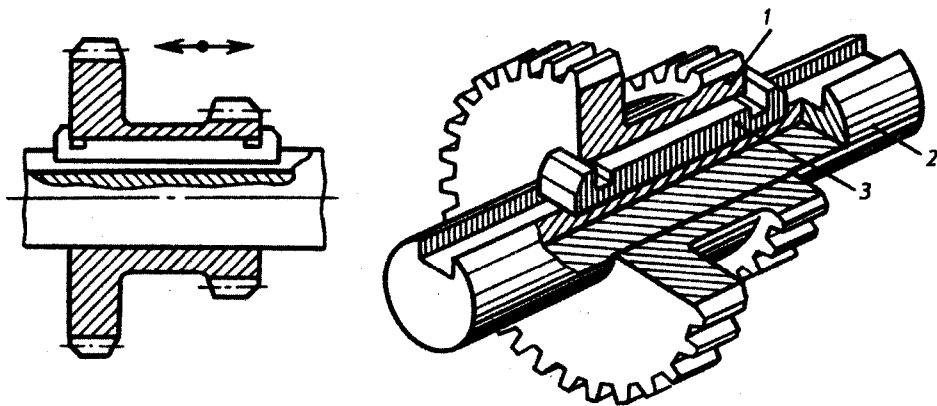


Рис. 152

пами со ступицей детали и при ее перемещении вдоль оси вала скользит по шпоночному пазу, придавая детали прямолинейное без поворотов вокруг оси движение.

В качестве материала для шпонок служат среднеуглеродистые стали. Призматические шпонки и клиновые шпонки без головок изготавливают из стали, поставляемой в соответствии с ГОСТ 8786-68.

В процессе проектирования шпоночного соединения ширину и высоту шпонок берут по соответствующему ГОСТ с учетом диаметра вала. Длину шпонки выбирают в зависимости от длины ступицы и согласовывают ее размер с ГОСТ на шпонки.

## 6. ЗУБЧАТЫЕ (ШЛИЦЕВЫЕ) СОЕДИНЕНИЯ

Для соединения ступицы с валом (вместо шпонок) часто пользуются выступами-зубьями на валу, входящими во впадины соответствующей формы в ступице (рис. 153). Эти соединения можно рассматривать как многошпоночные, так как у них шпонки выполнены заодно с валом.

Зубчатые соединения по сравнению со шпоночными имеют следующие преимущества: большая нагрузочная способность благодаря значительно большей рабочей поверхности и относительно равномерному распределению давления по высоте зуба; лучшее центрирование сопрягаемых деталей;

большая прочность вала в сравнении с валом со шпоночными канавками.

Зубчатые зацепления могут служить как неподвижные для скрепления ступицы с валом, так и в качестве подвижных — осевое перемещение ступицы детали по валу, например, в тракторах, автомобилях, в коробках передач станков и т. д.

Большое распространение получили зубчатые соединения с прямоугольной или прямобочной (рис. 154, I, IV, V), эвольвентной (рис. 154, II) и треугольной (рис. 154, III) формами зубьев (шлицев). Шлицы на валах фрезеруют или нарезают на зубообрабатывающих станках методом обкатки (рис. 155), а пазы в отверстиях получают долблением или протягиванием.

**6.1. Прямобочные зубчатые соединения.** Эти соединения находят наибольшее применение в общем машиностроении. Они стандартизированы ГОСТ 1139-58 и имеют три серии соединений: легкая, средняя и тяжелая. Отличаются эти серии друг от друга высотой и количеством зубьев (см. рис. 154, I, IV, V).

Легкую серию применяют для неподвижных или незначительно нагруженных соединений; среднюю — для средненагруженных соединений и тяжелую — для наиболее тяжелых условий работы.

Прямобочные зубчатые зацепления различают также по способу центрирования ступицы на валу: по наружному диаметру; по внутреннему диаметру; по боковым граням.

**Примечание.** *Центрирование* — вид соединения деталей, обеспечивающий соосность вала и втулки, где требуется высокая кинематическая точность.

Центрирование по наружному диаметру  $D$  (рис. 156, I) или внутреннему  $d$  (рис. 156, II) является более точным, и поэтому эти виды соединений применяют в тех случаях, когда требуется высокая кинематическая точность (в самолетах, автомобилях и т. п.).

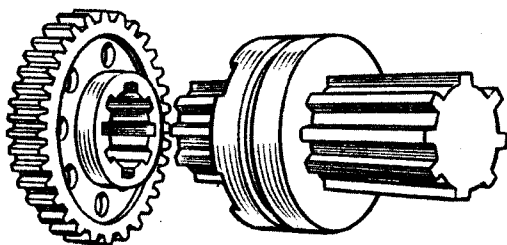


Рис. 153

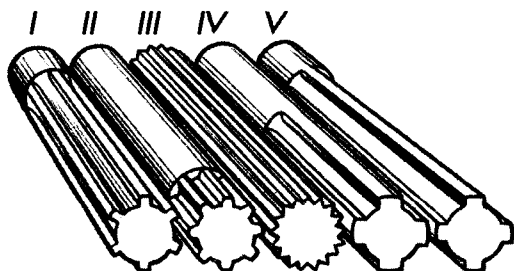


Рис. 154

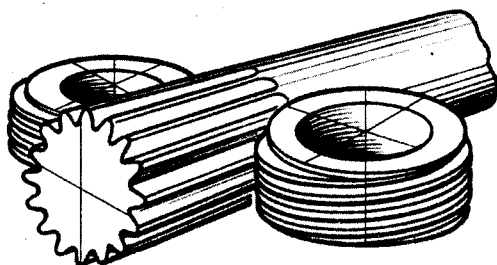


Рис. 155





Рис. 156

Центрирование по боковым граням зубьев (рис. 156, III) используют в тех случаях, когда необходима достаточная прочность соединения. Центрирование по боковым граням не обеспечивает точной соосности ступицы и вала, но зато создает равномерное распределение нагрузки по зубьям. Поэтому этот вид соединения применяют при передаче больших крутящих моментов, но при отсутствии высоких требований к точности центрирования. Типичным примером центрирования по боковым граням является соединение карданных валов в автомобилях.

Зубчатые соединения могут быть изготовлены из стали, силумина, текстолита и других материалов.

**6.2. Эвольвентные зубчатые соединения.** Эвольвентные зубчатые соединения (см. рис. 154, II) стандартизованы ГОСТ 6033-80 и являются весьма перспективными. Профиль зубьев очерчивается окружностью выступов, впадин и эвольвентами, подобно профилю зубьев зубчатых колес. Эвольвентные зубчатые соединения также центрируют по наружному диаметру вала  $D$  или по боковым граням.

Эвольвентный профиль зубчатых соединений по сравнению с прямобочными имеет повышенную прочность и технологичность. Повышенную прочность получают благодаря большому количеству зубьев, утолщению их к основанию, а также наличию закруглений у основания.

Что касается технологичности, то при обработке эвольвентного профиля нужен меньший комплект простых фрез, чем для валов прямобочного профиля. Кроме того, при обработке эвольвентного профиля могут быть использованы весьма совершенные технологические процессы, благодаря чему зубья профиля могут иметь повышенную точность.

**6.3. Треугольные зубчатые соединения.** Этот вид соединения (см. рис. 154, III) применяют только в качестве неподвижного при передаче небольших вращающих моментов. Центрирование треугольного зубчатого соединения осуществляется по боковым сторонам зубьев. Треугольные зубчатые соединения бывают не только цилиндрическими, но и коническими. Конусность в большинстве случаев выбирают 1 : 16.

Благодаря надежности и долговечности шлицевые соединения (рис. 157) получили очень широкое распространение в машиностроении и приборост-

роении. Их можно встретить в механизмах самолетов и автомобилей, металлорежущих станков, различных точных приборов и т. д.

## 7. ШТИФТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

**Штифты** (рис. 158) — стальные круглые цилиндрические, конические или фасонные стержни, которые забивают в сквозные отверстия соединяемых деталей. По форме штифты различают конические и цилиндрические. По конструкции те и другие делают гладкими, с насечкой или

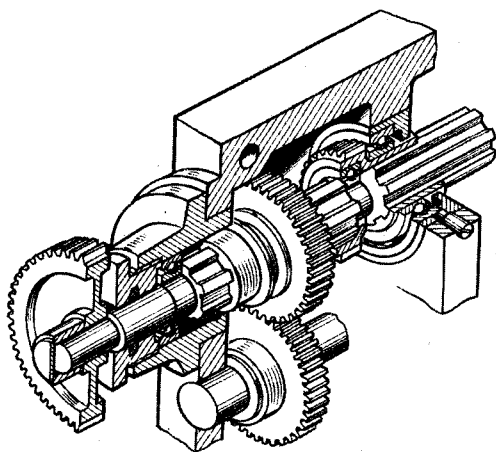


Рис. 157

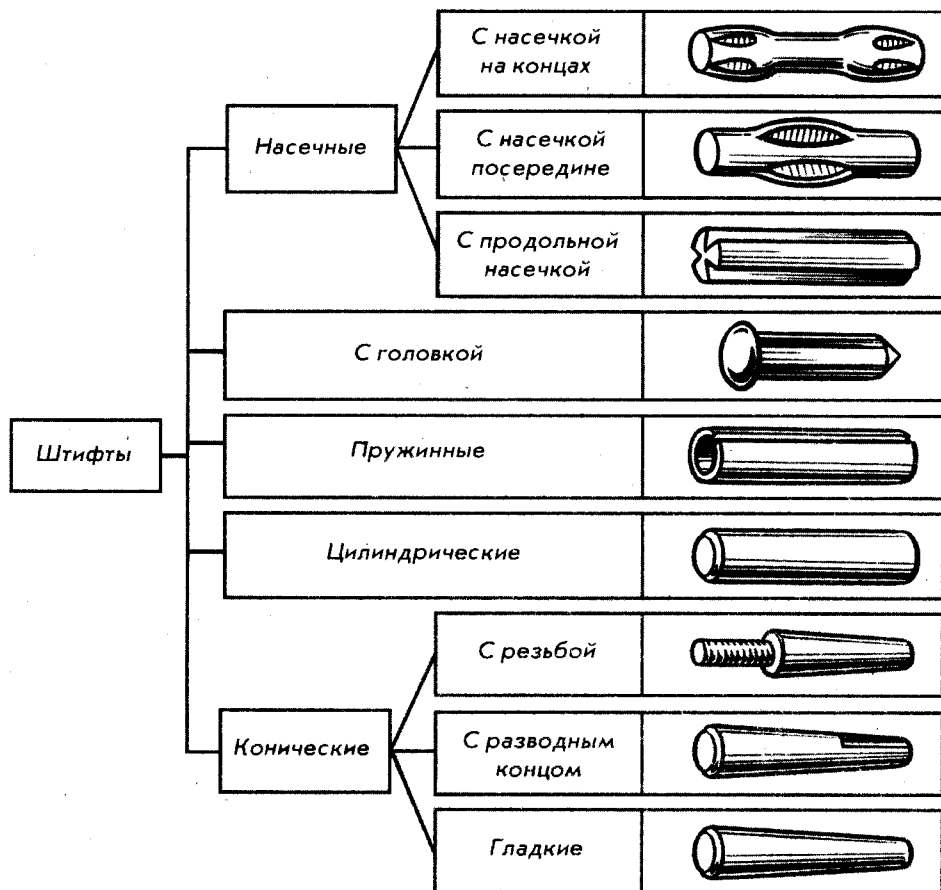


Рис. 158

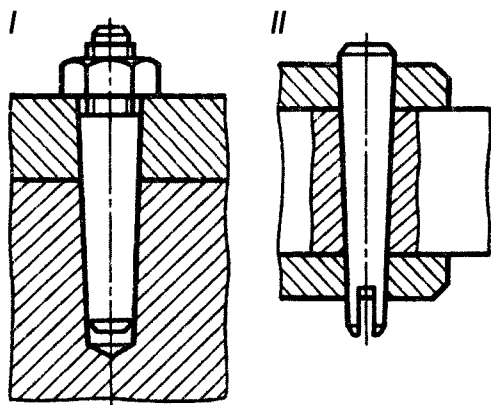


Рис. 159

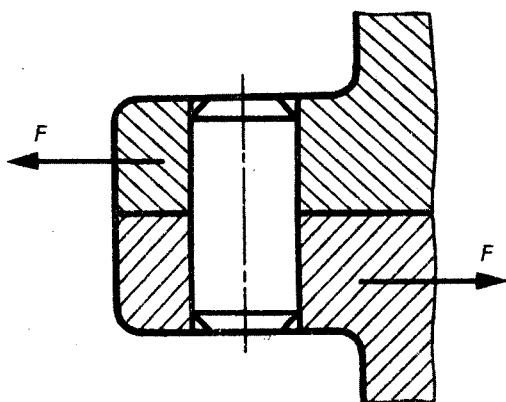


Рис. 160

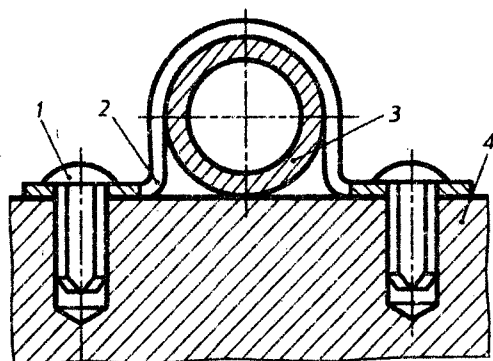


Рис. 161

выдавленными канавками, цилиндрические пружинные, вальцованные из ленты.

Конические гладкие штифты находят наибольшее применение. Их устанавливают в сквозные отверстия. В глухие отверстия ставят конические штифты с резьбой (рис. 159, I). В соединениях, которые испытывают толчки и удары, ставят разводящие штифты (рис. 159, II). Такие же конические штифты применяют и в соединениях быстровращающихся деталей. Конические штифты можно без ущерба для надежности соединения многократно вынимать и снова ставить на место. Конические штифты выполняют с конусностью 1 : 50.

Цилиндрические штифты ставят в отверстия с натягом. В движущихся соединениях цилиндрические штифты ставят с расклепыванием концов. Большим недостатком цилиндрических штифтов является ослабление посадки при повторных сборках и разборках.

В основном цилиндрические штифты применяют как установочные детали для повышенной фиксации соединяемых деталей относительно друг друга и в тех случаях, когда возникает необходимость предохранить соединяемые детали от боковых смещающих усилий, действующих в противоположные стороны (рис. 160).

Цилиндрические и конические штифты изготовляют из конструкционных сталей. Размеры штифтов перечисленных типов указаны в соответствующих ГОСТ.

**Насечные штифты.** Некоторые конструкции насечных штифтов показаны на рис. 158. Они отличаются от гладких штифтов тем, что имеют на поверхности канавки различной формы. При забивании таких штифтов в отверстия выдавленный ранее из канавок материал упруго деформируется в обратном направлении. Это положение и обеспечивает повышенную прочность сцепления. Важно отметить, что насечные штифты допускают многократный монтаж и демонтаж без ослабления силы сцепления. Изготавливают эти штифты из пружинной стали.

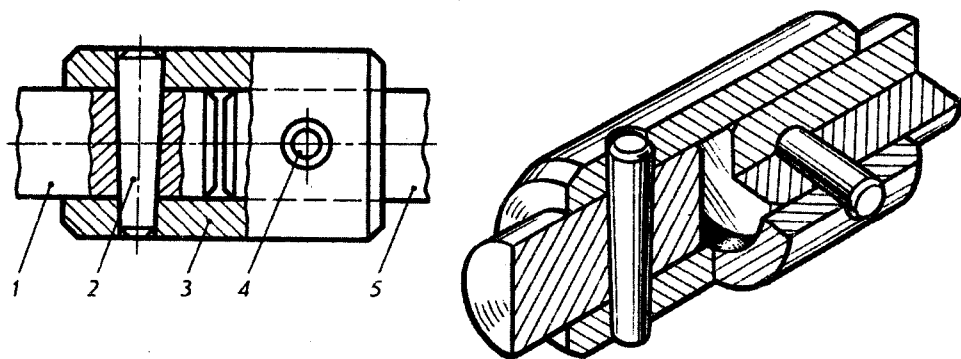


Рис. 162

**Пружинные штифты** (см. рис. 158) напоминают цилиндрическую трубу, разрезанную вдоль образующей.

Их изготавливают из пружинной стали с последующей термообработкой. Пружинные штифты вставляют в отверстия, которые по своему диаметру меньше, чем диаметр штифта. Надежное соединение осуществляется за счет сил упругости материала штифта. Многократные сборки и разборки не приводят к сколько-нибудь заметному ослаблению силы сцепления.

**Штифты с головками 1**, как и насечные, имеют продольные (вдоль оси стержня) три канавки, создающие пружинящее действие при установке их в отверстие. Применяют их большей частью для крепления хомутиками 2 деталей 3 радио- и электроаппаратуры на панелях 4, щитках и др. (рис. 161).

В качестве примера применения штифтовых соединений на рис. 162 показан чертеж и наглядное изображение муфты 3, соединяющей два вала 1 и 5 с помощью конических штифтов 2 и 4.

# МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Механическими передачами или просто передачами называют механизмы, служащие для передачи движения, как правило, с преобразованием скорости и соответственным изменением вращающего момента.

Широкое распространение передач в машиностроении обусловлено прежде всего тем, что в абсолютном большинстве случаев режим работы машины-орудия не совпадает с оптимальными скоростями двигателя. Передачи позволяют понижать (реже повышать) скорость; осуществлять ступенчатое или бесступенчатое регулирование ее в широком диапазоне, изменять направление движения; преобразовывать один вид движения в другой; приводить в движение несколько механизмов от одного двигателя.

По принципу работы передачи подразделяют (рис. 163): на передачи трением — фрикционные, ременные, передачи зацеплением — зубчатые, червячные, цепные, а также передачи типа «винт — гайка».

В зависимости от способа передачи движения от ведущего вала вращения к ведомому различают: передачи непосредственного контакта — фрикционные, зубчатые, червячные и «винт — гайка»; передачи гибкой связью — ременные, цепные.

Из механических передач наибольшее распространение получили передачи вращательного движения, так как они обеспечивают равномерное движение и просты по конструкции.

## 2. ВИНТОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ («ВИНТ — ГАЙКА»)

Пространственная кинематическая винтовая пара типа «винт — гайка» (рис. 164) обладает следующими свойствами: при неподвижном винте 2 поворот гайки 1 на один оборот вызывает ее перемещение вдоль оси винта на величину хода; если закрепить гайку и повернуть винт на один оборот, то, помимо вращения, винт переместится вдоль оси на величину хода.

Основное назначение передач типа «винт — гайка» — преобразование вращательного движения в поступательное. Эти передачи бесшумны в работе, что достигается повышенной плавностью зацепления, просты по конструкции и в изготовлении и позволяют получать большой выигрыш в силе. К недостаткам следует отнести: относительно низкий КПД, склонность к заеданию, тихоходность передачи.

Передачи типа «винт — гайка» применяют в подъемных механизмах, в станках (механизмы подачи рабочих инструментов), в измерительных

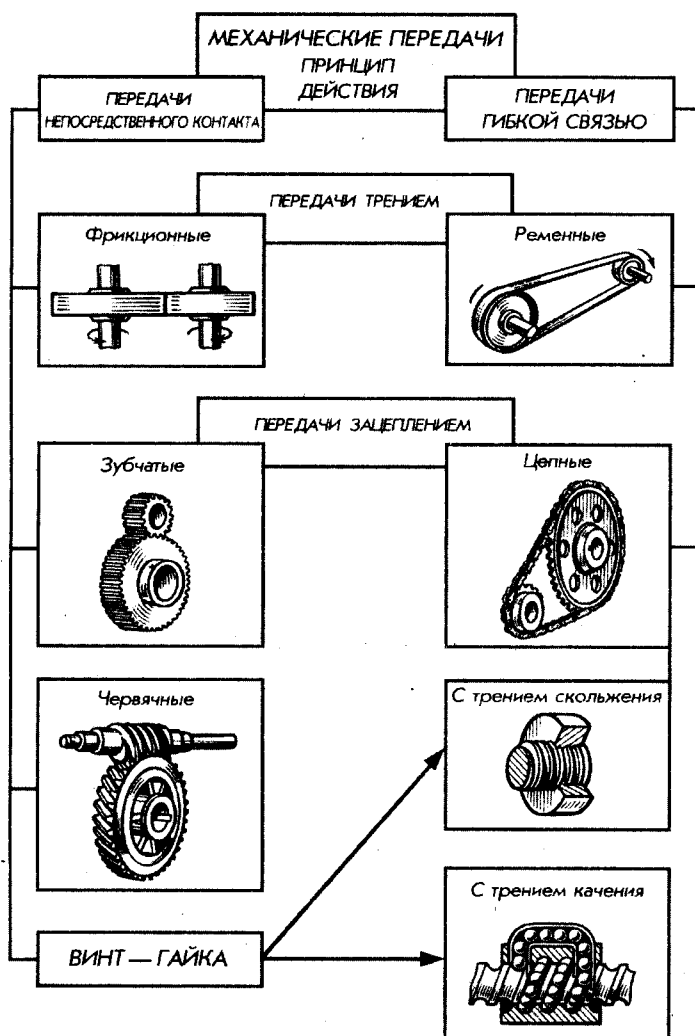


Рис. 163

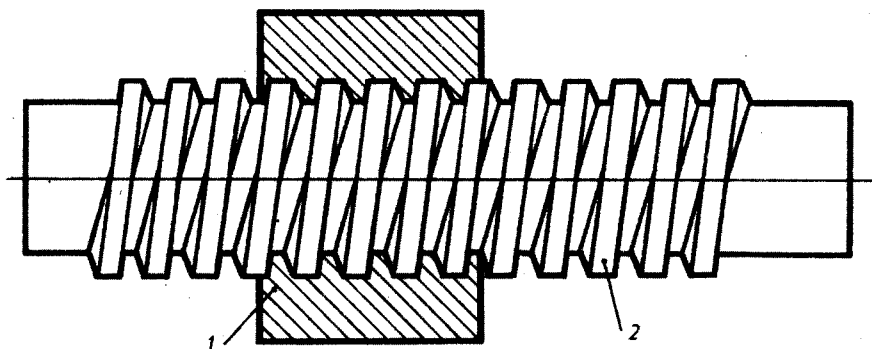


Рис. 164

приборах (механизмы для точных перемещений, микрометрические и дифференциальные винты), в прокатных станах (регулирующе-установочные механизмы подшипников, нажимные винты), в винтовых прессах.

Винтовые механизмы принципиально ничем не отличаются от резьбовых соединений, но так как они применяются для передачи движения, то трение в резьбе должно быть минимальным. Наименьшее трение между

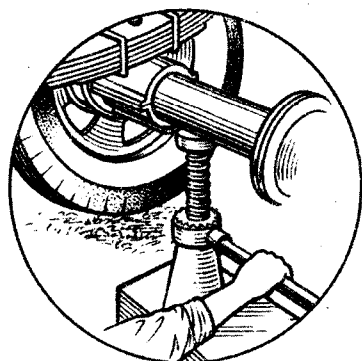
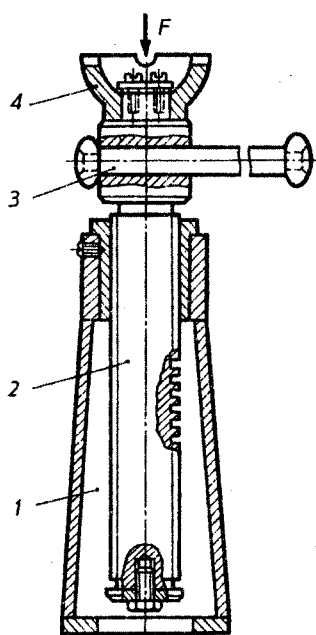


Рис. 165

винтом и гайкой обеспечивает прямоугольная резьба, однако ее нетехнологичность, то есть невозможность нарезания на резьбофрезерных станках, и небольшая прочность по сравнению с трапецидальной резьбой делают ее применение крайне ограниченным. Поэтому для передаточных винтов применяют главным образом трапецидальную резьбу с мелким, средним и крупным шагами и упорную резьбу. Наибольшее распространение получила трапецидальная резьба со средним шагом. Трапецидальную резьбу с мелким шагом используют при относительно небольших перемещениях; трапецидальную резьбу с крупным шагом — при тяжелых условиях эксплуатации. Профиль трапецидальной резьбы позволяет использовать ее в механизмах с реверсивным перемещением.

Для передач с большими односторонними нагрузками (прессы, домкраты, нажимные устройства в прокатных станах и др.) применяют упорную резьбу.

Резьба винтов и гаек передач бывает правой или левой, однозаходной или многозаходной.

Материалы винтов должны обладать высокой износостойкостью и хорошей обрабатываемостью, а более нагруженные — высокой прочностью. Винты, не подвергаемые закалке, изготовляют из сталей 45, 50, А50, а винты, подвергаемые закалке, выполняют из ста-

лей У10, У65, 40Х, 40ХГ и др. Материал гаек — бронзы оловянные БрОФ10-1, БрОЦС-6-6-3 и др. Конструктивное оформление винтовой передачи зависит от ее целевого назначения. Устройство простейшего винтового механизма показано на примере домкрата.

Винтовой домкрат состоит из ходового силового винта 2 (рис. 165), ввинчиваемого в корпус 1, и рукоятки 3 с собачкой (на рис. 165 не показана), преобразующих качательное движение, получаемое рукояткой от руки рабочего, в прерывистое вращение. Винт домкрата несет на себе грузовую головку 4, которая может иметь различное конструктивное оформление.

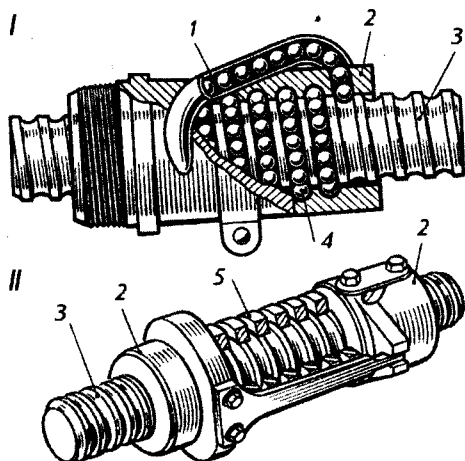


Рис. 165

Для червяков рулевого управления автомобилей, механизмов наводки ракет и ходовых винтов станков используют шариковые винты. Канавки шарикового винта 3 (рис. 166, I) и гайки 2 в осевом сечении имеют полукруглую форму. Непрерывный замкнутый поток шариков 4 заполняет винтовое пространство между желобами по всей длине гайки. Пройдя его, шарики переходят в округленный трубчатый канал 1, по которому они возвращаются в рабочую зону винтовой пары.

Для червяков рулевого управления автомобилей, механизмов наводки ракет и ходовых винтов станков используют шариковые винты. Канавки шарикового винта 3 (рис. 166, I) и гайки 2 в осевом сечении имеют полукруглую форму. Непрерывный замкнутый поток шариков 4 заполняет винтовое пространство между желобами по всей длине гайки. Пройдя его, шарики переходят в округленный трубчатый канал 1, по которому они возвращаются в рабочую зону винтовой пары.

Коэффициент полезного действия шариковой винтовой пары много выше, чем обычной, вследствие резкого снижения трения в резьбе.

Для полного устранения зазоров в шариковой паре «винт — гайка» на винте устанавливают одновременно две шариковые гайки 2 (рис. 166, II), между которыми помещают стальную пружину 5. Пружина, создавая предварительный натяг между винтом 3, шариками и гайками, устраняет все зазоры в передаче.

Рабочие поверхности такой передачи закаливают до твердости  $HRC60$  и выше. Винты изготавливают из сталей ХВГ, 7ХГ2ВМ с объемной закалкой. Материал гаек — стали 9ХС, ШХ15, ХВГ с объемной закалкой и др.

### 3. ФРИКЦИОННЫЕ ПЕРЕДАЧИ

**3.1. Общие сведения.** Передачи, в которых движение от одного вала к другому передается за счет трения между рабочими поверхностями вращающихся катков (дисков), называют **фрикционными**.

Фрикционная передача состоит из двух колес (катков) — ведущего и ведомого, которые прижаты друг к другу с заданной силой. При вращении одного из катков, например, ведущего приходит в движение ведомый, благодаря возникающей силе трения.

Условие работоспособности передачи  $T_{тр} \geq F$ ,

где  $F$  — передаточное окружное усилие;

$T_{тр}$  — сила трения в месте контакта.



**Примечание.** *Окружное усилие* — сила, которая вращает шкив, коленчатый вал, маховик и т. д., направленная по касательной к окружности, по которой движется точка приложения этой силы. Определяют окружное усилие по формуле  $F = M/r$ , где:  $M$  — вращающий момент;  $r$  — расстояние от точки приложения окружного усилия до оси вращения.

Если это условие нарушается, то возникает буксование, то есть ведомый каток не вращается, а ведущий скользит по нему.

**Переда точное** число фрикционной передачи — отношение угловых скоростей ведущего и ведомого валов — не может быть строго постоянным, так как всегда существует относительное проскальзывание катков, изменяющееся в зависимости от нагрузки.

Различают фрикционные передачи с условно постоянным передаточным числом между валами с параллельными пересекающимися осями и передачи с переменным передаточным числом (вариаторы) без промежуточного звена и с промежуточным звеном.

В зависимости от условий работы фрикционные передачи подразделяют на открытые, работающие всухую, и закрытые, работающие в масле. Коэффициент трения в открытых фрикционных передачах выше, а прижимное усилие катков меньше. В закрытых фрикционных передачах масляная ванна делает скольжение менее опасным, кроме того, обеспечивается отвод тепла и увеличивается долговечность передачи.

Фрикционные передачи обладают рядом достоинств, основными из которых являются: простота и бесшумность работы; равномерность вращения колес; возможность регулирования скорости (без остановки передачи); небольшая стоимость колес (катков).

К недостаткам фрикционных передач относятся значительные нагрузки на валы и подшипники, непостоянство передаточного числа, сравнительно низкий КПД, неравномерный износ рабочих поверхностей колес.

Фрикционные передачи широко используются в различных отраслях промышленности. Их часто применяют в приводах конвейеров, в сварочных и литейных машинах, в металлорежущих станках и др.

Для колес применяют следующие сочетания износостойких материалов с высоким коэффициентом трения и модулем упругости: закаленная сталь по закаленной стали (такое сочетание обеспечивает высокий КПД, не требует изготовления передачи с высоким классом шероховатости поверхности); чугун по стали или чугуну (в этом случае рабочим поверхностям придают большую твердость, для чего отбеливают поверхность чугунных колес).

**3.2. Типы фрикционных передач.** **Ц и л и н д р и ч е с к а я ф р и к - ц и о н н а я п е р е д а ч а.** На ведущем 2 (рис. 167) и ведомом 1 валах насажены на шпонках два катка. Подшипники вала 1 установлены неподвижно, а подшипники вала 2 позволяют перемещаться валу по направлению линии центров передачи. Если привести во вращение ведущий вал 2, то вместе с ним будет вращаться и ведущий диск. Ведомый диск не будет

вращаться до тех пор, пока не будет преодолено полезное сопротивление на валу *1* — вращающий момент и сопротивление трения в подшипниках. Но так как подшипники ведущего вала выполнены плавающими и находятся под действием пружины сжатия, то этим самым обеспечивается прижимное усилие *T*, а следовательно, и вращение ведомого вала.

**Коническая фрикционная передача.** Катки передачи (рис. 168) представляют собой усеченные конусы, которые соприкасаются по общей образующей. При осевом сжатии конусов на их образующих в месте контакта возникает сила трения, которая и увлекает во вращение ведомый каток и вал. Для правильной работы передачи необходимо, чтобы конусы имели общую вершину, являющуюся точкой пересечения осей катков.

**В а р и а т о р ы.** Вариаторы — передачи, посредством которых можно плавно, бесступенчато изменять передаточное число. По форме тел вращения вариаторы бывают лобовые, конусные, торовые и др.

**Л о б о в ы е в а р и а т о р ы** (рис. 169) применяются в винтовых прессах и приборах. В наиболее простом из них (рис. 169, I) ведущий ролик катится по торцевой поверхности большого диска и передает ему вращение. Движение можно передавать и в обратном направлении — от диска к ролику. Для регулирования скорости вращения ролик передвигают вдоль диска. Передаточное отношение в таких вариаторах равно  $i = R_1/R_2$ ,

где:  $R_1$  и  $R_2$  — радиусы колес.

В более сложном плоском вариаторе (рис. 169, II) между двумя большими дисками вращается передвижной ролик. Один диск ведущий, другой — ведомый. Ролик служит промежуточным звеном, передающим вращение. При регулировании скорости ролик перемещают вдоль обоих дисков, причем, приближаясь к центру одного из них, он в то же самое время удаляется от центра другого. Поэтому изменение передаточного отношения и плавное регулирование скоростей вращения производится быстрее и в более широких пределах, чем в вариаторе с одним диском.

Вариаторы с р а з д в и ж н ы м и к о н у с а м и (рис. 170) имеют ограниченное применение в машиностроении. Конические диски насажены на два параллельных вала *I* и *II*. Между дисками зажато стальное кольцо, ко-

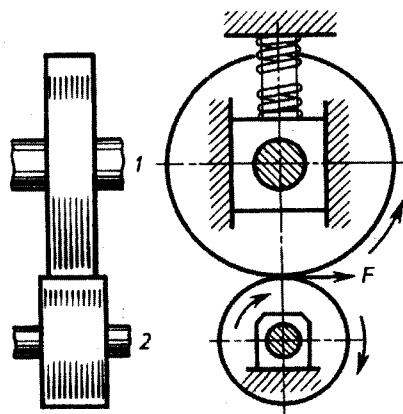


Рис. 167

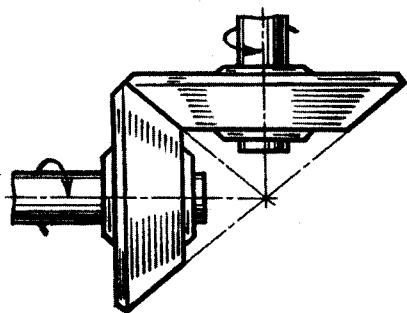


Рис. 168

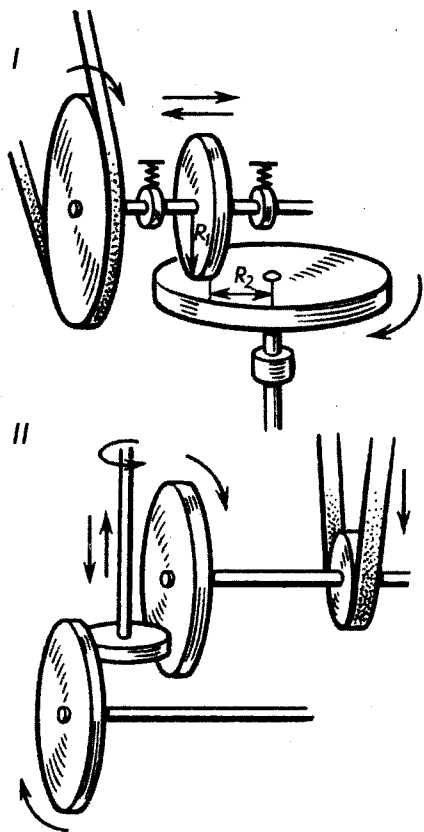


Рис. 169

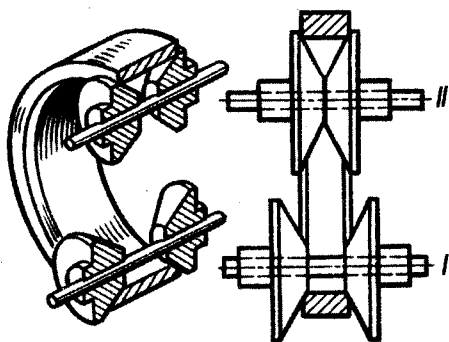


Рис. 170

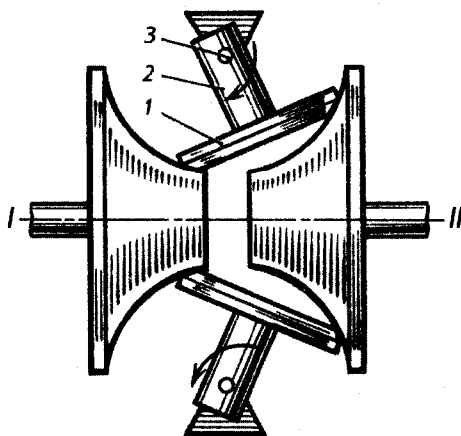


Рис. 171

торое передает движение от ведущего вала к ведомому. Изменение передаточного числа осуществляется сближением одной пары конусов и раздвижением другой.

На рис. 171 представлены торовые вариаторы. На валах *I* и *II* насажены два диска, имеющие сферические рабочие поверхности. Вращение от ведущего диска *I* к ведомому *II* передаются посредством двух промежуточных роликов *1*, свободно сидящих на осях *2*. Изменение передаточного числа осуществляется одновременным поворотом этих осей вокруг шарниров *3*. Торовые вариаторы требуют довольно высокой точности изготовления.

## 4. ЗУБЧАТЫЕ И ЧЕРВЯЧНЫЕ ПЕРЕДАЧИ

**4.1. Общие сведения.** Зубчатой передачей называется механизм, служащий для передачи вращательного движения с одного вала на другой и изменения частоты вращения посредством зубчатых колес и реек.

Зубчатое колесо, сидящее на передающем вращение валу, называется ведущим, а на получающем вращение — ведомым. Меньшее из двух колес сопряженной пары называют шестерней; большее — колесом; термин «зубчатое колесо» относится к обоим деталям передачи.

Зубчатые передачи представляют собой наиболее распространенный вид передач в современном машиностроении. Они очень надежны в работе, обеспечивают постоянство передаточного числа, компактны, имеют высокий КПД, просты в эксплуатации, долговечны и могут передавать любую мощность (до 36 тыс. кВт).

К недостаткам зубчатых передач следует отнести: необходимость высокой точности изготовления и монтажа, шум при работе со значительными скоростями, невозможность бесступенчатого изменения передаточного числа.

В связи с разнообразием условий эксплуатации формы элементов зубчатых зацеплений и конструкции передач весьма разнообразны.

Зубчатые передачи классифицируются по признакам, приведенным ниже.

1. По взаимному расположению осей колес: с параллельными осями (цилиндрическая передача — рис. 172, I—IV); с пересекающимися осями (коническая передача — рис. 172, V, VI); со скрещивающимися осями (винтовая передача — рис. 172, VII; червячная передача — рис. 172, VIII).

2. В зависимости от относительного вращения колес и расположения зубьев различают передачи с внешним и внутренним зацеплением. В первом случае (рис. 172, I—III) вращение колес происходит в противоположных направлениях, во втором (рис. 172, IV) — в одном направлении. Реечная передача (рис. 172, IX) служит для преобразования вращательного движения в поступательное.

3. По форме профиля различают зубья эвольвентные (рис. 172, I, II) и неэвольвентные, например цилиндрическая передача Новикова, зубья колес которой очерчены дугами окружности.

4. В зависимости от расположения теоретической линии зуба различают колеса с прямыми зубьями (рис. 173, I), косыми (рис. 173, II), шевронными (рис. 173, III) и винтовыми (рис. 173, IV).

В непрямозубых передачах возрастает плавность работы, уменьшается износ и шум. Благодаря этому непрямозубые передачи большей частью применяют в установках, требующих высоких окружных скоростей и передачи больших мощностей.

5. По конструктивному оформлению различают закрытые передачи, размещенные в специальном непроницаемом корпусе и обеспеченные постоянной смазкой из масляной ванны, и открытые, работающие без смазки или периодически смазываемые консистентными смазками (рис. 174).

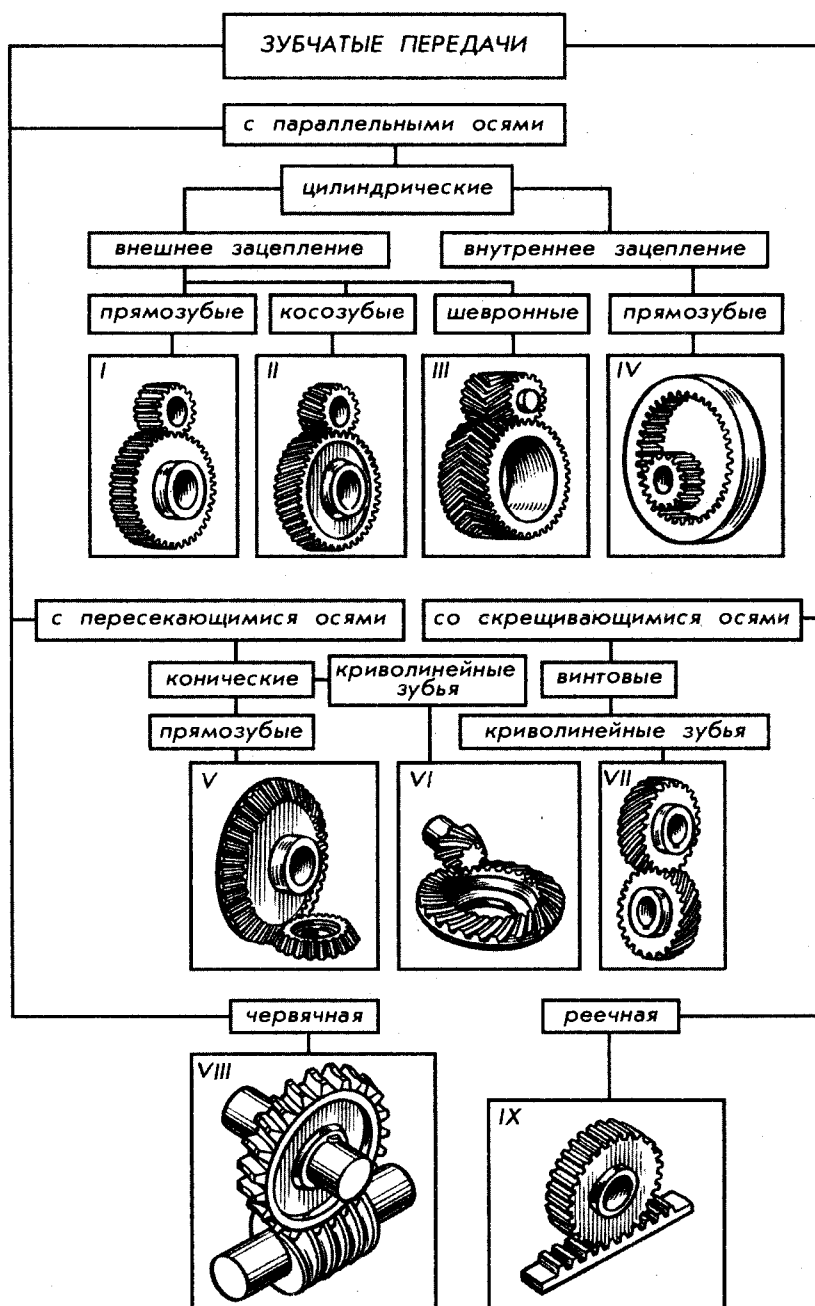


Рис. 172

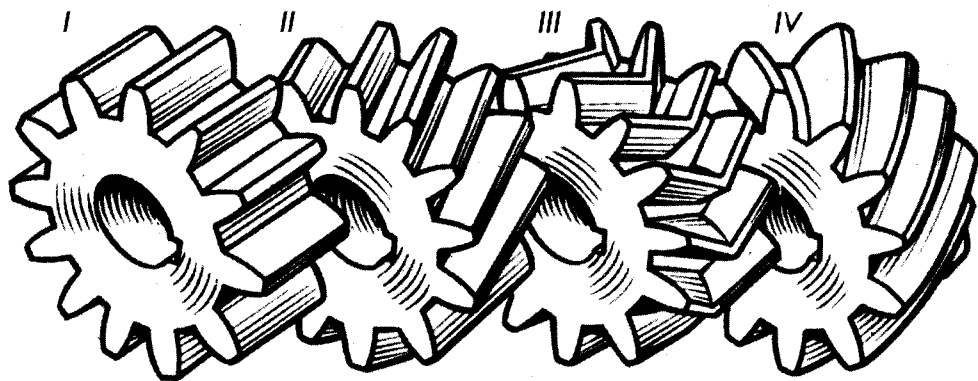


Рис. 173

6. По величине окружной скорости различают: тихоходные передачи ( $v$  равной до 3 м/с), среднескоростные ( $v$  равной от 3... 15 м/с) и быстроходные ( $v$  более 15 м/с).

#### 4.2. Основы теории зацепления.

Боковые грани зубьев, соприкасающиеся друг с другом во время вращения колес, имеют специальную криволинейную форму, называемую профилем зуба. Наиболее распространенным в машиностроении является эвольвентный профиль<sup>1</sup> (рис. 175).

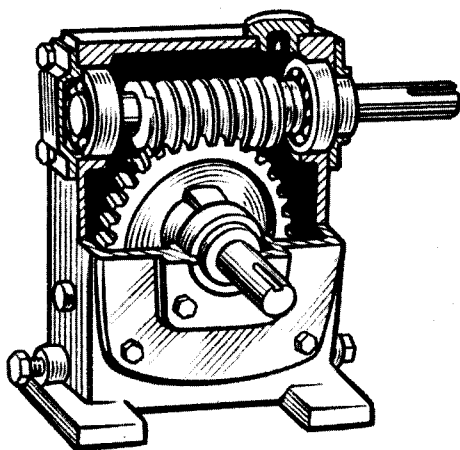


Рис. 174

Придание профилям зубьев зубчатых зацеплений таких очертаний не является случайностью. Чтобы зубья двух колес, находящихся в зацеплении, могли плавно перекатываться один по другому, необходимо было выбрать такой профиль для зубьев, при котором не происходило бы перекосов и защемления головки одного зуба во впадине другого.

На рис. 176 изображена пара зубчатых колес, находящихся в зацеплении. Линия, соединяющая центры колес  $O_1$  и  $O_2$  называется линией центров или межосевым расстоянием —  $a_w$ .

Точка  $P$  касания начальных окружностей  $d_{w1}$  и  $d_{w2}$  — полюс — всегда лежит на линии центров. Начальными называются окружности, касающиеся друг друга в полюсе зацепления, имеющие общие с зубчатыми колесами центры и перекатывающиеся одна по другой без скольжения.

<sup>1</sup> Профилирование боковой поверхности зубьев по эвольвенте было математически обосновано в 1754 г. знаменитым математиком Леонардом Эйлером.

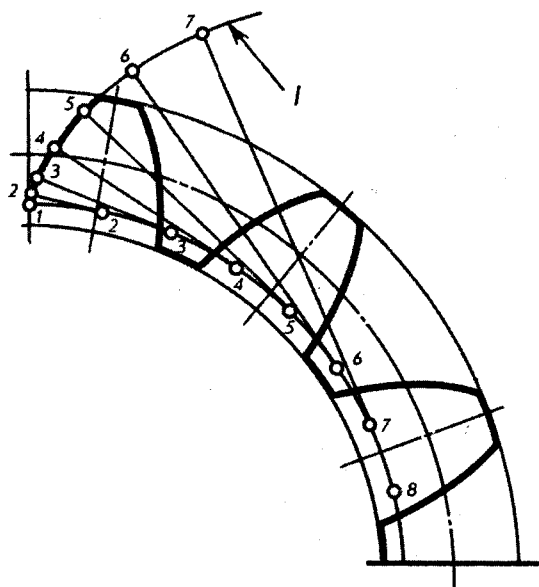


Рис. 175

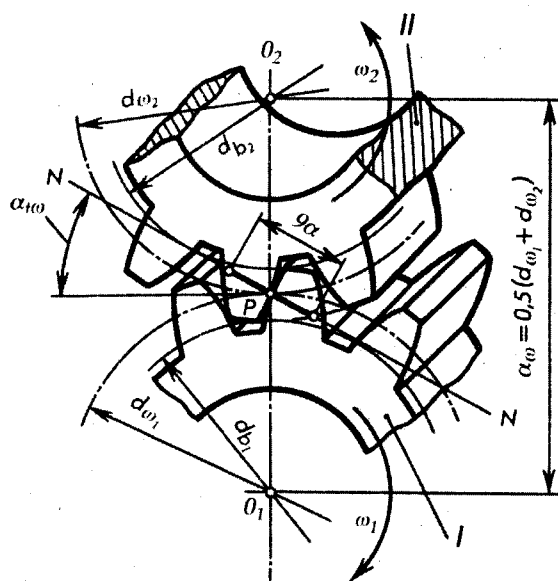


Рис. 176

Если проследить за движением пары зубьев двух колес с момента, когда они впервые коснутся друг друга до момента, когда они выйдут из зацепления, то окажется, что все точки касания их в процессе движения будут лежать на одной прямой  $NN$ . Прямая  $NN$ , проходящая через полюс зацепления  $P$  и касательная к основным<sup>1</sup> окружностям  $d_{b1}$ ,  $d_{b2}$  двух сопряженных колес, называется линией зацепления. Отрезок  $g_a$  линии зацепления, отсекаемый окружностями выступов сопряженных колес, — активная часть линии зацепления, определяющая начало и конец зацепления пары сопряженных зубьев.

Линия зацепления представляет собой линию давления сопряженных профилей зубьев в процессе эксплуатации зубчатой передачи.

Угол  $\alpha_w$  между линией зацепления и перпендикуляром к линии центров  $O_1O_2$  называется углом зацепления. В основу профилирования эвольвентных зубьев и инструмента для их нарезания положен стандартный по ГОСТ 13755-81 исходный контур так называемой рейки, равный  $20^\circ$ .

Во время работы цилиндрической прямозубой передачи сила давления  $P_n$  ведущей шестерни  $O_1$  в начале зацепления передается ножкой зуба на сопряженную боковую поверх-

<sup>1</sup> Основная окружность — окружность, развертка которой является теоретическим торцовым профилем зуба эвольвентного колеса.

ность (контактную линию) головки ведомого колеса  $O_2$ . Чем больше пара зубьев одновременно находится в зацеплении, тем более плавно работает передача, тем меньшую нагрузку воспринимает на себя каждый зуб.

Стремление сделать зубчатую передачу более компактной вызывает необходимость применять зубчатые колеса с возможно меньшим числом зубьев. Изменение количества зубьев зубчатого колеса влияет на их форму (рис. 177). При увеличении числа зубьев до бесконечности  $|z \rightarrow \infty|$  колесо превращается в рейку и зуб приобретает прямолинейное очертание. С уменьшением числа зубьев одновременно уменьшается толщина зуба у основания и вершины, а также увеличивается кривизна эвольвентного профиля, что приводит к уменьшению прочности зуба на изгиб. При уменьшении числа зубьев, когда  $z < z_{min}$ , происходит так называемое подрезание зубьев, то есть явление, когда зубья большого колеса при вращении заходят в область ножки меньшего колеса (см. заштрихованная площадь на рис. 177), тем самым ослабляя зуб в самом опасном сечении, увеличивая износ зубьев и снижая КПД передачи.

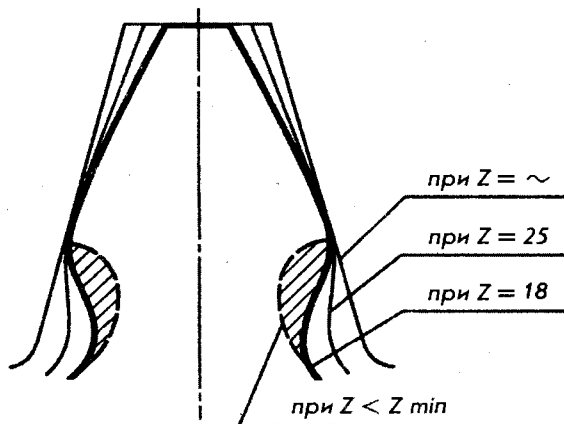


Рис. 177

На практике подрезку зубьев предотвращают прежде всего выбором соответствующего числа зубьев. Наименьшее число зубьев ( $z_{min}$ ), при котором еще не происходит подрезание, рекомендуется выбирать от 35 до 40 при  $\alpha_\omega$  равном  $15^\circ$  и от 18 до 25 при  $\alpha_\omega$  равном  $20^\circ$ .

В отдельных случаях приходится выполнять передачу с числом зубьев меньшим, чем рекомендуется, при этом производят исправление, или, как говорят, корригирование формы зубьев. Один из таких способов заключается в изменении высоты головки и ножки зуба до  $h_a = 0,8m$ ;  $h_f = m$ . Этот способ исключает подрезку, но увеличивает износ зубьев.

Теперь обратимся к изложению основной теоремы зацепления: **общая нормаль** (линия зацепления  $NN$ ) к сопряженным профилям зубьев делит межосевое расстояние ( $\alpha_\omega = O_1O_2$ ) на отрезки ( $O_1P$  и  $O_2P$ ), обратно пропорциональные угловым скоростям ( $\omega_1$  и  $\omega_2$ ). Если положение точки  $P$  (полюса зацепления) неизменно в любой момент зацепления, то передаточное отношение — отношение частоты вращения ведущего колеса к частоте вращения ведомого — будет постоянным.

$$O_2P / O_1P = \omega_1 / \omega_2 = i = \text{const.}$$



**4.3. Основные элементы зубчатых зацеплений.** При изменении осевого расстояния  $\alpha_{\omega} = O_1O_2$  пары зубчатых колес будет меняться и положение полюса зацепления  $P$  на линии центров, а следовательно, и величина диаметров начальных окружностей, то есть у пары сопряженных зубчатых колес может быть бесчисленное множество начальных окружностей. Следует отметить, что понятие *начальные окружности* относится лишь к паре сопряженных зубчатых колес. Для отдельно взятого зубчатого колеса нельзя говорить о начальной окружности.

Если заменить одно из колес зубчатой рейкой, то для каждого зубчатого колеса найдется только одна окружность, катящаяся по начальной прямой рейке без скольжения, — эта окружность называется *делительной*.

**Примечание.** В настоящей книге рассматриваются зубчатые передачи, у которых начальные и делительные окружности совпадают.

Так как у каждого зубчатого колеса имеется только одна делительная окружность, то она и положена в основу определения основных параметров зубчатой передачи по ГОСТ 16530-83 и ГОСТ 16531-83 (рис. 178)

Основные параметры зубчатых колес:

1. **Делительными окружностями** пары зубчатых колес называются соприкасающиеся окружности, катящиеся одна по другой без скольжения. Эти окружности, находясь в зацеплении (в передаче), являются сопряженными. На чертежах диаметр делительной окружности обозначают буквой  $d$ .

2. **Окружной шаг зубьев  $P_t$**  — расстояние (мм) между одноименными профилльными поверхностями соседних зубьев. Шаг зубьев, как нетрудно представить, равен делительной окружности, разделенной на число зубьев  $z$ .

3. **Длина делительной окружности. Модуль.** Длину делительной окружности можно выразить через диаметр и число зубьев:  $\pi d = P_t \cdot z$ . Отсюда диаметр делительной окружности  $d = (P_t \cdot z) / \pi$ .

Отношение  $P_t / \pi$  называется модулем зубчатого зацепления и

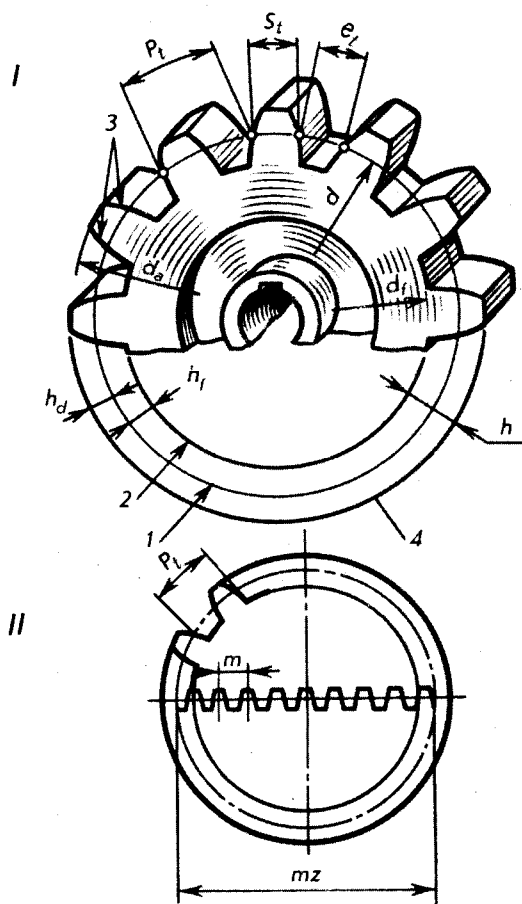


Рис. 178

обозначается буквой  $m$ . Тогда диаметр делительной окружности можно выразить через модуль и число зубьев  $d = m \cdot z$ . Отсюда  $m = d/z$ .

Значение модулей для всех передач — величина стандартизированная.

Для понимания зависимости между величинами  $P_t$ ,  $m$  и  $d$  приведена схема на рис. 178, II, где условно показано размещение всех зубьев  $z$  колеса по диаметру ее делительной окружности в виде зубчатой рейки.

4. **Высота делительной головки зуба  $h_a$**  — расстояние между делительной окружностью колеса и окружностью вершин зубьев.

5. **Высота делительной ножки зуба  $h_f$**  — расстояние между делительной окружностью колеса и окружностью впадин.

6. **Высота зуба  $h$**  — расстояние между окружностями вершин зубьев и впадин цилиндрического зубчатого колеса  $h = h_a + h_f$ .

7. **Диаметр окружности вершин зубьев  $d_a$**  — диаметр окружности, ограничивающей вершины головок зубьев.

8. **Диаметр окружности впадин зубьев  $d_f$**  — диаметр окружности, проходящей через основания впадин зубьев.

При конструировании механизма конструктор рассчитывает величину модуля  $m$  для зубчатой передачи и, округлив, подбирает модуль по таблице стандартизированных величин. Затем он определяет величины остальных геометрических элементов зубчатого колеса.

**4.4. Зубчатые передачи с зацеплением М.Л. Новикова.<sup>1</sup>** В этом зацеплении профиль зубьев выполняется не по эвольвенте, а по дуге окружности или по кривой, близкой к ней (рис. 179).

При зацеплении выпуклые зубья одного из колес контактируют с вогнутыми зубьями другого. Поэтому площадь соприкосновения одного зуба с другим в передаче Новикова значительно больше, чем в эвольвентных передачах. Касание сопряженных профилей теоретически происходит в точке, поэтому данный вид зацепления называют **т о ч е ч н ы м**.

При одинаковых с эвольвентным зацеплением параметрах точечная система зацепления с круговым профилем зуба обеспечивает увеличение контактной прочности, что в свою очередь позволяет повысить нагрузочную способность передачи в 2...3 раза по сравнению с эвольвентной. Взаимодействие зубьев в сравниваемых передачах также различно: в эвольвентном зацеплении преобладает скольжение, а в зацеплении Новикова — качение. Это создает

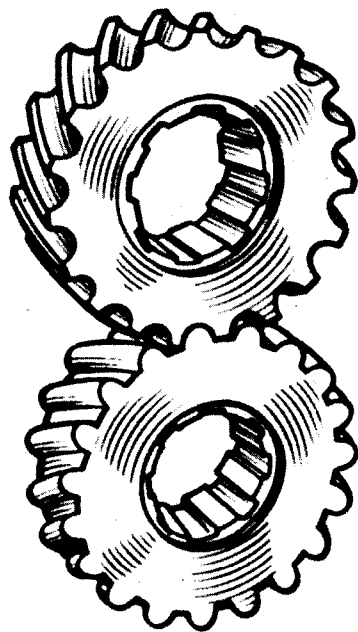


Рис. 179

<sup>1</sup> Этот вид зацепления был разработан в 1955 г. лауреатом Ленинской премии М.Л. Новиковым.

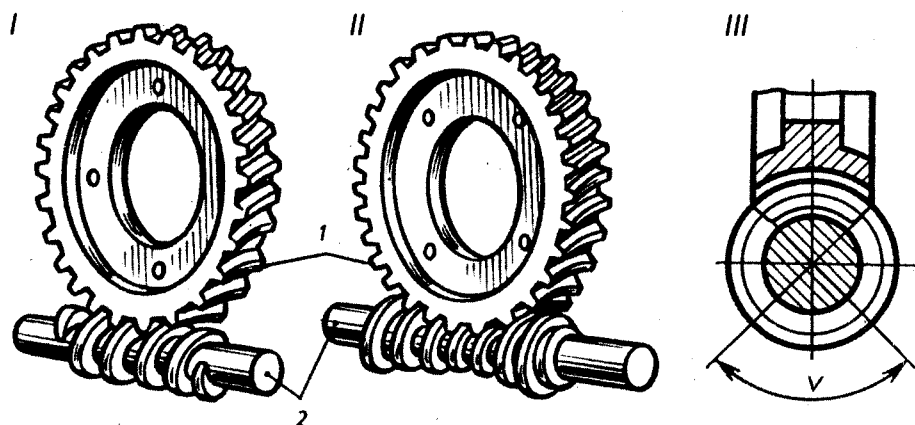


Рис. 180

благоприятные условия для увеличения масляного слоя между зубьями, уменьшения потерь на трение и увеличения сопротивления заеданию.

К достоинствам зацепления Новикова относятся возможность применения его во всех видах зубчатых передач: с параллельными, пересекающимися и скрещивающимися осями колес, с внешним и внутренним зацеплением, постоянным и переменным передаточным отношением. Потери на трение в этой системе зацепления примерно в 2 раза меньше потерь в эвольвентном зацеплении, что увеличивает КПД передачи.

К основным недостаткам передач с зацеплением Новикова относятся: технологическая трудоемкость изготовления колес, ширина колес должна быть не менее 6 модулей и др. В настоящее время передачи с зацеплением Новикова находят применение в редукторах больших размеров.

**4.5. Червячная передача.** Червячная (или зубчато-винтовая) передача (рис. 180) представляет собой кинематическую пару, состоящую из червяка и червячного колеса. Червячные передачи применяются для передачи вращения между валами, оси которых перекрещиваются под углом  $90^\circ$ .

Ведущим звеном обычно является червяк. Обратная передача встречается редко, так как она имеет очень низкий КПД.

**Ч е р в я к** — это винт с резьбой, нарезанной на цилиндре (архимедов, конволютный или эвольвентный червяк — рис. 180, I) или глобоиде (рис. 180, II). Архимедов червяк представляет собой цилиндрический винт с трапецидальным профилем резьбы. В торцовом сечении витки этого червяка очерчены архимедовой спиралью. Глобоидный червяк представляет собой винт, нарезанный на поверхности тора (глобоида). Передача с таким червяком называется глобоидной. Элементы червяка аналогичны элементам резьбы.

**Ч е р в я ч н ы е к о л е с а** бывают с прямыми и чаще с косыми зубьями и отличаются от цилиндрических зубчатых колес несколькими видоизменениями формой зуба. Зуб червячного колеса охватывает червяк по дуге, ограниченной углом  $2\gamma$ , который выбирают в пределах  $90 \dots 110^\circ$ . Элементы червячного колеса в основном аналогичны элементам цилиндрического зубчатого колеса.

Червячные передачи позволяют получать большие передаточные отношения (до 300, а иногда и более); обеспечивают плавность зацепления, компактны и бесшумны в работе. К недостаткам червячной передачи относятся сравнительно низкий КПД; сильный нагрев при продолжительной работе и, как следствие, быстрый износ элементов; высокая стоимость материала (бронзы) червячного колеса и др.

На рис. 181, где: 1 — рукоятка включения и выключения реечного механизма; 2 — зубчатое колесо, сидящее на валике-колесе; 3 — зубчатый валик-колесо, катящийся по рейке; 4 — зубчатое колесо, перемещающееся по шлицевому валу; 5 — червячное колесо; 6 — маточная гайка; 7 — зубчатая рейка; 8 — ходовой винт; 9 — ходовой валик; 10 — рукоятка маточной гайки; 11 — червяк; 12 — рукоятка механической подачи суппорта; 13 — маховик продольной подачи, приведен в качестве примера механизм фартука токарного станка.

**4.6. Материалы деталей зубчатых и червячных передач.** Материалы деталей зубчатых и червячных передач подбираются таким образом, чтобы обеспечить необходимую стойкость рабочих поверхностей зубьев против крошения и заедания.

Основными материалами для зубчатых колес служат термически обрабатываемые стали; реже применяют чугуны и пластические массы. Наибольшее распространение для средних нагрузок получили качественные углеродистые стали 35, 40, 50Г и легированные стали 40Х, 45ХН с термической

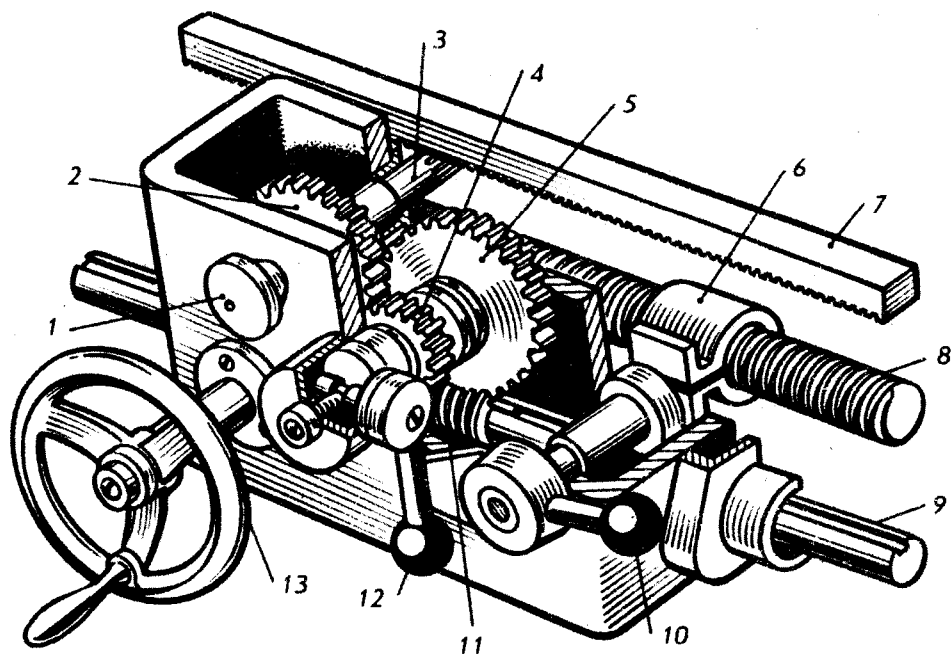


Рис. 181

обработкой. В ответственных передачах применяют стали 40ХНМА. Зубчатые колеса из чугуна (СЧ 20 ... СЧ 35) используют в тихоходных и малонагруженных передачах.

Червячные колеса преимущественно изготавливают из бронзы — БрАЖ-9-4 или БрОФ-10-1. Для малоответственных тихоходных передач применяют чугун. Червяки изготавливают из углеродистых и легированных сталей. Червяк подвергают термообработке (цементации, закалке и др.) с последующей шлифовкой или полировкой.

## 5. РЕМЕННЫЕ ПЕРЕДАЧИ

**5.1. Общие сведения.** Передача механической энергии, осуществляемая гибкой связью за счет трения между ремнем и шкивом, называется **ременной**. Ременная передача состоит из ведущего и ведомого шкивов, расположенных на некотором расстоянии друг от друга и огибаемых приводным ремнем (рис. 182). Чем больше напряжение, угол обхвата шкива ремнем и коэффициент трения, тем больше передаваемая нагрузка. В зависимости от формы поперечного сечения ремня передачи бывают: плоскоременные (рис. 183, I), клиноременные (рис. 183, II) и круглоременные (рис. 183, III). Наибольшее распространение в машиностроении получили плоские и клиновидные ремни. Плоские ремни испытывают минимальное напряжение изгиба на шкивах, клиновидные благодаря

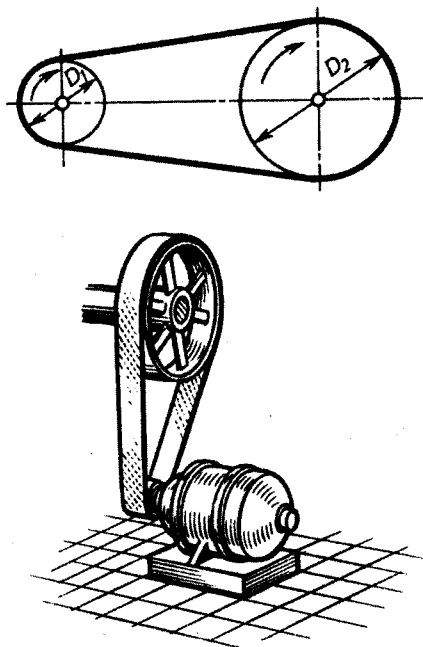


Рис. 182

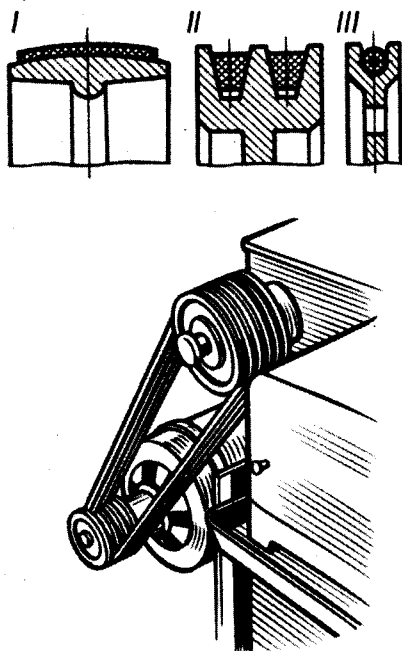


Рис. 183

клиновому воздействию со шкивами характеризуются повышенной тяговой способностью. Круглые ремни применяют в небольших машинах, например в машинах швейной и пищевой промышленности, настольных станках и приборах.

К достоинствам ременных передач относятся: возможность передачи вращательного движения на большие расстояния (до 15 м); простота конструкции и малая стоимость; плавность хода и безударность работы; легкость ухода и обслуживания.

Однако ременные передачи громоздки, недолговечны в быстроходных механизмах, не позволяют получать постоянного передаточного отношения из-за проскальзывания ремня, создают повышенные нагрузки на валы и опоры (подшипники), так как суммарное натяжение ветвей ремня значительно больше окружной силы передачи. Кроме того, во время эксплуатации ременной передачи не исключена возможность соскакивания и обрыва ремня, поэтому эти передачи нуждаются в постоянном надзоре.

**5.2. Типы плоскоремennых передач.** В зависимости от расположения осей шкивов и назначения различаются следующие типы плоскоремennых передач:

открытая передача — при параллельных осях и вращении шкивов в одном направлении (рис. 184, I);

перекрестная передача — при параллельных осях и вращении шкивов в противоположных направлениях (рис. 184, II);

полуперекрестная передача — при перекрещивающихся осях (рис. 184, III);

угловая передача — при пересекающихся осях (рис. 184, IV);

передача со ступенчатыми шкивами (рис. 184, V), позволяющая изменять угловую скорость ведомого вала при постоянной скорости ведущего. Ступени шкивов располагаются так, чтобы меньшая ступень одного шкива находилась против большей ступени другого и т. д. Для изменения скорости ведомого шкива ремень перекидывают с одной пары ступеней на другую;

передача с холостым шкивом (рис. 184, VI), позволяющая остановить ведомый вал при вращении ведущего. На ведущем валу насажен широкий шкив 1, а на ведомом два шкива: рабочий 2, который соединен с валом при помощи шпонки, и холостой 3, свободно вращающийся на валу. Ремень, связывающий шкивы, можно на ходу перемещать, соединяя шкив 1 со шкивами 2 или 3, соответственно включая или выключая ведомый вал;

передача с натяжным роликом, обеспечивающая автоматическое натяжение ремня и увеличение угла обхвата ремнем меньшего шкива (рис. 184, VII).

Плоскоремennая передача проста по своей конструкции, применяется при больших межосевых расстояниях (до 15 м) и высоких скоростях (до 100 м/с) при пониженной долговечности.

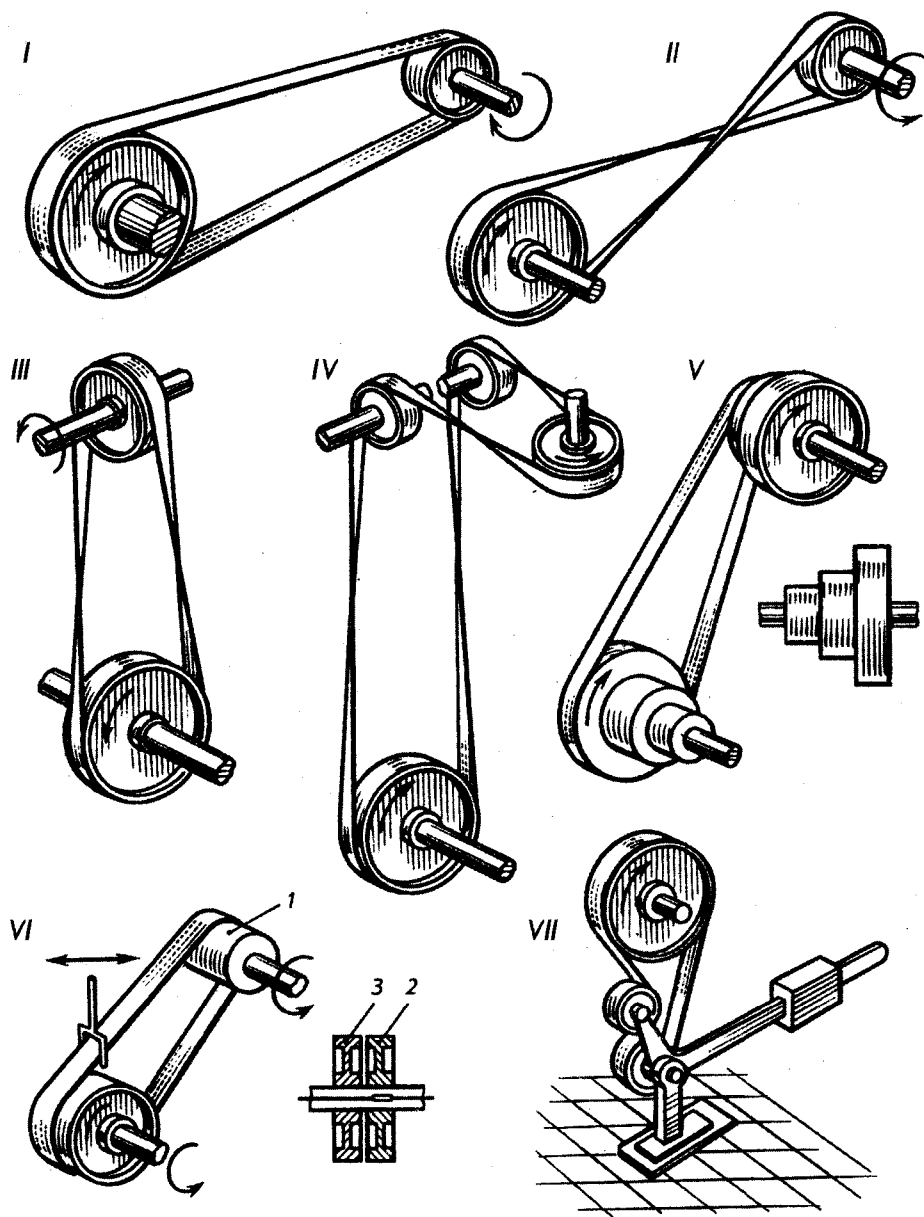


Рис. 184

**5.3. Клиноременная передача.** В клиноременной передаче гибкая связь осуществляется приводным ремнем трапецевидного сечения с углом профиля  $\varphi$  равном  $40^\circ$  (в недеформированном состоянии). По сравнению с плоским ремнем клиновидный ремень передает большие тяговые усилия, но передача с таким ремнем имеет пониженный КПД.

Клиноременные передачи целесообразно использовать при больших передаточных отношениях, малых межосевых расстояниях и вертикальном

расположении осей валов. Скорость ремней клиноременной передачи не должна превышать 30 м/с. В противном случае клиновидные ремни будут вибрировать.

Клиновидные ремни для приводов общего назначения стандартизированы ГОСТ 1284.1-89.

При монтаже клиноременной передачи особое внимание обращают на правильность III установки клиновидного ремня в канавке обода шкива (рис. 185).

**5.4. Детали ременных передач. Приводные ремни.** Любой приводной ремень служит тяговым органом. Он должен обладать определенной тяговой способностью (передавать заданную нагрузку без пробуксовывания), иметь достаточную прочность, долговечность, износостойкость, хорошее сцепление со шкивом и невысокую стоимость.

Плоские ремни изготавливают разной ширины, конструкции и из различных материалов: хлопчатобумажных, прорезиненных, шерстяных тканей и кожи. Выбор материала для ремней обусловлен условиями работы (атмосферные влияния, вредные пары, температурные изменения, ударные нагрузки и т. п.) и тяговой способностью. Приводные ремни (прорезиненные) стандартизированы.

Клиновидные ремни бывают двух типов: кордтканевые и кордшнуровые. В кордтканевых ремнях (рис. 186, I) корд выполнен в виде

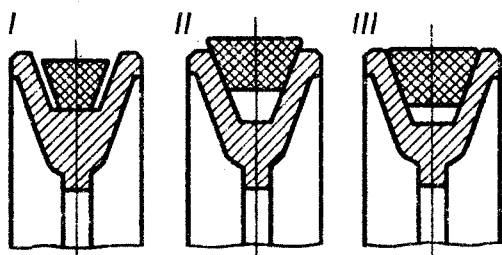


Рис. 185

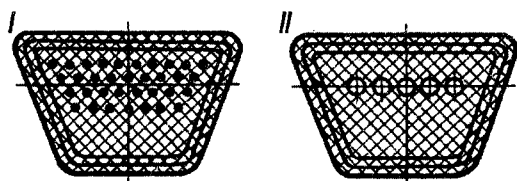


Рис. 186

нескольких слоев кордткани с основой в виде крученых шнуров толщиной 0,8—0,9 мм. В кордшнуровых ремнях (рис. 186, II) корд состоит из одного слоя кордшнура, намотанного по винтовой линии и заключенного в тонкий слой резины для уменьшения трения. Эти ремни используются в быстроходных передачах и являются гибкими, надежными и долговечными.

**Примечание.** *Корд* — прочная крученая нить из хлопчатобумажного или искусственного волокна.

В последние годы в отечественном машиностроении все больше стали применять зубчатые (полиамидные) ремни. Эти ремни сочетают в своей конструкции все преимущества плоских ремней и зубчатых зацеплений (рис. 187). На рабочей поверхности ремней 4 имеются выступы, которые входят в зацепление в выступами на шкивах 1, 2 и 3. Полиамидные ремни пригодны для высокоскоростных передач, а также для передач с небольшим межосевым расстоянием. Они допускают значительные перегрузки, очень надежны и прочны.



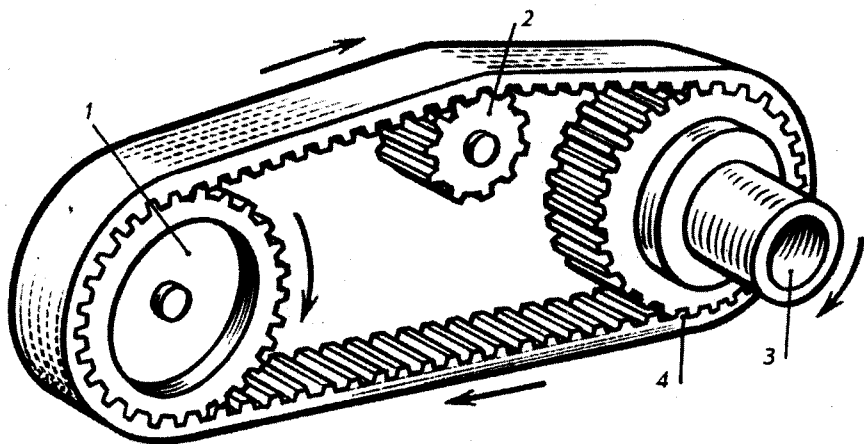


Рис. 187

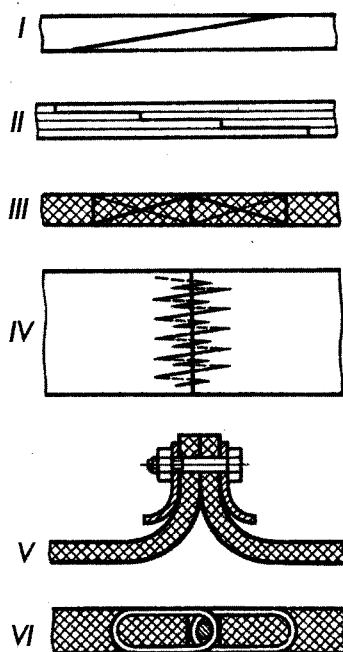


Рис. 188

Концы ремней соединяют склейкой, сшивкой и металлическими соединителями. С к л е й к у однородных ремней (кожаных) осуществляют по косому срезу на длине, равной 20...25-кратной толщине ремня (рис. 188, I), а слойных ремней — по ступенчатой поверхности с числом ступеней не менее трех (рис. 188, II). Места соединения прорезиненных ремней после склеивания вулканизируют.

С ш и в к у применяют для ремней всех типов. Она производится посредством жильных струн или ушивальниками-ремешками из сыромятной кожи (рис. 188, III). Более совершенной и надежной считают сшивку встык жильными струнами с наклонными проколами (рис. 188, IV).

М е х а н и ч е с к и е с о е д и н и т е л и применяют для всех ремней, кроме быстроходных. Они позволяют осуществить быстрое соединение, но увеличивают его массу (рис. 188, V). Особенно хорошую работу обеспечи-

вают шарнирные соединения проволочными спиралями (рис. 188, VI). Спирали продевают через ряд отверстий, и после прессования они обжимают ремень. Шарнир создается в результате совмещения спиралей и продевания через них оси.

Ш к и в ы. Для плоских ремней наиболее приемлемой формой поверхности шкива является гладкая цилиндрическая поверхность (рис. 189, I).

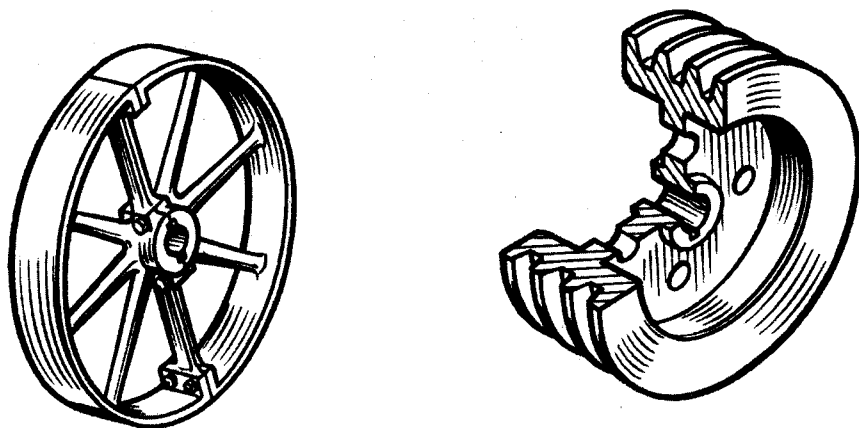


Рис. 189

Для центрирования ремня поверхность ведомого шкива делают выпуклой, а ведущего — цилиндрической (при  $v \leq 25$  м/с оба шкива делают выпуклыми).

Для клиновидных ремней рабочей поверхностью служат боковые стороны клиновидных канавок (рис. 189, II) в ободе шкивов. Число и размеры этих канавок определяются профилем ремня и числом ремней.

Шкивы выполняют литыми из чугуна, алюминиевых сплавов, пластических масс и сварными из стали. Чугунные шкивы бывают цельными и разъемными, состоящими из двух половин, которые у обода и втулки скрепляются болтами. Разъемные шкивы можно легко снимать с вала, не поднимая вал с подшипников.

## 6. ЦЕПНЫЕ ПЕРЕДАЧИ

**6.1. Общие сведения.** Передача энергии между двумя или несколькими параллельными валами, осуществляемая зацеплением с помощью гибкой бесконечной цепи и звездочек, называется **цепной**.

Цепная передача состоит из цепи и двух звездочек — ведущей 1 (рис. 190) и ведомой 2, работает без проскальзывания и снабжается натяжными и смазочными устройствами.

Цепные передачи дают возможность передавать движение между валами в значительном, по сравнению с зубчатыми передачами, диапазоне межосевых расстояний; имеют достаточно высокий КПД равный 0,96...0,97; оказывают меньшую, чем в ременной передаче, нагрузку на вал; одной цепью передают вращение нескольким звездочкам (валам).

К недостаткам цепных передач относятся: некоторая неравномерность хода, шум при работе, необходимость тщательного монтажа и ухода; необходимость регулировки натяжения цепи и своевременной смазки; быстрый

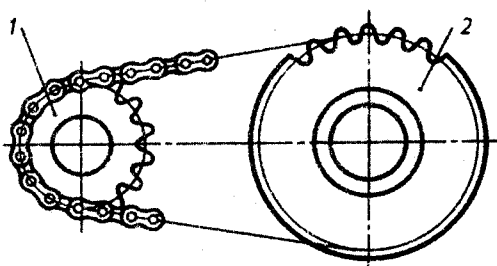


Рис. 190

износ шарниров цепи; высокая стоимость; вытягивание цепи в период эксплуатации и т. д.

Наибольшее распространение цепные передачи получили в различных станках, велосипедах и мотоциклах, в подъемно-транспортных машинах, лебедках, в буровом оборудовании, в ходовых механизмах экскаваторов и кранов и особенно в сельскохозяйственных машинах. Так, например, в самоходном зерновом комбайне С-4 имеется 18 цепных передач, приводящих в движение целый ряд его рабочих органов. Цепные передачи часто встречаются и на предприятиях текстильной и хлопчатобумажной промышленности.

**6.2. Детали цепных передач. Звездочки.** Работа цепной передачи во многом зависит от качества звездочек: точности их изготовления, качества поверхности зубьев, материала и термообработки.

Конструктивные размеры и форма звездочек зависят от параметров выбранной цепи и передаточного отношения, определяющего число зубьев меньшей ведущей звездочки. Параметры и качественные характеристики звездочек установлены ГОСТ 13576-81. Звездочки роликовых и втулочных цепей (рис. 191, I) профилируют по ГОСТ 591-69.

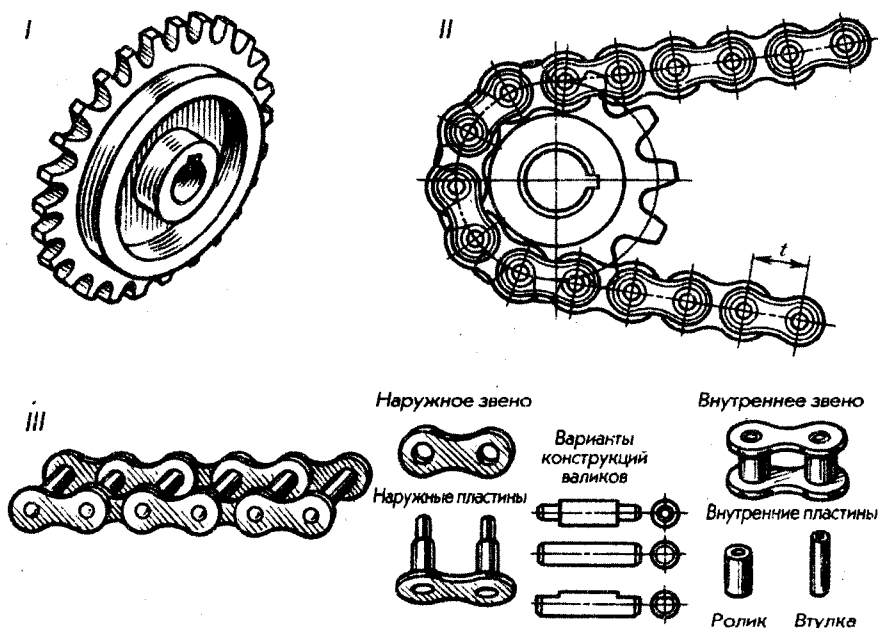


Рис. 191

Рабочий профиль зуба звездочки для роликовых и втулочных цепей очерчен дугой, соответствующей окружности. Для зубчатых цепей рабочие профили зубьев звездочек прямолинейны. В поперечном сечении профиль звездочки зависит от числа рядов цепи.

Материал звездочек должен быть износостойким, способным сопротивляться ударным нагрузкам. Звездочки изготавливают из сталей 40, 45, 40Х и других с закалкой до твердости  $HRC\ 40\ldots 50$  или цементируемой стали 15, 20, 20Х и других с закалкой до твердости  $HRC\ 50\ldots 60$ . Для звездочек тихоходных передач применяют серый или модифицированный чугун СЧ 15, СЧ 20 и др.

В настоящее время применяют звездочки с зубчатым венцом, изготовленным из пластмасс. Эти звездочки характеризуются пониженным износом цепи и малым шумом при работе передачи.

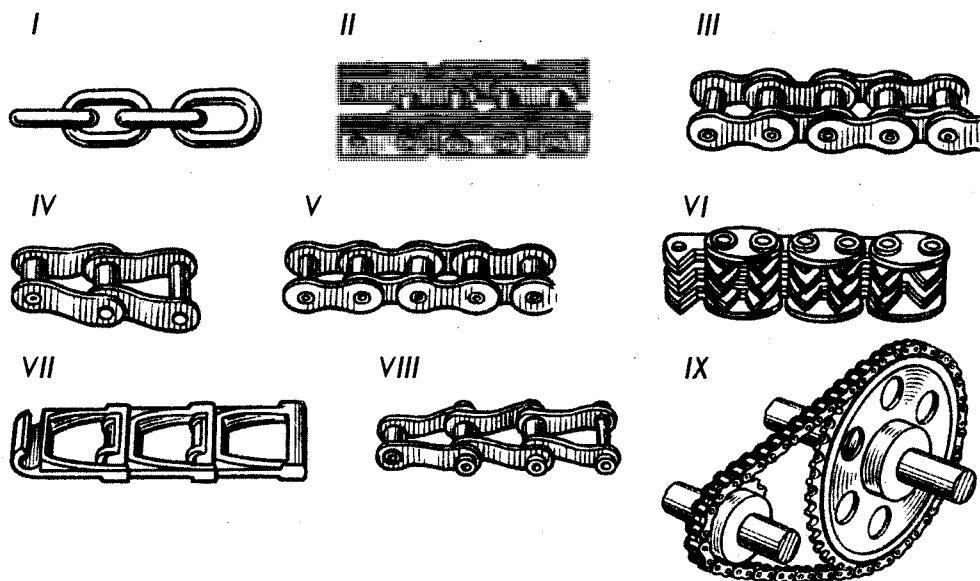


Рис. 192

**Ц е п и.** Цепи изготавливают на специальных заводах, а их конструкция, размеры, материалы и другие показатели регламентированы стандартами. По своему назначению цепи разделяют на следующие типы:

**г р у з о в ы е** цепи, (рис. 192, I) служащие для подвески, подъема и опускания грузов. Применяются главным образом в грузоподъемных машинах;

**т я г о в ы е** цепи (рис. 192, II), служащие для перемещения грузов в транспортирующих машинах;

**п р и в о д н ы е** цепи, служащие для передачи механической энергии от одного вала к другому.

Рассмотрим несколько подробнее приводные цепи, применяемые в цепных передачах. Различают следующие виды приводных цепей: роликовые, втулочные, зубчатые и крючковые.

Роликовые цепи (рис. 192, III) состоят из чередующихся наружных и внутренних звеньев, которые имеют относительную подвижность. Звенья выполнены из двух пластин, напрессованных на оси (наружные звенья) или на втулки (внутренние звенья). Втулки надеты на оси сопряженных звеньев и образуют шарниры. Чтобы уменьшить износ звездочек при набегании на них цепей, на втулки надевают ролики, которые заменяют трение скольжения трением качения (рис. 191, II и III).

Оси (валики) цепей расклепывают и звенья становятся неразъемными. Соединение концов цепи производят: при четном числе звеньев — соединительным звеном, а при нечетном — переходным.

При больших нагрузках и скоростях с целью уменьшения шага и диаметра звездочек применяют многорядные роликовые цепи.

Роликовые цепи с изогнутыми пластинами (рис. 192, IV) состоят из одинаковых звеньев, подобных переходному звену. Эти цепи применяются тогда, когда передача работает с ударной нагрузкой (реверсирование, толчки). Деформирование пластин способствует гашению ударов, которые возникают при входе цепи в зацепление со звездочкой.

Втулочные цепи (рис. 192, V) по своей конструкции не отличаются от предыдущих, но не имеют роликов, что приводит к усилению износа зубьев. Отсутствие роликов удешевляет цепь и уменьшает ее массу.

Втулочные цепи, так же как и роликовые, могут быть однорядными и многорядными.

Зубчатые (бесшумные) цепи (рис. 192, VI) состоят из набора пластин с зубьями, шарнирно соединенных в определенной последовательности. Эти цепи обеспечивают плавность и бесшумность работы. Их применяют при значительных скоростях. Зубчатые цепи сложнее и дороже роликовых и требуют особого ухода. Рабочими гранями пластин, воспринимающих давление от зубьев звездочки, служат плоскости зубьев, расположенные под углом  $60^\circ$ . Чтобы обеспечить достаточную износостойкость, рабочие поверхности пластин закаливают до твердости  $H_{RC} 40...45$ .

Для того чтобы исключить соскальзывание зубчатых цепей со звездочек при работе, их снабжают направляющими пластинами (боковыми или внутренними).

Крючковые цепи (рис. 192, VII) состоят из одинаковых звеньев специальной формы и не имеют никаких дополнительных деталей. Соединение и разъединение звеньев осуществляются при взаимном наклоне на угол приблизительно  $60^\circ$ .

Втулочно-штыревые цепи (рис. 192, VIII) собирают из звеньев с помощью штырей, изготовляемых из стали Ст3. Штифты расклепывают, а в соединительных звеньях их фиксируют шплинтами. Эти цепи находят большое применение в сельскохозяйственном машиностроении.

Для обеспечения хорошей работоспособности цепи материалы ее элементов должны быть износостойкими и прочными. Для пластин используют сталь 50 и 40X и закалкой до твердости *HRC*35...45, для осей, валиков и втулок — сталь 20Г, 20X и др. при твердости *HRC*54...62; для роликов — сталь 60Г при твердости *HRC*48...55.

В связи с износом шарниров цепь постепенно вытягивается. Регулирование натяжения цепи обеспечивается перемещением оси одной из звездочек, применением регулирующих звездочек или роликов. Обычно натяжные устройства позволяют компенсировать удлинение цепи в пределах двух звеньев, при большей вытяжке цепи для звена ее удаляют.

Долговечность цепи во многом зависит от правильного применения смазки. При скорости цепи ( $v$ ) равной или менее 4 м/с применяют периодическую смазку, которая осуществляется ручной масленкой через каждые 6...8 ч. При  $v \leq 10$  м/с применяют смазку масленками-капельницами. Более совершенна смазка окунанием цепи в масляную ванну. При этом погружение цепи в масло не должно превышать ширины пластины. В мощных быстроходных передачах применяют циркуляционную струйную смазку от насоса.

## ДЕТАЛИ И СБОРОЧНЫЕ ЕДИНИЦЫ ПЕРЕДАЧ

### 1. ВАЛЫ И ОСИ

**1.1. Общие сведения.** Для поддержания вращающихся частей — шкивов, блоков, зубчатых колес, звездочек и т. п. — служат валы и оси. По конструкции валы и оси мало отличаются между собой, но условия выполняемой ими работы существенно различны.

О с и (рис. 193, I — ременных, зубчатых и других передач; II — подъемно-транспортных машин; III транспортных машин) не передают крутящего момента и работают только на изгиб. По условиям работы они могут быть неподвижными или вращающимися вместе с насаженными на них деталями (вагонные колеса, блоки и др.).

В а л ы всегда вращаются в подшипниках и всегда передают крутящий момент от двигателя к рабочим исполнительным органам.

Валы классифицируются по трем основным признакам.

#### 1. По назначению:

в а л ы п е р е д а ч (I — гладкие; II ступенчатые; III — шлицевые; IV — валы—шестерни; V — валы—полумуфты; VI — карданно-телескопические; VII — гибкие; VIII — кулачковые), несущие зубчатые колеса, звездочки, шкивы, муфты или сборочные единицы передач (рис. 194);

к о р е н н ы е в а л ы (рис. 195, I — валы турбин; II — валы электрических двигателей; III — шпиндели станков; IV — коленчатые валы; V — эксцентриковые валы), которые, кроме деталей передач, несут на себе рабочие органы (колеса турбин, кривошипные и т. д.).

#### 2. По форме геометрической оси:

п р я м ы е, наиболее широко распространенные в различных отраслях машиностроения (рис. 194, I; 195, I);

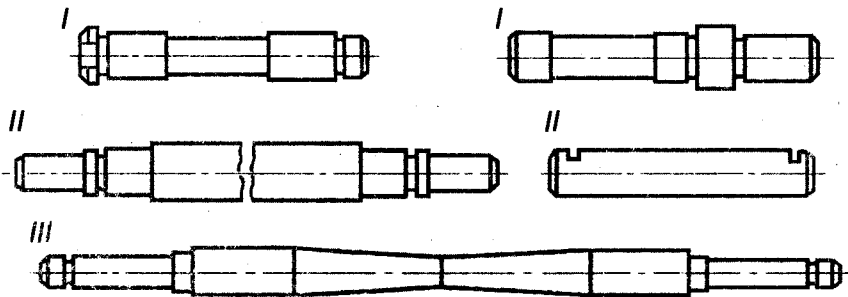


Рис. 193

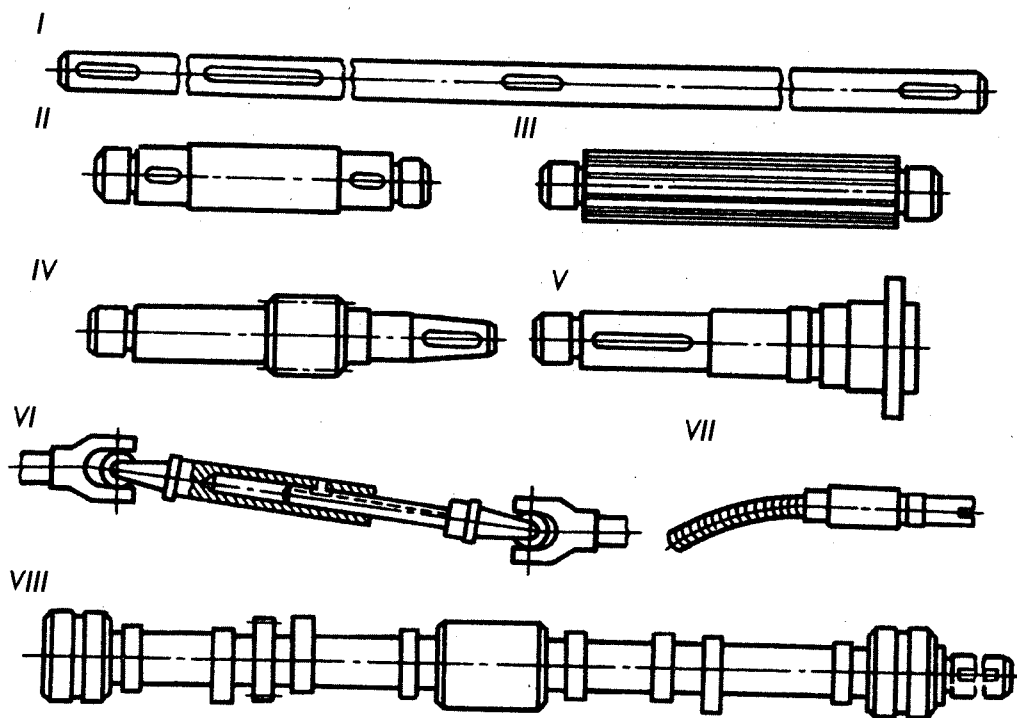


Рис. 194

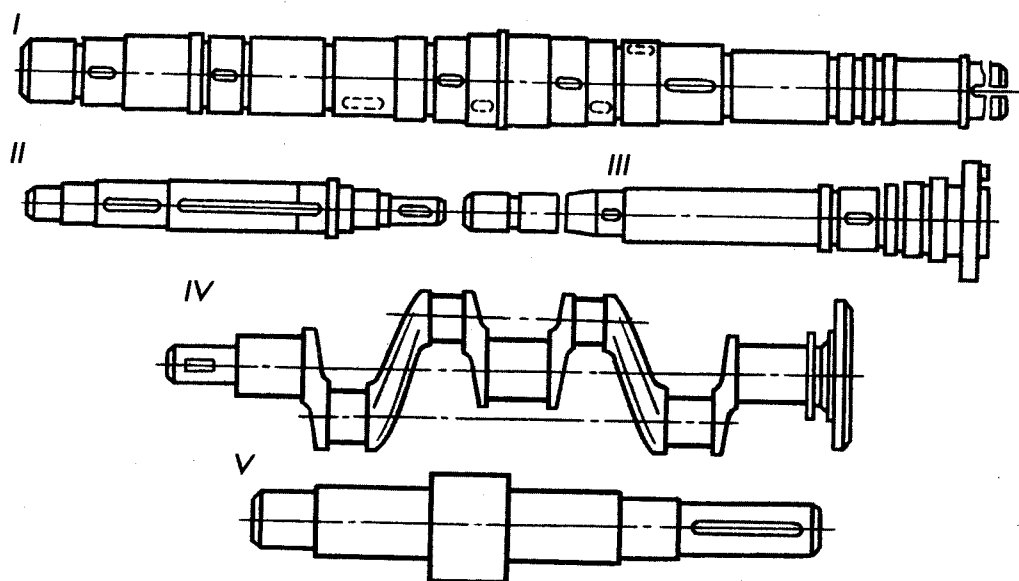


Рис. 195



эксцентриковые (рис. 195, V) и коленчатые (рис. 195, IV) используемые не только для передачи вращения но и для преобразования возвратно-поступательного движения во вращательное, как например в поршневых двигателях, или наоборот;

гибкие (рис. 194, VII) с изменяемой формой геометрической оси. Такие валы применяют в приводах механизированного инструмента (например, гибкий вал зубоорубной бормашины) и в приборах и механизмах с шарнирными сочленениями соединяемых деталей типа карданных передач автомобилей.

### 3. По форме и конструктивным признакам:

гладкие — постоянного поперечного сечения. К ним относятся трансмиссионные валы, оси подъемно-транспортных машин и др;

ступенчато-переменного поперечного сечения — валы большинства машин. К этому же типу относятся валы червяка, фрикционные валы, валы-шестерни;

полые — применяют в различных случаях, когда предусматривается необходимость уменьшить массу, пропустить сквозь вал другую деталь и т. п.

Для изготовления валов и осей применяют прочные и хорошо обрабатываемые материалы: углеродистую сталь 25, 30, 40, 45 по ГОСТ 1050-88 и Ст.3, Ст.4, Ст.6 по ГОСТ 380-88. Тяжело нагруженные валы изготовляют из легированных сталей марок 40ХН, 40ХНМА, 25ХГТ и др. Для быстроходных валов, работающих в подшипниках скольжения, применяют стали марок 20Х, 12ХНЗА, 18ХГТ и др. Коленчатые валы изготовляют из стали коваными или штампованными, а также из высокопрочного и модифицированного чугуна.

**1.2. Конструктивные элементы валов и осей.** Часть оси или вала, опирающаяся на подшипник, имеет общее наименование — цапфа.

Цапфы подразделяют на шипы, шейки и пяты. Цапфы, которые воспринимают опорные реакции на концах вала, называют шипами 1, 4 (рис. 196), расположенные в средней части — шейками 3. Цапфы, опорные реакции которых совпадают с осью вращения, называют пятами 7.

Участки валов или осей, на которых закреплены вращающиеся детали (зубчатые колеса, шкивы, звездочки и т. д.), называют головками или подступичными частями 5, 6. Насаженные на вал (ось) детали удерживают

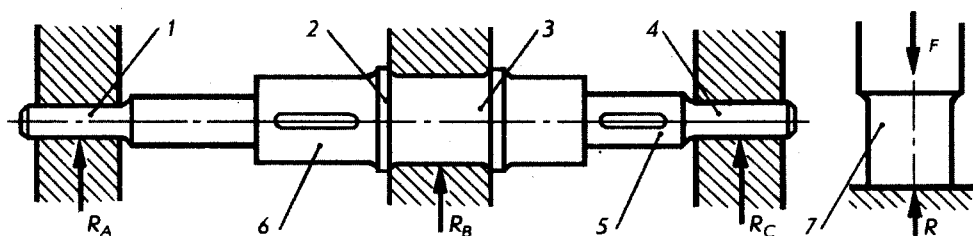


Рис. 196

живают от сдвига в осевом направлении с помощью буртиков 2 или заплечиков (или специальными дополнительными средствами, такими, как установочные кольца и др.). С деталями передач, насаженными на вал (ось), соединение осуществляется с помощью шпонок, шлицев, штифтов и т. п.

Шипы выполняют с одним или двумя заплечиками, ограничивающими перемещение вала в осевом направлении.

При конструировании валов и осей диаметры посадочных поверхностей под ступицы зубчатых колес, звездочек, шкивов и т. д. выбирают в соответствии с ГОСТ 6636-69, а диаметр подшипников качения — в соответствии со стандартными диаметрами внутренних колец подшипников.

Основным критерием работоспособности валов в большинстве случаев служит их усталостная прочность, которая в свою очередь зависит от неизбежной на валах концентрации напряжений. Концентраторами напряжений являются шпоночные канавки, поперечные отверстия, места перепадов диаметров вала и т. д. Поэтому особенно важно учитывать специальные конструктивные и технологические мероприятия, повышающие выносливость валов<sup>1</sup>.

Валы и оси обрабатываются на токарных станках. Цапфы и посадочные поверхности подвергаются шлифованию. Параметры шероховатости посадочных поверхностей колеблются в пределах от 0,63 до 0,080  $R_a$ .

Опорами для вращающихся валов и осей служат подшипники.

По принципу работы различают подшипники скольжения, в которых шейка вала скользит непосредственно по опорной поверхности, и подшипники качения, в которых между поверхностью вращающейся детали и поверхностью опоры расположены шарики или ролики. Опорами пят служат подпятники — упорные подшипники скольжения или качения.

## 2. ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ

Подшипники<sup>2</sup> скольжения применяют в металлорежущих станках для высокоскоростных шпинделей, в газовых турбинах, центрифугах, в особо тяжелых машинах (прокатные станы, камнедробилки) и т. п.

По направлению воспринимаемых нагрузок подшипники скольжения бывают: радиальные, которые воспринимают радиальные нагрузки, перпендикулярные к оси вала, упорные, предназначенные для осевых нагрузок, и радиально-упорные, воспринимающие радиальные и осевые нагрузки.

<sup>1</sup> Более подробно см. гл. III.

<sup>2</sup> Термин «подшипник» не является точным определением, так как в общее понятие «подшипник» включается не только рабочий элемент, но и корпус. Однако этот термин бытует в инженерной практике и в стандартах.

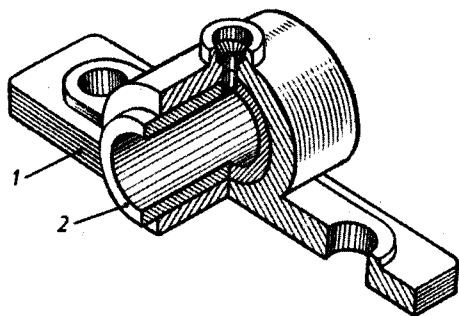


Рис. 197

Подшипники скольжения состоят из корпуса, вкладышей и смазывающих устройств. Корпуса подшипников делятся на неразъемные и разъемные.

Неразъемные подшипники (рис. 197) проще в изготовлении, чем разъемные, и их применяют для валов или осей небольшого диаметра, вращающихся с относительно малой угловой скоростью или с большой скоростью, но при сравнительно малых давлениях на подшипник.

Корпус и вкладыши неразъемного подшипника — цельные. Вкладыш 2 такого подшипника изготавливают в виде втулки, которую запрессовывают в корпус подшипника 1. В верхней части корпуса и вкладыша имеется отверстие для периодической смазки.

Материал подшипника обычно подбирают менее изнosoустойчивым, чем материал цапф. Это обстоятельство продиктовано тем, что сменить или отремонтировать подшипник легче и дешевле, чем заменить вал или ось. Когда подшипник изнашивается и между цапфой и подшипником появляется зазор, в корпус подшипника запрессовывают втулку по размерам цапф.

Корпус подшипника представляет собой отдельную литую или сварную чугунную деталь, которая присоединяется к машине.

Недостаток неразъемных подшипников заключается в том, что невозможно регулировать зазор между цилиндрическими цапфой и вкладышем.

На рис. 198 приведена конструкция разъемного подшипника скольжения со сменными вкладышами 2 и 3. Верхний вкладыш 3 фиксируется от проворота цилиндрическим трубчатым выступом. От осевого смещения вкладыши удерживаются буртами. Смазка к трущимся поверхностям вала и вкладышей подается из масленки (на рисунке не показана), ввинчиваемой в отверстие с резьбой в бобышке крышки 4.

По линии разреза вкладыши имеют канавки для удержания смазки. Крышка 4 крепится к корпусу 5 двумя шпильками, корпус закреплен на кронштейне 1 четырьмя болтами.

Разъемные подшипники допускают регулировку зазоров посредством сближения крышки и корпуса и тем самым облегчают монтаж валов.

Подобные подшипники на консолях устанавливаются в тех случаях, когда вал проходит близко к стене производственного здания.

Опоры скольжения для осевых нагрузок — подпятники — бывают различных конструкций. Простейшая из них приведена на рис. 199. В корпусе 2 подпятника установлена втулка 1 из антифрикционного материала. Пята (цапфа) вала вставляется во втулку и опирается в основном на плоский выступ нижней части корпуса.

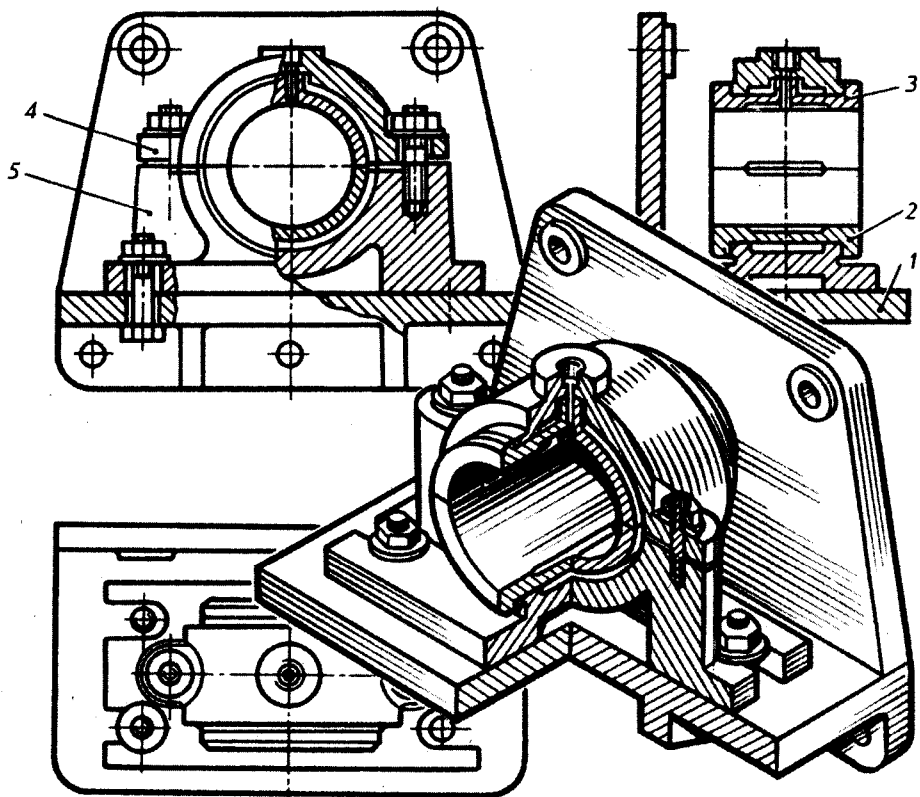


Рис. 198

**2.1. Вкладыши подшипников скольжения.** Для того чтобы не выполнять корпуса подшипников из дорогих антифрикционных материалов, а также и для возможности ремонта подшипника после их износа применяют вкладыши (рис. 200).

Вкладыши подшипников изготавливают из стали, антифрикционного чугуна, бронзы, пластмасс, текстолита и других материалов. Чтобы уменьшить трение, рабочую поверхность чугунного, стального или бронзового вкладыша обычно заливают тонким слоем антифрикционного сплава баббита B83 или B89 и растачивают по размеру цапф.

Чугунные вкладыши без заливки используют в малоответственных механизмах. В тихоходных механизмах применяют также металлокерамические вкладыши из порошков железа или меди с добавлением графита, свинца или олова. Кроме того, вкладыши изготавливают из пластмассы, древесины, резины и других материалов, устойчивых против заедания, хорошо прирабатывающихся, а главное — работающих при смазке водой, что особенно важно для подшипников гребных винтов, пищевых машин и т. п.

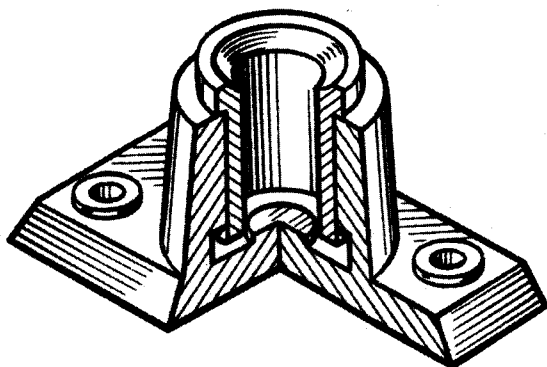
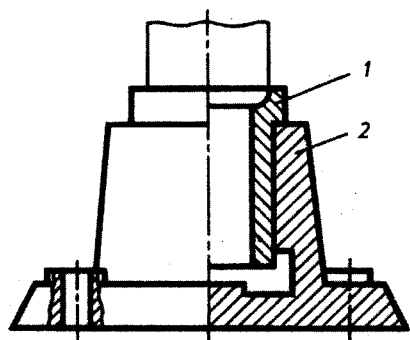


Рис. 199

Из пластмассовых вкладышей наибольшее распространение получили вкладыши из текстолита и древеснослоистых пластиков. Они применяются в прокатных станах, гидравлических и других машинах.

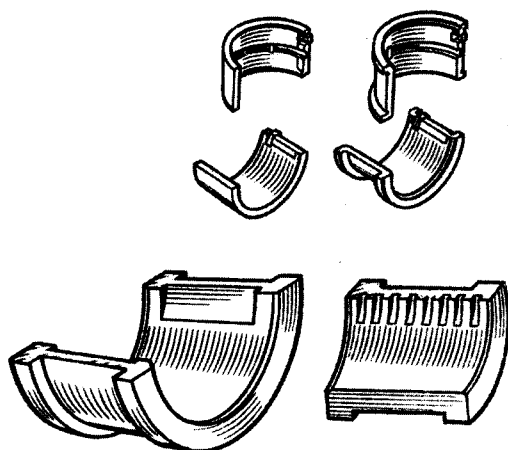


Рис. 200

**2.2. Смазка подшипников скольжения.** Для того чтобы уменьшить трение в подшипниках, осуществляют их смазку с помощью смазывающих устройств. Смазка должна обладать маслянистостью и вязкостью.

Смазочные материалы разделяют на жидкие, консистентные (мази), твердые (графит, слюда и др.) и газообразные.

**Примечания:** 1. *Масляничность* — способность масла образовывать на поверхности трения прочные адсорбированные (*адсорбция* — поверхностное поглощение) пленки;

2. *Вязкость* — свойство слоев смазки сопротивляться сдвигу одного слоя по отношению к другому.

Основными смазывающими материалами являются жидкие масла (органические и минеральные), так как они имеют сравнительно низкий коэффициент трения, оказывают охлаждающее действие и их легко подавать к местам смазки. Простейший способ подвода смазки к трущимся поверхностям подшипника — периодическая заливка масла через специально предназначенное для этого отверстие. Более совершенен фитильный способ (рис. 201). Одним концом фитиля 2 вставляют в трубку 4, а другим опускают в масляный резервуар 1. Вследствие капиллярности масло 3 по фитилю подается к цапфе. Таким образом обеспечивается непрерывная подача масла и его фильтрация при прохождении через фитиль. Недостаток этого спо-

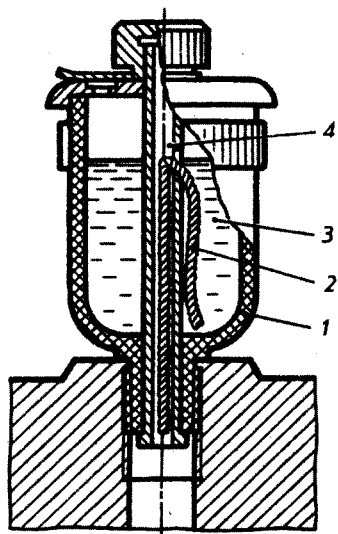


Рис. 201

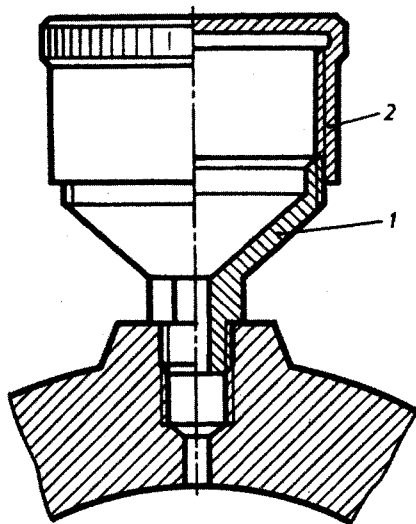


Рис. 202

соба заключается в том, что масло расходуется и тогда, когда машина не работает.

Существуют и другие смазочные устройства. Например, для консистентных смазок (солидол, тавот и др.) применяют колпачковые масленки. Колпачок 2 (рис. 202) заполняют смазкой, которая при подвинчивании его в корпус 1 выдавливается в подшипник.

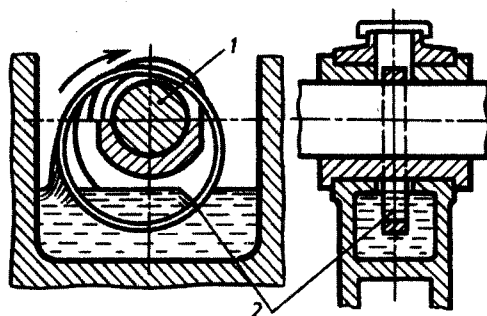


Рис. 203

Наиболее совершенным способом смазки подшипников является кольцевая смазка. Она осуществляется кольцом, свободно висящим на цапфе 1, нижняя часть которого находится в масляной ванне (рис. 203). Кольцо, вращаясь вместе с цапфой, захватывает масло 2 из ванны, которое стекает затем на цапфу.

Кроме рассмотренных, существуют и другие способы подвода масла, в том числе смазка разбрызгиванием и под давлением. В современном машиностроении находит широкое применение и циркуляционная система смазки.

### 3. ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

**3.1. Общие сведения.** Подшипник качения (рис. 204) состоит из тел качения 2 (шариков или роликов), наружного 5, внутреннего 4 колец и сепаратора 3 (детали, удерживающей тела качения на определенном расстоянии один

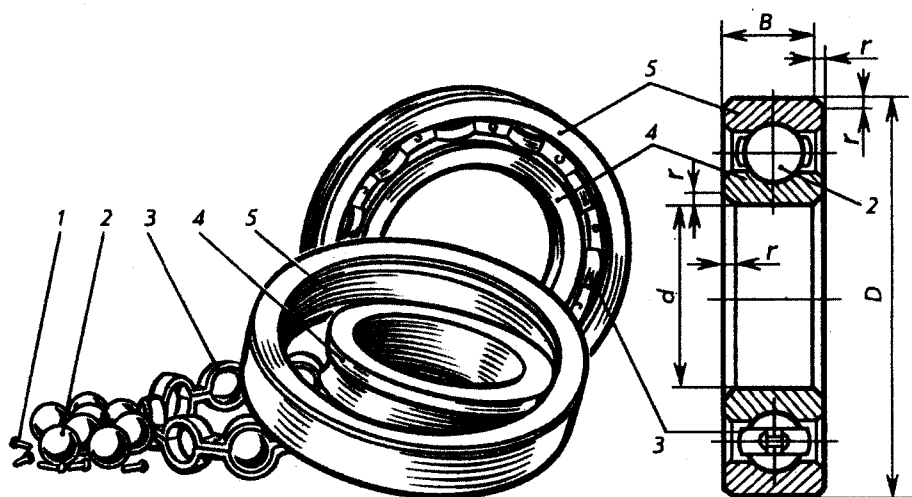


Рис. 204

от другого). Сепаратор изготовлен из двух деталей, соединенных заклепками 1. Кольца имеют дорожку, по которой перекатываются тела качения.

При установке подшипника его внутреннее кольцо монтируют на валу, а наружное устанавливают в корпус. Нагрузка, воспринимаемая цапфой или корпусом, передается через тела качения от цапфы к корпусу или, наоборот, от корпуса к цапфе.

В качестве диаметра подшипника принимают внутренний посадочный диаметр кольца  $d$ .

Тела качения по форме подразделяют на шариковые (рис. 205, I) и роликовые (рис. 205, II—VIII). Различают следующие виды роликовых тел вращения: цилиндрические — короткие (рис. 205, II), длинные (рис. 205, III),

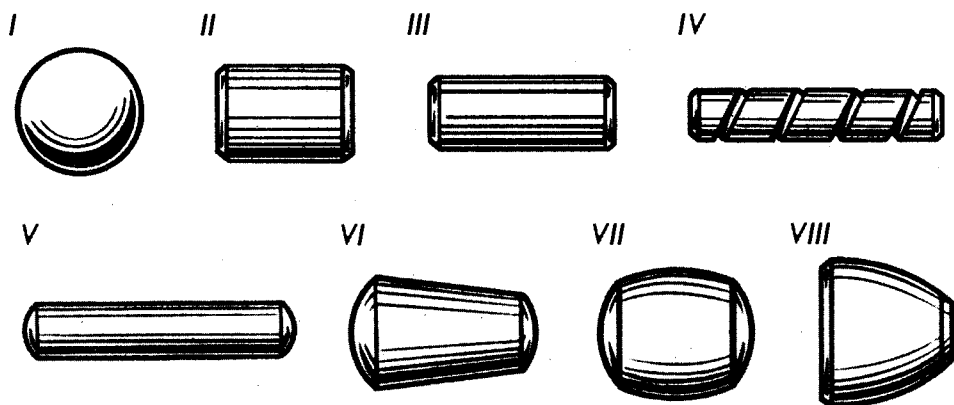


Рис. 205

витые (рис. 205, IV), игольчатые (рис. 205, V), конические (рис. 205, VI), бочкообразные (рис. 205, VII, VIII).

Подшипники качения находят широкое применение в различных областях машиностроения и приборостроения.

Достоинствами этих подшипников являются сравнительно небольшая стоимость, меньший, чем у подшипников скольжения, нагрев, пониженный расход смазочных материалов, простое обслуживание, высокая степень взаимозаменяемости, централизованное изготовление подшипников.

Однако подшипники качения имеют ограниченный срок службы (особенно при значительных нагрузках и скоростях), значительные радиальные размеры, чувствительны к ударам и вибрационным нагрузкам.

Подшипники качения классифицируются по следующим признакам:

1. По форме тел качения: шариковые и роликовые (с цилиндрическими, коническими, бочкообразными, игольчатыми и витыми роликами).

2. По направлению воспринимаемой нагрузки: радиальные, воспри-

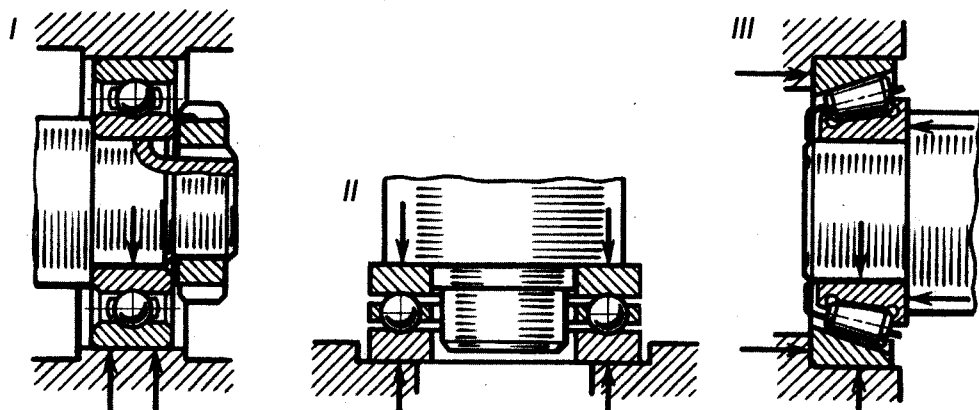


Рис. 206

нимающие только радиальные нагрузки, направленные перпендикулярно к геометрической оси вала (рис. 206, I); радиально-упорные подшипники, служащие для восприятия радиальной и осевой нагрузки (рис. 206, II); упорные, несущие нагрузку вдоль оси вращения (рис. 206, III).

3. По числу рядов тел качения — однорядные, двухрядные, многорядные.

4. По способу самоустановки — несамоустанавливающиеся и самоустанавливающиеся сферические.

5. По габаритным размерам, связанным с нагрузочной способностью подшипников, — на 7 серий: сверхлегкие (две серии), особо легкие (две серии), легкая, средняя, тяжелая.

6. По ширине — на узкие, нормальные, широкие и особо широкие.



## 7. По классу точности изготовления.

Согласно стандарта ГОСТ 520-89, устанавливаются следующие классы точности подшипников (в порядке повышения точности): 0; 6; 5; 4 и 2. Класс точности указывается слева от условного обозначения подшипников: 6—205, где 6 — класс точности; тире — разделительный знак; 205 — условное обозначение подшипника.

Условные обозначения ГОСТ 3189-89 предназначены для маркировки подшипников качения, указаний на чертежах и в спецификациях, применения в документации и в технической литературе.

**3.2. Основные типы подшипников.** Краткая характеристика основных типов шариковых и роликовых подшипников.

**Шариковый радиальный однорядный подшипник** (рис. 207, I), предназначен, главным образом, для восприятия радиальных нагрузок, но он может воспринимать и значительные осевые нагрузки. Этот подшипник, как и другие радиальные шарикоподшипники, обеспечивает осевое фиксирование вала в двух направлениях. Подшипник широ-

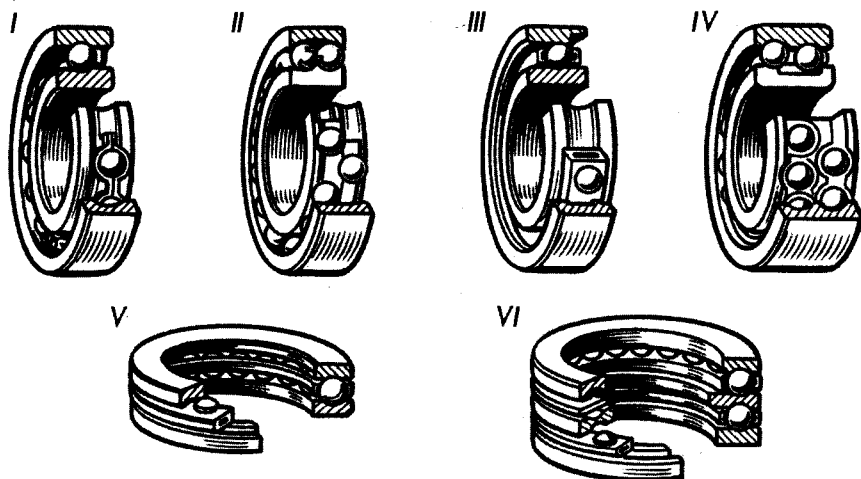


Рис. 207

ко распространен в машиностроении благодаря тому, что он дешев, допускает некоторые перекосы вала и работает с малыми потерями на трение.

**Шариковый радиальный двухрядный сферический подшипник** (рис. 207, II) предназначен для комбинированных (радиальных и односторонних осевых) нагрузок. Подшипник может воспринимать чисто осевую нагрузку. Применяется для жестких валов с большой частотой вращения.

**Шариковый радиально-упорный однорядный подшипник** (рис. 207, III) предназначен для восприятия совместно действующих радиальных и односторонних осевых нагрузок. Применяется главным образом при средних и высоких частотах вращения вала.

Шариковый радиально-упорный двухрядный подшипник (рис. 207, IV) предназначен для восприятия значительных радиальных нагрузок, а также осевых и комбинированных нагрузок при значительно высоких требованиях к жесткости опор вала.

Шариковый упорный одинарный (рис. 207, V) и двойной (рис. 207, VI) подшипники предназначены для восприятия только осевых нагрузок: одинарный — односторонних, а двойной — сложных. Упорные шарикоподшипники работают удовлетворительно только при низких и средних частотах вращения вала.

Роликоподшипники отличаются повышенной (в 1,7...2,0 раза) радиальной нагрузочной способностью, но тяжелее и дороже аналогичных шариковых. Роликоподшипник радиальный с короткими цилиндрическими роликами легко подвижен в осевом на-

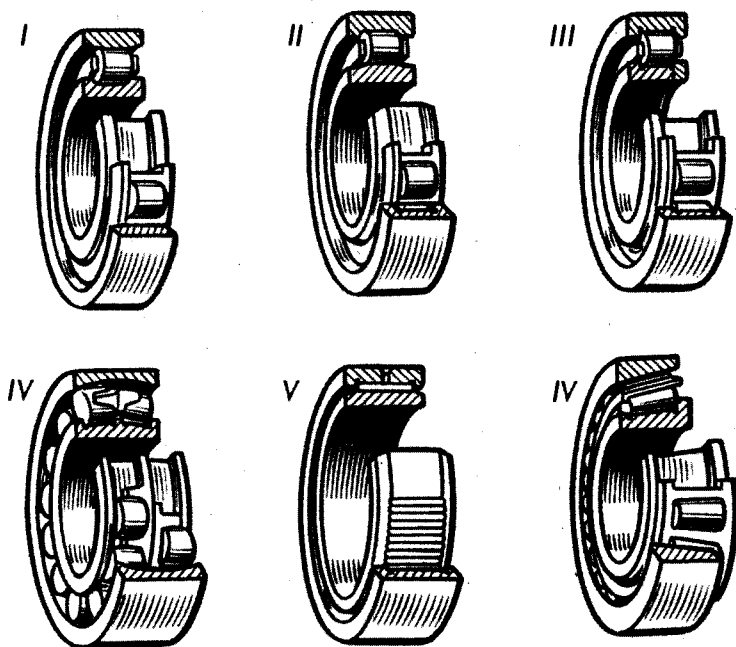


Рис. 208

правлении и удобен при больших температурных деформациях валов. Подшипник легко разбирается в осевом направлении и допускает некоторое осевое взаимное смещение колец. Он предназначен для восприятия больших радиальных нагрузок. Различают 8 конструктивных разновидностей. Основные из них: подшипники без бортов на наружном кольце (рис. 208, I), подшипники без бортов на внутреннем кольце (рис. 208, II), подшипники с одним бортом на внутреннем кольце и с упорным кольцом (рис. 208, III). Последний применяют в том случае, когда требуется фиксация вала в обоих осевых направлениях. В качестве примера на рис. 209 приведен чертеж

и наглядное изображение опоры вала. Опорами служат два конических роликоподшипника 4. Подшипники смазываются густой (консистентной) смазкой через масленки, которые запрессовываются в верхнее правое и левое отверстия крышек 5, соединенных с корпусом 1 болтами. На валу 3 установлено на шпонке ведущее зубчатое колесо 2, которое служит для передачи вращательного движения на вал машины. Вращение вала осуществляется от электродвигателя, с которым вал соединен муфтой (на чертеже не показана).

**Роликовый радиальный двухрядный сферический подшипник** (см. рис. 208, IV) предназначен для восприятия очень больших радиальных нагрузок. Может работать при значительных углах перекоса  $2...3^\circ$ . Подшипник можно отнести к наиболее совершенным, но он слишком сложный и дорогой.

**Игольчатый роликоподшипник** (см. рис. 208, V) применяется при весьма стесненных радиальных габаритах. Подшипник не имеет сепаратора и нормально работает при скоростях на валу до  $5 \text{ м/с}$ , а также при качательных движениях (поршневые пальцы, муфты карданного вала). Обладает высокой радиальной грузоподъемностью, но осевых нагрузок не воспринимает.

**Роликовый радиально-упорный однорядный конический подшипник** (см. рис. 208, VI) предназначен для восприятия значительных совместно действующих радиальных и односторонних осевых нагрузок при частотах вращения вала до  $15 \text{ м/с}$ . Подшипник широко распространен в машиностроении, так как он удобен при монтаже и демонтаже машин, а также регулировке зазоров.

**Смазка подшипников качения.** Смазка вводится в подшипник с целью уменьшения трения на рабочих поверхностях, между телами качения и сепаратором. Кроме того, смазка консистентными или жидкими минеральными веществами предохраняет подшипник от коррозии, отводит тепло, повышает нагрузочную способность, срок службы подшипника, заполняет зазоры в уплотнениях и тем самым обеспечивает необходимую герметизацию подшипникового узла. Твердые смазки применяются в распыленном состоянии для тех подшипников, которые работают при высоких температурах.

Способы подачи смазки в подшипниках различны: капельная смазка, смазка разбрызгиванием из масляной ванны и т. д.

Чтобы предохранить подшипники от попадания пыли, кислот, влаги, применяются различные типы уплотнений (контактные, центробежные, комбинированные и др.).

**Материалы подшипников.** Основными материалами для колец и тел качения являются высокоуглеродистые хромистые стали ШХ6, ШХ9, ШХ15, ШХ15ГС и хромоникелевые стали 12ХНЗА, 12Х2НЧА и др.

Для подшипников применяют также малоуглеродистые легированные

стали с последующей закалкой и цементацией. Для работы в агрессивных средах используют нержавеющие стали X18 и др. Сепараторы подшипников изготавливают штамповкой из мягкой листовой стали. Массивные сепараторы — из бронзы, латуни, магниевого чугуна, текстолита и других материалов.

#### 4. МУФТЫ

**Муфта** — устройство для соединения валов, тяг, труб и т. п.

Различают муфты соединительные, которые обеспечивают прочность соединения, герметичность, защищают от коррозии и т. д., и муфты приводов машин и механизмов, передающие вращательное движение и вращающий момент с одного вала на другой или с вала на свободно сидящую на ней деталь (например, шкив, зубчатое колесо).

Муфты приводов применяют и для смягчения ударных нагрузок, соединения и разъединения валов во время работы машины, а также для передачи вращения только в одном направлении или только при заданных частотах вращения и т. д.

В машиностроении применяют большое количество самых разнообразных муфт. По назначению муфты можно разделить на три основные группы: постоянные, обеспечивающие постоянное соединение двух валов; сцепные, обеспечивающие соединение и разъединение двух валов в процессе работы машины без ее остановки и разборки; специальные, выполняющие ряд дополнительных функций, о которых было сказано выше.

Выбор того или иного типа муфты зависит от ее назначения, условий работы, взаимного расположения соединяемых валов в пространстве и пр. Рассмотрим некоторые виды муфт из каждой группы.

**Постоянные муфты** бывают трех типов: **глухие** или **жесткие**, которые применяют в тех случаях, когда составной вал должен работать как целый; **компенсирующие жесткие муфты**, назначение которых — компенсировать влияние несоосности валов за счет подвижности отдельных деталей муфты; **упругие муфты**, устанавливаемые в тех случаях, когда следует не только компенсировать несоосность валов, но и смягчить толчки и удары за счет деформации упругого элемента.

Простейшей постоянной глухой (жесткой) муфтой является продольно-свертная муфта (рис. 210). Она состоит из двух половин (полумуфт) 1 и 3, которые стянуты болтами 2. Материал полумуфт — чугун СЧ 20. Такие муфты отличаются простотой сборки и разборки. К их недостаткам относятся повышенные требования к точности размеров отверстий муфт и концов валов, а также необходимость в защитном предохранительном кожухе из-за неровностей на наружной поверхности. Продольно-свертные муфты

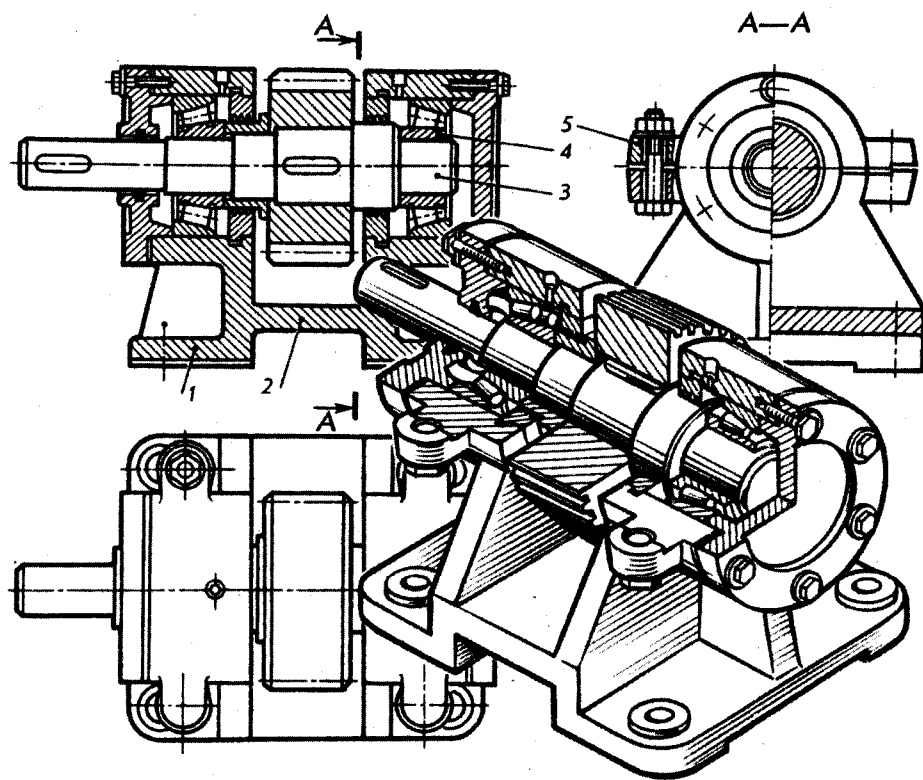


Рис. 209

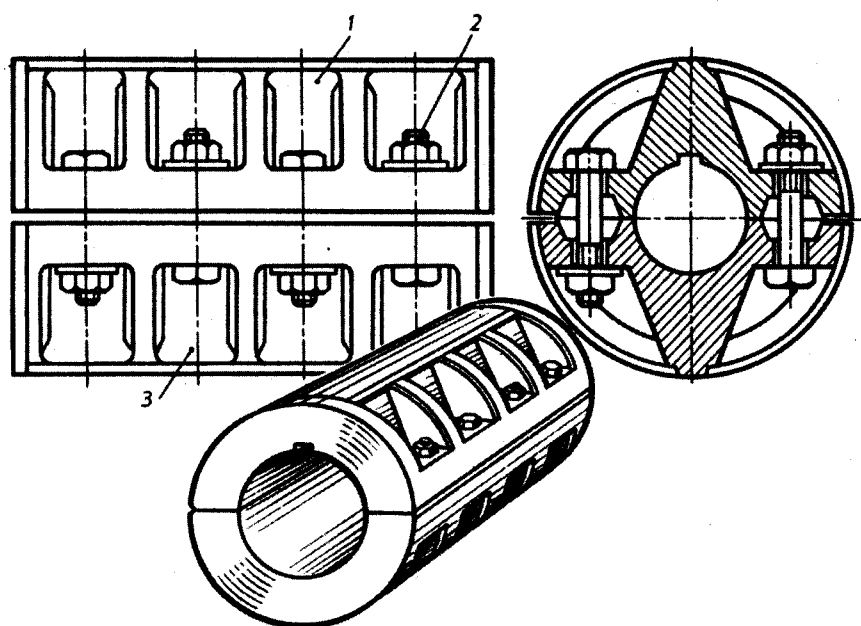


Рис. 210

применяют главным образом для соединения длинных трансмиссионных валов.

Примером упругих постоянных муфт может служить и крестово-шарнирная муфта (рис. 211). Она получила большое распространение в автомобильной, авиационной промышленности и в приборостроении. Такая муфта состоит из двух вилок 1 и 3 и крестовины 2. Вилки насаживаются на соединяемые концы валов, а крестовина шарнирно соединяет их. Угол наклона осей валов возможен до  $40...45^\circ$ . Крестовину и вилки изготовляют из закаленных хромистых сталей 20X и 40X.

Сцепные муфты бывают двух типов: кулачковые и фрикционные. Оба типа предназначены для многократного соединения и разъединения валов во время их вращения или во время остановки.

Кулачковая муфта (рис. 212) состоит из двух полумуфт с кулачками. Одна из полумуфт 2 жестко соединена с валом 1, а вторая 3 может перемещаться по направляющей шпонке или по шлицам вдоль оси вала 4. При включении муфты рычагом 5 кулачки, расположенные на торцовых поверхностях одной полумуфты, входят во впадины другой.

Материалом муфт с цементированными кулачками служат стали 20, 15X и др., с закаленными кулачками — стали 40X, 30XH и др.

Специальные муфты предназначены для предохранения привода от перегрузок (поломок), передачи крутящего момента только в одном направлении, передачи крутящего момента при заданной частоте вращения и т. п.

Изображенная на рис. 213 шариковая предохранительная муфта рассчитана на передачу крутящего момента определенной величины. При перегрузке она автоматически выключается. При установленном крутящем усилии корпус муфты 1 и втулки 3 вращаются синхронно, причем втулка удерживается шариками 2, на которые оказывают сжимающее усилие пружины 4 с винтами 5. При возникновении крутящего усилия выше проектной нормы шарики выходят из конических гнезд втулки и совершают холостой пробег по ее цилиндрической канавке. Материал шариковой муфты — сталь 45 и др.

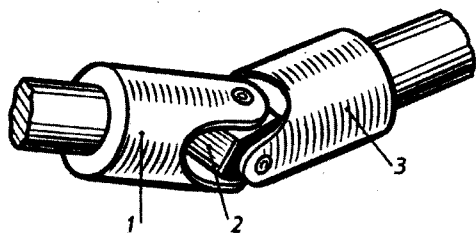


Рис. 211

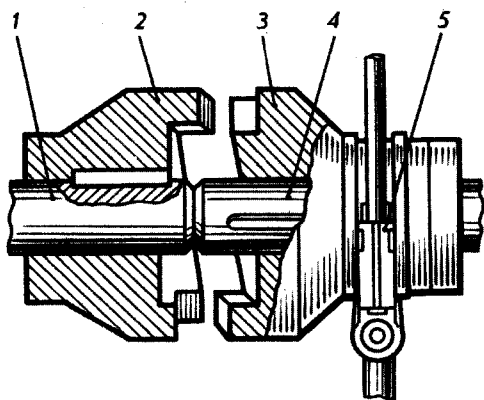


Рис. 212

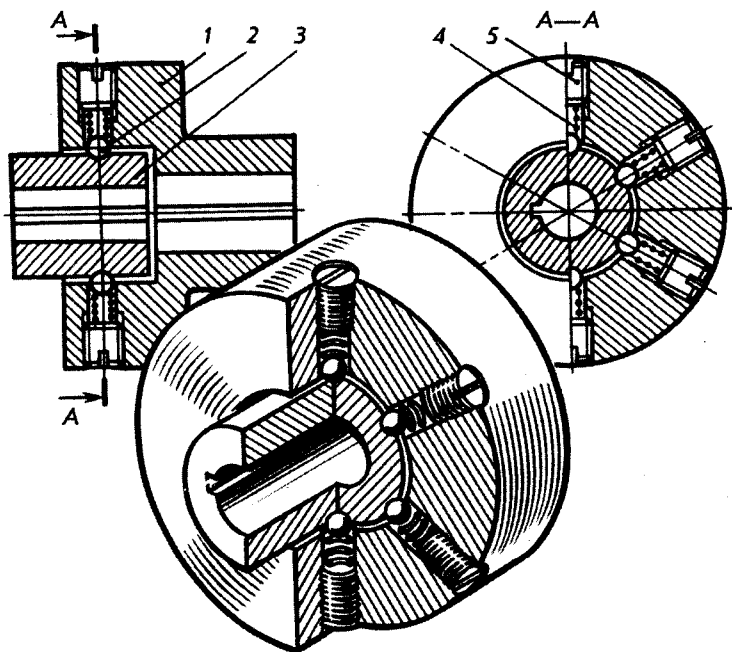


Рис. 213

## 5. ПРУЖИНЫ

Пружины в различных машинах и приборах выполняют роль упругих элементов. Они предназначены:

для создания постоянной силы сжатия и натяжения между деталями машины или прибора (например, во фрикционных муфтах, тормозах, предохранительных устройствах, подшипниках и т. п.);

для виброизоляции и амортизации ударов (применяются в автомобилях, вагонах, буферах, рессорах, артиллерийских орудиях и т. п.);

для выполнения функций двигателя на основе предварительного накопления энергии за счет упругой деформации под влиянием нагрузки (например, часовые пружины, пружины стрелкового оружия и т. д.);

для измерения сил (например, в динамометрах и в других измерительных приборах).

По конструкции пружины бывают: витые (цилиндрические и конические), плоские, пластинчатые, тарельчатые, кольцевые и др.

В зависимости от вида воспринимаемой нагрузки различают пружины растяжения, сжатия, кручения и изгиба.

Наиболее распространены витые цилиндрические пружины растяжения (рис. 214, I) и сжатия (рис. 214, II—V). Они просты по

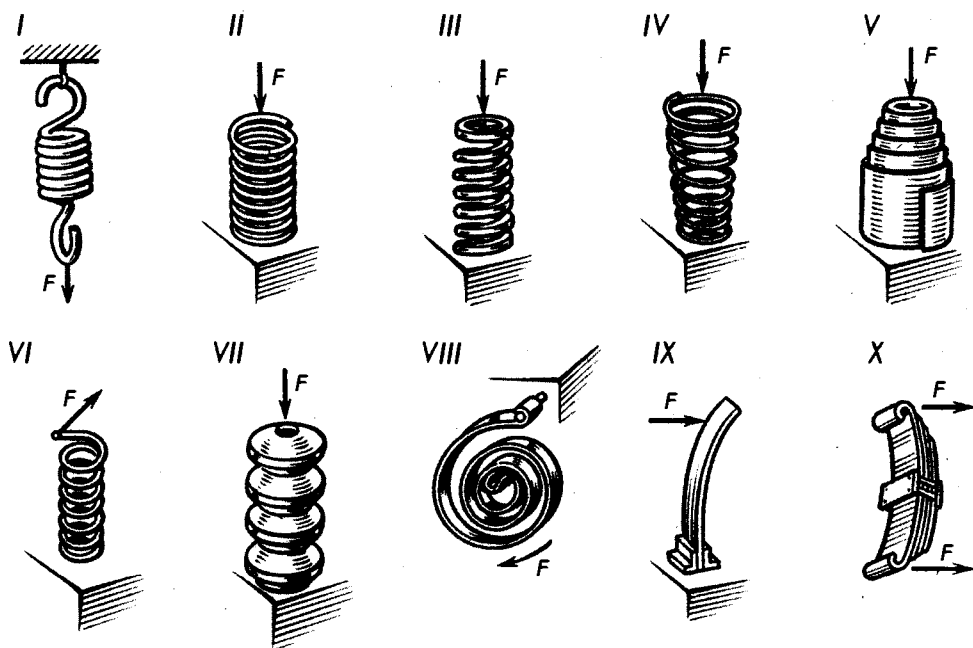


Рис. 214

конструкции и удобны для установки в машины. Обычно применяют пружины из проволоки круглого сечения, так как они дешевле всех остальных, а напряжения и деформация в них распределяются относительно равномерно. Пружины растяжения имеют на концах прицепы в виде изогнутых витков, пружины сжатия таких прицепов не имеют. Навивку пружин сжатия осуществляют с предварительным зазором между витками. Более мощные пружины сжатия изготавливают с витками прямоугольного или квадратного сечения (рис. 214, III, V).

Пружины конические могут иметь витки как круглого (рис. 214, IV), так и прямоугольного сечения с большим отношением сторон. Последние навивают из полосовой стали и называют телескопическими (рис. 214, V). Цилиндрические пружины кручения (рис. 214, VI) воспринимают нагрузку в виде крутящего момента. Эти пружины широко распространены в сельскохозяйственных и других машинах.

Тарельчатые пружины (рис. 214, VII) работают на сжатие и в основном распространены в транспортном машиностроении.

Кольцевые пружины (рис. 214, VIII) нагружены крутящим моментом. Они находят применение в часовом механизме, стрелковом оружии и т. д.

Плоские пружины (рис. 214, IX) применяют главным образом в сельскохозяйственных и других машинах.

Пластинчатые пружины — рессоры (рис. 214, X) применяют обычно в качестве упругих элементов амортизационных устройств в автомо-



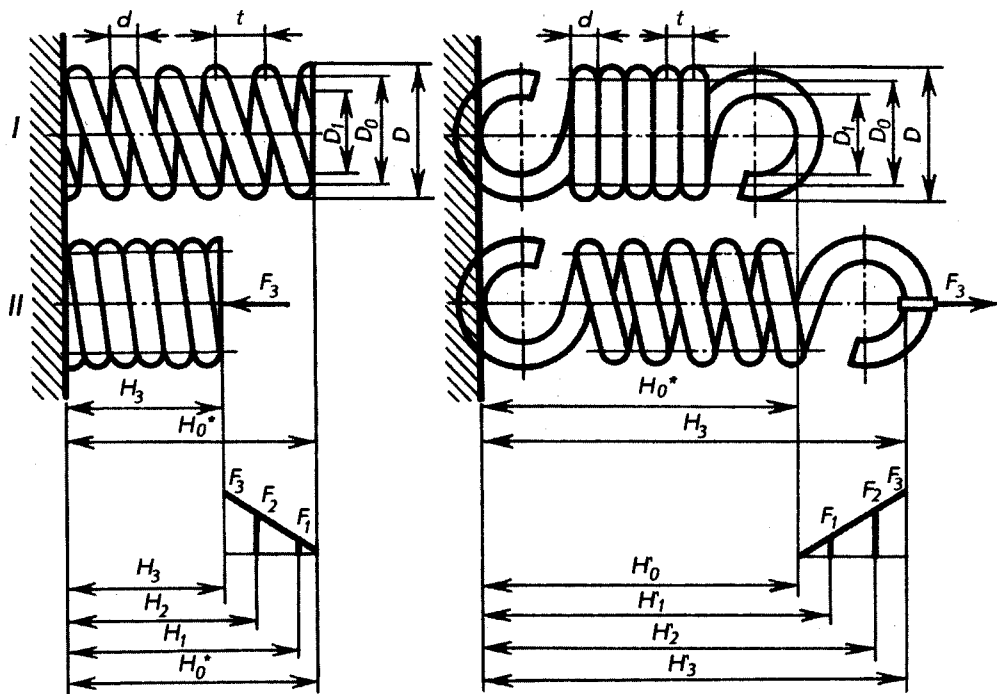


Рис. 215

биях, железнодорожных составах, кузнечно-прессовых и других машинах. Рессору набирают из стальных полос различной длины.

Для параметров пружины установлены следующие условные обозначения: высота (длина) пружины в свободном состоянии —  $H_0$ ; диаметр проволоки —  $d$ ; средний диаметр пружины —  $D_0$ ; внутренний диаметр —  $D_1$ ; наружный диаметр —  $D$ ; индекс (основная характеристика) пружины —  $c = D_0/d$ ; шаг витков —  $t$ ; число рабочих витков —  $n$ ; полное число витков —  $n_1$ .

На чертежах, кроме изображения самой пружины, помещают диаграмму ее испытаний, в которой указывают зависимость деформации от нагрузки (рис. 215). На такой диаграмме  $H_0, H_1, H_2, H_3$  — длина пружины соответственно в свободном состоянии и под действием предварительной, рабочей и максимальной нагрузки.

Выбор материала для изготовления пружины ведется с учетом ее эксплуатации, назначения и ответственности. При этом принимают во внимание степень и продолжительность нагружения, способ приложения нагрузки и ее цикличность, состояние окружающей среды и пр.

Наиболее распространенными материалами для изготовления пружин являются высокоуглеродистые и марганцовистые стали 65, 70, 65Г; специальные кремнистые пружинные стали 55С2, 60С2; хромованадиевые стали для пружин, работающих при высоких (до 400 °С) температурах.

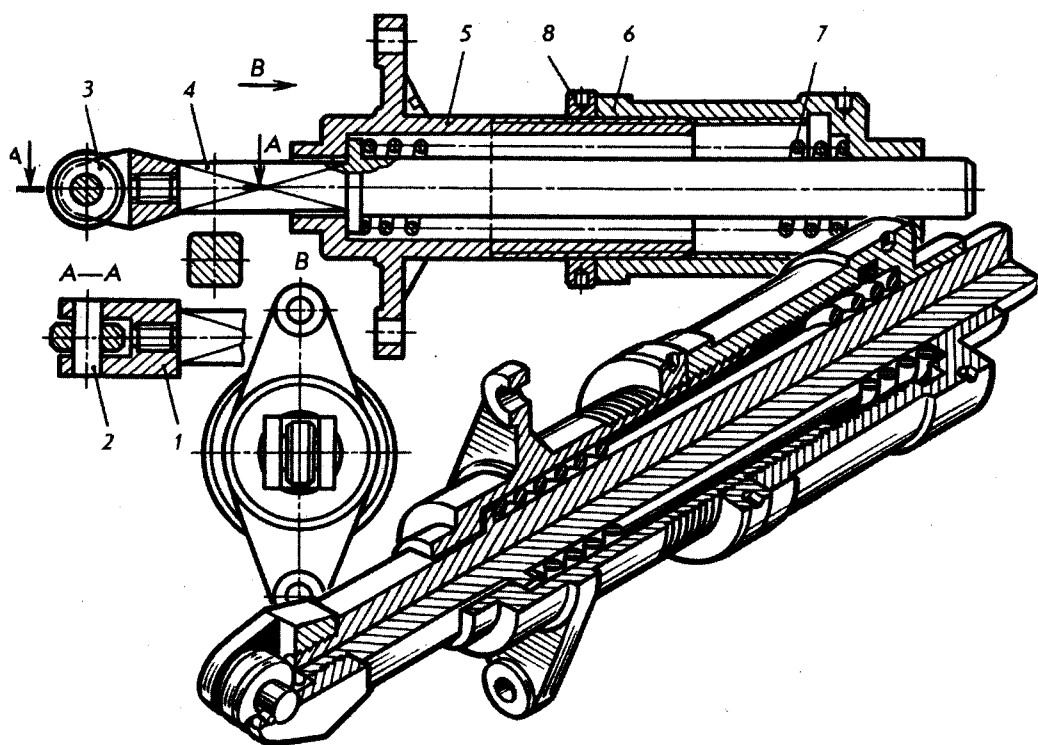


Рис. 216

Для пружин, работающих в агрессивных средах, применяют цветные сплавы: кремнемарганцовистую бронзу БрКМц 3—1 и оловянно-цинковую бронзу БрОЦ-4-3 и др.

На рис. 216 приведен пример применения пружины сжатия в пружинной обойме. Пружинная обойма применяется в сортировочных устройствах и служит для поглощения нагрузки, возникающей при ударе сортируемого изделия о ролик 3, сидящий на оси 2 в вилке 1. Удар передается через шток 4 на пружину 7. Пружина одной стороной упирается в буртик штока, другой — в дно стакана 6, который навинчивают на корпус 5. Для предотвращения самопроизвольного развинчивания деталей 5 и 6 установлена круглая гайка 8, создающая осевой натяг в резьбе.

# ПРИЛОЖЕНИЕ

## ПОНЯТИЕ О ПРОЕКТИРОВАНИИ МАШИН

### Виды изделий

**И з д е л и е м** называется любой предмет или набор предметов, подлежащих изготовлению на предприятии.

Изделия в зависимости от их назначения делят на изделия основного и изделия вспомогательного производства. К изделиям основного производства относят изделия, предназначенные для поставки (реализации). Примеры изделий основного производства: самолет, выпускаемый авиастроительным заводом, подшипник скольжения, изготавливаемый заводом подшипников, и пр.

К изделиям вспомогательного производства относят изделия, предназначенные только для собственных нужд предприятия. Это инструменты, приспособления и прочие устройства, изготавливаемые на данном предприятии и предназначенные для выпуска изделий основного производства.

Если изделие, предназначенное для поставки, используется и для собственных нужд предприятия, то его относят к изделиям основного производства.

ГОСТ 2.101—68 устанавливает следующие виды изделий: детали, сборочные единицы, комплексы и комплекты.

В зависимости от наличия составных частей изделия делят на специфицированные, состоящие из двух и более составных частей (сборочные единицы, комплексы, комплекты), и неспецифицированные, не имеющие составных частей (детали).

**Деталь** — изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций, например: коленчатый вал из одного куска металла, литой корпус и др.

**Сборочная единица** — изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, опрессовкой и т.п.), например: автомобиль, станок, подшипник скольжения и т.д. К сборочным единицам также относятся изделия, имеющие общее функциональное назначение и совместно устанавливаемые на предприятии-изготовителе в другую сборочную единицу, например, колпачковая масленка для подшипника скольжения, гидроривод станка и пр. Структурной единицей сборочной единицы является деталь, например вкладыш подшипника.

**Комплекс** — два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций, например поточная линия станков, корабль, самолет и т.п. В комплекс входят сборочные единицы и детали. Так, для самолета сборочной единицей служит ферменный раскосный лонжерон (продольный элемент конструкции крыла или фюзеляжа), а деталью — проушина раскосного лонжерона. В комплекс могут

входить также детали и сборочные единицы, предназначенные для выполнения вспомогательных функций, например изделия для монтажа комплекса на месте эксплуатации; комплект запасных частей и др.

**Комплект** — два и более изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющие собой набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например: комплект запасных частей; комплект инструментов и приспособлений для разметки. В комплект входят также сборочные единицы, предназначенные для выполнения вспомогательных функций, например струбцина с установочными призмами. Деталью в комплекте является, к примеру, чертилка и др.

## **Виды конструкторских документов**

К конструкторским документам относят графические и текстовые документы, которые в отдельности или совокупности определяют состав и устройство изделия и содержат необходимые данные для его разработки или изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта.

ГОСТ 2.102—68 устанавливает виды конструкторских документов на изделия всех отраслей промышленности. Рассмотрим определения наиболее часто встречающихся документов.

**Чертеж детали** — документ, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля. Выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109—73.

**Сборочный чертеж** — документ, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки (изготовления) и контроля. К сборочным чертежам относят также гидро-, пневмо- и электро-монтажные чертежи. Выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109—73.

**Чертеж общего вида** — документ, определяющий конструкцию изделия и взаимодействие его основных составных частей и поясняющий принцип работы изделия. Выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.118—73 — ГОСТ 2.120—73.

**Теоретический чертеж** — документ, определяющий геометрическую форму (обводы) изделия и координаты расположения составных частей.

**Габаритный чертеж** — документ, содержащий контурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами. Выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109—73.

**Монтажный чертеж** — документ, содержащий контурное (упрощенное) изображение изделия, а также данные, необходимые для его установки (монтажа) на месте применения. К монтажным чертежам относят также чертежи фундаментов, специально разрабатываемые для установки изделия. Выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109—73.

**Схема** — документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними. Номенклатура различных видов схем и требования к ним установлены ГОСТ 2.701—84.

**С п е ц и ф и к а ц и я** — документ, определяющий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта. Выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.108—68.

**Т е х н и ч е с к и е   у с л о в и я** — документ, содержащий требования (совокупность всех показателей норм, правил и положений) к изделию, его изготовлению, контролю, приемке, поставке и эксплуатации, которые нецелесообразно указывать в других конструкторских документах. Выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.114—70.

**П о я с н и т е л ь н а я   з а п и с к а** — документ, содержащий описание устройства и принципа действия разрабатываемого изделия, а также обоснование принятых при его разработке технических и технико-экономических решений. Выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.106—68, 2.118—73 и 2.120—73.

**Т а б л и ц а** — документ, содержащий в зависимости от его назначения соответствующие данные, сведенные в таблицу.

**Р а с ч е т** — документ, содержащий расчеты параметров и величин, например расчет размерных цепей, расчет на прочность и др. Выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.106—68.

**П а т е н т н ы й   ф о р м у л я р** — документ, содержащий сведения о патентной чистоте объекта, а также о созданных и использованных при его разработке отечественных изобретениях.

**К а р т а   т е х н и ч е с к о г о   у р о в н я   и   к а ч е с т в а   п р о д у к ц и и** — документ, содержащий данные, определяющие технический уровень качества изделия и соответствие его технических и экономических показателей достижениям науки и техники, а также потребностям народного хозяйства. Составляется на изделие, предназначенное для самостоятельной поставки в соответствии с требованиями ГОСТ 2.116—84.

## **Стадии проектирования**

Чтобы конструкция машины или механизма удовлетворяла высоким требованиям и имела хорошее качество, ГОСТ 2.103—68 устанавливает следующие стадии разработки конструкторской документации:

1. **Т е х н и ч е с к о е   з а д а н и е**. Техническое задание составляют на основе тщательного анализа назначения проектируемого изделия и предполагаемых условий работы. Оно должно содержать: показатели, которыми характеризуется изделие (производительность, мощность, скорость, точность и т.д.); экономические требования (КПД, расход энергии, топлива и т.п.); социальные и эстетические требования (безопасность и удобство эксплуатации, современные формы, хорошая отделка и окраска и т.д.).

На этой стадии предпроектных изысканий конструктор выполняет следующую работу:

а) знакомится с аналогичными конструкциями и изучает соответствующую литературу. Это необходимо для того, чтобы не трудиться впустую над созданием изделия, ранее уже созданного и вполне оправдавшего себя. С другой стороны, знакомство с различными конструкциями анало-

гичного назначения помогает и ускоряет проектирование отдельных элементов;

б) выбирает основное направление разработки нового изделия;

в) определяет экономическую целесообразность разработки нового изделия.

**2. Техническое предложение (ГОСТ 2.118—73).** По результатам анализа технического задания заказчика, и проектных изысканий конструктор разрабатывает техническое предложение. Оно содержит: а) выбранный из многих вариантов изделия, обладающего наперед заданными эксплуатационными свойствами; б) продуманную технологию производства изделия; в) обеспечение требуемой надежности и долговечности изделия в эксплуатации; г) обоснование того экономического эффекта, который будет достигнут в результате внедрения изделия.

**3. Эскизный проект (ГОСТ 2.119—73).** Эскизное проектирование представляет собой предварительную черновую разработку общего вида изделия, его групп и основных элементов. В процесс эскизного проектирования входит:

а) выбор из возможных вариантов принципиальной схемы наиболее простого;

б) установление (по возможности) базовой конструкции, которая должна быть положена в основу проектируемого изделия;

в) выбор унифицированных сборочных единиц и основных деталей;

г) разбивка изделия на самостоятельные сборочные единицы.

**4. Технический проект (ГОСТ 2.120—73).** При разработке технического проекта выявляют конструкцию изделия и его составных частей, определяют конструктивную форму всех деталей. На этом этапе работы решают основные вопросы технологичности заготовок, механической обработки и сборки.

Кроме этого, выполняют:

а) проектирование чертежей общих видов составных сборочных единиц изделия с округлением размеров деталей в соответствии с конструктивными соображениями, стандартами, техническими условиями;

б) проектирование чертежа общего вида машины по чертежам общих видов сборочных единиц;

в) уточнение чертежа общего вида машины и подсчета ее массы.

**5. Разработка рабочей документации.** В процессе рабочего проектирования дорабатывают все вопросы технологичности конструкции каждой детали и всего изделия в целом.

В пределах этого этапа в каждой конструкторской организации установлен свой порядок проектирования в зависимости от рода проектируемых машин и сложившихся навыков работы, Общее направление работ примерно одинаково во всех конструкторских бюро и имеет такую общую схему:

а) поверочные расчеты и определение коэффициента запаса прочности в наиболее напряженных деталях; внесение исправления и изменений в чертежи в соответствии с поверочными расчетами;

б) разработка по чертежу общего вида машины рабочих чертежей оригинальных деталей с подсчетом их массы;

в) вычерчивание сборочного чертежа по рабочим чертежам деталей и чертежу общего вида и подсчет массы сборочных единиц;

г) технологический и нормализационный контроль рабочих чертежей.

После окончания проектирования работа по созданию машины включает в себя этапы:

1. Изготовление опытных образцов, на которых отрабатываются сборочные единицы и их детали. При этом корректируются рабочие чертежи.

2. Выпуск опытной серии и уточнение рабочих чертежей.

3. Подготовка к серийному производству изделия.

При разработке новой конструкции или модернизации существующей каждый конструктор стремится к выполнению различных производственно-технических, технологических, экономических и других требований. Эти требования сводятся к следующему:

упрощение существующей конструкции;

уменьшение размеров существующей конструкции;

целесообразное распределение сил и обеспечение восприятия их меньшими сечениями;

полное использование прочностных свойств материалов;

использование материалов с более высокими механическими качествами;

правильный выбор исходной формы (профиля) материала;

правильный выбор формы деталей, снижающий процент отходов и припуски на обработку;

полное использование отходов;

правильное конструирование деталей с точки зрения технологичности конструкции;

правильный выбор рода материалов (замена их);

уменьшение объема ручных и отделочных операций;

применение стандартизованных деталей и материалов и использование преимуществ стандартизации и типизации;

правильный выбор допусков и шероховатости поверхности отдельных деталей и всего изделия;

увеличение срока службы деталей и изделия в целом;

конституирование изделий с учетом необходимости обеспечения простоты и дешевизны их сборки и ремонта;

тщательное оформление графической документации.

## **ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ**

Конструирование — творческий процесс, в рамках которого происходит логическое развитие конструкции. Конструирование состоит из отдельных этапов.

Рассмотрим этапы конструирования.

Первый этап — изучение и уяснение цели или задачи. Цель может определяться заданием или вытекать из характера работы. Уяснение задачи происходит в процессе выделения взаимосвязанных факторов, характеризующих систему и окружение. Это предполагает сбор и анализ данных, описывающих рабочие условия, требования заказчика, экономические соображения и т.д.

Второй этап — выбор пути решения задачи, логическое завершение ее уяснения. Выбранные пути и цели направляют поиски альтернатив, подсказывают способы анализа найденного и дают критерии для выбора и разработки оптимального плана.

Третий этап — формирование идеи. Этот этап — основа процесса проектирования, так как качество решения всей задачи в значительной мере определяется качеством идеи или принципа, использованного на данном этапе.

Как только идея или способ решения задачи найдены (то есть произошло принятие еще одного решения), следует проанализировать принятую идею. Инженерный анализ требует четкого определения задачи или вопроса, которые будут решаться, и построения модели (на бумаге или в лабораторных условиях). Инженерный анализ модели должен основываться на проверке соответствия выбранных концепций физическим законам и нахождении численных результатов. Сюда входят также проверка, оценка, обобщение и оптимизация результатов.

Если по данным анализа получены благоприятные результаты, то первоначальное решение перерабатывают с учетом производственных возможностей.

После этого наступает этап реализации решения, определения объема производства и потребности в производственном оборудовании. Здесь же решаются задачи, связанные с выбором методов изготовления продукции, приобретения сырья и полуфабрикатов, автоматизации технологических процессов, контроля качества и т.п.

Последний этап — распределение, сбыт и использование изготовленной продукции; установление конкурентоспособных цен; реклама, ремонт, обслуживание и т.д.

Рассмотренная схема конструирования относится к задачам любой величины и сложности, общим и частным, возникающим на разных стадиях работы.

## **СОВРЕМЕННЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ**

### **Анализ чертежно-графической информации**

Конструкторская и технологическая подготовка производства — процесс сложный и трудоемкий. Как показывает практика, на создание конструкторской документации уходит 65% трудозатрат, из них около 10% на раз-



личные инженерные расчеты. Таким образом, 55% трудозатрат по своему характеру могут быть формализованы, а проведение их механизировано.

Статистические исследования множества машиностроительных чертежей выявили следующие основные показатели:

1. Преобладающим содержанием технических чертежей в отличие от различных текстовых документов являются линии. Отношение площади, занятой линиями (полосами), к площади рабочего поля, называемое коэффициентом заполнения  $A$ , для простых чертежей составляет 1—3%, для наиболее сложных чертежей — 7—10%. Плотность линий на чертежах ограничивается остротой зрения человека, а также трудностью их вычерчивания при помощи обычных инструментов конструктора. Согласно ГОСТ 2.303—68 минимальное расстояние между линиями ограничивается величиной 0,8 мм. При наименьшей толщине линии, равной 0,3 мм, максимальная плотность заполнения рабочего поля составляет 0,92 лин/мм.

2. Более 99% всех линий относятся к отрезкам прямых или дуг окружностей в среднем распределении: окружностей — 16%, прямых — 84% (горизонтальных — 39, вертикальных — 33, наклонных — 16%).

3. В аксонометрических изображениях количество наклонных прямых составляет 35% и эллипсов 7%.

## **Организация выполнения проектно-конструкторских работ**

Основные виды оргтехники проектирования можно условно разделить на две, основные большие группы:

оргтехника, связанная с механизацией чертежно-графических работ;

оргтехника, связанная с механизацией процесса проектирования.

К первой группе относятся:

а) **Чертежные инструменты и приборы.** Это чертежные приборы (механические рейсшины) пантографической и координатной систем, масштабные линейки, готовальни, штриховальный прибор и другое для вычерчивания прямых линий и построения углов. Для механизации вычерчивания кривых применяют универсальное лекало, представляющее собой регулируемую гибкую металлическую пластину, такие инструменты, как эллипсограф, параболлограф и коникограф (для вычерчивания кривых конических сечений) и др.

б) **Чертежные приспособления.** Они созданы для вычерчивания элементов чертежа и нанесения на нем надписей и обозначений. К первым относятся шаблоны и трафареты общего назначения и специально, например, для вычерчивания отдельных стандартных элементов и электросхем, схем трубопроводов, санитарно-технических изделий и т.д. Применение трафаретов позволяет повысить производительность труда. Так, болт с применением трафарета вычерчивают почти в 30 раз быстрее, винт — в 15 раз, пружину и гайку — в 30 раз.

Для нанесения на чертежах изображений, надписей, обозначений, фирменных знаков и прочее применяют сухие переводные картинки — супизы

и деколи. Это прозрачные полимерные пленки, на обратной стороне которых методом трафаретной печати нанесены различные графические изображения, а поверх их — специальный клей. При протирании пленки сверху изображение прилипает к чертежу и отслаивается от пленки. Изображение получается очень четким, похожим на выполненное тушью,

Процесс вписывания текста в чертежи достаточно трудоемок. Для ускорения применяют рапидограф — специальную арторучку, снабженную сменным трубчатым пером различной толщины. В баллон ручки заливается тушь или краска, после чего им можно проводить линии толщиной 0,2... 2,5 мм или надписывать текст. Кроме того, наша промышленность выпускает специальные конструкторские пишущие машинки, которые позволяют вписывать текст и цифры, не снимая чертежа с доски. Такие машинки устанавливают на горизонтальную линейку механической рейсшины, после чего остается подвести ее к нужному месту на чертеже и напечатать необходимый текст.

в) **Преобразователи изображений.** Основная масса чертежей при проектно-конструкторских работах выполняется в ортогональных (прямоугольных) проекциях. Для большей наглядности зачастую строят изображения в аксонометрической и центральной проекциях.

К преобразователям изображений относятся:

а) **координатографы**, которые применяют для построения графиков, карт, диаграмм и чертежей по заданным точкам в выбранной системе координат. Наибольшее распространение получили координатографы, работающие в двух системах координат: прямоугольной и полярной;

б) **аксонографы**, позволяющие быстро построить аксонометрическую проекцию по ортогональной проекции чертежа.

Особенно часто изображения в аксонометрических проекциях используют при художественном конструировании автомобилей, станков, интерьеров помещений и пр.;

в) **перспектографы**, пространственно изображающие объект с учетом перспективы в зависимости от выбора положения наблюдателя (точки зрения). Особенно удобны перспектографы при изображении крупных объектов, имеющих большую протяженность, как например здания, городские ансамбли и пр.

Вторая группа оргтехники, связанная с механизацией процесса проектирования, позволяет проводить различные виды проектирования. Рассмотрим основные из них.

а) **Плоское макетирование.** Метод плоского макетирования — это метод разработки проектных решений с применением аппликаций, темплетов<sup>1</sup> и т. д.

Темплеты применяются при вычерчивании расположения технологического оборудования в цехах. Конструктор вместо вычерчивания каждый

<sup>1</sup> Темплет — самостоятельно используемое изображение предмета, представляющие его упрощенную ортогональную проекцию в установленном масштабе с необходимыми для проектирования промышленных объектов условными обозначениями и надписями.

раз одних и тех же элементов или объектов схемы или чертежа просто наклеивает их изображения.

Применение темплетов повышает производительность труда конструкторов на 10...15% .

В тех случаях, когда при проведении проектных работ приходится часто производить компоновочные работы, применяют так называемые планировочные доски с “активной” и “пассивной” поверхностью. “Активная” поверхность планировочной доски магнитная. Изображения изделий делаются на пластинах из тонкой жести, которые затем перемещают по поверхности доски с целью поиска рационального варианта компоновки или планировки. “Пассивная” поверхность планировочной доски профилирована с гнездами для механического крепления пластин, на плоской поверхности которых наносят изображение элемента схемы или изделия.

б) М а к е т н о - м о д е л ь н о е п р о е к т и р о в а н и е. ГОСТ 2.002—72 устанавливает следующие определения:

М а к е т — изделие, являющееся объемным упрощенным изображением промышленного объекта в установленном масштабе.

М о д е л ь — изделие, являющееся объемным упрощенным изображением предметов в установленном масштабе. Модель — составная часть макета.

П р о е к т н ы й м а к е т — макет, собранный в процессе проектирования на стадии технического проекта.

Р а б о ч и й м а к е т — макет, собранный в процессе проектирования на стадии разработки рабочей документации.

Метод макетно-модельного (объемного) проектирования чаще всего применяется при разработке сложных установок и комплексов, например объектов химической или металлургической промышленности, в кораблестроении и самолетостроении, а также при других разработках с большим числом комплектующих изделий.

Сущность метода основана на том, что проектанту предоставляются модели всего стандартного, типового и нестандартизованного оборудования, с которым он начинает варьировать, подбирая наилучшие варианты компоновочных решений. Только после того как проектируемая установка полностью смонтирована, установлено все оборудование, размещены приборы и устройства автоматики и “возведена” вся строительная часть, выполняются чертежи и делаются необходимые фотографии.

Применение макетно-модельного метода проектирования позволяет сократить сроки проектирования на 30 ...40% и снизить стоимость проектных работ на 10... 12%.

в) М а ш и н н о е п р о е к т и р о в а н и е. В настоящее время в нашей стране и за рубежом разработаны и внедряются кибернетические устройства типа “электронного проектанта”. Машинное автоматическое проектирование означает тесное взаимодействие человека с ЭВМ на основе использования ряда устройств, телетайпных пультов, специальных языков программирования и других средств диалога человека с машиной.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

<b>Б</b>	
Безотказность.....	62
Болты .....	119
Бринелля метод .....	60
<b>В</b>	
Валы .....	174
Вариатор .....	153
— лобовой .....	153
— с раздвижными конусами .....	153
— торовый .....	154
Векторное изображение силы .....	6
Винты .....	123
Выносливость материалов .....	63
<b>Г</b>	
Гайки .....	125
Гука закон .....	53
<b>Д</b>	
Детали машин	
— классификация .....	83
Движение твердого тела .....	17
— вращательное .....	20
— поступательное .....	19
— простейшее .....	17
Деформации .....	46
— изгиба .....	47
— кручения .....	48
— остаточная .....	47
— растяжения .....	47
— сдвига (среза) .....	48
— сжатия .....	48
— упругая .....	47
Динамика .....	21
Долговечность изделия .....	62
<b>Е</b>	
Единицы механические .....	22
<b>Ж</b>	
Жесткость .....	69
<b>З</b>	
Заклепки .....	91
Закон сохранения энергии .....	25
Зацепления зубчатые .....	154
— прямобочные .....	155
— треугольные .....	155
— эвольвентные .....	155
— элементы .....	155
Звездочки .....	168
<b>И</b>	
Изгиб .....	57
— испытания металлов .....	57
— рациональная форма деталей .....	76
<b>К</b>	
Кинематика .....	14
Кинематическая энергия колебаний .....	27
Колебания виды .....	27
Концентраторы напряжений .....	65
Коэффициент .....	
— жесткости .....	69
— запаса прочности .....	52
— полезного действия (КПД) .....	25
— трения .....	14
Кручение .....	58
— испытания металлов .....	58
— рациональная форма деталей .....	79
<b>Л</b>	
Линия зацепления .....	156
<b>М</b>	
Машины-двигатели .....	81
— орудия .....	82
— преобразователи .....	82
Механизмы .....	31
Механика техническая .....	4
Модуль упругости .....	55
— зубчатого колеса .....	160
Момент силы .....	8
Муфты .....	187
<b>Н</b>	
Нагрузки .....	48
— динамические .....	49
— переменные .....	49
— постоянные .....	49
— распределенные .....	49
— сосредоточенные .....	49
— статические .....	49
Надежность .....	62
Напряжение .....	50
— допускаемое .....	53
— касательное .....	51
— нормальное .....	51
— предельное .....	52
— рабочее .....	52
<b>О</b>	
Оси .....	174
<b>П</b>	
Паяние .....	96
Передачи механические .....	146
— винтовые .....	146

— зубчатые .....	152	— зубчатые (шлицевые) .....	140
— с зацеплением М.Л. Новикова .....	159	— клеевые .....	110
— ременные .....	162	— паяные .....	108
— фрикционные .....	149	— резьбовые .....	110
— цепные .....	167	— допуски .....	117
— червячные .....	160	— конструктивные элементы .....	117
Подшипники .....	177	— прочность .....	130
— качения .....	181	— стопорение .....	132
— скольжения .....	177	— сварные .....	96
Подпятник .....	178	— шпоночные .....	136
Предел текучести .....	52	— штифтовые .....	143
— выносливости .....	62	Скорость .....	16
— прочности .....	52	Статика .....	5
Прочность изделия .....	62	<b>Т</b>	
— резьбовых соединений .....	130	Тела качения .....	181
Пружины .....	190	Трение виды .....	11
Пята .....	178	<b>У</b>	
<b>Р</b>		Угол профиля резьбы .....	111
Работоспособность устройства .....	23	— закручивания .....	59
равновесие тела .....	10	— зацепления .....	156
Равнопрочность изделия .....	68	Удлинение (относительное) .....	54
Разрушение (усталостное) металлов ..	67	Усталость металла .....	63
Растяжение .....	77	Устойчивость тел .....	10
— испытание металлов .....	52	<b>Ц</b>	
— рациональная форма деталей .....	77	Цапфа .....	176
Ремни приводные .....	164	Центрирование .....	141
Ремонтнопригодность изделия .....	62	Цепи .....	169
Резьба .....	111	— составные элементы .....	170
— дюймовая .....	114	<b>Ч</b>	
— левая .....	112	Червяк .....	162
— метрическая .....	114	— червячные передачи .....	162
— правая .....	112	— червячный редуктор .....	157
— прямоугольная .....	117	<b>Ш</b>	
— специального назначения .....	117	Шайбы .....	126
— трапецеидальная .....	116	— обычного применения .....	126
— трубная .....	114	— специального назначения .....	126
— упорная .....	116	— стопорные .....	126
— профиль .....	113	Шейка вала .....	176
Ресурс технический .....	62	Шкивы .....	168
Роквелла метод .....	60	Шпильки .....	125
<b>С</b>		— ввертывание в резьбовое .....	125
Сварка давлением .....	101	гнездо .....	129
— плавлением .....	96	Шплинты .....	138
Сдвиг (срез) .....	58	Шпонки .....	145
— испытание металлов .....	57	Штифты .....	
Сжатие .....	55		
— испытание металлов .....	55		
— рациональная форма деталей .....	71		
Соединение деталей .....	97		
— заклепочные .....	92		

# Оглавление

<b>Введение</b> .....	<b>3</b>
<b>Глава I. Понятие о технической механике</b> .....	<b>4</b>
1. Общие сведения .....	4
2. Статика .....	5
2.1. Сила и ее векторные изображения .....	6
2.2. Центр тяжести .....	9
2.3. Трение .....	11
3. Кинематика .....	14
3.1. Содержание и основные понятия кинематики .....	14
3.2. Простейшие движения твердого тела .....	17
3.3. Поступательное и вращательное движения твердого тела .....	19
4. Динамика .....	21
4.1. Основные понятия динамики .....	21
4.2. Механические единицы .....	22
4.3. Работа, мощность и энергия .....	23
4.4. Закон сохранения энергии .....	25
4.5. Механический коэффициент полезного действия .....	25
4.6. Сила инерции движения тел .....	26
4.7. Кинетическая энергия колебаний .....	27
<b>Глава II. Основные понятия о механизмах и машинах</b> .....	<b>31</b>
1. Механика и машина .....	31
2. Кинематические схемы механизмов .....	31
3. Механизмы для преобразования движения .....	35
3.1. зубчато-реечный механизм .....	35
3.2. Винтовой механизм .....	35
3.3. Кривошипный механизм .....	36
3.4. Кулисный механизм .....	40
3.5. Кулачковый механизм .....	41
<b>Глава III. Работоспособность и надежность деталей машин</b> .....	<b>44</b>
1. Общие сведения .....	44
2. Основные виды деформаций .....	46
3. Классификация нагрузок .....	48
4. Понятия о рабочих, предельных и допускаемых напряжениях .....	50
5. Определение механических свойств металлов. Закон Гука .....	52
5.1. Испытание на растяжение .....	53
5.2. Испытание на сжатие .....	55
5.3. Испытание на изгиб .....	56
5.4. Испытание на срез .....	57
5.5. Испытание на кручение .....	58
5.6. Испытание на твердость .....	59

6. Понятие о надежности, прочности и жесткости .....	61
7. Рациональные формы сечения деталей, работающих на изгиб.....	71
8. Рациональные формы деталей, работающих на растяжение и сжатие .....	77
9. Рациональные формы деталей, работающих на кручение.....	78
<b>Глава IV. Основные сведения о деталях машин .....</b>	<b>80</b>
1. Классификация машин.....	80
2. Классификация деталей .....	82
3. Требования, предъявляемые к машинам и их деталям .....	88
<b>Глава V. Соединения деталей.....</b>	<b>89</b>
1. Общие сведения .....	89
2. Заклепочные соединения .....	91
3. Сварные, паяные и клеевые соединения .....	95
3.1. Общие сведения .....	95
3.2. Сварка плавлением .....	96
3.3. Сварка давлением.....	101
3.4. Автоматизация процесса сварки .....	103
3.5. Электронно-лучевая сварка .....	103
3.6. Лазерная сварка .....	104
3.7. Виды конструктивных соединений деталей сваркой .....	106
3.8. Паяные соединения.....	108
3.9. Клеевые соединения .....	108
4. Резьбовые соединения .....	110
4.1. Понятие о резьбах .....	110
4.2. Формы и типы резьб .....	112
4.3. Резьбы специального назначения и ограниченного применения .....	115
4.4. Понятие о допусках резьбовых соединений .....	117
4.5. Конструктивные элементы резьбовых соединений .....	117
4.6. Понятие о прочности резьбовых соединений .....	130
4.7. Стопорение резьбовых соединений .....	132
4.8. Понятие о сборке резьбовых соединений .....	133
5. Шпоночные соединения.....	136
5.1. Соединение призматической шпонкой.....	137
5.2. Соединение сегментной шпонкой .....	138
5.3. Соединение клиновой шпонкой .....	139
5.4. Соединение специальными шпонками .....	140
6. Зубчатые (шлицевые) соединения .....	140
6.1. Прямобоочные зубчатые соединения .....	141
6.2. Эвольвентные зубчатые соединения .....	142
6.3. Треугольные зубчатые соединения.....	142
7. Штифтовые соединения.....	143
<b>Глава VI. Механические передачи .....</b>	<b>146</b>
1. Общие сведения .....	146
2. Винтовые механизмы («винт — гайка») .....	146
3. Фрикционные передачи .....	149

3.1. Общие сведения .....	149
3.2. Типы фрикционных передач .....	150
4. Зубчатые и червячные передачи .....	152
4.1. Общие сведения .....	152
4.2. Основы теории зацепления .....	155
4.3. Основные элементы зубчатых зацеплений .....	157
4.4. Зубчатые передачи с зацеплением М.А. Новикова .....	159
4.5. Червячная передача .....	160
4.6. Материалы деталей зубчатых и червячных передач .....	161
5. Ременные передачи .....	162
5.1. Общие сведения .....	162
5.2. Типы проскоремренных передач .....	163
5.3. Клиноременная передача .....	163
5.4. Детали ременных передач .....	165
6. Цепные передачи .....	167
6.1. Общие сведения .....	167
6.2. Детали цепных передач .....	168
<b>Глава VII. Детали и сборочные единицы передач .....</b>	<b>171</b>
1. Валы и оси .....	171
1.1. Общие сведения .....	171
1.2. Конструктивные элементы валов и осей .....	173
2. Подшипники скольжения .....	175
2.1. Вкладыши подшипников скольжения .....	176
2.2. Смазка подшипников скольжения .....	177
3. Подшипники качения .....	179
3.1. Общие сведения .....	179
3.2. Основные типы подшипников .....	181
4. Муфты .....	184
5. Пружины .....	187
<b>Приложение .....</b>	<b>194</b>
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>203</b>



*Учебное издание*

**Ройтман Израиль Абрамович, Кузьменко Василий Иванович**

## **ОСНОВЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ В ЧЕРЧЕНИИ**

*Учебник для студентов высших учебных заведений*

**В двух книгах**

### **Книга 2**

Зав. редакцией **А.Н. Соколов**

Редактор **Я.Я. Олейников**

Зав. художественной редакцией **И.А. Пшеничников**

Художник **Ю.В. Токарев**

Компьютерная верстка **Л.В. Нежинская**

Корректор **Т.Я. Кокорева**

Лицензия ЛР № 064380 от 04.01.96

Гигиенический сертификат

№ 77.ЦС.01.952.П.01652.С.98 от 28.08.98

Сдано в набор 05.05.99. Подписано в печать 25.10.99

Формат 70х100/16. Печать офсетная

Усл. печ. л. 16,9. Тираж 20000 экз. (1-й завод 1 - 10000 экз.)

Заказ № 2126

«Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС».

117571, Москва, просп. Вернадского, 88,

Московский педагогический государственный университет.

Тел. 437-11-11, 437-25-52, 437-99-98; тел./факс 932-56-19.

E-mail: [vlados@dol.ru](mailto:vlados@dol.ru)

<http://www.vlados.ru>

---

Отпечатано в ГУП ИПК «Ульяновский дом печати».

432601, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14.