

ДЕТАЛИ МАШИН

Под редакцией О.А. Ряховского

*Допущено Министерством образования
Российской Федерации
в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений, обучающихся
по направлению подготовки
дипломированных специалистов
«Машиностроительные технологии
и оборудование» и «Технологические
машины и оборудование»*

3-е издание, переработанное и дополненное

Москва
Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана
2007

«Механика в техническом университете»

Серия основана в 1999 году

В восьми томах

Том 2

Ответственный редактор К.С. Колесников

Редакционный совет:

К.С. Колесников (председатель)

Н.А. Алфутов

О.С. Нарайкин

Д.Н. Попов

О.А. Ряховский

В.А. Светлицкий

В.И. Усюкин

К.В. Фролов

И.С. Шумилов

Москва

Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана

2007

УДК 621.81 (075.8)
ББК 34.41
Д38

Рецензенты: кафедра «Машиноведение и детали машин»
Московского авиационного института (зав.
кафедрой д-р техн. наук А.И. Станкевич);
д-р техн. наук Ю.Н. Дроздов

Авторы: Л.А. Андриенко, Б.А. Байков, И.К. Ганулич,
А.В. Клыпин, Д.Н. Решетов, О.А. Ряховский,
В.П. Тибанов, М.В. Фомин, С.А. Шувалов

Д38 **Детали машин:** Учебник для вузов / Л.А. Андриенко,
Б.А. Байков, И.К. Ганулич и др.; Под ред. О.А. Ряховского. —
3-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баума-
на, 2007. — 520 с.: ил. — (Сер. Механика в техническом
университете; Т. 8).

ISBN 978-5-7038-3013-0 (Т. 8)
ISBN 978-5-7038-3012-3

Изложены основы теории, расчета и принципы конструирования деталей и узлов машин общего назначения: разъемных и неразъемных соединений, передач зацеплением и трением, подшипников скольжения и качения, валов и муфт приводов. В третье издание (2-е — в 2004 г.) внесены исправления и дополнения.

Содержание учебника соответствует программе и курсу лекций, который авторы читают в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов технических университетов. Может быть полезен аспирантам и преподавателям, а также специалистам в области машиностроения.

УДК 621.81 (075.8)
ББК 34.41

ISBN 978-5-7038-3013-0 (Т. 8)
ISBN 978-5-7038-3012-3

© Коллектив авторов, 2004;
с изменениями, 2007
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004;
с изменениями, 2007

ПРЕДИСЛОВИЕ

Третье издание (2-е — в 2004 г.) учебника написано в соответствии с программой дисциплины «Основы конструирования деталей и узлов машин» для студентов машиностроительных специальностей вузов и охватывает ряд общих вопросов, касающихся критериев работоспособности, расчетов и конструирования узлов и деталей машин в целом.

Рассмотрены теория и расчеты разъемных и неразъемных соединений различных типов, передач зацеплением и трением, валов и осей, подшипников качения и скольжения, муфт приводов, смазывания, изнашивания, а также смазочных устройств и др. Большое внимание уделено вопросу контактной прочности.

Дисциплина «Основы конструирования деталей и узлов машин» является необходимой при подготовке конструкторов широкого профиля — создателей новой техники.

Учебник написан в соответствии с принятой классификацией деталей машин (соединения, передачи, валы, опоры, муфты приводов) и отражает современное состояние основ конструирования машин и перспективные тенденции.

Авторы выражают искреннюю благодарность своему учителю Дмитрию Николаевичу Решетову, оказавшему неоценимую помощь в обсуждении и написании настоящего учебника, канд. техн. наук Л.Н. Сыроветникову за участие в написании главы «Фрикционные передачи и вариаторы», проф. Олегу Павловичу Леликову и доц. Людмиле Петровне Варламовой за тщательный просмотр рукописи и ценные замечания по ее улучшению.

Авторы 3-го издания учебника: Б.А. Байков — главы 2, 3, 15; И.К. Ганулич — главы 4, 9; А.В. Клыпин — главы 12, 13, 14; О.А. Ряховский — главы 1, 10, 11, 19; В.П. Тибанов — главы 5–8, 16; М.В. Фомин — главы 17, 18.

Глава 1

ВВЕДЕНИЕ В КУРС «ДЕТАЛИ МАШИН». КОНТАКТНАЯ ЗАДАЧА

Все основные рабочие процессы осуществляются машинами или с применением средств механизации. Современные машины многократно повышают производительность труда человека и решают задачи, порой непосильные человеку. Мощность энергетических машин достигла миллионов киловатт, скорость самолетов превысила скорость звука, мощные вычислительные машины способны выполнять сотни миллионов операций в секунду, достигнута возможность перемещения в космическом пространстве.

Детали машин — это составные части машин*.

Дисциплина «Основы конструирования деталей и узлов машин» охватывает изучение, расчеты и конструирование отдельных деталей, их комплексов — узлов (сборочных единиц), объединенных общими сборочными операциями и назначением.

Конструирование — это творческий процесс создания оптимального варианта машины в документах (главным образом в чертежах) на основе теоретических расчетов, конструкторского, технологического и эксплуатационного опыта.

Детали машин подразделяют на детали общемашиностроительного применения, составляющие большинство, и специфические — для отдельных машин (например, механизм управления крылом самолета, грузозахватные устройства подъемно-транспортных машин). В курсе «Детали машин» рассматривают детали первой группы.

Комплексы деталей машин классифицируют по назначению: соединения, передачи, подшипники, муфты, смазочные и уплотнительные устройства, упругие элементы и корпусные детали.

* В узком понимании термина — это детали, изготавливаемые без сборочных операций.

Глава 2

РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

2.1. Общие понятия

Резьбовыми соединениями называют соединения деталей с помощью резьбы. В качестве резьбовых элементов используют болты (винт с гайкой), винты и шпильки (рис. 2.1). Основным преимуществом болтового соединения (см. рис. 2.1, *а*) является то, что оно не требует выполнения резьбы в соединяемых деталях и исключена необходимость замены или ремонта дорогостоящих корпусных деталей из-за повреждения резьбы. Это особенно важно, когда материал корпусной детали не может обеспечить достаточной прочности резьбы.

Винты (см. рис. 2.1, *б*) применяют тогда, когда корпусная деталь большой толщины не позволяет выполнить сквозное отверстие для установки болта.

Шпильки (см. рис. 2.1, *в*) используют вместо винтов, если прочность материала детали с резьбой недостаточна (сплавы на основе алюминия), а также при частых сборках и разборках со-

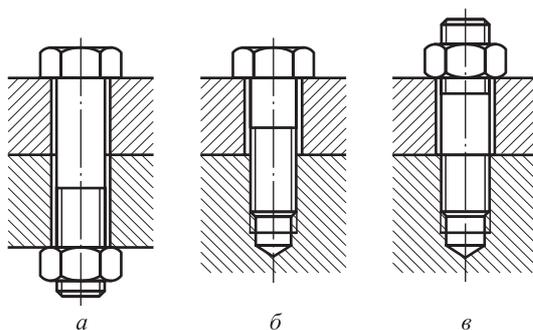


Рис. 2.1. Виды резьбовых соединений

Глава 3

ЗАКЛЕПОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Заклепка (рис. 3.1) представляет собой стержень круглого сечения с головками на концах, одну из которых, называемую закладной *1*, выполняют на заготовке заранее, а вторую, называемую замыкающей *4*, формируют при клепке. Заклепочные соединения образуют постановкой заклепок в совмещенные отверстия соединяемых элементов и расклепкой с осаживанием стержня. При этом за счет поперечной упругопластической деформации стержня происходит заполнение начального зазора между стержнем и стенками отверстия, в некоторых случаях с образованием натяга.

Заклепочные соединения разделяют следующим образом:

а) силовые (иначе называемые прочными соединениями), используемые преимущественно в металлических конструкциях машин, в строительных сооружениях;

б) силовые плотные, используемые в котлах и трубах, работающих под давлением*.

Преимущества и недостатки заклепочных соединений являются стабильность и контролируемость качества, недостатками —

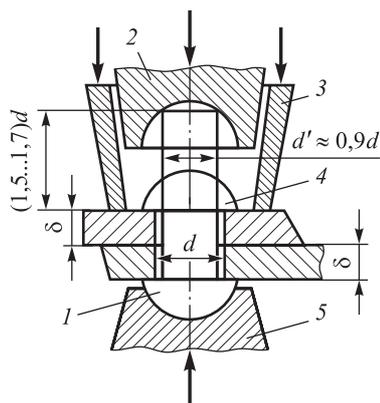


Рис. 3.1. Образование заклепочного соединения:

1 — закладная головка; *2* — обжимка; *3* — прижим; *4* — замыкающая головка; *5* — поддержка

* В последние годы такие соединения в значительной мере вытеснены сварными соединениями, поэтому ограничимся рассмотрением силовых соединений.

Глава 4

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

4.1. Общие сведения*

Сварные соединения — наиболее рациональный и распространенный вид неразъемных соединений, приближающий по форме составные детали к целым; их широко применяют в строительстве и машиностроении. Сварка обеспечивает образование межзатомных связей между соединяемыми частями при их местном нагревании до расплавленного состояния (сварка плавлением) или до расплавленного состояния с последующим сдавливанием (контактная сварка).

Из всех видов сварки плавлением, принадлежащих к термическому классу, широкое распространение получила дуговая сварка плавящимся электродом, изобретенная в России еще в конце XIX в. Источником теплоты является электрическая дуга, образующаяся между электродом и кромками свариваемых деталей. Оплавленные кромки и расплавленный электрод образуют материал сварного шва.

При ручной сварке в качестве электрода используют стальной стержень, подачу которого в дугу и перемещение вдоль шва выполняет сварщик. Покрытие (обмазка) электродов обеспечивает устойчивое горение дуги и защиту материала шва от вредного воздействия окружающей среды. Сваривание углеродистых или низколегированных сталей выполняют электродами (ГОСТ 9467–73) Э38; Э42; Э46; Э50 или, если предъявляют повышенные требования к пластичности и ударной вязкости сварного шва, электродами Э42А; Э46А; Э50А. Число после буквы Э, умноженное на 10,

* В главе использованы термины по ГОСТ 2601–84.

Глава 5

СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С НАТЯГОМ

5.1. Общие сведения

Соединения деталей с натягом — это напряженные соединения, в которых на поверхностях контакта соединяемых деталей возникают распределенные нормальные силы (давление). Давление на поверхности контакта появляется вследствие упругих (или упругопластических) деформаций деталей. При изготовлении деталей соединений с натягом посадочный размер охватываемой детали делают больше, а охватывающей — меньше. После сборки посадочный размер деталей становится общим, при этом посадочный размер охватывающей детали увеличивается, а охватываемой — уменьшается. Детали соединения после сборки деформируются и соединение становится напряженным.

Нагрузки, сдвигающие по отношению к поверхности контакта, передаются (воспринимаются) соединением за счет сил трения (сцепления), возникающих на поверхности контакта деталей соединения после сборки. Действие на соединение нагрузок, нормальных к поверхности контакта (поперечные силы, изгибающие моменты), вызывает перераспределение первоначального давления, которое появилось на поверхности контакта деталей соединения после сборки.

Различают соединения деталей по цилиндрическим и коническим поверхностям, когда специальные соединительные детали отсутствуют (рис. 5.1), и соединения деталей по плоскости с помощью специальных соединительных деталей: стяжных колец, планок и т. п. (рис. 5.2).

Наиболее широко применяют соединения по цилиндрическим и коническим поверхностям вследствие простоты конструк-

Глава 6

СОЕДИНЕНИЯ ШПОНОЧНЫЕ И ШЛИЦЕВЫЕ

6.1. Соединения шпоночные

Общие сведения. Шпоночные соединения (рис. 6.1) применяют для передачи вращающего момента между валом и ступицей, насаженной на вал детали, например ступицей зубчатого колеса, шкива, маховика и т. п. Передача вращающего момента между деталями соединения осуществляется с помощью специальной детали — шпонки (рис. 6.2).

Шпоночные соединения подразделяют на ненапряженные, осуществляемые призматическими (см. рис. 6.1, *а*), сегментными (см. рис. 6.1, *б*) или цилиндрическими (см. рис. 6.1, *з*) шпонками, и напряженные, осуществляемые клиновыми (см. рис. 6.1, *в*) шпонками.

Различают неподвижные и подвижные шпоночные соединения. В неподвижных соединениях ступицы не могут перемещаться по валу в осевом направлении, у подвижных соединений ступицы могут перемещаться по валу; в этом случае используют достаточно длинные направляющие шпонки, которые крепятся к валу винтами. В машиностроении основное распространение имеют ненапряженные неподвижные шпоночные соединения как более простые в изготовлении.

В напряженных шпоночных соединениях используют клиновые шпонки; они вызывают радиальное смещение ступиц относительно валов, что приводит к появлению дисбаланса; клиновые шпонки в настоящее время применяют редко и поэтому здесь они не рассматриваются (см. [31]).

Соединения призматическими шпонками. Эти соединения (см. рис. 6.1, *а*) наиболее широко применяют в машиностроении;

Глава 7

СОЕДИНЕНИЯ КОНУСНЫЕ, КОНИЧЕСКИМИ СТЯЖНЫМИ КОЛЬЦАМИ И КЛЕММОВЫЕ

7.1. Соединения конусные

В конусных соединениях вал и ступица контактируют между собой по боковой (конической) поверхности усеченного конуса. Обычно эти соединения применяют для закрепления таких деталей, как полумуфты, зубчатые колеса, шкивы, маховики на концевых участках валов. Вращающий момент T между валом 1 и ступицей 2 , насаженной на вал детали (например, зубчатого колеса), передается, как и в соединениях с натягом, трением (сцеплением), возникающим на посадочной конической поверхности в результате приложения осевой силы затяжки (рис. 7.1). Затяжка

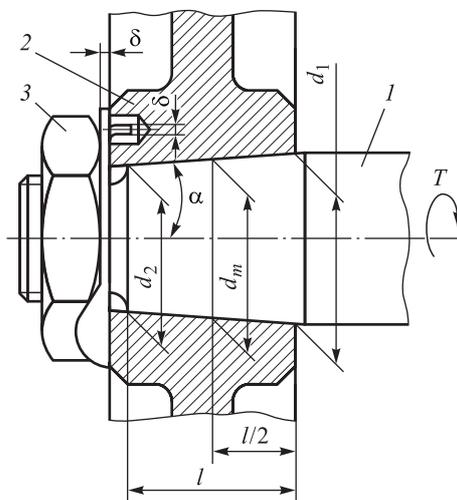


Рис. 7.1. Конусное соединение

Глава 8 ДРУГИЕ ВИДЫ СОЕДИНЕНИЙ

8.1. Паяные соединения

Общие сведения. Пайкой называется способ соединения элементов конструкций при помощи припоя путем нагрева соединяемых деталей ниже температуры плавления материалов деталей соединения, смачивания их расплавленным припоем, затекания припоя в зазор между деталями соединения и последующей его кристаллизации при охлаждении.

Паяные соединения подобны сварным; отличие пайки от сварки — отсутствие расплавления или высокотемпературного нагрева соединяемых деталей, поскольку припои имеют более низкую температуру плавления, чем материалы соединяемых деталей.

Связь в паяном шве основана на растворении металла деталей в расплавленном припое, взаимной диффузии элементов припоя и металла соединяемых деталей, бездиффузионной атомной связи.

Наряду с использованием пайки как основного вида соединений в радиоэлектронной и электротехнической аппаратуре, паяные соединения получили распространение и в изделиях машиностроения.

Современные методы пайки [21] значительно расширили технические возможности выполнения соединений. Пайку применяют при изготовлении камер сгорания жидкостных реактивных двигателей, лопаток турбин, топливных и масляных трубопроводов, деталей ядерных реакторов и других конструкций из тугоплавких металлов (молибдена, ниобия, тантала, вольфрама), плохо поддающихся сварке.

Достоинства паяных соединений: возможность соединять детали не только из однородных, но и из разнородных мате-

Глава 9 ОСНОВЫ ТРИБОТЕХНИКИ

9.1. Трение

Триботехника* изучает прикладные задачи трибологии — научной дисциплины о трении, износе и смазке.

Большую группу деталей машин составляют подвижные соединения — узлы трения (механизм винт—гайка, опоры валов и т. п.). Работоспособность узлов трения во многом определяет надежность и ресурс машин. Известно, что 80...90 % узлов трения выходят из строя вследствие изнашивания трущихся поверхностей [19]. В связи с этим затраты на техническое обслуживание и ремонт в нашей стране в 3—10 раз превышает первоначальную стоимость машин [17]. В некоторых машинах возникают существенные потери энергии на преодоление трения (в автомобилях ~50 %, в текстильных станках ~80%) [5].

Знание основ триботехники помогает грамотно конструировать машины. Одним из радикальных средств обеспечения надежности узлов трения является научно-обоснованный выбор смазочного материала, зависящий от условий эксплуатации, вида ожидаемого режима смазки и состояния трущихся поверхностей.

9.1.1. Состояние поверхностей в зоне контакта

Известно, что контакт реальных поверхностей твердых тел имеет дискретный (в виде пятен) характер, обусловленный неровностями поверхностей: отклонением формы, волнистостью,

* В главе использована терминология по ГОСТ 23.002–78.

Глава 10

ФРИКЦИОННЫЕ ПЕРЕДАЧИ И ВАРИАТОРЫ

10.1. Общие сведения

Фрикционные передачи — это механизмы, в которых движение передается силами трения. Простейшая фрикционная передача состоит из двух колес, прижимаемых друг к другу с заданной силой (рис. 10.1, *а*). При вращении ведущего колеса в месте контакта возникают силы трения, которые приводят во вращение ведомое колесо. Заменяв цилиндрические колеса коническими (рис. 10.1, *б*), можно осуществить передачу между валами с пересекающимися осями. Выполнив одно из тел качения с переменным радиусом вращения, можно получить передачу с переменным передаточным отношением (вариатор). Простейшим примером является лобовая передача (рис. 10.2), состоящая из диска и колеса. При перемещении колеса *1* вдоль вала меняется радиус качения на диске *2* и, следовательно, передаточное отношение.

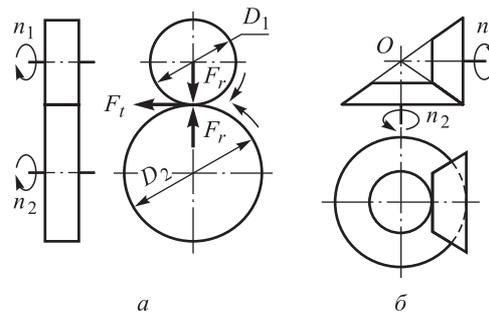


Рис. 10.1. Простые фрикционные передачи с цилиндрическими (*а*) и коническими (*б*) колесами

Глава 11

ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ

11.1. Общие сведения

Зубчатая передача — это механизм, который с помощью зацепления передает или преобразует движение с изменением скоростей и моментов. Применяется для передачи вращательного движения между валами с параллельными, пересекающимися и перекрещивающимися осями, а также для преобразования вращательного движения в поступательное и наоборот.

Зубчатые передачи между параллельными валами осуществляются цилиндрическими колесами с прямыми, косыми или шевронными зубьями (рис. 11.1, *а–г*). Эти передачи называют цилиндрическими. Существуют цилиндрические передачи внешнего зацепления (прямозубые, косозубые, шевронные) и цилиндрические передачи (см. рис. 11.1, *б*) внутреннего зацепления (прямозубые, косозубые).

Передачи между валами с пересекающимися осями осуществляются коническими колесами с прямыми и круговыми зубьями (рис. 11.1, *д, е*). Для валов с перекрещивающимися осями применяют зубчато-винтовые передачи (рис. 11.1, *ж*). Зубчатые передачи для преобразования вращательного движения в поступательное и наоборот осуществляются цилиндрическим колесом и рейкой (рис. 11.1, *з*).

Зубчатые передачи наиболее распространены среди механических передач. Их применяют в широком диапазоне нагрузок и условий работы: от часовых механизмов и приборов до тяжелых машин, для передачи различных вращающих моментов (до 10^7 Н·м) и мощностей от ничтожно малых до десятков тысяч киловатт, с диаметрами колес от долей миллиметра до 10 м и более.

Глава 12

ЧЕРВЯЧНЫЕ ПЕРЕДАЧИ

12.1. Общие сведения

Червячная передача — это механизм для передачи вращения зацеплением при контакте витков червяка и зубьев червячного колеса (рис. 12.1). Червяк *1* — винт с трапецеидальной или близкой к ней по форме резьбой. Червячное колесо *2* является косозубым зубчатым колесом с зубьями дуговой формы. Такая форма зубьев обеспечивает увеличение длины и прочности зубьев на изгиб.

Червячные передачи применяют при необходимости передачи движения между перекрещивающимися (как правило, взаимно перпендикулярными) валами. При вращении витки червяка плавно входят в зацепление с зубьями колеса и приводят его во вращение. Передачи используют в станках, автомобилях, подъемно-транспортных и других машинах.

Достоинства червячных передач: 1) возможность получения большого передаточного числа в одной ступени; 2) плав-

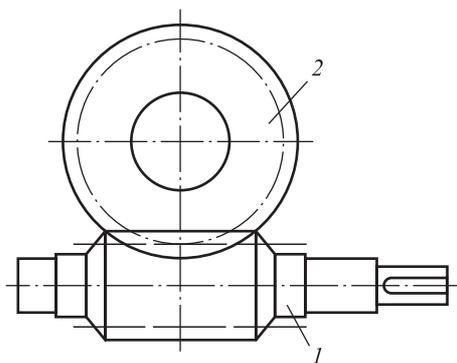


Рис. 12.1. Схема червячной передачи с цилиндрическим червяком

Глава 13

ЦЕПНЫЕ ПЕРЕДАЧИ

13.1. Общие сведения

Цепная передача — это механизм, состоящий из ведущей 1 и ведомой 2 звездочек и охватывающей их цепи 3 (рис. 13.1). В состав передачи также часто входят натяжные и смазочные устройства, ограждения. Возможно применение нескольких ведомых звездочек. Цепь состоит из соединенных шарнирно звеньев, за счет чего обеспечивается гибкость цепи. Передачи используют в сельскохозяйственных, подъемно-транспортных, текстильных и полиграфических машинах, мотоциклах, велосипедах, автомобилях, нефтебуровом оборудовании.

Достоинства цепных передач: 1) возможность применения в значительном диапазоне межосевых расстояний; 2) меньшие, чем у ременных передач, габариты; 3) отсутствие проскальзывания; 4) высокий КПД; 5) относительно малые силы, действующие на валы; 6) возможность передачи движения нескольким звездочкам; 7) возможность легкой замены цепи.

Недостатки цепных передач: 1) неизбежность износа шарниров цепи из-за отсутствия условий для жидкостного тре-

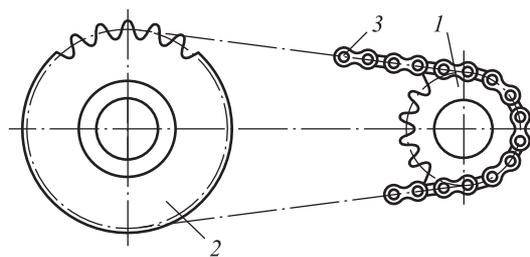


Рис. 13.1. Схема цепной передачи

Глава 14

РЕМЕННЫЕ ПЕРЕДАЧИ

14.1. Общие сведения

Ременная передача (рис. 14.1) состоит из ведущего 1 и ведомого 2 шкивов и надетого на них ремня 3. В состав передачи могут также входить натяжные устройства и ограждения. Возможно применение нескольких ремней и ведомых шкивов. Основное назначение — передача механической энергии от двигателя передаточным и исполнительным механизмам, как правило, с понижением частоты вращения.

14.2. Классификация передач

По принципу работы различают передачи трением (большинство передач) и зацеплением (зубчато-ременные). Передачи зубчатыми ремнями по своим свойствам существенно отличаются от передач трением и рассматриваются особо в § 14.13.

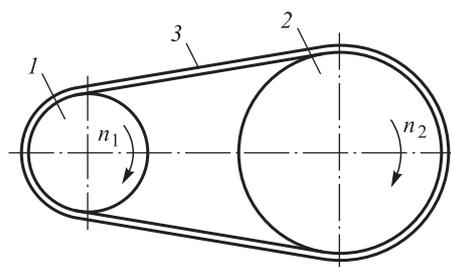


Рис. 14.1. Схема ременной передачи

Глава 15

ПЕРЕДАЧА ВИНТ—ГАЙКА

Передачи винт—гайка предназначены для преобразования вращательного движения в поступательное и наоборот. В этих передачах используют пары винт—гайка скольжения (рис. 15.1, *а*) или качения (см. рис. 15.1, *б*, рис. 15.9).

Достоинствами передач винт—гайка являются большой выигрыш в силе, высокая точность перемещений, малая металлоемкость, что позволяет широко использовать их в грузоподъемных механизмах, например в винтовых домкратах, в механизмах подачи станков и приводах роботов, а также в измерительных и регулировочных механизмах.

К недостаткам следует отнести низкий КПД в передачах скольжения и сложность изготовления в передачах качения.

Передачи скольжения сохранили широкое применение вследствие простоты конструкции и отработанной технологии получения резьбы. В целях повышения КПД в передачах винт—гайка скольжения используют резьбы, имеющие пониженный приведенный коэффициент трения (см. § 2.4). К ним относятся трапецеидальные и упорные резьбы (рис. 15.2) с углами рабочего профиля соответственно 15 и 3°. Трапецеидальную резьбу в основном диапазоне диаметров выполняют мелкой, средней и крупной. Основное применение находит средняя резьба. Мелкую резьбу применяют в механизмах, где требуется повышенная точность перемещений, крупную резьбу — когда передача плохо защищена от пыли и грязи.

Упорные резьбы применяют при действии на передачу большой односторонней нагрузки, например, в прессах или нажимных устройствах прокатных станов.

Пара винт—гайка должна обладать высокой износостойкостью и сопротивляемостью к заеданию. Поэтому обычно используют

Глава 16

ВАЛЫ И ОСИ

16.1. Общие сведения

В современных машинах наиболее часто используют вращательное движение. Вращающиеся детали, такие, как зубчатые колеса, шкивы, звездочки, блоки, муфты и др., направляются и поддерживаются в пространстве при помощи валов и осей.

Валы и оси в большинстве случаев имеют форму тел вращения.

Вращающиеся детали и поддерживающие их валы обычно жестко соединены посадками с натягом, шпонками, шлицами и т. п., поэтому валы могут быть только вращающимися, при этом они всегда передают вращающий момент и подвержены кручению.

На осях вращающиеся детали могут быть либо закреплены неподвижно, например с помощью посадок с натягом, и тогда оси должны вращаться, либо установлены свободно, например по посадке с зазором, на подшипниках качения и т. п., и тогда оси могут быть неподвижными; в любом случае оси не передают вращающий момент и их можно рассматривать как частную разновидность валов, не подверженных кручению.

По назначению валы можно разделить на *коренные*, т. е. валы, несущие основные рабочие органы машин (ротор турбины, коленчатый вал двигателя внутреннего сгорания, шпиндель станка и др.), и *передаточные* (валы передач), используемые для передачи и распределения движения и несущие на себе детали передач: зубчатые колеса, шкивы, звездочки и т. д. В ряде машин (сельскохозяйственных, дорожных) применяют валы для передачи вращающего момента к исполнительным органам; их называют *трансмиссионными*.

Глава 17

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

17.1. Общие сведения

Подшипник — это опора или направляющая, которая воспринимает нагрузки и допускает относительное перемещение частей механизма в требуемом направлении. Основное назначение подшипников — поддерживать вращающиеся детали в пространстве, воспринимая действующие на них нагрузки.

Подшипники качения (рис. 17.1, 17.2) обычно состоят из наружного и внутреннего колец, тел качения (шариков или роликов) и сепаратора, удерживающего тела качения на определенном расстоянии друг от друга. Иногда одно или оба кольца могут отсутствовать и тогда тела качения катятся непосредственно по валу или корпусу.

Подшипники качения являются основным видом опор валов и осей в машинах и имеют международную стандартизацию. Известны миниатюрные подшипники качения с диаметром внутреннего кольца $d = 0,6$ мм и с диаметром наружного кольца

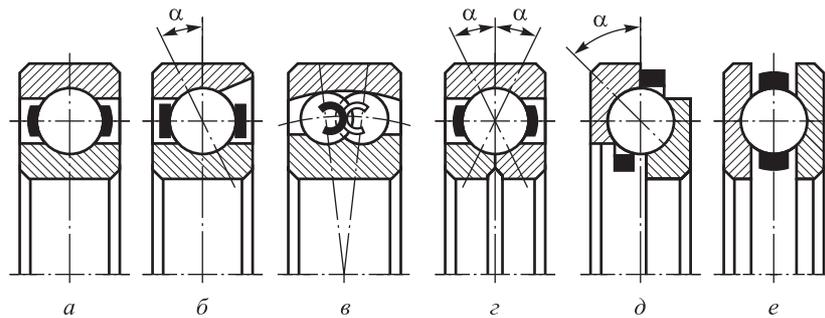


Рис. 17.1. Шарикоподшипники

Глава 18

ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ

18.1. Общие сведения

Подшипник скольжения — это опора или направляющая, в которой цапфа (опорная поверхность вала) скользит по поверхности вкладыша (подшипника) (рис. 18.1). Для уменьшения сил трения и износа подшипники смазывают. Основное применение имеют жидкие смазочные материалы, особенно при больших нагрузках и скоростях. Газообразные смазочные материалы (главным образом воздух) применяют для высокоскоростных опор. Для тихоходных опор используют пластичные смазочные материалы. Для подшипников, работающих в экстремальных условиях, применяют самосмазывающиеся материалы, т. е. материалы, которые содержат компоненты или покрытия, обеспечивающие смазывание.

По направлению воспринимаемой нагрузки подшипники скольжения подразделяют на две группы: радиальные и упорные (осевые). При совместном действии радиальных и осевых нагрузок применяют совмещенные опоры, в которых осевую нагрузку воспринимают торцы вкладышей (рис. 18.2) или специальные гребни.

По принципу образования подъемной силы в масляном слое подшипники делят на гидродинамические и гидростатические. Для разделения трущихся поверхностей слоем смазочного материала в нем необходимо создать избыточное давление. В гидродинамических подшипниках это давление возникает только при относительном движении поверхностей вследствие затягивания масла в клиновидный зазор. В гидростатических подшипниках давление создается насосом. Основное распространение получили подшипники с гидродинамической смазкой как наиболее простые.

Глава 19

МУФТЫ ПРИВОДОВ

19.1. Назначение муфт, применяемых в машинах

Муфтами приводов называют устройства, соединяющие валы совместно работающих агрегатов и передающие вращающий момент.

Постоянные (нерасцепляемые) муфты обеспечивают постоянное в течение всего времени эксплуатации машины соединение валов. Кроме того, в некоторых машинах применяют муфты *сцепления* для соединения (сцепления) агрегатов или их разъединения во время работы машины. В свою очередь, муфты сцепления подразделяют на *управляемые* и *самоуправляемые* (самодействующие).

Управляемые муфты соединяют (разъединяют) агрегаты машин по команде. Самоуправляемые муфты срабатывают автоматически, соединяя или разъединяя валы в зависимости от специфики работы машины и принципа действия муфты.

Основной характеристикой нагруженности муфты является вращающий момент T (в некоторых случаях вместо вращающего момента задают мощность и частоту вращения).

Обычно расчетный вращающий момент T , действующий на муфту, приближенно определяют в зависимости от динамических свойств машины, характеризуемых степенью неравномерности вращения и величиной разгоняемых масс, т. е. динамической составляющей вращающего момента на муфте:

$$T = T_n + T_d = T_n(1 + T_d/T_n) = KT_n,$$

где T_n — номинальный момент (среднее значение длительно действующего момента), который обычно приближенно определяют

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Атлас* конструкций узлов и деталей машин: Учеб. пособие / Б.А. Байков, А.В. Клыпин, И.К. Ганулич и др.; Под ред. О.А. Ряховского. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.
2. *Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б.* Расчет на прочность деталей машин. М.: Машиностроение, 1993.
3. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. М.: Наука, 1969.
4. *Воскресенский В.А., Дьяков В.И.* Расчет и проектирование опор скольжения: Справочник. М.: Машиностроение, 1980.
5. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника. М.: Машиностроение, 1989.
6. *Глухарев Е.Г., Зубарев Н.И.* Зубчатые соединения: Справочник. Л.: Машиностроение, 1983.
7. *ГОСТ 18854–94 (ИСО 76–87).* Межгосударственный стандарт. Подшипники качения. Статическая грузоподъемность.
8. *ГОСТ 18855–94 (ИСО 281–89).* Межгосударственный стандарт. Подшипники качения. Динамическая расчетная грузоподъемность и расчетный ресурс.
9. *ГОСТ 25.507–78.* Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы испытаний на контактную усталость. М.: Изд-во стандартов, 1978.
10. *Готовцев А.А., Котенок И.П.* Проектирование цепных передач. М.: Машиностроение, 1982.
11. *Дунаев П.Ф., Леликов О.П.* Конструирование узлов и деталей машин. М.: АСАДЕМА, 2003.
12. *Зубчатые передачи:* Справочник / Под ред. Е.Г. Гинзбурга. Л.: Машиностроение. 1980.
13. *Иванов М.Н. Финогенов В.А.* Детали машин. М.: Высшая школа, 2002.
14. *Иванов В.Н., Баринаева В.С.* Выбор и расчеты подшипников качения. Методические указания по курсовому проектированию. М.: МГТУ, 1988.
15. *Иосилевич Г.Б.* Детали машин М.: Машиностроение, 1988.
16. *Истомина С.Н.* Проектирование мелко модульных передач приборов с применением ЭВМ. М.: Машиностроение, 1985.

17. *Когаев В.П., Дроздов Ю.Н.* Прочность и износостойкость деталей машин. М.: Высшая школа, 1991.
18. *Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С.* Основы расчетов на трение и износ. М.: Высшая школа, 1977.
19. *Кудрявцев В.Н.* Детали машин. Л.: Машиностроение, 1980.
20. *Леликов О.П.* Основы расчета и проектирования деталей и узлов машин. М.: Машиностроение, 2002.
21. *Машиностроение: Энциклопедия: В 40 т. Т. 4–1.* Детали машин. Конструкционная прочность. Трение, износ, смазка. 1995.
22. *Орлов П.И.* Основы конструирования. Справочно-методическое пособие: В 2 кн. М.: Машиностроение, 1988. Кн. 1–2.
23. *Основы расчета и конструирования деталей и механизмов летательных аппаратов / Под ред. В.Н. Кестельмана, Г.И. Рощина.* М.: Машиностроение, 1989.
24. *Пешти Ю.В.* Газовая смазка. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1993.
25. *Подшипники качения: Справочник-каталог / Л.В. Черневский, Р.В. Коросташевский, Б.А. Яхин и др.; Под общ. ред. Л.В. Черневского и Р.В. Коросташевского.* М.: Машиностроение, 1997.
26. *Полые оси и валы / Л.М. Школьник, Ю.Е. Коваленко, Н.И. Мартынов и др.* М.: Машиностроение, 1968.
27. *Планетарные передачи: Справочник / Под ред. В.Н. Кудрявцева, Ю.Н. Кирдяшева.* М., Л.: Машиностроение, 1977.
28. *Расчет деталей машин на ЭВМ / Под ред. Д.Н. Решетова, С.А. Шувалова.* М.: Высшая школа, 1985.
29. *Расчет опорных подшипников скольжения / Е.И. Квитицкий, Н.Ф. Киркач, Ю.Д. Полтавский и др.* Расчет опорных подшипников скольжения: Справочник. М.: Машиностроение,
30. *Расчет на прочность в машиностроении / С.Д. Пономарев, В.Л. Бидерман, К.К. Лихарев и др.: В 3 т. М.: Матгиз, 1958. Т. II. 974 с.*
31. *Решетов Д.Н.* Детали машин. М.: Машиностроение, 1989.
32. *Ряховский О.А., Иванов С.С.* Справочник по муфтам. Л.: Политехника, 1991.
33. *Валы и оси / С.В. Серенсен, М.Б. Громан, В.П. Когаев и др.* М.: Машиностроение, 1970.
34. *Справочник по триботехнике: В 3 т. Т. 1. Теоретические основы / Под ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе.* М.: Машиностроение, Варшава: ВКЛ, 1989.
35. *Теория механизмов и механика машин / Под ред. К.В. Фролова.* М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
36. *Тимошенко С.П., Гудьер Дж.* Теория упругости. М.: Наука, 1979.

37. *Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочное издание / Под ред. В. М. Школьников.* М.: Химия, 1989.
38. *Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник.* М.: Машиностроение, 1986.
39. *Феодосьев В.И.* Сопротивление материалов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999.
40. *Фомин М.В., Зябликов В.М., Смелянская Л.И.* Расчет радиальных подшипников скольжения при жидкостной смазке: Методические указания. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994.
41. *Часовников Л.Д.* Передачи зацеплением. М.: Машиностроение, 1969.
42. *Чесноков В.А.* Фрикционные передачи // Труды ВВИА им. Н.Е. Жуковского. Вып. 501. 1954.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Глава 1. Введение в курс «Детали машин». Контактная задача	6
1.1. Критерии работоспособности и расчета, точность деталей машин	7
1.2. Надежность машин.....	9
1.3. Стандартизация	10
1.4. Машиностроительные материалы	11
1.5. Пути экономии материалов при конструировании	14
1.6. Технологичность конструкции. Точность. Взаимозаменяемость	15
1.7. Конструирование. Оптимизация	15
1.8. Сопряжения деталей машин и контактные напряжения....	17
Глава 2. Резьбовые соединения.....	23
2.1. Общие понятия	23
2.2. Основные типы и параметры резьб	24
2.3. Материалы, классы прочности резьбовых деталей, допускаемые напряжения	26
2.4. Соотношение сил и моментов в затянутом резьбовом соединении.....	28
2.5. Стопорение резьбовых соединений	32
2.6. Распределение силы между витками резьбы	34
2.7. Прочность винтов при постоянных нагрузках	36
2.8. Расчет групповых резьбовых соединений.....	39
2.9. Расчет винтов при переменной нагрузке.....	53
2.10. Способы повышения несущей способности резьбовых соединений.....	55
Глава 3. Заклепочные соединения	63
Глава 4. Сварные соединения.....	72
4.1. Общие сведения.....	72
4.2. Сварные соединения стыковыми швами.....	75
4.3. Сварные соединения угловыми швами	77
4.4. Швы контактной сварки	85

4.5. Допускаемые напряжения сварных соединений	87
4.6. Расчет сварных соединений при переменном нагрузении	88
Глава 5. Соединения деталей с натягом	99
5.1. Общие сведения.....	99
5.2. Соединения с натягом по цилиндрическим и коническим поверхностям.....	100
Глава 6. Соединения шпоночные и шлицевые	122
6.1. Соединения шпоночные	122
6.2. Соединения шлицевые (зубчатые).....	129
Глава 7. Соединения конусные, коническими стяжными кольцами и клеммовые.....	149
7.1. Соединения конусные.....	149
7.2. Соединения коническими стяжными кольцами	153
7.3. Соединения клеммовые	159
Глава 8. Другие виды соединений	164
8.1. Паяные соединения	164
8.2. Клеевые соединения.....	170
8.3. Штифтовые соединения.....	174
8.4. Профильные соединения	177
Глава 9. Основы триботехники	181
9.1. Трение	181
9.2. Смазочные материалы	193
9.3. Уплотнения	204
Глава 10. Фрикционные передачи и вариаторы	211
10.1. Общие сведения.....	211
10.2. Общие вопросы конструирования	215
10.3. Расчет фрикционных передач	217
10.4. Передачи с постоянным передаточным отношением	219
10.5. Передачи с переменным передаточным отношением.....	220
10.6. Схемы расчетов вариаторов и основные направления развития их конструкций.....	223
Глава 11. Зубчатые передачи.....	225
11.1. Общие сведения.....	225
11.2. Цилиндрические зубчатые передачи. Краткие сведения по геометрии и кинематике	227
11.3. Основные параметры цилиндрических зубчатых передач	236
11.4. Точность зубчатых передач.....	238
11.5. Силы в зацеплении цилиндрических передач	240
11.6. Виды разрушения зубьев. Критерии работоспособности и расчет зубчатых передач	242

11.7. Материалы, термическая и химико-термическая обработка	245
11.8. Расчетная нагрузка	249
11.9. Расчет зубьев цилиндрических передач на контактную прочность	255
11.10. Расчет зубьев цилиндрических передач на прочность при изгибе	260
11.11. Допускаемые напряжения	264
11.12. Конические зубчатые передачи	274
11.13. КПД зубчатых передач	282
11.14. Цилиндрические передачи с зацеплением Новикова.....	283
11.15. Планетарные передачи.....	290
11.16. Волновые зубчатые передачи.....	302
Глава 12. Червячные передачи	316
12.1. Общие сведения.....	316
12.2. Типы червяков	317
12.3. Критерии работоспособности червячных передач.....	319
12.4. Материалы червяка и червячного колеса.....	319
12.5. Основные параметры, геометрия червячных передач	320
12.6. Скольжение в червячной передаче, КПД передачи	325
12.7. Силы, действующие в зацеплении	327
12.8. Расчетная нагрузка. Коэффициент нагрузки	327
12.9. Допускаемые напряжения	330
12.10. Расчет червячной передачи по контактным напряжениям	332
12.11. Расчет червячной передачи по напряжениям изгиба зуба колеса	336
12.12. Тепловой расчет и охлаждение передач.....	337
Глава 13. Цепные передачи	345
13.1. Общие сведения.....	345
13.2. Типы цепей	346
13.3. Критерии работоспособности цепных передач	349
13.4. Материалы и термическая обработка деталей цепей	349
13.5. Основные параметры цепных передач	350
13.6. Расчет цепных передач	353
13.7. Силы, действующие в ветвях передачи.....	356
13.8. Переменность скорости движения цепи.....	357
Глава 14. Ременные передачи.....	362
14.1. Общие сведения.....	362
14.2. Классификация передач.....	362
14.3. Конструкция и материалы ремней.....	363
14.4. Основные геометрические соотношения	366

14.5. Взаимодействие ремня со шкивами, критерии расчета ременных передач	367
14.6. Кинематика ременных передач	369
14.7. Силы и напряжения в ремне.....	369
14.8. Расчет ременной передачи по тяговой способности, КПД передачи	373
14.9. Расчет долговечности ремня	375
14.10. Расчет плоскоремennых передач	376
14.11. Расчет клиновых и поликлиновых передач	376
14.12. Силы, действующие на валы передачи	377
14.13. Зубчато-ременная передача	378
Глава 15. Передача винт—гайка	385
Глава 16. Валы и оси	398
16.1. Общие сведения.....	398
16.2. Конструкции и материалы.....	400
16.3. Расчеты валов и осей на прочность	404
16.4. Расчеты валов и осей на жесткость.....	413
16.5. Расчеты валов на виброустойчивость.....	417
Глава 17. Подшипники качения	418
17.1. Общие сведения.....	418
17.2. Критерии работоспособности	425
17.3. Распределение нагрузки между телами качения (задача Штрибека)	426
17.4. Статическая грузоподъемность подшипника	428
17.5. Кинематика подшипников качения	431
17.6. Расчетный ресурс подшипников качения	433
17.7. Зазоры и предварительные натяги в подшипниках качения	439
17.8. Минимальные осевые силы в радиально-упорных подшипниках	441
17.9. Расчеты сдвоенных подшипников	443
17.10. Расчетный ресурс при повышенной надежности	444
17.11. Расчет эквивалентной динамической нагрузки при переменных режимах нагружения	444
17.12. Быстроходность подшипников	446
17.13. Трение в подшипниках	447
17.14. Посадки подшипников	447
17.15. Смазывание подшипников и технический уход	449
17.16. Новые направления в конструировании и расчетах опор качения	450
Глава 18. Подшипники скольжения.....	454
18.1. Общие сведения.....	454

18.2. Характер и причины выхода из строя подшипников скольжения.....	456
18.3. Подшипниковые материалы.....	457
18.4. Критерии работоспособности подшипников	458
18.5. Условные расчеты подшипников.....	459
18.6. Несущая способность масляного слоя при жидкостной смазке	460
18.7. Трение в подшипниках скольжения	464
18.8. Тепловой расчет подшипника	466
18.9. Расчет подшипников скольжения при жидкостной смазке	467
18.10. Устойчивость работы подшипников скольжения	469
18.11. Гидростатические подшипники	471
18.12. Подшипники с газовой смазкой.....	472
18.13. Подпятники.....	472
18.14. Магнитные подшипники.....	473
Глава 19. Муфты приводов.....	475
19.1. Назначение муфт, применяемых в машинах.....	475
19.2. Муфты, постоянно соединяющие валы	476
19.3. Муфты сцепные управляемые.....	495
19.4. Муфты сцепные самоуправляемые.....	499
Список литературы.....	507

Учебное издание

**Людмила Анатольевна Андриенко
Борис Александрович Байков
Икар Константинович Ганулич
Александр Владимирович Клыпин
Дмитрий Николаевич Решетов
Олег Анатольевич Ряховский
Владимир Павлович Тибанов
Марк Викторович Фомин
Сергей Арсеньевич Шувалов**

ДЕТАЛИ МАШИН

Редактор *О.Ю. Соколова*
Художник *С.С. Водчиц*
Корректор *О.В. Калашникова*
Компьютерная верстка *С.Ч. Соколовского*

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 77.99.02.953.Д.008880.09.06 от 29.09.2006 г.

Подписано в печать 27.04.2007. Формат 60×90/16. Печать офсетная.
Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Печ. л. 32,5. Уч.-изд. л. 32.
Тираж 3000 экз. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5

Отпечатано с оригинал-макета в ППП «Типография «Наука»
121099, Москва, Шубинский пер., 6