

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник составлен в соответствии с программой дисциплины «Детали машин» для машиностроительных специальностей вузов. Он охватывает ряд вопросов теории, расчета, а также конструирования деталей и сборочных единиц (узлов) *общего назначения*, т. е. таких, которые применяются в большинстве машин (механические передачи, подшипники, муфты, валы и оси, болты и пр.).

Детали и сборочные единицы *специального назначения* (поршни, коленчатые валы, гребные и воздушные винты и т. п.) рассматриваются в специальных курсах.

В данном учебнике основное внимание уделено раскрытию физической сущности работы деталей машин, их практическому применению и перспективам. Методы расчета и конструирования изложены по возможности доступно с использованием характерных примеров. В то же время расчетные формулы приводятся без сложных математических выводов или с сокращениями, не снижающими адекватного восприятия окончательных выражений. При этом авторы постарались рассмотреть в учебнике максимальное количество деталей общего назначения, используемых в современной технике, в том числе и перспективных. Это сделано для того, чтобы студенты были ознакомлены с деталями и сборочными единицами, которые могут им встретиться в их практической деятельности уже сегодня или в ближайшем будущем.

В книге имеется раздел (часть 5), в котором представлены примеры выполнения расчетов наиболее типичных видов приводов и механических передач: привод ленточного конвейера с вертикальным цилиндрическим прямозубым редуктором и клиноременной передачей; привод ленточного конвейера с горизонтальным цилиндрическим косозубым редуктором и цепной передачей; привод цепного конвейера с горизонтальным цилиндрическим шевронным редуктором и клиноременной передачей; привод ленточного конвейера с коническим редуктором и цепной передачей; привод цепного конвейера с червячным редуктором.

В этих примерах расчеты на прочность выполнены для закрытых зубчатых механических передач.

Помимо вышеуказанных расчетов в части 5 рассмотрены вопросы, касающиеся расчета и выбора деталей и сборочных единиц.

ниц, входящих в состав приводов и механических передач, — валов, болтовых соединений, подшипников качения и муфт.

В учебнике принятая Международная система физических величин (СИ) со следующими отклонениями, допущенными для расчетов деталей машин: частота вращения иногда дается во внесистемных единицах — мин^{-1} (вместо с^{-1} в системе СИ); размеры деталей выражаются в миллиметрах (вместо метров в системе СИ).

В связи с этим в соответствующие формулы внесены необходимые коэффициенты и множители. К сожалению, использование системных единиц во многих случаях сопряжено с достаточными трудностями — на чертежах размеры даются в миллиметрах, технические данные по частоте вращения в большинстве документов к машинам приводятся часто в оборотах в минуту (или мин^{-1}) и т.д. Во всех случаях, не оговоренных специально, в формулы подставляются значения величин, выраженные в единицах СИ (мм нужно перевести в м, МПа — в Па, кВт — в Вт и т.д.).

Данные справочного характера представлены в объеме, необходимом для иллюстрирования теоретических зависимостей и проведения расчетов.

Авторы выражают благодарность канд. техн. наук, доценту И.А. Курбатовой за помощь при подготовке издания.

ЧАСТЬ 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

О ДИСЦИПЛИНЕ

Глава 1

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Механизмом называется система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких твердых тел в требуемые движения других твердых тел. Наибольшее распространение имеют механизмы с одной степенью свободы, в которых для определенности движения всех его звеньев нужно задать закон движения одного звена. Если в таком механизме остановить всего одно звено, то остановится весь механизм. Механизмов на сегодняшний день создано очень много, наиболее распространенные — это зубчатые, фрикционные, винтовые, рычажные, с гибкими звеньями и др.

Машиной называется механическое устройство, выполняющее движения для преобразования энергии, материалов или информации.

Интересно, что в справочниках всего полувековой давности в определении машины нет ни слова о преобразовании информации. Тем не менее назвать сегодняшний компьютер машиной можно весьма условно — это не вполне механическое устройство, выполняющее только механические движения. Ясно, что определение понятия «машина» будет еще уточняться.

В данном курсе не будут рассматриваться информационные или вычислительные машины.

Основное назначение машины — частичная или полная замена производственных функций человека с целью облегчения его труда и повышения производительности.

Машины, детали которых рассматривает наш курс, — это энергетические (двигатели тепловые, электрические, генераторы, компрессоры и др.), технологические (станки, прессы и пр.), транспортные и подъемно-транспортировочные (краны, конвейеры, автомобили, самолеты, поезда и т. п.). Все эти машины состоят из деталей, чаще всего объединенных в сборочные единицы.

Деталью называется изделие, изготовленное без применения сборочных операций, например зубчатое колесо, шкив, звездочка, болт, гайка и т. д.

Сборочная единица (иногда в технической литературе называемая узлом) — это изделие, составляющие детали которого подверглись соединению между собой сборочными операциями. К ним относятся, например, подшипники качения, муфты, тормоза и пр.

Из большого разнообразия деталей и сборочных единиц выделяют такие, которые встречаются в большинстве машин (болты, валы, зубчатые колеса, подшипники, пружины и т. п.). Эти детали и сборочные единицы *общего применения* и рассматриваются в курсе «Детали машин».

Таким образом, целью курса «Детали машин» является *изучение основ расчета и конструирования деталей и сборочных единиц общего назначения с учетом требований, предъявляемых к машинам и их составляющим частям*.

1.2. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ДЕТАЛЯМ И СБОРОЧНЫМ ЕДИНИЦАМ МАШИН

Машины в целом и их составляющие — детали и сборочные единицы — должны обладать следующими качествами: работоспособностью, надежностью, технологичностью, экономичностью и эстетичностью.

Работоспособностью называют состояние деталей и сборочных единиц, при котором они способны нормально выполнять заданные функции с теми параметрами, которые установлены нормативно-технической документацией (стандартами, техническими условиями и т. д.).

Надежностью называется свойство изделия сохранять заданные эксплуатационные показатели в течение заданного промежутка времени или требуемой наработки (например, пробег у автомобилей, площадь обработанной земли у сельхозмашин, часы работы станка и т. д.). Надежность закладывается на всех этапах создания и эксплуатации изделий.

Технологичностью называется свойство, обеспечивающее минимальные затраты средств, времени и труда в производстве, эксплуатации и ремонте изделий. Технологичность обеспечивается большим числом факторов, таких как унификация или единообразие деталей, максимальное применение стандартных конструктивных элементов деталей, стандартных допусков и посадок, использование материалов, удобных для обработки (резанием, давлением, сваркой и т. д.), а также возможность объединения систем автоматизированного проектирования и производства. Заметим, что последнее уже осуществлено на предприятиях с высокой культурой производства, и там процесс проектирования и передачи информации автоматам-изготовителям осуществляется электронным образом без чертежей, т. е. без бумажного носителя.

Экономичность — это свойство, которое учитывает затраты на проектирование, изготовление, эксплуатацию и ремонт. Экономичность достигается оптимизацией параметров изделий, минимумом материально-, энерго- и трудоемкости производства, максимального КПД машины в эксплуатации при высокой надежности и т. п.

Эстетичность — это совершенство внешних форм изделий и машины в целом, попросту говоря, их красивый внешний вид (окраска, полировка, гальваническое покрытие и пр.). Известны случаи, когда легковой автомобиль, окрашенный в удачный цвет, выигрывал по конкурентоспособности у другого автомобиля, более совершенного по конструкции, но неудачного цвета.

1.3. КРИТЕРИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И РАСЧЕТА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

К критериям работоспособности деталей машин относятся *прочность, жесткость, износостойкость, коррозионная стойкость, теплостойкость, виброустойчивость*.

Значимость того или иного критерия для конкретной детали зависит от ее функционального назначения и условий работы. Если говорить, например, о винтах, то для крепежных винтов главным критерием является прочность, а для ходовых — износостойкость. При этом для тех же ходовых винтов, но длинных большую важность приобретает и жесткость. При конструировании деталей их работоспособность обеспечивается главным образом выбором соответствующего материала, рациональной конструкции и расчетом размеров по основным критериям работоспособности.

Главным критерием работоспособности большинства деталей является *прочность*. Если не соблюден этот критерий, то о других говорить не приходится. При недостаточной прочности детали разрушается нередко не только она сама, но и вся машина, что приводит к материальным потерям, а часто и к несчастным случаям.

Разрушение деталей может наступить из-за потери *статической прочности* или *сопротивления усталости*. Первый вид разрушения происходит тогда, когда значение возникающих при работе напряжений превышает предел статической прочности материала (при работе детали возникают не предусмотренные расчетом нагрузки или в детали оказались скрытые дефекты).

Усталостное же разрушение детали происходит в результате длительного воздействия на нее переменных напряжений, превышающих предел выносливости материала. Сопротивление усталости значительно снижается из-за *концентраторов напряжений*, связанных обычно с конструктивным исполнением детали (канавки, проточки, переходы сечений и т. п.). В курсе «Детали машин» общие мето-

ды расчетов на прочность, изученные студентами в курсе «Сопротивление материалов», рассматривают в приложении к конкретным деталям и придают им вид *инженерных расчетов*.

Жесткостью называется способность детали сопротивляться изменению своей формы и размеров под нагрузкой. Для некоторых деталей изменения формы или размеров, еще не приводящие к потере прочности, могут вызвать поломку или недопустимые условия работы устройства. Например, сильный прогиб вала червяка в червячной передаче может вызвать разрушение зубьев передачи. При недостаточной жесткости станка или обрабатываемой детали может быть произведена бракованная продукция. Расчеты деталей на жесткость предусматривают ограничение упругих перемещений деталей в пределах, допустимых для конкретных условий работы. Жесткость деталей увеличивают использованием их рационального профиля (например, трубчатого вместо сплошного той же массы, двутаврового и т. д.), а также особым способом заделок деталей в корпуса, снижением длин валов и т. д.

Износстойкость — это свойство детали оказывать сопротивление изнашиванию. Под изнашиванием понимают процесс разрушения поверхности детали при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров или формы. Износстойкость зависит от целого комплекса факторов: механических свойств материала, химико-термической обработки и шероховатости поверхностей, величины давлений или контактных напряжений, скорости скольжения, смазочных материалов и режима смазки и пр. Изнашивание снижает КПД механизмов, прочность деталей, увеличивает зазоры в подвижных соединениях, изменяет характер сопряжений деталей, вызывает шум при работе. Продукты изнашивания, попадая в смазку, разносятся ею, оказывая негативное влияние на работу других деталей.

Сегодня 85...90 % машин выходит из строя в результате изнашивания и только 10...15 % по другим причинам. Следовательно, изучение трения и изнашивания в машинах чрезвычайно важно. Этим занимается достаточно новая наука — *триботехника*, основы которой приведены в следующем разделе.

Коррозионная стойкость — это способность изделий противостоять коррозии или разрушению поверхностных слоев металла в результате окисления. Из-за коррозии ежегодно теряется около 10 % всего выплавляемого металла. При коррозии существенно сокращаются износстойкость и сопротивление усталости. Для защиты от коррозии применяют специальные покрытия и методы, изделия изготавливают из металлов, устойчивых к коррозии, «чемпионом» среди которых является титан, а также из нержавеющих сталей, алюминиевых сплавов, пластмасс. Особое внимание следует уделять деталям, работающим в агрессивной среде (например, морской воде).

Теплостойкость — это способность конструкции работать в пределах заданных температур в течение назначенного срока службы. При нагреве может снизиться прочность материалов; уменьшается вязкость смазок, и они снижают свое защитное действие на детали; уменьшаются зазоры в сопряженных деталях, что может привести к заклиниванию; понижается точность работы машины. Поэтому при возможности перегрева машины или механизма выполняют тепловые расчеты и при необходимости принимают соответствующие конструктивные меры (например, жидкостное охлаждение с радиаторами для двигателей внутреннего сгорания).

Виброустойчивость — это способность конструкции противостоять действию вибрации и колебаний. Вибрации снижают долговечность машин, качество их работы. Особенно опасно, когда конструкция входит в резонанс, т. е. когда рабочие частоты, действующие на детали, приближаются или совпадают с ее собственными частотами. Мероприятия по виброустойчивости тесно связаны с расчетом деталей (например, валов) на колебания. Подбор рациональных массовых и жесткостных параметров деталей, установка соответствующих демпферов — гасителей колебаний помогают повысить виброустойчивость машин.

1.4. ОСНОВЫ ТРИБОТЕХНИКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Триботехника (от греч. *tribo* — растираю) занимается изучением взаимодействия сопряженных или контактирующих поверхностей деталей машин при их относительном перемещении. Детали могут соприкасаться друг с другом как непосредственно, так и через слой *смазочного материала*. Роль смазочного материала, находящегося в зоне контакта перемещающихся друг относительно друга деталей, может быть различной, в зависимости от того, полностью ли разделяет слой смазки детали или нет. Кроме того, даже в случае полного разделения деталей пленкой масла цели конструктора могут быть различными: снижать ли силу трения между этими деталями или повышать ее. Поэтому возможные случаи рассматриваются в такой последовательности: детали перемещаются друг относительно друга без смазки (рис. 1.1, а — «сухое трение»); в зоне контакта деталей есть смазка, но она не разделяет микронеровностей деталей (рис. 1.1, б — *граничное трение*); слой смазки полностью и с запасом — зазором — разделяет микронеровности деталей (рис. 1.1, в — *жидкостная смазка*).

При перемещении деталей друг по другу без смазки в основном имеют место следующие виды трения:

- трение при микросмешениях (так называемое «ёззание»), например, за счет упругих деформаций или выборки зазоров;
- трение скольжения динамическое, или в движении;
- трение качения.

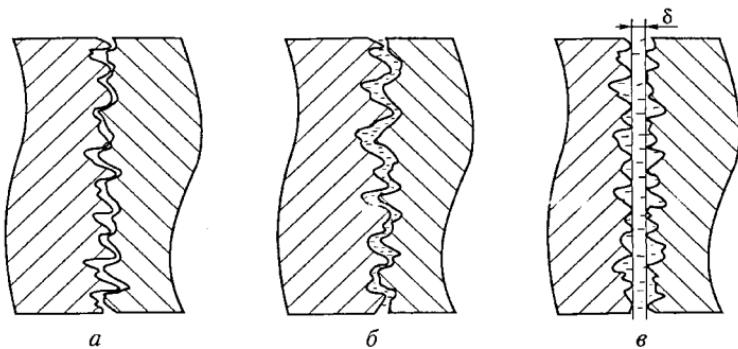


Рис. 1.1. Виды трения деталей друг по другу:

а — «сухое» трение; *б* — граничное трение; *в* — жидкостная смазка

В первом случае возникает так называемая *фреттинг-коррозия* (коррозия при трении) на небольших площадках. Продукты изнашивания из зоны контакта не удаляются и играют роль абразивных частиц. Такая картина характерна, например, для резьбовых, шпоночных, шлицевых соединений.

При трении скольжения микронеровности одной детали трутся по таковым же второй детали, в результате чего идет активное разрушение поверхности. Особенно плохо, когда детали изготовлены из одинакового материала, причем недостаточно твердого, а давление одной детали на другую большое. В этом случае характерны *задиры*, возникающие в результате холодной «микросварки» одних выступов с другими. Здесь целесообразны такие пары трения, как закаленная сталь с полированной поверхностью и антифрикционный материал, например бронза. Такое трение имеет место в сухих фрикционных муфтах, резьбах без смазки, таких же направляющих и т. д.

Трение качения существенно сокращает износ при отсутствии смазки, но он все-таки есть. Причины его видны на рис. 1.1, *а*: микронеровности самого различного профиля «вдавливаются» друг в друга при нажиме и разрушаются при вращении. Кроме того, трение качения только теоретически может протекать без скольжения. На самом деле оно присутствует (хотя бы из-за упругой деформации тел) и усугубляет изнашивание.

При граничном трении в зависимости от толщины масляной пленки, обусловленной в основном скоростью взаимного перемещения деталей друг по другу — качения или скольжения, уже часть микронеровностей не задевает друг за друга, но наиболее выступающие, конечно, соприкасаются. Сила трения F , определяемая (как для «сухого», так и для граничного трения) коэффициентом трения f , равна

$$F = fN, \quad (1.1)$$

где N — сила, сдавливающая детали; с увеличением толщины масляной пленки сила трения F уменьшается.

И, наконец, когда масляная пленка, став достаточнo толстой, перекроет собой с запасом — зазором δ суммарную высоту микронеровностей двух деталей (рис. 1.1, в), наступает *безызносный режим работы*. В этом случае толщина пленки

$$h \geq \lambda \sqrt{Ra_1^2 + Ra_2^2}, \quad (1.2)$$

где λ — коэффициент запаса, $\lambda = 1,52$ и более; Ra_1 и Ra_2 — средние арифметические отклонения профилей поверхностей обеих деталей.

В случае скольжения одной поверхности по другой коэффициент трения, который здесь имеет совершенно другой характер, нежели при «сухом» и граничном трении, и определяется вязким трением в самой смазке, может уменьшиться в несколько раз и достигнуть значения $f = 0,005$ и менее. На такой основе работают, например, опоры (подшипники) скольжения с гидродинамическим режимом трения (пример — подшипники на коленчатом валу четырехтактных двигателей внутреннего сгорания).

Несколько другой, хотя и похожий процесс происходит в случае качения одной детали по другой со смазкой, например, одного цилиндра по другому (рис. 1.2). Смазка, попадая в клиновидный зазор δ между цилиндрами, вращающимися с большой скоростью, быстро и кратковременно, можно сказать в «режиме удара», сжимается до больших давлений, нередко превышающих 1 ГПа (1 ГПа = 10^9 Па). При этом смазка густеет, приобретает свойства *твердого упруго-пластичного тела* и не только прекрасно разделяет поверхности деталей друг от друга, но и начинает передавать *сдвигающие нагрузки*. В таком случае цилиндр, например, 1 на рис. 1.2 «ведет» другой — 2 через слой смазки 3, и эта система превращается в механическую передачу — *фрикционную*.

В настоящее время учеными созданы специальные фрикционные смазки, так называемые *трактанты*, которые в большей мере, чем обычные смазки, передают сдвигающие усилия. Коэффициент трения у таких смазок достигает 0,1 и более, что в 20 раз

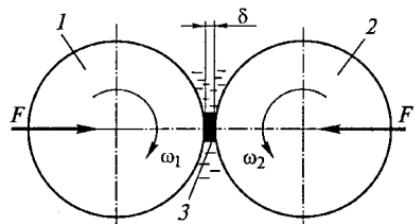


Рис. 1.2. Качение цилиндров друг по другу со смазкой:
1 — ведущий цилиндр; 2 — ведомый цилиндр; 3 — слой загустевшей смазки

выше, чем у гидродинамических подшипников. Эти трактанты применяются для современных фрикционных передач и вариаторов, весьма перспективных для машин будущего.

Если же слой смазки нагружается медленно или находится под нагрузкой относительно длительное время (измеряемое, впрочем, десятками или сотнями долями секунды), то эффект этого загустевания смазки пропадает и она ведет себя как обычная жидкость, т.е. вытекает из зазора между деталями и пленки между ними не создает.

Вот те сведения из триботехники, которые позволят хотя бы в первом приближении понять роль смазки в механических передачах и подшипниках, как скольжения, так и качения.

1.5. ЦИКЛЫ НАПРЯЖЕНИЙ И УСТАЛОСТЬ МАТЕРИАЛА

Детали машин достаточно редко работают в таких условиях, когда возникающие в них напряжения остаются практически неизменными. В большинстве случаев эти напряжения *меняются во времени*. При этом изменение напряжений может быть вызвано как переменной нагрузкой на деталь, так и сменой зоны *приложения нагрузки*, а иногда изменением обоих факторов.

Например, поезд едет по неровному пути, и детали его ходовой части (пружины подвески, оси колес) при колебаниях вагона то нагружаются, то разгружаются. Это — пример переменной нагрузки на деталь. Но даже если этот поезд едет по идеально ровному пути, то вращающиеся оси колес все равно нагружены переменными напряжениями. Происходит это потому, что сила тяжести вагона изгибает оси колес в вертикальной плоскости, но так как сами оси вращаются, то одни и те же зоны их поперечного сечения оказываются то сжатыми, то растянутыми. Тем более переменными оказываются напряжения в оси, если вагон при движении еще и колеблется.

Переменные во времени напряжения вызывают *усталость материала* или *процесс постепенного накопления повреждений под действием переменных напряжений*. Это приводит к изменению свойств материала, образованию и развитию трещин и в результате — к разрушению. При этом напряжения, при которых происходит усталостное разрушение, существенно меньшие, чем предел прочности материала σ_b .

Интересно то, что именно на примере железнодорожных осей началось изучение действия переменных напряжений и усталости на материал.

Переменная напряженность детали характеризуется *циклом напряжений* — совокупностью последовательных значений напряжений за один период. Разумеется, невозможно в точности воспроизвести зависимость от времени реальных нагрузений детали и реальных

напряжений в ней, но ниже приводится общепринятый метод приближенного описания циклов нагружения деталей машин. Нормальные напряжения σ обычно изменяются более интенсивно и ближе к упомянутому их описанию, чем касательные τ , что чаще всего связано с вращением валов и осей при действии изгибающего момента. Поэтому и описывается прежде всего поведение нормальных напряжений σ , хотя в той же мере все приведенное далее остается справедливым и для τ .

Нагружение детали с одним максимумом и одним минимумом в течение одного периода T (продолжительности одного цикла нагружения) называется регулярным нагружением (рис. 1.3). При этом цикл переменных напряжений характеризуют следующими данными:

- максимальное напряжение σ_{\max} ;
- минимальное напряжение σ_{\min} ;
- среднее напряжение $\sigma_m = 0,5(\sigma_{\max} + \sigma_{\min})$;
- амплитудное напряжение $\sigma_a = 0,5(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})$;
- коэффициент асимметрии цикла $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$.

При $R = 0$ ($\sigma_{\min} = 0$; $\sigma_m = \sigma_a = 0,5\sigma_{\max}$) цикл называется *отнулевым* (рис. 1.3, а).

При $R = -1$ ($\sigma_m = 0$; $\sigma_a = \sigma_{\max}$) цикл называется *симметричным* (рис. 1.3, б). Этот цикл наиболее неблагоприятен для работы детали, так как меняется не только величина напряжений, но и их знак.

При $R = 1$ ($\sigma_a = 0$; $\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = \sigma_m = \sigma$) действуют наиболее благоприятные *статические* напряжения.

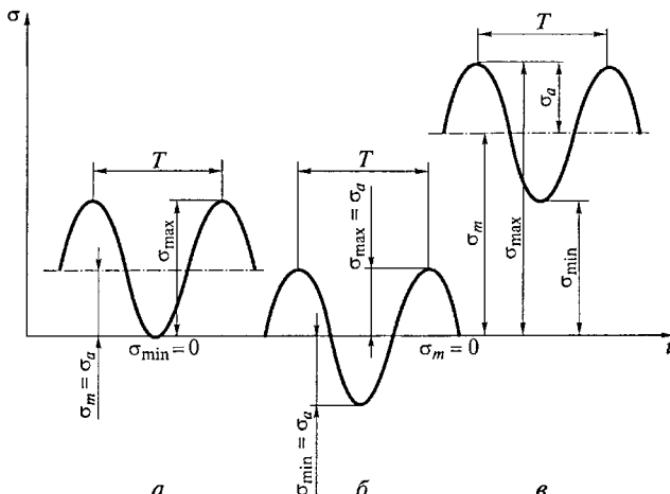


Рис. 1.3. Циклы напряжений:
а — отнулевой; б — симметричный; в — асимметричный

Во всех остальных случаях циклы напряжений считаются *асимметричными* с различной степенью асимметрии (рис. 1.3, в).

Общее число циклов нагружения нормальными напряжениями σ детали, например вращающейся оси, за промежуток времени L_h , измеряемый в часах, равно

$$N = 3600 L_h / T. \quad (1.3)$$

Здесь T — период, с:

$$T = 60/n = 2\pi/\omega, \quad (1.4)$$

где n — частота вращения оси, мин⁻¹; ω — угловая скорость оси, рад/с.

1.6. ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Выносливость материала характеризуется его *сопротивлением усталостному разрушению*. Для определения выносливости материалов проводят испытания стандартных отполированных образцов на специальных машинах, где чаще всего эти образцы испытывают на изгиб при симметричном цикле нагружения.

Сначала образцы нагружают до значительных напряжений σ_1 , так чтобы они разрушились при сравнительно небольшом числе циклов N_1 . Следующую партию образцов испытывают при меньших напряжениях σ_2 ; при этом разрушение происходит при большем числе циклов N_2 . Затем напряжения принимают еще меньшими, и, следовательно, образцы выдерживают все большее и большее число циклов нагружения. По полученным данным строят кривую усталости, называемую обычно кривой Вёлера (рис. 1.4) в честь немецкого инженера А. Вёлера (1819—1914), первого исследователя усталостной прочности металлов, впервые получившего эту кривую.

Математически кривая усталости выражается степенной функцией $\sigma_i N_i = \text{const}$. Так, для точки C на графике (см. рис. 1.4) по заданному значению N_c можно определить предельные напряжения σ_c , а при заданном уровне напряжений σ_c — предельное число циклов N_c .

Кривая усталости строится в координатах σ — N . Опыт показывает, что образец, выдержавший N_G циклов (для стальных образцов, испытываемых на изгиб, например, $N_G = 4 \cdot 10^6$ циклов),

может выдержать и их неограниченное число. Это число циклов называется *базой испытаний*, и для большего их числа кривая усталости идет уже практически горизонтально. Ордината этой го-

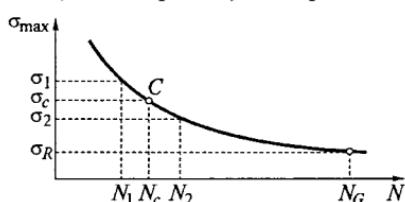


Рис. 1.4. Кривая усталости

ризонтальной кривой σ_R дает значение *предела выносливости*. При любом асимметричном цикле (например, отнулевом) предел выносливости для того же материала будет выше, чем при симметричном цикле. Следовательно, *симметричный цикл нагружения является наиболее опасным*. Пределы выносливости при симметричном цикле обозначают σ_{-1} или τ_{-1} ; при отнулевом цикле — σ_0 или τ_0 соответственно для нормальных и касательных напряжений.

В качестве первого приближения можно считать:

$$\begin{aligned}\sigma_{-1} &\approx 0,45\sigma_B; \quad \tau_{-1} \approx 0,6\sigma_{-1}; \\ \sigma_0 &\approx 1,6\sigma_{-1}; \quad \tau_0 \approx 1,9\tau_{-1},\end{aligned}\tag{1.5}$$

где σ_B — временное сопротивление, значение которого для большинства материалов при соответствующей термообработке можно найти в справочниках.

Экспериментально установлено, что на значение предела выносливости для заданного материала влияют размеры, форма и состояние поверхности деталей. Чем больше *абсолютные размеры поперечного сечения детали*, тем меньше предел выносливости. Большую заготовку трудно изготовить однородной по структуре, в ней в большей степени, чем в малой, проявляются внутренние дефекты металла.

Это снижение предела выносливости учитывается *коэффициентом влияния размеров поперечного сечения K_d* . Кроме того, чем больше легирующих компонентов входят в состав стали, тем сильнее влияние этого снижения. Так, например, у оси диаметром 20 мм из углеродистой стали, работающей на изгиб, $K_d \approx 0,92$, а при диаметре 100 мм K_d уменьшается до 0,71. Если эта ось изготовлена из легированной стали, то K_d соответственно уменьшается до 0,83 и 0,62. Такие же значения имеет K_d для валов из любых сталей, работающих на кручение.

Большое влияние на снижение предела выносливости имеет так называемая *концентрация напряжений*. В местах резкого изменения формы поперечного сечения детали или нарушения сплошности материала, например при резком переходе сечений, у кававок, выточек, отверстий, в резьбе и т. д., напряжения σ или τ оказываются большими, чем для детали без упомянутых *концентраторов напряжений*. Конечно, тем или иным способом, например с применением мощного аппарата теории упругости или численными методами, можно найти реальные значения напряжений в зонах концентраторов. Однако это сложно, и гораздо проще учитывать влияние отмеченных факторов так называемым *эффективным коэффициентом концентрации напряжений*, для нормальных напряжений — K_σ , а для касательных — K_τ . Коэффициенты эти получают, относя между собой пределы выносливости двух

образцов одинаковых размеров — без концентратора σ_{-1} или τ_{-1} и с концентратором напряжений — σ_{-1k} или τ_{-1k} :

$$K_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1k}}; \quad K_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\tau_{-1k}}. \quad (1.6)$$

Значения коэффициентов концентрации напряжений для различных концентраторов (их достаточно много) при различных прочностях материала приводятся в соответствующих справочниках конструктора. Для ориентировочной оценки влияния этих концентраторов можно сказать, что шпоночный паз, щели, резьба, галтели снижают предел выносливости деталей в 1,5...2,7 раза — это очень много. Величины K_σ и K_τ всегда больше единицы.

Если детали соединяются между собой посадкой с натягом (это очень часто делается при установке зубчатых колес, подшипников, различных втулок), то следует наряду с концентраторами напряжений учитывать и влияние натяга — отношениями K_σ/K_d или K_τ/K_d , которые по величине превышают K_σ и K_τ соответственно и обычно находятся в пределах 2,2...4,9 (сравните с пределами значений K_σ и K_τ — 1,5...2,7).

Влияние качества обработки поверхности на предел выносливости оценивают коэффициентом K_F . Наилучшие результаты у деталей с полированными поверхностями, худшие — у грубо обработанных деталей. Коэффициент K_F в лучших случаях равен единице; с увеличением шероховатости он снижается. Например, даже при чистовом обтачивании и фрезеровании K_F достигает 0,75...0,8. В отличие от K_σ или K_τ , K_F всегда меньше единицы; чем меньше K_F , тем меньше предел выносливости.

Для повышения предела выносливости (как и статической прочности) используют *методы упрочнения поверхности*: закалка токами высокой частоты (ТВЧ), наклеп, накатка, дробеструйный наклеп, а также химико-термическая обработка поверхности. Эти меры значительно повышают предел выносливости, что учитывается *коэффициентом влияния поверхностного упрочнения* K_v . Чем больше K_v , тем больше предел выносливости. Значения K_v находятся обычно в пределах 1,5...2,5.

Существуют и другие факторы, влияющие на снижение предела выносливости, например коррозия в процессе эксплуатации детали. Но эти факторы чаще всего не оценивают точными показателями.

Еще раз отметим, что все значения упомянутых коэффициентов невозможно привести в учебнике, их слишком много. При необходимости их можно найти в справочниках конструктора, частично в части 5 данного издания; здесь лишь приводится порядок значений этих коэффициентов для ориентировочной оценки выносливости конструкций.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru