

Детали машин

«Детали машин» – научная дисциплина по теории, расчету и конструированию деталей и узлов общемашиностроительного применения.

В ее задачи входят обобщение инженерного опыта создания машиностроительных конструкций, разработка научных основ расчета и проектирования надежных элементов и узлов конструкций.

Для проектирования деталей машин требуется знание основ, к которым относятся:

- основные критерии работоспособности, надежности и расчета деталей машин;
- выбор допускаемых напряжений и запасов прочности в машиностроении;
- стандартизация деталей машин;
- машиностроительные материалы;
- шероховатость поверхностей деталей машин;
- допуски и посадки;
- технологичность деталей машин.

В расчетах деталей и узлов машин широко используют результаты исследований на испытательных стендах и в условиях реальной эксплуатации с применением различных методов экспериментальной механики машин (тензометрии, голографии, фотоупругости и др.).

В курсе изучают детали машин общего назначения, т.е. такие, которые встречаются во всех машинах или во многих из них (соединения – заклепочные, сварные, паяные, клеевые, резьбовые, с натягом, шпоночные, шлицевые; передачи – фрикционные, ременные, зубчатые, червячные, цепные, винт-гайка; оси валы, подшипники скольжения и качения, муфты и пружины).

Классификация и основные характеристики деталей и сборочных единиц (узлов)

Для выполнения производственных процессов машиностроительном производстве используются машины.

Машина состоит из деталей, механизмов, узлов, сборочных единиц, агрегатов и элементов, обеспечивающих соединение составных частей в многофункциональное изделие.

Изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятиях.

ГОСТ 2.101–68 устанавливает следующие виды изделий:

- детали;
- сборочные единицы;
- комплексы;
- комплекты.

Изделия, в зависимости от наличия или отсутствия в них составных частей, делятся на:

- неспецифицированные (детали) — не имеющие составных частей;

- специфицированные (сборочные единицы, комплексы, комплекты) — состоящие из двух и более составных частей.

Составными частями машины являются: деталь, сборочная единица (узел), комплекс и комплект.

Деталь — изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций.

Узел — изделие, представляющее собой законченную сборочную единицу, состоящую из ряда деталей, имеющих общее функциональное назначение (подшипник качения, муфта, редуктор и т.п.).

Сборочная единица — изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, с натягом, клепкой, сваркой, пайкой и др.).

Комплекс — два и более специфицированных изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций (поточная линия станка, автоматическая телефонная станция и т.п.).

Комплект — два и более изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера (комплект запасных частей, комплект инструмента и принадлежностей и т.п.).

Машина — устройство, выполняющее движения для преобразования энергии, материалов и информации с целью облегчения физического и умственного труда человека, увеличения его производительности.

Категория «машина» в быту чаще употребляется в качестве термина «техника».

Техника — это созданные человеком материальные средства, используемые им для расширения его функциональных возможностей в различных областях деятельности с целью удовлетворения материальных и духовных потребностей.

По характеру рабочего процесса все многообразие машин можно разделить на классы:

энергетические,

технологические,

транспортирующие и

информационные.

Энергетические машины — это устройства, предназначенные для преобразования энергии любого вида (электрической, паровой, тепловой и т.п.) в механическую.

К ним относятся электрические машины (электродвигатели), электромагнитные преобразователи тока, паровые машины, двигатели внутреннего сгорания, турбины и т.п.

К разновидности энергетических машин относятся машины-преобразователи, служащие для преобразования механической энергии в энергию любого вида.

К ним относятся генераторы, компрессоры, гидравлические насосы и т.п.

Транспортирующие машины преобразуют энергию двигателя в энергию перемещения масс (продукции, изделий).

К транспортирующим машинам относятся конвейеры, элеваторы, нории, подъемные краны и подъемники.

Информационные (вычислительные) машины предназначены для получения и преобразования информации.

Технологические машины предназначены для преобразования обрабатываемого предмета (продукта), состоящего в изменении его размеров, формы, свойства или состояния.

Технологические машины состоят из энергетической машины (двигателя), передаточного и исполнительного механизмов. Важнейшим в машине является исполнительный механизм, определяющий технологические возможности, степень универсальности и наименование машины. Те части машины, которые вступают в соприкосновение с продуктом и воздействуют на него, называются рабочим органом машины.

Механизм — система сопряженных тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемое движение других твердых тел. Механизмы, входящие в состав машины, весьма разнообразны.

По функциональному назначению механизмы машин принято делить на:

передаточные;

исполнительные;

управления, контроля и регулирования;

подачи, транспортирования и сопротивления.

Агрегат — укрупненный унифицированный элемент машины, обладающий полной взаимозаменяемостью и выполняющий определенные функции в технологическом процессе (в автомобиле: двигатель, коробка передач, дифференциал и т.п.).

Узел — часть машины, механизма, установки и т.п. состоящая из нескольких более простых элементов (деталей), имеющих общее функциональное назначение (подшипник качения, муфта, редуктор и т.п.).

В области конструирования машин (машиностроения) широко используется категория техническая система, под которой понимаются искусственно созданные объекты, предназначенные для удовлетворения определенной потребности, которым присущи возможность выполнения не менее одной функции, многоэлементность, иерархичность строения, множественность связей между элементами, многократность изменения и многообразие потребительских качеств.

К техническим системам относятся отдельные машины, аппараты, приборы, сооружения, ручные орудия, их элементы в виде узлов, блоков, агрегатов и других сборочных единиц, а также сложные комплексы взаимосвязанных машин, аппаратов, сооружений и т.п.

Не существует абсолютной, полной и завершённой классификации всех существующих деталей машин, т.к. конструкции их многообразны и, к тому же, постоянно разрабатываются новые.

Для ориентирования в бесконечном многообразии детали машин классифицируют на типовые группы по характеру их использования.

Передачи.

Предназначены для передачи и преобразования движения, энергии в машинах.

Их разделяют на передачи зацеплением, передающие энергию посредством взаимного зацепления зубьев (зубчатые, червячные и цепные), и передачи трением, передающие энергию посредством сил трения, вызываемых начальным натяжением ремня (ременные передачи) или прижатием одного катка к другому (фрикционные передачи).

Валы и оси.

Валы служат для передачи вращающего момента вдоль своей оси и для поддержания вращающихся деталей передач (зубчатые колёса, шкивы звёздочки), устанавливаемых на валах.

Оси служат для поддержания вращающихся деталей без передачи полезных вращающих моментов.

Опоры.

Служат для установки валов и осей.

Подшипники.

Предназначены для закрепления валов и осей в пространстве.

Оставляют валам и осям только одну степень свободы - вращение вокруг собственной оси.

Подшипники делятся на две группы в зависимости от вида трения в них:

а) качения;

б) скольжения.

Муфты.

Предназначены для передачи крутящего момента с одного вала на другой.

Муфты бывают постоянными, не допускающие разъединения валов при работе машин и сцепные, допускающие сцепление и расцепление валов.

Соединительные детали (соединения).

Соединяют детали между собой.

Они бывают двух видов:

а) разъемные – их можно разобрать без разрушения.

К ним относятся резьбовые, штифтовые, шпоночные, шлицевые, клеммовые;

б) неразъемные – разъединение деталей невозможно без их разрушения или связано с опасностью их повреждения.

К ним относятся сварочное, клеевое, заклепочное, прессовое соединения.

Упругие элементы.

Их применяют:

а) для защиты от вибраций и ударов;

б) для совершения в течение длительного времени полезной работы путем предварительного аккумуляирования или накопления энергии (пружины в часах);

в) для создания натяга, осуществления обратного хода в кулачковых и других механизмах и т.д.

Корпусные детали.

Организуют внутри себя пространство для размещения всех остальных деталей, обеспечивают их защиту.

Детали специфические.

К ним можно отнести механизмы управления, устройства для защиты от загрязнений, для смазывания и т.д.

Требования к конструкции, технологичность и экономичность

В развитии машиностроения очень важны следующие современные направления:

- увеличение мощности и производительности машины;
- быстроходность и равномерность хода;
- повышение коэффициента полезного действия;
- автоматизация рабочих циклов машин;
- точность работы машины;
- стандартизация и взаимозаменяемость деталей и узлов;
- удобство и безопасность обслуживания;
- компактность;
- эстетичность внешнего вида машины.

Детали и узлы машин должны быть работоспособными, надежными, технологичными, экономичными и эстетичными.

Требования к машинам многообразны и часто противоречивы, однако их можно условно разделить на основные взаимосвязанные группы:

- технологические требования;
- экономические требования;
- эксплуатационные требования.

Качество машины, т.е. её максимальное соответствие всем требованиям невозможно без неустанного внимания инженера на всех стадиях "жизни" машины.

Качество закладывается на стадии проектирования, обеспечивается на стадии производства и поддерживается в процессе эксплуатации.

Несмотря на большое многообразие современных машин, отличающихся друг от друга назначением, производительностью, скоростью движения рабочих органов и т.д., установлены общие требования, предъявляемые к конструкции самих машин, а также к их сборочным единицам и деталям.

Таковыми требованиями к машинам являются:

- соответствие производительности заданным объемам и темпам выполнения работы;
- обеспечение высокой надежности и долговечности, а также срока службы машины, соответствующего сроку гарантии в заданных условиях эксплуатации;
- правильность выбора материала и рациональных способов обработки;
- соответствие конструкции машины ее назначению;
- обеспечение наименьших габаритных размеров машины, затрат труда и материальноденежных средств;
- удобство доставки к потребителю;
- привлекательность формы и отделки внешнего вида машины.

К конструкциям сборочных единиц предъявляются требования легкой сборки и разборки, легкой замены относительно быстро изнашивающихся частей и т. д.

Детали должны иметь минимальную массу при достаточной прочности и быть надежными в эксплуатации, так как их поломка может привести к авариям в машине. Прочность детали обеспечивается выбором материала и правильно рассчитанными размерами. Уменьшение массы деталей достигается применением более прочных и экономичных материалов.

Применение наиболее точных методов расчета дает возможность получить размеры деталей без излишних запасов прочности. Многие детали должны также обладать достаточной жесткостью, т.е. способностью сопротивляться образованию остаточных деформаций. Особое значение это имеет для таких деталей, как корпуса, валы, оси, опоры. Жесткость деталей зависит от свойств материала, размеров и формы деталей, поэтому при конструкции многие детали машин подвергаются расчетам на жесткость и специальным испытаниям опытных образцов.

Детали должны быть придана достаточная износостойкость. Это требование выполняется применением специальных материалов и различными способами поверхностного упрочнения.

Детали должны быть как можно более простыми по форме и экономичными в изготовлении. Это требование может быть выполнено при условии тесного содружества конструкторов и технологов, обеспечивающего применение наиболее рациональных конструкций, прогрессивной технологии, более дешевых материалов и т.д.

Одним из существенных критериев оценки конструкций изделия является его технологичность и экономичность.

Технологичность – изготовление изделия при минимальных затратах труда, времени и средств при полном соответствии своему назначению.

Условно различают технологичность изготовления и эксплуатационную технологичность. К последней относят ремонтпригодность, восстанавливаемость, приспособленность к человеку, в том числе удобство и безопасность обслуживания, и требуемый уровень подготовки обслуживающего персонала, дефицитность и нормы расходования эксплуатационных материалов; степень воздействия объекта на окружающую среду; возможности консервации, хранения, транспортирования и др.

Технологичность (изготовления) условно разделяют на технологичность детали и технологичность соединения или сборочной единицы, «условно», потому как оба эти вида находятся в неразрывной связи. Общий подход к выбору конструктивных решений, исходя из данного условия, независимо от функции, технологии и материалов – это простота геометрической формы, плавные переходы от одного элемента конструкции к другому и унификация (повторяемость) элементов, деталей, сборочных единиц и агрегатов.

Технологичной называется конструкция машины, которая обеспечивает заданные эксплуатационные качества и позволяет при данной серийности изготавливать ее с наименьшими затратами труда и материалов.

Технологичность конструкции тесно связана с серийностью, обеспечивающей ее соответствие масштабу выпуска и условиям производства. В значительной степени технологичность конструкции обеспечивается широким внедрением стандартизации, нормализации и унификации, использованием полуфабрикатов и рекомендуемых материалов, а также типизацией технологических процессов. Основные условия обеспечения технологичности связаны со способами получения заготовки, механической обработки и с точностью изготовления деталей и сборки.

Литые детали должны обеспечивать легкость формовки, сочетание толщин стенок, плавные закругления, литейные уклоны, правильное расположение ребер, удобство для базирования и механической обработки.

Детали, получаемые ковкой, штамповкой, прокаткой, не должны иметь острых внутренних углов, резких перепадов толщин стенок, обеспечивать хорошее «растекание» металла в штампе и уклоны, обеспечивающие удаление детали из штампа.

Методом литья получают детали практически неограниченной сложности, а посредством штамповки изготавливают детали сравнительно простой конфигурации, но с применением сварки из штампованных элементов выполняют изделия весьма сложной формы.

Зубья, резьбу и другие подобные элементы лучше получать накатыванием, а не нарезанием.

Соответствие технологического процесса принятому материалу обеспечивает возможность получения заданных свойств материала.

Рациональная последовательность технологических процессов и операций обусловлена как конструкцией и материалом изделия, так и выбранными способами изготовления. Целесообразно предусмотреть геометрическую форму, для воспроизведения которой необходимо минимальное количество, минимальное разнообразие процессов и операций, и не желателен возврат к предшествующим видам обработки. Следует, например, помнить, что термическая или химико-термическая обработка, нанесение на поверхности покрытий, как правило, приводят к снижению точности детали и требуют дополнительной обработки — шлифования, доводки и т. п.

Еще одно направление обеспечения технологичности сопряжено с появлением новых материалов, обладающих уникальными свойствами, речь идет о некоторых видах пластмасс и композиционных материалов.

Наиболее актуальным вопросом современного конструирования является обеспечение технологичности сборочной единицы. Сборку автоматизировать труднее всего, поэтому стоимость ручных сборочных операций занимает все большую часть из общей стоимости изделия. Не случайно промышленные компании стремятся разместить сборочные предприятия в районах с наиболее дешевой рабочей силой. В этой связи на всех этапах конструирования процесс сборки должен продумываться самым тщательным образом.

Основные приемы обеспечения рациональной сборки – это блочность конструкции и простота траектории относительного движения и относительного ориентирования в процессе соединения деталей или сборочных единиц.

Таким образом, под технологичностью конструкций и их деталей подразумевается придание им соответствующих конструктивных форм и применение для их изготовления таких материалов и приемов, которые обеспечивают наименьшие в требуемых пределах массу и размеры конструкции, минимальный расход материалов, наибольшую простоту и экономичность производства.

Экономичность – минимальная стоимость производства и эксплуатации. Экономичность деталей и узлов достигается оптимизацией их формы и размеров из условия минимума материалоемкости, энергоемкости и трудоемкости производства, за счет максимального коэффициента полезного действия в эксплуатации при высокой надежности; высокой специализацией производства и т. д. При оценке экономичности учитывают затраты на проектирование, изготовление, эксплуатацию и ремонт.

Технико-экономические расчеты наряду с техническими величинами учитывают также и экономические категории — затраты материалов, энергии, труда и других средств. Особый интерес представляет выполнение таких расчетов на первых этапах конструирования, особенностью которых является многовариантность. Сущность технико-экономического подхода при конструировании заключается в поисках наиболее рациональной конструкции машины с учетом совокупности всех особенностей производства и эксплуатации. Экономический эффект возрастает пропорционально увеличению долговечности машины, а также за счет снижения стоимости затрат рабочей силы при эксплуатации и повышения производительности машины.

Экономическое обоснование выбора варианта конструкции связано с оценкой материалоемкости, трудоемкости и себестоимости изготовления машины. При оценке различных вариантов конструкции используют удельные показатели, представляющие собой отношение массы изделия к наиболее характерному для него параметру (мощности, вращающему моменту, производительности, грузоподъемности).

Общая трудоемкость – нормированная сумма затрат труда (в единицах времени) на изготовление деталей, сборочных единиц и машины в целом — в наибольшей степени определяет себестоимость проектируемого изделия.

Расчет себестоимости машины по стоимости единицы массы основан на принципе подобия. Однако чаще и более строго принцип подобия выдерживается не для машины в целом, а для отдельных агрегатов и деталей. В себестоимости современных машин большую часть составляют комплектующие изделия. Экономический эффект унификации выражается в сокращении количества технической документации и технической оснастки.

Выбирая материал для деталей конструируемой машины наряду с другими соображениями следует учитывать трудности, вызываемые большой номенклатурой используемых материалов и по возможности сокращать ее, учитывая, что на себестоимость детали оказывает способ ее изготовления. Сравнительный анализ показывает, что детали простой формы из проката дороже деталей из стали 3 в 2 – 5 раз, литые и кованные – в 5 – 10 раз; обработка на строгальных и долбежных станках дороже токарной в 2 – 5 раз, а на револьверных и автоматических станках дешевле в 2 – 10 раз.

Таким образом, экономические аспекты в процессе конструирования проявляются при выборе материала, термообработки, упрочняющей технологии, способа изготовления.

Надёжность – свойство объекта сохранять во времени способность к выполнению заданных функций (ГОСТ 27.002-83).

Эстетичность – совершенство и красота внешних форм деталей, узлов и машин существенно влияют на отношение к ней со стороны обслуживающего персонала. Оформление узлов и деталей, определяющих внешние очертания машины, должно быть красивым и отвечать требованиям художественного конструирования (дизайн). Формы наружных деталей для создания привлекательного их вида разрабатывают с участием дизайнеров. Специально подбираются цвета для окраски.

Композиция – это своего рода строение, структура, компоновка, система взаимосвязей элементов. Человек чувствует неудобство:

- когда ему не понятен замысел этого строения, например, когда имеет место бессистемное нагромождение элементов (речь идет не о физических, а о зрительно воспринимаемых категориях);

- когда рассеивается внимание, чувствуется подчиненность элементов двум или более замыслам;

- когда каждый из элементов выглядит изолированным, оторванным один от другого;

- когда не ясно какой из элементов главный, а какие находятся в подчинении и т. п.

Человеку не нравится отсутствие логики и системы.

Не всегда можно понять, а тем более создать систему, зрительно понятую и воспринимаемую как единое целое.

Не случайно работа дизайнера высоко ценится за рубежом. В то же время разрабатывать конструкцию отдельно от формирования внешнего вида нельзя, так как никакое украшательство не исправит плохое содержание, так же, как и самого содержания еще недостаточно, чтобы его однозначно воспринимать как красивую вещь.

Следующее очень древнее правило – элементы должны быть соизмеримы и, в частности, подчинены определенной пропорции. Речь идет в основном о размерах, но относится это также к другим средствам выразительности, например к геометрической форме, рельефу, цвету и даже светотени. Существует много подходов и объяснений, как и что должно соизмеряться, однако, именно «золотое сечение» позволяет создавать предметы воспринимаемые, как соразмерные. Его определяют таким образом: целое a относится к части b , как часть относится к разности между целым и частью.

Эргономика — это наука, возникшая на стыке технических наук, психологии, физиологии и гигиены. В ней используются данные анатомии, биомеханики, токсикологии, антропометрии, биофизики. Эргономика изучает функциональные возможности и особенности человека в трудовых процессах с целью создания оптимальных условий, обеспечивающих высокую производительность и открывающих возможности для интеллектуального и физического развития.

Эргономика занимается следующими проблемами:

- оптимизацией физической среды на производстве;
- конструированием средств индикации (световая, цветовая, звуковая сигнализация;

лицевые части приборов шкал, символические изображения управляемых объектов на панелях, информацией, например, в виде мнемосхем и т. п.);

- конструированием органов управления;
- компоновкой постов управления;
- организацией рабочих мест.

Учет эргономических требований при создании техники позволяет наиболее эффективно функционировать системе человек – техника – среда, т.е. при минимальном расходе ресурсов человека (время, уровень физиологического и психологического напряжения, здоровье) получать максимум удовлетворенности содержанием труда. Если не обеспечены наилучшие условия взаимодействия человека с техникой, то вряд ли можно рассчитывать на достижение экономического эффекта. Опыт показал, что до 30% проектной эффективности техники не реализуется в процессе эксплуатации, если при создании машины не учитывается удобство работающего с ней человека.

Главная задача на стадии композиционно-конструкторского синтеза – раскрыть и привести в действие связь между всеми элементами и целым в техническом и эстетическом аспектах. На этом этапе происходит непрерывное интегрирование формы: создают объемно-пространственные формы, выявляют рабочие зоны, функциональные оси, учитывают конструктивные, технологические, эргономические и экономические требования. Художник-конструктор графически или скульптурно фиксирует свои идеи. При этом выявляется пластическая характеристика объекта, замысел формы становится зримым.

Далее следует проверка и отработка формы. Форма проверяется чувством и точным расчетом. Каждую деталь увязывают с общим ансамблем по многим направлениям: определяют масштабные отношения, ритмические характеристики объектов в различных ракурсах и удалениях, выразительность, информативные качества и т. д. Проверяют также цветофактурные решения.

После доводки и испытания опытно-промышленный образец утверждается и служит эталоном при корректировании рабочих чертежей для серийного производства.

В отечественных литературных источниках по конструированию машин приводятся следующие примерные требования:

– **коррозионная стойкость** – для предохранения от коррозии детали изготавливают из коррозионно-стойкой стали, цветных металлов и сплавов на их основе, биметаллов – металлических материалов, состоящих из двух слоев (например, из стали и цветного металла), а также применяют различные покрытия (анодирование, никелирование, хромирование, лужение, эмалирование и покрытие красками);

В отечественных литературных источниках по конструированию машин приводятся следующие примерные требования:

– **снижение массы деталей** – в самолетостроении и некоторых других отраслях промышленности выполнение этого требования является одной из главных расчетно-конструкторских задач;

В отечественных литературных источниках по конструированию машин приводятся следующие примерные требования:

– использование недефицитных и дешевых материалов –
это условие должно быть предметом особого внимания во всех случаях при проектировании деталей машин; необходимо экономить цветные металлы и сплавы на их основе;

В отечественных литературных источниках по конструированию машин приводятся следующие примерные требования:

– **удобство эксплуатации** – при проектировании необходимо стремиться, чтобы отдельные узлы и детали можно было снять или заменить без нарушения соединения смежных узлов. Все смазочные устройства должны работать безотказно, а уплотнения – не пропускать масла. Движущиеся детали, не заключенные в корпус машины, должны иметь ограждения для безопасности обслуживающего персонала;

В отечественных литературных источниках по конструированию машин приводятся следующие примерные требования:

– транспортабельность машин, узлов и деталей –
возможность и удобство, их переноски и перевозки. Например, электродвигатели и редукторы должны иметь на корпусе рым-болт, за который их поднимают при перемещении. Крупные детали, корпуса гидротурбин, статоры крупных генераторов электрического тока на месте изготовления выполняют из отдельных частей, а на месте установки собирают в одно целое;

В отечественных литературных источниках по конструированию машин приводятся следующие примерные требования:

– **стандартизация** – установление обязательных норм на отдельные параметры, нормативно-технические характеристики и так далее. Она имеет большое экономическое значение, так как обеспечивает:

- 1) возможность массового производства стандартных деталей, что снижает их себестоимость;
- 2) возможность использования стандартного режущего и измерительного инструмента;
- 3) легкость замены вышедших из строя деталей при ремонте;
- 4) экономию труда при конструировании
- 5) повышение качества конструкции.

Стандартизация деталей и узлов предполагает их унификацию.

– **унификация** – приведение изделий одинакового функционального назначения к единообразию, включающее обеспечение преемственности при изготовлении и эксплуатации.

Например, механизмы подъема передвижения кранов, блоки поворота, выдвижения руки, качения и т. д. Показателем уровня стандартизации и унификации является коэффициент применяемости типоразмерам деталей, определяемый как отношение разности общего числа типоразмеров деталей и числа типоразмеров впервые разработанных деталей к общему числу типоразмеров деталей и изделия;

Стандартизация деталей и узлов предполагает

– **модифицирование** – переделка машины с целью приспособить ее к иным условиям работы, операциям и видам продукции без изменения основной конструкции;

Стандартизация деталей и узлов предполагает

- **агрегатирование** – метод конструирования машин на основе применения унифицированных и стандартных составных частей

Агрегатирование сокращает трудоемкость конструирования и изготовления машин, упрощает их эксплуатацию;

Стандартизация деталей и узлов предполагает

– **универсализация** – характеризуется расширением функций машин, увеличением диапазона выполняемых ими операций, расширением номенклатуры обрабатываемых деталей;

Стандартизация деталей и узлов предполагает

– **взаимозаменяемость** – свойство деталей, позволяющее без дополнительной обработки и подгонки собирать их в узлы, а затем в машины и приборы.

Обычно размеры, которые получили из расчетов на прочность, жесткость и т.д., округляют по ГОСТ 6636-69 "Нормальные линейные размеры" до расчетных – номинальных размеров, они и проставляются на чертежах.

При изготовлении деталей полное соответствие между этими размерами и действительными практически невозможно не только из-за недостаточной точности обработки, но из-за различных линейных и объемных температурных коэффициентов расширений элементов.

Для обеспечения сборки и нормальной работы деталей и узлов назначаются наибольшие и наименьшие их размеры, которые определяются экономической целесообразностью предельных отклонений по единой системе допусков и посадок.

Основными критериями качества машин считают:

- **мощность** – скорость преобразования энергии;
- **производительность** – объём работы (продукции, информации), выполняемой в единицу времени;
- **коэффициент полезного действия** – доля дошедшей до потребителя энергии (мощности);
- **габариты** – предельные размеры;
- **энергоёмкость** – расход топлива или электричества отнесённый к объёму работы (пройденному расстоянию, произведённой продукции);
- **материалоёмкость** – количество конструкционного материала машины, обычно отнесённого к единице мощности;
- **точность** – способность максимально соответствовать заданному положению (скорости и т.п.);
- **плавность хода** – минимальные ускорения при работе машины.

Разработка обобщенного принципа конструирования деталей машин имеет определенные трудности, ибо проектирование машин представляет собой итерационный процесс. Создает ли конструктор новое устройство или модернизирует уже существующее он должен стремиться создать оптимальную конструкцию с учетом ограниченности выделенных ему времени и средств.

ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ МАШИН И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

Нагрузки и напряжения в деталях машин

Нагрузки в машинах. Нагрузка, воспринимаемая деталью или узлом в процессе работы машины, называется рабочей нагрузкой.

Рабочие нагрузки могут быть постоянными и переменными. К постоянным нагрузкам можно отнести нагрузки от собственного веса.

Как правило, на детали машин действуют переменные нагрузки.

В зависимости от характера их действия они подразделяются на статические, когда происходит постепенное изменение их значений, и динамические, приложения которых (внезапное приложение, удар) вызывает колебание системы.

В связи с переменным характером рабочих нагрузок вводится понятие номинальная нагрузка $F_{\text{ном}}$, которая, как правило, представляет собой наиболее длительно действующую нагрузку.

Под эквивалентной нагрузкой $F_{\text{экв}}$ понимается такая нагрузка, которая заменяет фактически действующую переменную нагрузку, при этом они должны быть эквивалентны данному критерию работоспособности. В связи с этим эквивалентные нагрузки определяются с учетом коэффициента долговечности $k_{\text{долг}}$:

$$F_{\text{экв}} = F_{\text{ном}} k_{\text{долг}}$$

При расчете деталей машин используют расчетную нагрузку F_p , которая учитывает не только значение и характер изменения нагрузки, но и степень динамичности, распределения по контактирующим поверхностям, условия работы и передачи нагрузки, а также другие условия эксплуатации. Поэтому формула для определения нагрузки будет иметь вид:

$$F_p = F_{\text{экв}} k_k k_d k_y \dots = F_{\text{ном}} k_{\text{долг}} k_k k_d k_y \dots$$

При расчетах часто используется удельная расчетная нагрузка ω , которая представляет собой отношение рабочей нагрузки F_p к длине контактной линии l

$$\omega = \frac{F_p}{l}$$

Сущность проблемы надежности

Проблема надежности является одной из важнейших составляющих качества машины.

Надежность – свойство изделия (детали, узла, машины) выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение заданного промежутка времени или требуемой наработки.

Надежность машины зависит от качества проектирования, изготовления, эксплуатации машины и даже от ее упаковки и транспортирования.

Причины появления науки о надежности:

- усложнение машин и их функций;
- непрерывное повышение мощностных и скоростных показателей при одновременном уменьшении удельной массы и объема элементов машин;
- возрастание требований по надежности машин.

Теория надежности:

- оценивает надежность машины количественными показателями;
- разрабатывает методы испытания на надежность, систему наблюдения за надежностью машины в эксплуатации, включая сбор и обработку соответствующей информации;
- разрабатывает методы прогнозирования надежности машины, начиная от ее проектирования до эксплуатации.

Оценка надежности машин осуществляется вероятностно-статическим методом (в условиях массового и крупносерийного производства), когда рассматривается и оценивается среднестатистический образец машин и вероятность его пребывания в том или ином состоянии.

Существует и функциональный подход к оценке надежности машины, определяющий ее состояние (выходные параметры), когда выход одного из показателей за допустимые пределы означает падение надежности (в этом случае успехи данного подхода зависят от развития диагностики).

Надежность и ее оценка

Надежность складывается из сочетаний свойств: безотказности, ремонтпригодности, долговечности и сохраняемости изделия.

В зависимости от вида изделия надежность его может определяться всеми или некоторыми из вышеперечисленных свойств. Так, например, надежность подшипника определяется его долговечностью, зубчатого колеса – безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью...

Безотказность – свойство изделия сохранять непрерывную работоспособность.

Долговечность – свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов.

Ремонтопригодность – свойство изделия, позволяющее производить его ремонт и техническое обслуживание.

Сохраняемость – свойство изделия сохранять показатели качества в течение срока хранения и транспортирования, а также после них.

Показатели безотказности различают для
невосстанавливаемых и восстанавливаемых изделий.

Для восстанавливаемых изделий понятия
безотказность, долговечность и надежность совпадают.

Для восстанавливаемых изделий безотказность – это
одно из свойств, определяющих их надежность.

Показатели безотказности

а) невосстанавливаемых изделий являются:

- 1) вероятность безотказной работы;
- 2) средняя наработка на отказ;
- 3) интенсивность отказов.

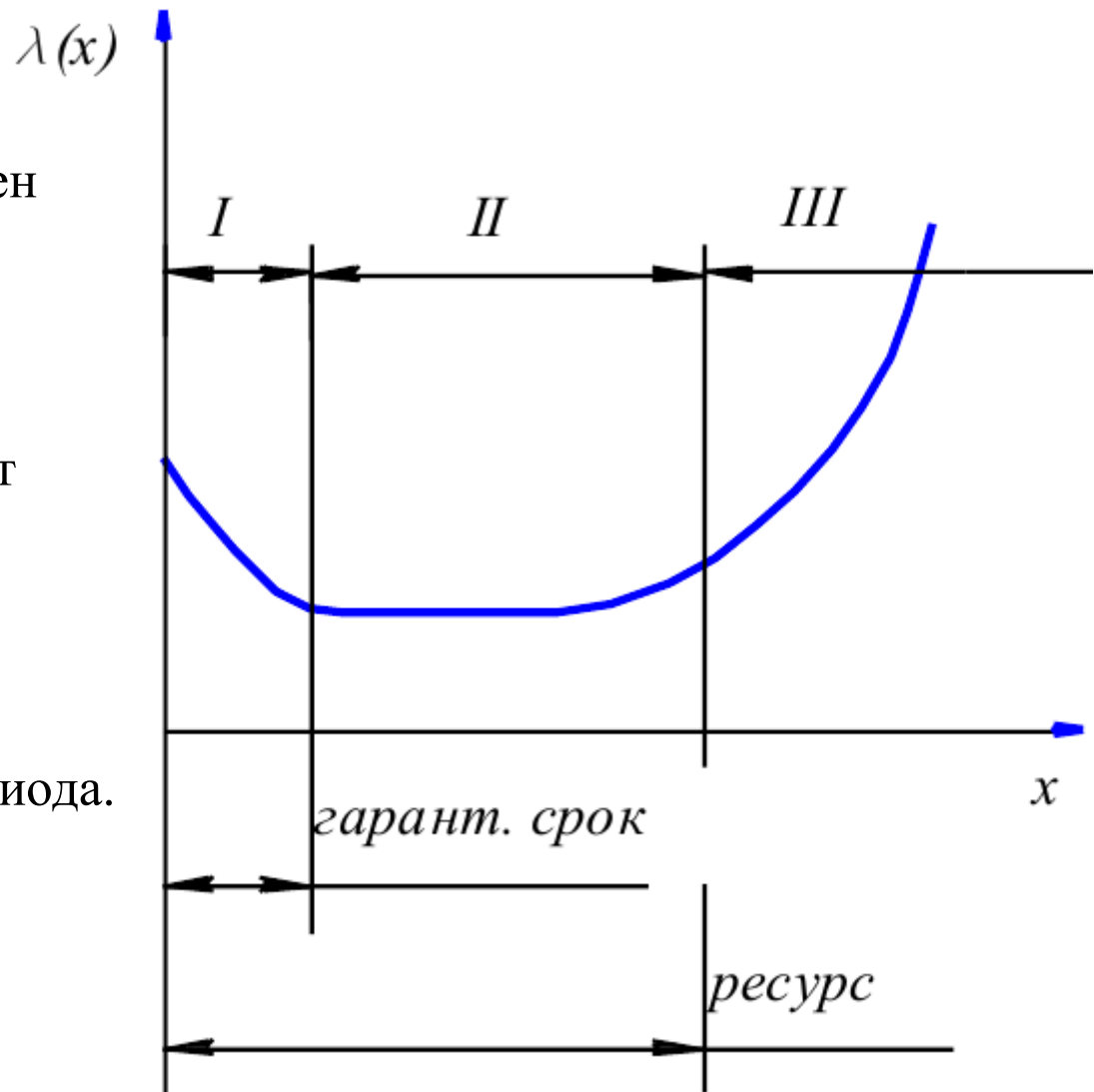
б) восстанавливаемых изделий:

- 1) вероятность безотказной работы;
- 2) наработка на отказ;
- 3) характеристика и параметр потока отказов.

Расчеты приведенных показателей проводятся на базе теории вероятностей.

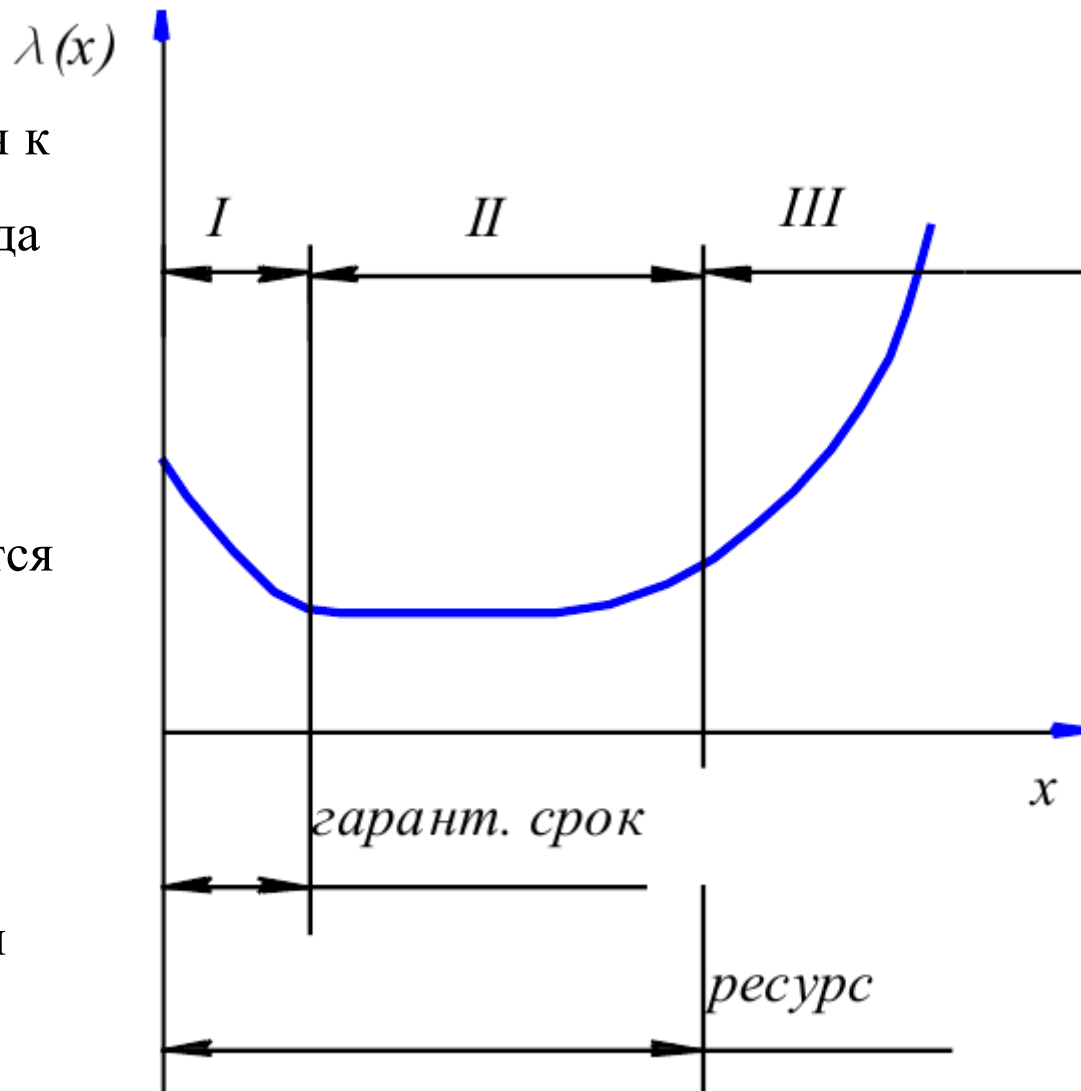
На рисунке приведен
распространенный вид
функции интенсивности
отказов в зависимости от
наработки.

Здесь наработка
распределена на три периода.

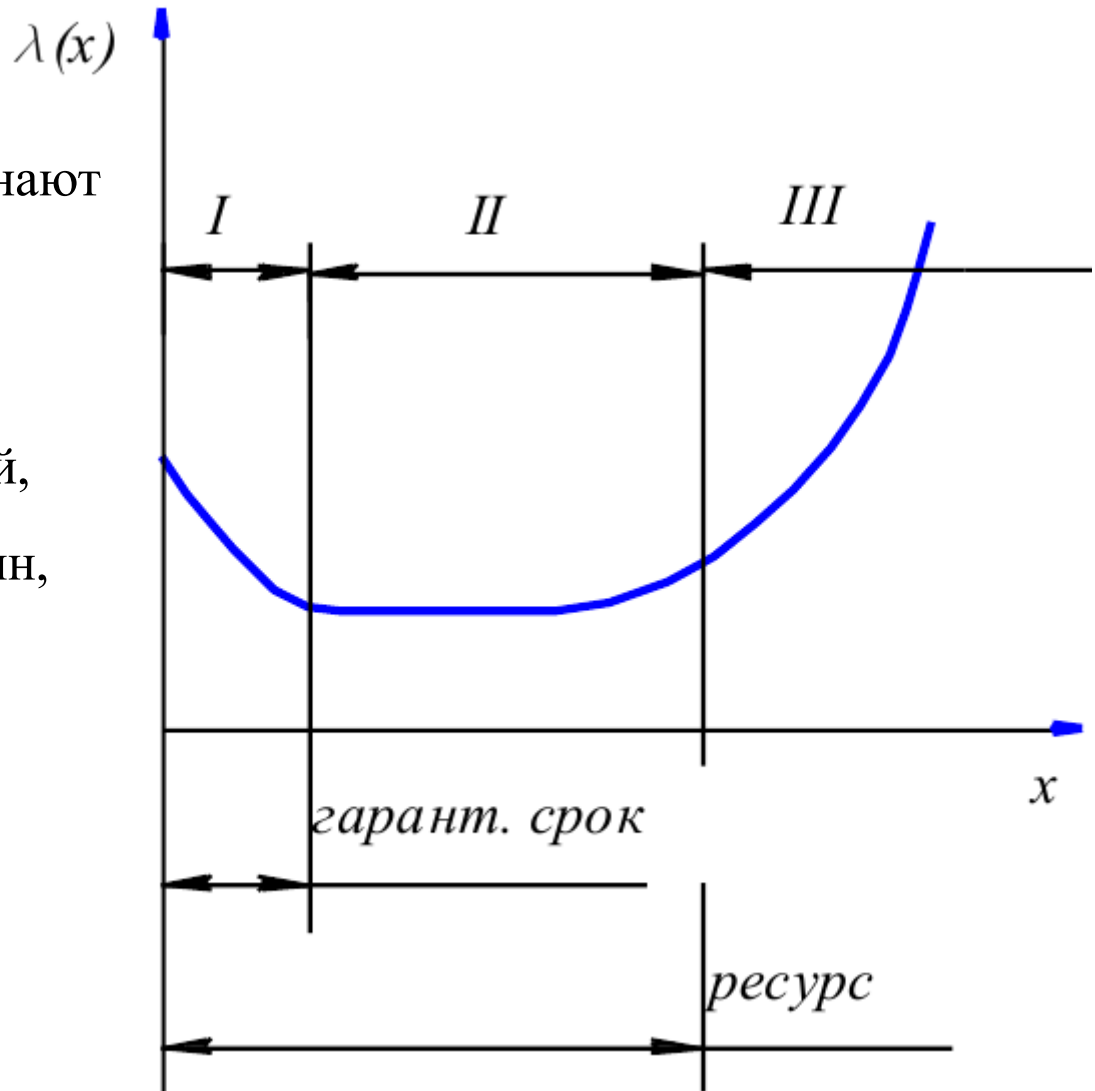


Период I относится к приработке изделия, когда интенсивность отказов повышена.

Период II называется периодом нормальной эксплуатации, когда интенсивность отказов является минимальной и постоянна по величине.



В **периоде III** начинают появляться отказы из-за интенсивности износа, усталостных разрушений, старения и других причин, обусловленных длительностью эксплуатации.



Показатели долговечности

Долговечность изделия оценивается по ресурсу (наработке) и сроку службы (продолжительности эксплуатации). Если ресурс дает непосредственное представление о наработке в различных условиях, то срок службы удобен при планировании сроков сдачи изделий в ремонт, замене их новыми и т.д.

При таком делении долговечности ее показателями будут: ресурс от определенного момента времени до списания изделия; гамма-процентный ресурс, который имеет и превышает обусловленное число процентов данных изделий; средний ресурс, определяемый по совокупности изделий, и т.д.

Показатели ремонтпригодности

Зависят от процентов восстановления, технического обслуживания и ремонта.

Показатели сохраняемости

Ими могут служить вероятность безотказности при хранении и сроки сохраняемости

Условия работы машины и причины отказов

Отказы различных элементов машин образуют случайный поток событий, так как в одних типах машин в широких пределах меняются режимы работы, а следовательно, нагрузки и частоты вращения деталей, в других – режимы меняются циклично и меняется их продолжительность.

При проектировании и расчете деталей и узлов машин стремятся к их одинаковой надежности (совпадению ресурсов их частей при эксплуатации в заданных условиях). Однако соблюсти это условие практически трудно в одной машине.

В основе всей теории надежности лежат сведения об отказах. Эти сведения могут быть даны в эмпирической и аналитической формах, чаще всего в виде функций распределения, соответствующих той или иной статистической модели отказа изделия.

Критерии работоспособности деталей машин

Работоспособность деталей оценивают по одному или нескольким критериям, выбор которых обусловлен условиями работы и характером возможного разрушения.

Основными критериями работоспособности деталей машин являются:

- прочность,
- жесткость,
- износостойкость,
- теплостойкость,
- виброустойчивость.

Прочность. Прочность это способность деталей в определенных условиях и пределах, не разрушаясь, воспринимать те или иные воздействия.

В процессе эксплуатации из-за недостаточной прочности деталей могут возникать их пластические деформации и разрушения.

Расчеты на прочность ведут по допускаемым напряжениям или по коэффициентам запаса прочности.

Условия прочности по допускаемым напряжениям имеет вид

$$\sigma \leq [\sigma], \quad \tau \leq [\tau],$$

где σ , τ - соответственно нормальные и касательные напряжения в опасном сечении детали;

$[\sigma]$, $[\tau]$ - соответственно допускаемые нормальные и касательные напряжения для материала детали.

Расчет по коэффициентам запаса прочности заключается в определении коэффициента запаса прочности

$$S = \frac{\sigma_{\text{пред}}}{\sigma_{\text{max}}}$$

где s - коэффициент запаса прочности;

$\sigma_{\text{пред}}$ - предельное напряжение (при постоянной нагрузке равно пределу текучести $\sigma_{\text{пред}} = \sigma_{\text{T}}$, при переменной – пределу выносливости $\sigma_{\text{пред}} = \sigma_{-1}$).

σ_{max} - максимальное напряжение в опасном сечении детали.

Допускаемые напряжения и коэффициенты запаса прочности

Выбор допускаемых напряжений может производиться двумя методами: табличным и дифференциальным.

Табличный метод прост и удобен для пользования, поэтому им пользуются в тех случаях, когда имеются таблицы допускаемых напряжений и коэффициентов запаса прочности.

Дифференциальный метод заключается в том, что коэффициенты запаса прочности определяют по зависимостям, в которых учитываются различные факторы, влияющие на прочность детали.

Допускаемый коэффициент запаса прочности
рекомендуется определять по зависимости:

$$[s] = s_1 s_2 s_3,$$

где **S₁** - коэффициент, учитывающий точность расчета;

S₂ - коэффициент, учитывающий однородность материала;

S₃ - коэффициент, учитывающий степень ответственности
детали.

В случае сложного напряженного состояния не зависимо от вида цикла изменения напряжения коэффициент запаса прочности определяют по зависимости:

$$S = \frac{S_{\sigma} S_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}}$$

где S_{σ} , S_{τ} - коэффициенты запаса прочности по нормальным и касательным напряжениям, которые определяются по формулам:

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_{\sigma}}{\varepsilon_{\sigma} \beta_{\sigma}} \sigma_a + \psi_{\sigma} \sigma_m} \quad S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_{\tau}}{\varepsilon_{\tau} \beta_{\tau}} \tau_a + \psi_{\tau} \tau_m}$$

$$s_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_{\sigma}}{\varepsilon_{\sigma} \beta_{\sigma}} \sigma_a + \psi_{\sigma} \sigma_m} \quad s_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_{\tau}}{\varepsilon_{\tau} \beta_{\tau}} \tau_a + \psi_{\tau} \tau_m}$$

где σ_{-1}, τ_{-1} - пределы выносливости материала при изгибе и кручении;

k_{σ}, k_{τ} - эффективные коэффициенты концентрации при изгибе и кручении;

$\varepsilon_{\sigma}, \varepsilon_{\tau}$ - коэффициенты, учитывающие влияние абсолютных размеров детали на величину предела выносливости при изгибе и кручении;

$\beta_{\sigma}, \beta_{\tau}$ - коэффициенты, учитывающие влияние на предел выносливости состояния поверхности детали при изгибе и кручении;

$\psi_{\sigma}, \psi_{\tau}$ - коэффициенты, учитывающие влияние асимметрии цикла на прочность детали при изгибе и кручении;

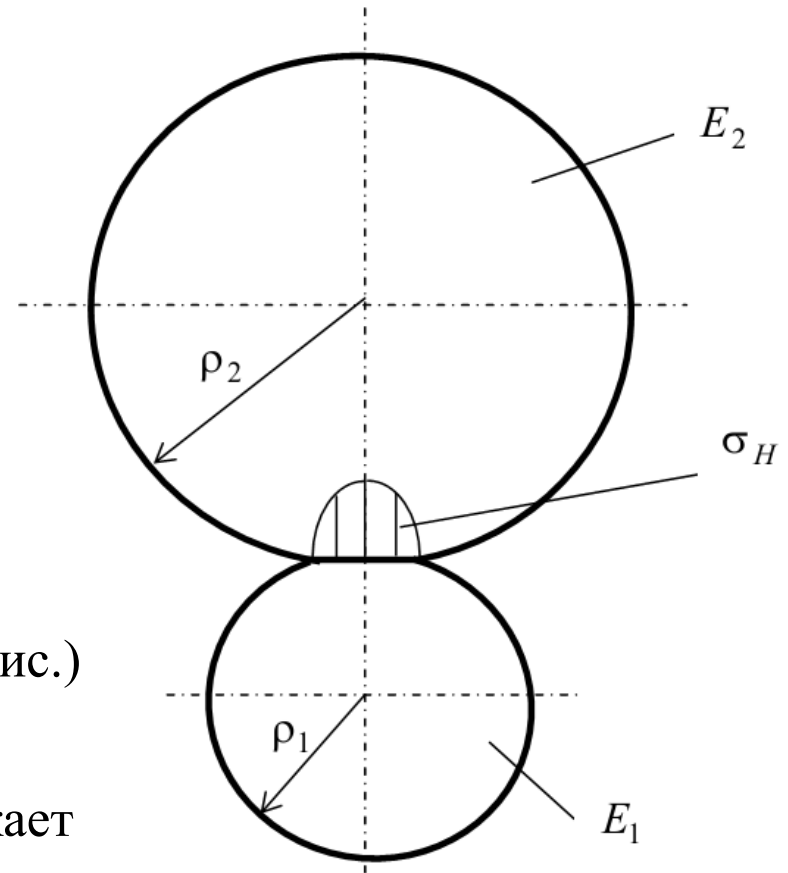
σ_a, τ_a - амплитуды цикла напряжений при изгибе и кручении;

σ_m, τ_m - средние напряжения цикла при изгибе и кручении.

Контактная прочность

Работоспособность деталей машин в некоторых случаях ограничивается прочностью рабочих поверхностей из-за действия контактных напряжений.

При контакте двух цилиндров (рис.) максимальное контактное напряжение σ_H , которое возникает на поверхности контакта, определяется по формуле Герца.



Условие контактной прочности при этом имеет вид:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{qE_{\text{пр}}}{\rho_{\text{пр}} 2\pi(1-\mu^2)}} \leq [\sigma_{HP}]$$

где **q** - нагрузка на единицу длины контактной линии;

$$E_{\text{пр}} = \frac{2E_1E_2}{E_1 + E_2} \quad - \text{приведенный модуль упругости;}$$

μ - коэффициент Пуассона;

$[\sigma_{HP}]$ - допустимое контактное напряжение;

$\rho_{\text{пр}}$ - приведенный радиус кривизны, который определяется из выражения

$$\frac{1}{\rho_{\text{пр}}} = \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2}$$

Жесткость

Жесткость это способность деталей сопротивляться образованию деформации. При расчете на жесткость учитываются ограничения на значения деформаций, возникающих под действием внешних нагрузок.

Актуальность расчета на жесткость возрастает при применении высокопрочных материалов. Жесткость деталей машин обычно определяется приближенно и равна собственной жесткости детали.

Износостойкость

Одной из причин выхода из строя деталей машин является повышенный их износ. В процессе эксплуатации могут иметь место следующие виды изнашивания: механическое, молекулярно-механическое, коррозионно-механическое, абразивное, усталостное и др.

Для уменьшения изнашивания применяют конструктивные и технологические меры: смазка трущихся поверхностей, применение уплотнительных устройств, увеличение чистоты поверхности детали, нанесение специальных покрытий, применение термообработки и упрочнения поверхностного слоя.

Оценкой износостойкости деталей является интенсивность изнашивания I_h , которая определяется по зависимости:

$$I_h = \frac{h_L}{L}$$

где h_L - толщина снятого в результате изнашивания слоя;
 L - путь перемещения точки, в которой фиксируется износ, относительно сопряженной поверхности.

Расчет на износостойкость обычно проводят косвенным методом, например, по ограничению давления p на контактируемых поверхностях

$$p \leq [p]$$

Теплостойкость

Теплостойкость – способность деталей сохранять работоспособность при изменении температуры.

Нагрев деталей машин может привести к следующим последствиям:

- 1) понижение прочности материала и появление ползучести;
- 2) снижение защищающей способности масляных пленок;
- 3) изменению зазоров;
- 4) понижению точности работы машины.

Расчеты на теплостойкость сводятся к составлению условия теплового баланса. Для обеспечения нормальной работы машины должно выполняться условие:

$$Q_{\text{выд}} < Q_{\text{отв}},$$

где $Q_{\text{выд}}$ - количество выделенного тепла;

$Q_{\text{отв}}$ - количество отведенного тепла.

Для обеспечения нормального теплового режима работы проводят тепловые расчеты червячных и волновых передач, подшипников скольжения.

Виброустойчивость

Виброустойчивость – способность детали сохранять работоспособность при воздействии знакопеременных нагрузок и колебаний с заданной частотой и амплитудой.

Вибрация приводит к усталостному разрушению деталей, порождает шум и снижает качество обработки в металлорежущих станках.

Расчет на виброустойчивость является обязательным при проектировании высокоскоростных механизмов. Наиболее опасными являются резонансные колебания, при которых возможно разрушение деталей. Для устранения резонанса необходимо, чтобы частота собственных колебаний детали p не совпадала с частотой внешних периодически изменяющихся сил ω

$$p \neq \omega.$$

Шероховатость поверхностей

Шероховатость поверхности это совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, рассматриваемых на базовой длине. Основными параметрами для оценки шероховатости являются:

R_a - среднее арифметическое отклонение профиля;

R_z - высота неровностей профиля по десяти точкам.

Шероховатость поверхностей деталей машин играет значительную роль. С уменьшением шероховатости до некоторой оптимальной величины снижается износ трущихся поверхностей, повышается прочность деталей, улучшается их внешний вид. Однако стоимость обработки деталей машин увеличивается значительно быстрее, чем точность их изготовления. Поэтому шероховатость поверхности деталей машин выбирается в каждом конкретном случае в зависимости от их назначения.

Допуски и посадки

Точность является важнейшим показателем деталей машин, существенно влияющая на все критерии работоспособности и надежности механизмов.

Детали машин не могут быть изготовлены абсолютно точно и всегда имеют некоторые отклонения от номинальных размеров. Эти отклонения регламентируются стандартной системой допусков и посадок.

Допуск размера представляет собой разность между наибольшим и наименьшим допустимым предельным размером и обозначается буквой *T*.

Допуски установлены в соответствии с девятнадцатью квалитетами, обозначаемые в порядке понижения точности 0,1; 0; 1; 2; ... 17. Детали общемашиностроительного производства выполняются преимущественно по квалитетам 4 ... 11.

Разность между охватывающим и охватываемым размерами определяет посадку, т.е. характер соединения двух сопряженных деталей. Положительная разность между размерами отверстия и вала называется зазором, а отрицательная — натягом.

Посадки разделяют на три группы: с натягом, с зазором и переходные посадки, в которых может быть как зазор, так и натяг.

Посадки обозначаются строчными буквами латинского алфавита для вала и заглавными буквами для отверстия. Характер посадки определяется полями допусков сопрягаемых деталей, т.е. допусками и их расположение относительно номинального размера, определяемым основным отклонением.

Различают две системы посадок: система отверстия и система вала. В посадках по системе отверстия предельные размеры отверстия остаются неизменными, а получение различных посадок осуществляются за счет изменения предельных размеров вала. В системе вала – наоборот.

Выбор системы посадок при проектировании деталей машин имеет экономическое значение. При равных условиях система отверстия обходится значительно дешевле системы вала. Так как не требует применения дорогостоящего инструмента для обработки отверстия для получения различных посадок.

Машиностроительные материалы

Выбор материала и термообработки деталей машин определяются следующими факторами:

- 1) необходимостью обеспечения требуемой надежности деталей в течение заданного срока;
- 2) экономическими факторами и условиями изготовления.

Детали (зубчатые колеса, валы и т.п.), размеры которых определяются условиями прочности, изготавливают из материалов с высокими прочностными характеристиками. Для этого используют улучшаемые или закаливаемые стали, а также чугун повышенной прочности.

Детали, размеры которых определяются жесткостью, выполняют из материалов с высоким модулем упругости.

Для изготовления деталей (пружин) с большими упругими перемещениями применяют закаливаемые до высокой твердости стали, резину и пластмассы с большим отношением предела упругости σ_v к модулю упругости E .

В антифрикционных узлах применяют антифрикционные материалы (бронзы, баббиты, антифрикционные пластмассы и т.п.), которые характеризуются низким коэффициентом трения, высокой износостойкостью, хорошей обрабатываемостью и высоким сопротивлением к схватыванию.

Во фрикционных узлах используются фрикционные материалы (металлокерамика, пластмассы на основе асбеста и др.), которые характеризуются большим и постоянным коэффициентом трения, высокой износостойкостью и теплостойкостью, хорошей прирабатываемостью, малым износом при работе без смазочного материала.

Детали, работающие при высоких температурах, изготавливают из жаростойких или жаропрочных сплавов.