

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

**О**дно из основных требований, предъявляемых сегодня к любому изделию в машиностроении, — это технологичность в изготовлении, минимальная стоимость и максимальная надежность в эксплуатации. Основные технические решения, принимаемые на начальной стадии разработки изделия машиностроения, чрезвычайно сильно влияют на возможность своевременного выпуска научкоемкого изделия. Полнота определения технических и технологических требований и разумное разбиение создаваемой технической системы на стандартные, типовые и оригинальные компоненты оказывают намного большее воздействие на снижение стоимости единицы изделия и разработку в целом, чем организация эффективного изготовления собственно изделия в производственных условиях.

Характерной особенностью развития современного машиностроения является все большее увеличение мощностей машин, повышение их скоростей, увеличение давлений и температур рабочих режимов.

Значительное увеличение мощностей, скоростей, передаваемых давлений и температур в современных машинах предъявляет важные и во многом новые требования к качеству и свойствам материалов и, главным образом, металлов, используемых для изготовления этих машин. Для удовлетворения этих требований металлурги и металлурговеды разрабатывают новые сплавы, отличающиеся большой прочностью или большой химической стойко-

стью при высоких температурах, — так называемые жаропрочные и жаростойкие сплавы; получает все большее развитие производство титана и сплавов на его основе, отличающихся высокой прочностью — почти вдвое по сравнению со сталью — при меньшем удельном весе; сплавы на основе никеля, выдерживающие весьма высокие температуры и нагрузки; создаются все новые композиционные материалы на основе углеволокна (углепластики), такие, например, как карбон. Они в 6 раз прочнее титана, при этом в 5 раз легче высокопрочной стали и в 1,5...2,0 раза легче алюминия. Изыскиваются новые эффективные средства упрочнения металлов и сплавов, увеличения их износостойкости, прочности, надежности эксплуатации, защиты от коррозии и т. п.

Однако одно только применение высокопрочного и высококачественного металла для изготовления машин еще не гарантирует их высокой прочности. Об этом свидетельствуют не прекращающиеся вплоть до последнего времени случаи поломок и крупных аварий различных машин. Как показывают результаты изучения причин подобных аварий, в подавляющем большинстве случаев они происходят не из-за недоброкачественного металла. Главные причины поломок машин и крупные аварии связаны с неудовлетворительной обработкой отдельных деталей, с недоброкачественной сборкой и монтажом, а также являются следствием систематического нарушения условий эксплуатации машин.

Основной причиной аварии самолета, мощного турбогенератора или гидротурбины может быть маленькая царапина, задир, вмятина или шлифовальный прижог, нанесенные на наиболее нагруженном участке детали при ее обработке или во время сборки машины. В действительности очень часто именно так и происходит.

На участке небольшого повреждения поверхности при работе машины может начаться развитие процесса усталости, неминуемо приводящего к разрушению детали, а с ней, во многих случаях, и всей машины. Именно поэтому одного только повышения качества и прочности металла недостаточно для обеспечения долговечности и надежно-

сти работы машин. Необходимо еще тщательное проведение механической обработки деталей машин.

Надежность эксплуатации и долговечность машин, их циклическая (динамическая) прочность, износостойкость, коррозионная устойчивость во многом зависят от качества обработанной поверхности — шероховатости поверхности, величины наклена остаточных напряжений и пр.

От надежности и долговечности зависит эффективность использования машин в различных отраслях народного хозяйства. При низкой степени надежности и долговечности машин появляются потери, связанные с остановкой технологических процессов, простоем машин и оборудования, ремонтом, что является серьезным препятствием для дальнейшего внедрения автоматизации и механизации производственных процессов.

Вопросы динамической прочности деталей машин и конструкций в настоящее время привлекают к себе особенно большое внимание. И это совершенно естественно, так как очень многие элементы машин и конструкций весьма различного назначения работают именно на динамические нагрузки, чаще всего на циклические (повторно-переменные).

В изучении динамической прочности металлов сделаны большие успехи как в области освещения физической картины усталостных разрушений, так и в области исследования прочности металлов.

Изучением динамической прочности металлов начали заниматься давно, примерно во второй половине XIX в. С этого времени исследования становятся все более глубокими и интенсивными, захватывая большой круг вопросов металловедческих, прочностных и машиноконструкторских.

Среди многочисленных открытий и достижений в науке о динамической прочности металлов следует особенно отметить два наиболее важных по своему содержанию и по своим следствиям открытия.

Первое из них относится еще ко второй половине XIX в., когда на основе экспериментальных исследова-

ний (главным образом, исследований Велера) было обнаружено и доказано, что процесс усталостного разрушения всякого металла в деталях машин и конструкций, находящихся под воздействием динамических нагрузок, обязательно начинается с появления в этом металле трещины (одной или иногда нескольких), сначала микроскопической, а затем постепенно и прогрессивно развивающейся и приводящей, в конце концов, данную деталь машины или конструкции к разрушению, усталостному излому.

Второе открытие произошло в первые десятилетия XX в. Оно заключается в доказательстве того факта, что поверхностный слой металла в изделиях является одним из основных и главнейших факторов, определяющих их динамическую прочность, и что все мероприятия, улучшающие и повышающие прочностные свойства поверхностного слоя, являются вместе с тем мероприятиями, повышающими в той или другой степени и динамическую прочность изделий из металла.

Особенно практически важным следствием второго открытия является мысль о том, что выдвигаемое современной промышленностью требование о более прочных металлах можно удовлетворить не только с помощью создания новых металлов, в частности путем дорогого легирования, но во многих случаях это с большим успехом можно сделать посредством соответственно направленных изменений поверхностного слоя металла, его структуры, прочности и пластичности, наружной микрогеометрии.

На базе указанных открытий появились и оформились в прошлом столетии два научных направления в учении о динамической прочности металлов.

Первое из них поставило целью изучить природу усталостного процесса и выяснить механизм усталостного разрушения. Одной из современных теорий усталостного разрушения является теория дислокаций. Основоположниками данной теории считаются академики В. Д. Кузнецov и И. А. Одинг, затем на протяжении XX в. ее развивали С. Амеликс, В. К. Старков и др.

Другое научное направление имеет целью изучить основные положения и закономерности динамической

прочности металлов и способы ее повышения для использования в современных машинах и инженерных конструкциях при проектировании, постройке и эксплуатации.

Доказано, что одним из главных факторов, определяющих динамическую прочность деталей, является состояние их поверхностного слоя. Соответственно, требования к этому слою весьма возросли. Дальнейшее интенсивное изучение этого вопроса привело к созданию специальной теории, объясняющей физический механизм влияния поверхностного слоя на динамическую прочность металлов в деталях машин и конструкций.

На основании этого стало очевидно, что для повышения динамической прочности стальных изделий (деталей машин и конструкций) нужно применять такие способы поверхностной обработки, которые вызывали бы в поверхностном их слое наклеп соответствующей глубины и интенсивности, благоприятные остаточные внутренние напряжения, а именно сжимающие напряжения, которые в то же время улучшали бы микропрофиль поверхности изделия, сглаживая выступы и впадины и уничтожая тем самым поверхностные концентраторы напряжений.

Все способы обработки поверхности стальных деталей машин и конструкций, с помощью которых можно повышать динамическую прочность, обычно делят на такие группы:

- технологические способы: резание металлов, чистовая обработка и т. п.;
- механические способы: обкатка роликами, обдувка дробью, рифление и др.;
- термические способы, главным образом в виде индукционного нагрева изделий токами высокой частоты;
- термохимические способы: цементирование, азотирование и др.

С помощью этих способов поверхностной обработки деталей машин и конструкций можно управлять динамической прочностью последних, повышая ее иногда в весьма большом диапазоне или снижая, если этого потребуют соответствующие обстоятельства.

Следует отметить, что повышение динамической прочности деталей машин и конструкций надлежащими способами их поверхностной обработки иногда является единственной возможностью, так как другие методы, в том числе и метод легирования металлов (сталей), в большинстве случаев, как известно, могут значительно повысить статическую прочность, но сравнительно мало влияют на их динамическую прочность.

При написании учебного пособия использовались труды многих известных ученых, которые внесли неоценимый вклад в развитие теории надежности: А. И. Берг, Г. В. Дружинин, А. С. Пронников, Д. Н. Решетов, Я. Б. Шор и др.; в развитие теории качества поверхности и ее влияние на эксплуатационные показатели деталей машин — В. В. Абрамов, И. А. Биргер, П. Е. Дьяченко, Б. И. Костецкий, И. В. Кудрявцев, Б. А. Кравченко, И. В. Крагельский, А. А. Маталин, С. Ф. Медведев, А. В. Подзей, А. Н. Резников, Я. А. Рудзит, А. Г. Суслов, А. М. Сулима, М. М. Хрущов, Ю. Г. Шнейдер и др.

## **ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

**Качество** — важнейшая характеристика машин и механизмов. Под качеством продукции понимается совокупность свойств, обусловливающих ее пригодность удовлетворять определенным потребностям в соответствии с ее назначением (ГОСТ 15467-79).

Качество каждой машины или механизма характеризуется определенной системой показателей, учитывающих их назначение и регламентируемых ГОСТ 15895-77, ГОСТ 16035-81, ГОСТ 16504-81 и др.

**Надежность** — это свойство изделия сохранять во времени свою работоспособность (ГОСТ 13377-75).

**Надежность изделия** — это обобщенное свойство, которое включает в себя понятия безотказности и долговечности.

**Отказ** — это событие, заключающееся в нарушении работоспособности изделия.

**Безотказность** — свойство изделия непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого (заданного) периода времени или некоторой заданной наработки, в условиях нормальной эксплуатации.

**Долговечность** — свойство изделия сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, т. е. в течение всего периода эксплуатации при установленной системе технического обслуживания и режимов.

**Сохраняемость** — свойство изделия сохранять заданные параметры, характеризующие способность изделия выполнять свои функции в течение определенного (расчетанного) периода времени.

*Работоспособность* — состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией.

*Трудоемкость* определяется продолжительностью изготовления изделия при установленной интенсивности труда в часах.

*Ремонтопригодность* — свойство изделия, заключающееся в приспособленности к поддерживанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

*Выносливость* — способность материала или конструкции сопротивляться действиям повторных (циклических) нагрузок.

*Прочность* — способность материала сопротивляться деформированию или разрушению под действием внешних нагрузок.

*Усталость (усталостная прочность)* — изменение механических и физических свойств материала в результате действия циклически изменяющихся во времени напряжений и деформаций.

*Сопротивление усталости* характеризуется пределом выносливости — наибольшим напряжением или деформацией, которое может выдержать материал без разрушения при заданном числе циклических воздействий.

*Твердость* — способность материала сопротивляться проникновению в него другого тела.

*Пластичность* — свойство твердых материалов изменять без разрушения форму и размеры под действием нагрузки или напряжений, сохраняя образовавшуюся форму и размер после прекращения действия сил.

*Износстойкость* — способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.

*Наклеп* — повышение прочности металла поверхностного слоя заготовок деталей машин.

*Степень наклена* — отношение твердости металла деформированного слоя к твердости исходного материала.

К физико-химическим свойствам материалов относятся:

- температура плавления;
- плотность;
- электро- и теплопроводность;
- коэффициенты линейного и объемного расширения;
- способность к химическому взаимодействию с агрессивными средами;
- антикоррозионные свойства и др.

Свойства машиностроительных материалов, определяющие их применяемость в машиностроении, условно можно подразделить на 2 рода:

- структурно-нечувствительные;
- структурно-чувствительные.

Свойства первого рода характерны для материалов данного вида и практически не зависят от степени несовершенства строения или структуры, появляющегося при том или ином виде термообработки.

Свойства структурно-чувствительных материалов зависят не только от рода материала, но и от степени совершенства его строения, вида термообработки этого материала и пр.

Технологические свойства металлов и сплавов характеризуют их способность поддаваться различным видам горячей и холодной обработки. К основным из них относят литейные свойства, ковкость, свариваемость и обрабатываемость режущим инструментом.

---

## ГЛАВА 1

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ КОНСТРУКЦИИ МАШИН

**П**роектируемая машина должна соответствовать ее назначению.

*Конструирование машин* — творческий процесс со свойственными ему закономерностями построения и развития. Основные особенности этого процесса состоят в многовариантности решения, необходимости согласования принимаемых решений с общими и специфическими требованиями, предъявляемыми к конструкциям, а также с требованиями соответствующих ГОСТ, регламентирующих термины, определения, условные обозначения, систему измерений, методы расчета и т. п.

Детали и узлы машины изготавливают по чертежам, выполненным на основе проектов, — совокупности расчетов, графических материалов и пояснений к ним, предназначенных для обоснования и определения параметров конструкции (кинематических, динамических, геометрических и др.), ее производительности, экономической эффективности. Для особо ответственных конструкций проект дополняют макетом или действующей моделью.

Стадии разработки конструкторской документации и этапы работ установлены в ГОСТ 2.103-68, в котором обобщен опыт, накопленный в передовых странах по проектированию машин, приборов и аппаратов.

**Разработка технического задания (ТЗ)** — документа, содержащего наименование, основное назначение, технические требования, показатели качества, экономические показатели и специальные требования заказчика к изде-

лию. ТЗ учитывает требования заказчика, а также достижения и технический уровень отечественных и зарубежных конструкций, патентный поиск, результаты научно-исследовательских работ и научного прогноза.

**Разработка технического предложения** — совокупности конструкторских документов, обосновывающих техническую и технико-экономическую целесообразность разработки изделия на основе предложений в техническом задании, рассмотрения вариантов возможных решений с учетом достижений науки и техники в стране и за рубежом, патентных материалов, возможностей машиностроительных заводов отрасли и смежных отраслей. Техническое предложение утверждается заказчиком и генеральным подрядчиком.

**Разработка эскизного проекта** — совокупности конструкторских документов, содержащих принципиальные конструкторские решения и разработки общих видов чертежей, дающих представление об устройстве разрабатываемого изделия, принципе его действия, габаритах и основных параметрах. Сюда входит пояснительная записка с необходимыми расчетами.

**Разработка технического проекта** — совокупности конструкторских документов, содержащих окончательное решение и дающих полное представление об устройстве изделия. Чертежи проекта состоят из общих видов и сборочных чертежей узлов, полученных с учетом достижений науки и техники на уровне работы узлов. На этой стадии рассматриваются вопросы надежности узлов, соответствие требованиям техники безопасности, условиям хранения и транспортирования и т. д.

**Разработка рабочей документации** — совокупности документов, содержащих чертежи общих видов, узлов и деталей, оформленных так, чтобы по ним можно было изготавливать изделия и контролировать их производство и эксплуатацию. На этой стадии разрабатываются конструкции деталей, оптимальные по показателям надежности, технологичности и экономичности.

Широкое использование персональных компьютеров на всех стадиях проектирования необходимо, чтобы изба-

вить конструктора от выполнения трудоемких расчетов, многофакторного анализа и большого объема графических работ.

### **1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАШИНАХ, ДЕТАЛЯХ И УЗЛАХ**

Объектами производства машиностроительной промышленности являются машины.

*Машиной* — это механизм или сочетание механизмов, осуществляющих целесообразные движения для преобразования энергии или производства работ.

В зависимости от основного назначения различают 2 класса машин: машины-двигатели, с помощью которых один вид энергии преобразуется в другой, удобный для использования, и рабочие машины, с помощью которых производится изменение формы, свойства и положения объекта труда.

Машины, механизмы и установки, их агрегаты или детали в процессе производства их на машиностроительных предприятиях являются изделиями.

*Изделие* — это предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии.

Изделия в зависимости от их назначения делят на изделия основного и вспомогательного производства. К изделиям основного производства относятся изделия, предназначенные для поставки (реализации), а к изделиям вспомогательного производства — предназначенные только для собственных нужд изготавливающего их предприятия.

ГОСТ установлены перечисленные ниже виды изделий.

*Деталью* принято называть элемент конструкции, изготовленный из материала одной марки без применения сборочных операций (например, болт, гайка, вал и т. д.).

Совокупность деталей, соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями (завинчиванием, сваркой и т. д.) и предназначенных для совместной работы, называют *сборочной единицей (узлом)*. Простейший узел яв-

ляется составной частью более сложного, который, в свою очередь, оказывается узлом изделия, комплекса и т. п.

Характерными примерами узлов являются, по мере нарастания сложности, подшипник, узел опоры, редуктор и т. п.

Изготовление конструкций и узлов из деталей позволяет использовать различные материалы, облегчает их изготовление, эксплуатацию и ремонт, обеспечивает возможность их нормализации и стандартизации, изготовления на специализированных заводах и т. д.

В каждой машине число деталей исчисляется сотнями, тысячами, а в крупных, например в самолете, — миллионами. Несмотря на различное конструктивное оформление и назначение машин, детали и узлы в них, в основном, одинаковые (типовые, нормальные и стандартные). К их числу относятся различные соединения (резьбовые, сварные, шлицевые и др.), передачи (зубчатые, винтовые, гибкой связью и др.) и их детали, валы муфты и опоры, уплотнения и устройства для смазывания, пружины и др. В связи с этим в промышленно развитых странах признано целесообразным сконцентрировать вопросы расчета, проектирования и конструирования деталей и узлов общемашиностроительного применения в разделе науки «Машиноведение и детали машин».

Детали и узлы машин, как и машины в целом, должны удовлетворять следующим основным требованиям.

**Работоспособность.** Это состояние деталей, при котором они способны нормально выполнять заданные функции с параметрами, установленными нормативно-технической документацией (техническими условиями, стандартами и т. п.).

**Надежность.** Под ней понимают свойство изделия (детали, узла, машины) выполнять функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение заданного промежутка времени или требуемой наработки. Термины и определения по надежности указаны в ГОСТ 13377-75.

Надежность является общей проблемой для всех отраслей машиностроения и приборостроения. Любая со-

временная машина или прибор, какими бы высокими характеристиками они ни обладали, будут обесценены при ненадежной работе. Надежность изделия зависит от необходимой наработки, которая может исчисляться в часах работы станка, налета самолета, в километрах пробега автомобиля, гектарах обработанной земли для сельскохозяйственной машины и т. д.

Надежность обусловлена всеми этапами создания и эксплуатации изделий. Ошибки проектирования, поспешности в производстве, упаковке, транспортировке и эксплуатации изделия также сказываются на ней.

Отметим, что отказы деталей машин в основном являются невосстанавливаемыми и связаны, как показала практика, с разрушениями (статическими, малоциклическими и усталостными), изнашиванием и недостаточной жесткостью. Поэтому задачи обеспечения прочности, жесткости и износостойкости деталей машин являются основными в проблеме их надежности.

Работоспособность и надежность деталей машин оцениваются определенными условиями и показателями — критериями. Важнейшими из них являются: прочность, жесткость, износостойкость, виброустойчивость и др.

При расчете и проектировании деталей обычно используют один или два критерия, а остальные заложены изначально или не имеют практического значения для рассматриваемых деталей.

**Технологичность.** Технологичными называют детали и узлы, требующие минимальных затрат средств, времени и труда в производстве, эксплуатации и ремонте.

Технологичность деталей обеспечивается:

- очерчиванием их простейшими поверхностями (цилиндрическими, коническими и др.), удобными для обработки механическими и физическими методами;
- применением материалов, пригодных для безотходной обработки (давлением, литьем, прессованием, сваркой, лазером и т. п.) и ресурсосберегающей технологии;
- системой допусков и посадок и другими средствами и методами.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)