

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

Институт инновационных технологий  
Кафедра «Технология машиностроения»

**Конспект лекций  
(часть 1)**

по дисциплине

**«ДЕТАЛИ МАШИН И ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ»**

для студентов ВлГУ, обучающихся по направлению  
13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

Составитель:  
доцент кафедры ТМС Федотов О.В.

Владимир 2015

Конспект лекций по дисциплине «Детали машин и основы конструирования» для студентов ВлГУ, обучающихся по направлению 13.03.03 «Энергетическое машиностроение».

Настоящий конспект лекций составлен в соответствии с требованиями ФГОС ВО и ОПОП направления подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», рабочей программы дисциплины «Детали машин и основы конструирования». В качестве рекомендаций для организации эффективной работы студентов использованы методические пособия ведущих ВУЗов России.

Рекомендации предназначены для студентов очной и заочной форм обучения.

Рассмотрены и одобрены на заседании  
НМС направления 13.03.03  
Протокол № 6 от 11.11.2015 г.  
**Рукописный фонд кафедры ТМС ВлГУ**

## Оглавление

Введение

**Лекция № 1.1.** Основы конструирования.

**Лекция № 1.2.** Механические передачи. Классификация.

## Введение

Дисциплина "Детали машин и основы конструирования" является базовой дисциплиной для последующей подготовки бакалавров по направлению 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», в которой реализована идея интеграции университетского образования в области фундаментальных наук и технического - в области прочности, надёжности и безопасности машин (механизмов). Эта дисциплина - первая из расчётно-конструкторских курсов, необходимых для подготовки студентов данного направления.

Автор предполагает, что в соответствии с учебным планом подготовки бакалавров к моменту изучения дисциплины «Детали машин и основы конструирования» студенты уже усвоили знания следующих дисциплин - инженерная графика, теоретическая механика, материаловедение, теория механизмов и машин, сопротивление материалов.

Изучение настоящего конспекта лекций обеспечивает приобретение студентами теоретических знаний и первоначальных навыков конструирования машин. Это позволяет готовить бакалавров широкого профиля, способных работать практически во всех отраслях промышленности и транспорта.

Содержание и объём конспекта лекций по дисциплине «Детали машин и основы конструирования», модульный принцип изложения материала в нём соответствует требованиям ФГОС ВО по указанному направлению подготовки бакалавров.

Целью освоения дисциплины «Детали машин и основы конструирования» является формирование у студентов знаний основ теории, расчёта, конструирования деталей, сборочных единиц и узлов машин, разработки и оформления конструкторской документации.

К задачам изучения теоретического курса дисциплины «Детали машин и основы конструирования» относятся:

- научить основным методам проектирования простых механических агрегатов, в том числе с применением твердотельного моделирования в САД-среде, расчётным методам определения прочностной надёжности типовых деталей, сборочных единиц и узлов машин.

Особенностью конспекта лекций является большой типаж изучаемых конструкций при общности расчётов по основным определяющим критериям.

При написании конспекта лекций не ставилась цель всеобъемлющего охвата. Вместе с другими литературными источниками, которыми студенты пользуются в рамках самостоятельной работы, конспект лекций призван заложить основу конструкторской подготовки, формирования широкого инженерного мышления.

## Лекция № 1.1. Основы конструирования.

### План лекции

1. Назначение и роль современным машин в народном хозяйстве страны.
2. Историческая справка, роль отечественных механиков и ученых.
3. Цель и основные задачи курса, связь с другими дисциплинами.
4. Основные понятия.
5. Классификация деталей и сборочных единиц машин.
6. Унификация. Унифицированные компоненты.
7. Основные направления конструирования.
8. Основные критерии работоспособности и расчета деталей машин.
9. Надежность и её характеристики.
10. Материалы: виды, выбор и пути экономии.
11. Технологичность.
12. Взаимозаменяемость.

### 1. Назначение и роль современных машин в народном хозяйстве страны.

Социально-экономическое развитие страны, а, следовательно, благополучие каждого члена общества зависят от уровня материального производства.

**Развитие материального производства** определяется в основном двумя показателями - производительностью труда и качеством выпускаемой продукции.

В свою очередь указанные параметры зависят, с одной стороны, от уровня механизации, автоматизации и компьютеризации производства, а, с другой стороны, от заинтересованности трудящихся в своем труде и от уровня образования трудящихся.

**Современные машины** обеспечивают многократное повышение производительности труда человека, качество продукции и решают задачи, порой непосильные человеку.

За примерами далеко ходить не надо:

1) если человек может нормально нести не более 50 кг со скоростью 5 км/ч, то современные локомотивы транспортируют поезда массой до 5 000 тонн и выше со скоростью до 100 км/ч и выше;

2) если человек может длительно развивать мощность не более 0,1 кВт, то мощность современных турбин превышает миллионы кВт;

3) если скорость ручного счет и объем запоминаемого человеком материала весьма ограничен, то тактовая частота современных

микропроцессоров достигает порядка 2,5 – 3 ГГц и продолжает стремительно расти, а память на жестком диске составляет уже порядка 150 Гб, что соответствует информации приличных библиотек.

**Таким образом, современный мир, который окружает Вас, создан современными машинами.**

**Ведущая роль машиностроения** среди других отраслей народного хозяйства определяется тем, что основные производственные процессы во всех отраслях промышленности, строительства и сельского хозяйства выполняют **машины**. Поэтому технический уровень всех отраслей народного хозяйства в значительной степени определяется машиностроением.

## **2. Историческая справка, роль отечественных механиков и ученых**

В России **первый курс «Детали машин»** был написан в 1881 году проф. Кирпичниковым В.Л. В дальнейшем этот курс получил свое развитие в трудах проф. Худякова П.К., Сидорова А.И., Саверина М.А. и др. Широко использовались труды зарубежных ученых (Бах, Ретшер и др.).

Если же говорить об **истории использования деталей машин**, то она начинается с глубокой древности – применение пружин в луках для метания стрел, лучкового возвратно-поступательного привода для добывания огня, катков для перемещения тяжестей.

Существенная часть простых деталей машин – металлические цапфы, примитивные зубчатые колеса, винты – были известны до Архимеда.

Эпоха Возрождения была в значительной степени ознаменована работами Леонардо да Винчи. Им созданы зубчатые колеса с перекрещивающимися осями, шарнирные цепи, подшипники качения. Уже тогда применялись ременные передачи и шарнирные муфты.

Эвольвентное зубчатое зацепление было предложено Л. Эйлером в середине 18 века, но широкое применение этих зубчатых передач началось в конце

18 века с освоения эффективного изготовления их методом обката.

Важным российским вкладом в создание механических конструкций является разработка дуговой электрической сварки Бенардосом (1882 г.) и Славяновым (1888 г.). Существенный вклад отечественных ученых в разработку передачи зацеплением внес М.Л. Новиков (круговинтовые передачи).

Одна эпоха сменяла другую. Возникла необходимость каким-то образом структурировать все накопленные знания. Так возник курс «Детали машин».

## **3. Цель и основные задачи курса, связь с другими дисциплинами**

Курс «Детали машин и основы конструирования» относится к общетехническим дисциплинам, завершает общетехническую подготовку и

является базой для построения спецкурсов. Это первый инженерный курс, в ходе которого выполняется полноценный индивидуальный курсовой проект, помогающий студентам освоить азы конструирования.

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

**Целью курса** является изучение основ расчета и конструирования деталей и узлов общего назначения с учетом режима работы и срока службы машин. При этом рассматриваются выбор материала и его термообработка, рациональные формы деталей, их технологичность и точность изготовления.

**Значение курса** определяется словами: нельзя построить ни одну машину, не умея сконструировать, рассчитать и изготовить ее детали.

Все существующие машины, начиная от простейшего домкрата и кончая ядерным реактором и космическим кораблем, собираются из простейших конструктивных узлов, которые в свою очередь состоят из большего или меньшего числа различных деталей, представляющих собой первичные элементы, образующие в сборе машину, прибор или сооружение.

**Задача курса** – изучение методов расчета и конструирования различных машинных деталей и узлов.

На первый взгляд, эта задача может оказаться непомерно трудоемкой, т.к. номенклатура современных машин очень велика, а количество составляющих их деталей безгранично. Однако решение этой задачи упрощается тем, что могут быть предварительно сформулированы некоторые общие положения конструирования и расчета, применимые для всех деталей, а при рассмотрении их частных разновидностей использован прием классификации изучаемых предметов или явлений.

#### 4. Основные понятия

**Механизм** - система твердых тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемые движения других тел (редуктор, коробка передач и др.).

**Машина** – механизм или устройство, выполняющие механические движения и служащие для преобразования энергии, материалов или информации с целью облегчения или замены физического или умственного труда человека и повышения его производительности.

Структурно любая машина состоит из шести блоков:

- 1 - двигательная установка;
- 2 - система управления;
- 3 - передаточный механизм;
- 4 - исполнительный механизм;

5 - вспомогательные устройства;

6 - основание, корпус машины.

Эти блоки машины состоят из деталей, которые объединены в сборочные единицы и узлы.

**Деталь** – составная часть машины, изготовленная без применения сборочных операций (например, вал, шпонка, болт и др.).

**Сборочная единица** – это часть машины, состоящая из ряда деталей, имеющих общее функциональное назначение (например, подшипник, муфта, редуктор и т.д.).

**Узел** – крупная сборочная единица, (например, коробка передач, муфта, редуктор и др.), являющаяся составной частью изделия (привода, машины).

## 5. Классификация деталей и сборочных единиц машин

С точки зрения инженера-конструктора наиболее удобно классифицировать все детали машин **по эксплуатационному признаку** – по их назначению и характеру выполняемых ими функций в процессе эксплуатации.

Анализируя конструкции машин, из узлов и деталей, можно сделать вывод о том, что все детали и узлы делятся на два больших класса.

1 класс – **детали и узлы общего назначения** – такие, которые встречаются почти во всех машинах. Они составляют подавляющее большинство и изучаются в курсе «Детали машин».

2 класс – **детали и узлы специального назначения** – такие, которые встречаются только в одном или нескольких типах машин (например, шпиндели станков, поршни, шатуны, коленчатые валы и др.). Они изучаются в соответствующих специальных курсах.

### **Классификация деталей и узлов общего назначения:**

а) **соединительные детали и соединения**, которые бывают неразъемными (заклепочные, сварные и др.) и разъемные (шпоночные, резьбовые и др.);

б) **передаточные механизмы**, которые включают вращающиеся детали – зубчатые колеса, шкивы, звездочки;

в) **валы**, служащие для передачи крутящего момента вдоль оси и для поддержания вращающихся деталей;

г) **муфты**, служащие для соединения валов;

д) **подшипники** – это опоры вращающихся валов;

е) **передачи винт-гайка**, служащие для преобразования вращательного движения в поступательное;

ж) **направляющие поступательного движения** – поддерживают поступательно движущиеся детали (например, столы);

з) **пружины и рессоры**, которые применяют для защиты машин от вибраций и ударов, а также для аккумулялирования энергии.



## 6. Унификация. Унифицированные компоненты

Современное конструирование сводится к компоновке машин и оборудования из унифицированных сборочных единиц и модулей.

Под **унификацией** понимают уменьшение разнообразия типов и видов деталей, сборочных единиц и методик их проектирования до экономически оптимального числа.

К унифицированным компонентам или сборочным единицам относятся электро- и гидродвигатели, механические передачи, микропроцессорные системы управления, защиты, контроля и диагностики, силовые полупроводниковые приборы, датчики, смазочные системы и др. Удельный вес этих компонентов в составе выпускаемых машин и оборудования составляет 65 – 75 %. Они обеспечивают все функции машин и оборудования и определяют их надежность, безопасность человека и среды его обитания.

## 7. Основные направления конструирования

- 1) изобретение и использование новых эффективных конструкций деталей, сборочных единиц и машин;
- 2) применение новых материалов деталей и технологии их упрочнения;
- 3) повышение точности изготовления деталей и сборочных единиц;
- 4) широкое использование микропроцессорной техники в составе машин и оборудования;
- 5) унификация и стандартизация деталей, сборочных единиц и методик их проектирования.

## 8. Основные критерии работоспособности и расчета деталей машин

Детали машин выходят из строя по различным причинам, которые определяются условиями эксплуатации деталей. В связи с этим детали машин должны удовлетворять определенным условиям работоспособности, надёжности и экономичности.

**Работоспособность** – способность машин выполнять свои функции.

**Надёжность** - способность машин выполнять свои функции в течении заданного срока службы.

**Экономичность** – минимизация необходимой стоимости изготовления и эксплуатации.

Работоспособность и надёжность деталей машин характеризуется определенными критериями (или причинами отказа отдельных деталей передач). Важнейшими критериями работоспособности являются: прочность, жёсткость, износостойкость, виброустойчивость, теплостойкость.

## **Критерии работоспособности деталей машин:**

1) **Прочность** (обязательный и важнейший критерий работоспособности) – способность детали выдерживать приложенные нагрузки без разрушения.

Рассматривается прочность по характеру нагрузок: статическая, усталостная и ударная.

### **Виды нагрузок в машинах:**

- **постоянные нагрузки** (например, силы начальной затяжки винтов, весовые, давление жидкости или газа) в стационарно работающих машинах;

- **переменные нагрузки с постоянной амплитудой** – в стационарно работающих машинах;

- **переменные нагрузки с переменной амплитудой** – в нестационарно работающих машинах;

- **переменные нагрузки со случайными амплитудами** – вызываются воздействием природных факторов, порывами ветра, случайными колебаниями оснований, случайными неровностями дорог и т.п.;

- **ударные нагрузки** - в машинах ударного действия или других машинах вследствие погрешностей изготовления.

### **Расчеты на прочность** ведут тремя способами:

- **по номинальным допускаемым напряжениям** (являются наиболее простыми и удобными для обобщения опыта конструирования);

- **по коэффициентам безопасности**, которые учитывают отдельные факторы, влияющие на прочность (например, концентрацию напряжений в местах изменения площади сечения деталей, упрочнения материала и т.д.);

- **по вероятности безотказной работы** (наиболее совершенная методика).

Предварительные расчеты на прочность обычно выполняют в соответствии с первым способом. Расчеты отражают характер изменения напряжений, концентрацию напряжений, влияние размеров, шероховатость и упрочнение поверхности.

2) **Жесткость** – способность деталей сопротивляться изменению формы под действием сил.

*Актуальность критерия жесткости непрерывно возрастает, т.к. совершенствование материалов происходит главным образом в направлении их прочностных характеристик, а модули упругости, например, у сталей, сохраняются постоянными.*

Жесткость определяется:

- **собственными упругими деформациями** деталей (жесткость тел деталей), которые находят по формулам сопротивления материалов;

- **контактными деформациями**, определяемыми при начальном контакте деталей по линии или в точке по формулам Герца, а при начальном контакте по площади – с помощью экспериментальных коэффициентов.

**Нормы жесткости** устанавливаются на основе обобщения опыта эксплуатации машин. Эти нормы приводятся в справочной литературе.

3) **Износостойкость** – способность материала деталей оказывать сопротивление изнашиванию.

**Износостойкость определяется:**

- видом трения (скольжения или качения);
- смазыванием;
- режимом трения (сухое, полусухое, полужидкостное, жидкостное и граничное);
- уровнем защиты от загрязнений.

Износостойкость актуальна в связи с тем, что 90% деталей выходят из строя по износу.

Износ:

во-первых, **ограничивает долговечность деталей машин** по критериям работоспособности (например, потеря точности у прецизионных станков, приборов и измерительных машин; возрастание шума у передач транспортных машин; снижение КПД поршневых машин)

и, во-вторых, **вызывает резкое удорожание эксплуатации машин** в связи с необходимостью периодической проверки их состояния и ремонта, что связано с простоями и снижением производительности машин.

**Виды изнашивания, наблюдаемые в машинах:**

- а) механическое (абразивное) изнашивание;
- б) молекулярно-механическое изнашивание при схватывании или заедании;
- в) коррозионно-механическое изнашивание, при котором продукты коррозии стираются механическим путем.

**Расчет на износостойкость** предусматривает обеспечение жидкостного трения, для чего необходимо иметь толщину масляного слоя, превышающую сумму микронеровностей и погрешностей формы контактирующих поверхностей. При невозможности создания жидкостного трения требуемый ресурс обеспечивается назначением допускаемых давлений, установленных практикой.

4) **Виброустойчивость** – сопротивление появлению в машинах вредных динамических нагрузок в виде вынужденных колебаний и автоколебаний (колебаний, вызываемых ими самими, например, при трении, резании и т.п.).

*Работа машин сопровождается вибрацией и шумом из-за соударения движущихся деталей машин. Вибрация и шум напрямую связаны с погрешностями изготовления деталей – ошибками шага и профиля зубьев, волнистостью дорожек качения подшипников. В зубчатом зацеплении даже при идеально точном изготовлении шум возникает в связи со входом в зацепление новых зубьев.*

5) **Теплостойкость** – способность деталей сохранять работоспособность в машинах с большим выделением тепла в рабочем процессе (например, тепловые и электрические машины, машины для горячей обработки металлов).

Теплостойкость ограничивает работоспособность машин в результате понижения прочности материала при нагреве, снижения несущей способности масляного слоя в трущихся парах и снижения точности в результате температурных деформаций. Например, температурные деформации лопаток турбин могут вызывать выборку зазоров и аварию машины.

6) **Коррозионная стойкость** – сопротивление металлов химическому или электрохимическому разрушению поверхностных слоев и коррозионной усталости.

Коррозионная стойкость определяется сроком службы машин в коррозионной среде. Средства борьбы – специальное легирование или покрытия.

7) **Точность** – свойство машин работать в заданных пределах возможных отклонений параметров, например размеров.

Точность – один из важнейших показателей качества деталей машин, влияющий на работоспособность и надежность машин и механизмов.

*Точность диктуется требуемой точностью рабочего процесса машины и нормальной работой механизмов. Точность влияет на скорость машин и их деталей, в том числе на скорость транспорта.*

**Соблюдение указанных критериев работоспособности обеспечивает надежность конструкции в течение заданного срока службы.**

## **9. Надежность и ее характеристики**

**Надежность** – свойство объекта выполнять свои функции в течение заданного времени (или заданной наработки) свои функции, сохраняя в заданных пределах эксплуатационные показатели.

Надежность изделий обуславливается их безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью.

Роль надежности непрерывно возрастает, что связано с повышением сложности, напряженности и быстроходности машин, расширением объектов

совместной автоматизации (от простого механизма до автоматизированного цеха).

### Показатели надежности

**Безотказность** – свойство сохранять работоспособность в течение заданной наработки без вынужденных перерывов.

Основным показателем безотказности является вероятность безотказной работы  $P(t)$  в течение заданного времени или заданной наработки.

Экспериментально этот показатель может быть оценен как отношение числа образцов, сохранивших работоспособность, к общему числу испытанных образцов, если последнее достаточно велико.

Вероятность безотказной работы системы равна произведению вероятностей безотказной работы элементов

$$P(t) = P_1(t)P_2(t) \dots P_n(t).$$

Если вероятности безотказной работы элементов равны между собой, то

$$P_{\Sigma}(t) = P_1^n(t).$$

В результате для системы с одинаковой вероятностью безотказной работы элементов, равной 0,9, и количеством элементов  $n = 10$  общая вероятность безотказной работы составит  $0,9^{10} = 0,35$ .

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

Основными показателями долговечности являются средний ресурс, т.е. средняя наработка до предельного состояния, и гамма-процентный ресурс, который обеспечивается у заданного числа процентов изделий.

**Ремонтопригодность** – приспособленность изделия к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

**Сохраняемость** – свойство изделия сохранять требуемые эксплуатационные показатели по установленному сроку хранения и транспортирования.

**Надежность деталей машин сильно зависит от того, насколько близок режим работы деталей по напряжениям, скоростям и температурам к предельным значениям, т.е. от запасов по основным критериям работоспособности.**

Надежность в значительной степени определяется качеством изготовления, которое может изменить ресурс в несколько раз.

## 10. Материалы: виды, выбор и пути экономии

Для изготовления деталей применяют металлы и их сплавы, а также неметаллические материалы.

Материалы деталей обычно выбирают соответственно основному критерию работоспособности (в частности, основному виду нагрузки) и требованиям технологичности и экономики.

### Металлы и их сплавы

По критерию прочности преимущественно применяют закаливаемые и улучшаемые стали, по критерию жесткости – нормализуемые и улучшаемые стали.

При средних значениях общих напряжений и сложных геометрических формах применяются литейные сплавы (чугуны, силумины и др.) в основном без термообработки.

#### Металлы и их сплавы делят на:

- черные (сталь, чугун);
- цветные (бронза, латунь, баббит, легкие сплавы – алюминиевые и др.).

**Стали** (сплав железа с углеродом до 0,5%) обладают высокой прочностью, способностью к легированию, термической и химико-термической обработке.

Стальные детали эффективно изготавливают всеми технологическими методами: давлением (прокаткой, ковкой, прессованием), литьем, резанием, шлифованием и сваркой.

Применяют **углеродистые стали обыкновенного качества** с номером в порядке повышения прочности (Ст3 и Ст5), **стали углеродистые качественные** с сотыми долями процента содержания углерода (15 и 45), **стали легированные** с процентным содержанием их содержания (12ХН3).

**Детали машин изготавливают в основном из легированных и среднеуглеродистых сталей, большие металлические конструкции транспортных машин – из низколегированных или низкоуглеродистых сталей.**

В – вольфрам, Г – марганец, М – молибден, Н – никель, Р – бор, С – кремний, Т – титан. Ю - алюминий, Ф – ванадий.

Механические свойства некоторых сталей

Марка стали	Термообработка	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_{-1}$ , МПа
5	Нормализация	520	280	220
45	Нормализация	590	315	255
	Закалка ТВЧ	880	635	390
65Г	Закалка, отпуск	1470	1270	580
12ХН3А	Цементация; закалка с низким отпуском	930	735	490
30ХГСА	Улучшение	910	765	440
	Закалка с низким	1660	1560	570

	отпуском			
--	----------	--	--	--

$\sigma_B$  - предел прочности,  $\sigma_T$  - предел текучести,  $\sigma_{-1}$  - предел усталости

**Чугун** (сплав железа с углеродом более 2,2%). Различают:

- серые чугуны СЧ 10, 15, 20, 25, 30, 35;
- чугуны повышенной прочности с шаровидным графитом ВЧ 35, 40, 45, 50, 60, 70 (числа – временное сопротивление на растяжение в декопаскалях);
- белые и отбеленные чугуны, обладающие повышенной твердостью, износостойкостью и коррозионной стойкостью.

Чугун используют для отливок корпусных деталей: станин, стоек, плит, коробок.

**Легкие сплавы** на основе алюминия или магния имеют плотность не более 3,5 кг/см<sup>3</sup>, высокую удельную прочность. Обладают хорошими литейными свойствами, позволяют получать точные отливки под давлением.

Их подразделяют на литейные и деформируемые.

**Алюминиевые сплавы** делятся на силумины (алюминий с кремнием АЛ4) и дюралюмины (алюминий с медью и марганцем МЛ5).

Применяют для быстровращающихся и движущихся с большим ускорением деталей, в быстроходных транспортных машинах, а также для корпусных элементов, а в самолетах для несущих элементов.

**Сплавы на основе магния** широко применяют в авиационной технике.

### Сплавы цветных металлов

**Бронзы** – сплавы на основе меди. Обладают хорошими антифрикционными свойствами, сопротивлением коррозии и технологичностью.

Применяют оловянистые (БрО10НФ), свинцовые (для покрытий) и алюминиевые (с добавкой железа) бронзы. Последние при малых скоростях скольжения, повышенных давлениях при закаленных сопряженных поверхностях.

**Баббиты** – высококачественные, хорошо прирабатывающиеся антифрикционные сплавы меди с мягкими металлами (оловом, свинцом, кальцием).

**Латуни** – сплавы меди с цинком. Характеризуются высоким сопротивлением коррозии, электропроводностью, хорошей технологичностью, применяются для изготовления арматуры, труб, гильз.

### **Неметаллические материалы**

#### К неметаллическим материалам относят:

- пластмассы;
- минералокерамические материалы;
- резина;

- графит и др.

**Пластические массы** – материалы на основе высокомолекулярных органических соединений, обладающие в некоторой фазе своего производства пластичностью, позволяющей формировать изделия нужной конфигурации с достаточно точным соблюдением размеров.

По назначению делят на конструкционные, электро- и радиотехнические, звуко- и теплоизоляционные, антикоррозионные.

**По природе смол делят на:**

- **терморезактивные** – в процессе изготовления под действием высокой температуры меняют свойства и становятся неплавкими (текстолит, гетинакс, волокнит, древесно-слоистые пластики, стеклопласты, фенопласты и др.);

- **термопластичные** – размягчаются при высоких температурах, пригодны для повторного формования (полиэтилен, полипропилен, винипласт, фторопласт, полиамиды, полиформальдегиды, полиуретаны, эпоксидные полмеры, поликарбонаты и др.).

Применение пластмасс в машиностроении экономит цветные сплавы, снижает массу машины и ее стоимость.

### **Пути экономии материалов**

1) Выбор оптимальных схем механизмов и узлов.

Например, замена многоступенчатых зубчатых передач на планетарную или волновую позволяет уменьшить массу передачи в несколько раз.

2) Выбор оптимальных форм деталей в зависимости от их назначения, уменьшение или исключение концентраторов напряжений.

3) Упрочнение деталей.

Например, повышение твердости зубьев колеса с HB 200 до HRC 65 позволяет уменьшить массу редуктора в 8 раз.

4) Совершенствование заготовительных операций уменьшает отход материала в стружку в несколько раз.

## **11. Технологичность**

Одним из главных требований, предъявляемых к машинам и их деталям, является технологичность конструкции, которая значительно влияет на стоимость машины.

**Технологичной** называют такую конструкцию, которая характерна минимальными затратами при производстве и эксплуатации.

**Технологичность конструкции характеризуется:**

а) применением в новой машине деталей с минимальной механической обработкой;

б) унификацией данной конструкции, т.е. применением одинаковых деталей в различных узлах машины;



в) максимальным применением стандартных конструктивных элементов деталей (канавок, резьб, фасок и др.), а также стандартных квалитетов и посадок;

г) применением в новой машине деталей и узлов, ранее освоенных в производстве.

## 12. Взаимозаменяемость

**Взаимозаменяемость** – это условие, при котором сборка изделия из деталей, изготавливаемых по чертежам, должна осуществляться без пригонки (без дополнительной обработки).

Но детали невозможно изготовить абсолютно точно. Поэтому взаимозаменяемость обеспечивается **системой допусков и посадок**.

**Допуск** размера – это разность между наибольшим и наименьшим его значением. **Посадка** определяется взаимным расположением полей допусков сопрягаемых деталей.

Допуски установлены в соответствии с 19 квалитетами, обозначаемыми в порядке понижения точности. Детали общемашиностроительного применения обычно выполняют по квалитетам 4 – 11.

4 – 5 – при высоких требованиях к точности, высокой напряженности;

6 – 8 – основные в современном производстве;

9 – для деталей низкоскоростных машин;

10 – 13 – по мере понижения требований к точности деталей с включением деталей, обрабатываемых без снятия стружки;

14 – 17 – для свободных поверхностей деталей.

С повышением точности деталей, естественно, повышается их стоимость.

## Лекция № 1.2. Механические передачи. Классификация.

### План лекции

1. Механические передачи. Определение. Назначение.
2. Причины применения механических передач в машинах.
3. Классификация механических передач.
4. Основные силовые и кинематические характеристики механических передач.
5. Расчет контактных и касательных напряжений. Частные случаи. Формула Герца.

### 1. Механические передачи. Определение. Назначение

В современном народном хозяйстве в зависимости от вида преобразуемой энергии различают механические, гидравлические, пневматические передачи и электрические машины.

**Механические передачи** – механизмы, служащие для передачи механической энергии на расстояние. Передача энергии происходит с преобразованием скоростей и моментов, иногда с преобразованием видов и законов движения.

**Главным назначением** механических передач является согласование режимов работы двигателей и рабочих (исполнительных) органов машин.

### 2. Причины применения механических передач в машинах

1) **согласование скоростей движений** быстроходных двигателей и тихоходных рабочих органов машин.

В абсолютном большинстве случаев требуемые скорости движения рабочих органов машин не совпадают с оптимальными скоростями двигателей. Для уменьшения габаритов и массы все современные двигатели выполняют быстроходными с весьма узким диапазоном изменения угловых скоростей и малыми моментами. Развиваемые усилия на рабочих органах машин в большинстве случаев значительны. Можно было бы делать двигатели тихоходными с большими моментами, но они были бы очень громоздкими и дорогими.

Непосредственное соединение быстроходного вала двигателя с валом рабочей машины наблюдается крайне редко (вентиляторы).

2) **возможность регулирования скорости** и периодической работы с большими моментами при малых скоростях (для большинства транспортных и технологических машин).

Между тем регулирование скорости двигателя, например, внутреннего сгорания, не всегда возможно и экономично;

3) согласование равномерного вращательного движения (в большинстве случаев) двигателя с равномерным или неравномерным (т.е. по заданному закону) поступательным движением исполнительного органа;

4) двигатели не всегда могут быть непосредственно соединены с исполнительными механизмами из-за габаритов машины, условий техники безопасности, удобства обслуживания.

### 3. Классификация механических передач

#### Признак 1. В зависимости от принципа действия:

- передачи трением: фрикционные и ременные передачи;
- передачи зацеплением: зубчатые, червячные и цепные передачи.

Все передачи трением имеют повышенный износ рабочих поверхностей, т.к. в них неизбежно проскальзывание одного звена относительно другого.

#### Признак 2. В зависимости от способа соединения ведущего и ведомого звеньев:

- передачи непосредственного контакта: фрикционные, зубчатые и червячные передачи;
- передачи гибкой связью: ременные и цепные передачи. Эти передачи допускают значительные расстояния между ведущим и ведомым валами.

#### Признак 3. В зависимости от назначения:

- с постоянным передаточным отношением;
- с переменным (регулируемым) передаточным отношением:
  - со ступенчатым регулированием (проще);
  - с бесступенчатым регулированием (способствует повышению производительности и качественных показателей вследствие возможности выбора оптимального процесса).

### 4. Основные силовые и кинематические характеристики механических передач

В каждой механической передаче различают два основных вала: входной и выходной или ведущий и ведомый.

#### Основные характеристики:

- мощность на входе  $P_1$  и на выходе  $P_2$ , кВт;
- частота вращения на входе  $n_1$  и на выходе  $n_2$ , мин<sup>-1</sup>;
- угловая скорость вращения на входе  $\omega_1$  и на выходе  $\omega_2$ , с<sup>-1</sup>.

Эти характеристики минимально необходимы и достаточны для проведения проектного расчета любой механической передачи.

#### Производные характеристики:

- коэффициент полезного действия (КПД)

$$\eta = \frac{P_2}{P_1};$$

- передаточное отношение, определяемое в направлении потока мощности

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2};$$

- передаточное число

$$u = \frac{z_2}{z_1},$$

где  $z_2$  – число зубьев колеса,  $z_1$  - число зубьев шестерни.

Передача понижающая (редуктор) при  $i > 1, n_1 > n_2$ .

Передача повышающая (мультиплексор) при  $i < 1, n_1 < n_2$ .

Наибольшее распространение имеют понижающие передачи.

Для многоступенчатых передач

$$i_{\text{общ}} = i_1 i_2 \dots i_n,$$

где  $i_1, i_2, \dots, i_n$  - передаточные отношения каждой ступени.

## 5. Расчет контактных и касательных напряжений.

### Частные случаи. Формула Герца

*В неподвижных соединениях* контакт обычно происходит по большой номинальной площади.

*В передачах и опорах качения* для обеспечения условий взаимного перекатывания тел контакт перекатывающихся тел происходит по малым площадкам, на которых возникают большие напряжения.

#### Контакт цилиндров

При сжатии цилиндров вдоль образующих при начальном контакте (без приложения внешних сил) *площадка контакта имеет вид линии*. После приложения внешних сил *площадка контакта выглядит в виде полосы*, а контактные напряжения распределяются по ее ширине по эллипсу.

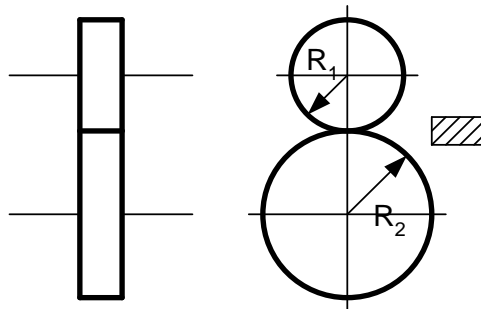


Рис. 1

Наибольшее контактное напряжение по ширине площадки определяется по формуле Герца

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{E}{2\pi(1-\gamma^2)} \times \frac{Q}{b\rho}},$$

где  $E = \frac{2E_1E_2}{E_1 + E_2}$  - приведенный модуль упругости тел, изготовленных из разных материалов;

$\gamma = 0,3$  - коэффициент Пуассона для тел, выполненных из стали;

$Q$  - сила прижатия одного тела к другому;

$b$  - длина контакта;

$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$  - приведенная кривизна тел с радиусами  $R_1$  и  $R_2$

соответственно. Для тел с внутренним контактом радиус принимается отрицательным. Для плоскости  $R = \infty$ .

### Контакт шаров или торов

При сжатии шаров или торов с неодинаковыми радиусами образующих, а также цилиндров и конусов с перекрещивающимися осями, т.е. *при начальном контакте в форме точки*, после приложения внешних сил *площадка контакта имеет форму круга или эллипса*.

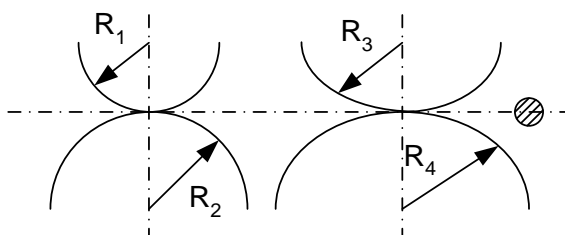


Рис. 2

Наибольшее контактное напряжение в этом случае будет определяться по формуле

$$\sigma_H = m \sqrt[3]{\frac{QE^2}{\rho^2}},$$

где  $\frac{1}{\rho} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4}$  - приведенная кривизна в плоскости наиболее тесного контакта;

$m$  - коэффициент, зависящий от отношения главных кривизн

$$\frac{A}{B} = \frac{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3}} \leq 1.$$

где  $R_1$  и  $R_2$  - радиусы кривизны одного тела;

$R_3$  и  $R_4$  - радиусы кривизны другого тела.

Контактные напряжения пропорциональны нагрузке не в первой степени, а в степени  $\frac{1}{2}$  и  $\frac{1}{3}$ . Это связано с тем, что сама площадка контакта растет с ростом нагрузки.

**Наибольшее касательное напряжение**, характеризующее прочность сталей, имеет место внутри тела и равно для всех видов площадки контакта

$$\tau_{\max} = 0,3\sigma_H.$$

При площадке контакта в форме полоски наибольшее касательное напряжение возникает на глубине 0,78 от полуширины полоски контакта, а при площадке контакта в форме круга – на глубине половины ее радиуса.