

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 перекрещающимися 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 допустимых 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	σ_B , МПа	σ_T , МПа	σ_{-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			
--	----------	--	--	--

σ_B - предел прочности, σ_T - предел текучести, σ_{-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/см³, 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⁻¹;
- угловая скорость вращения на входе ω_1 и на выходе ω_2 , с⁻¹.

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.

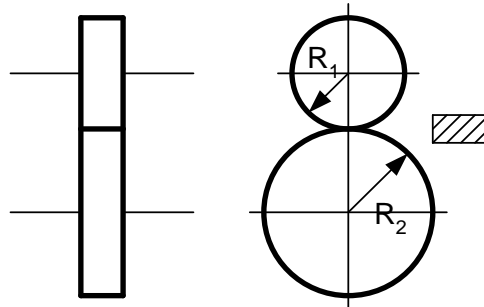


Рис. 1

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*.

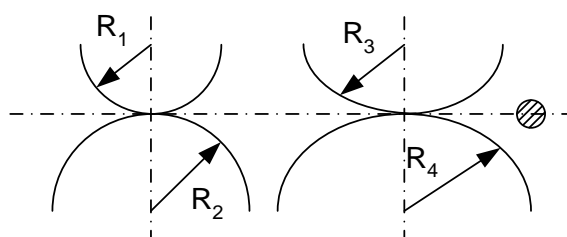


Рис. 2

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.