

Лекция 6

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Деталь – неделимое однородное тело, материал, формы и размеры которого обусловлены его функциональным назначением.

С позиции конструкции прибора деталь является первичным структурным элементом более сложной конструкции (соединения деталей (СД), конструктивной цепи (КЦ), конструктивного узла (КУ), функционального устройства (ФУ)).

По функциональному назначению детали подразделяются:

- **основные** (или схемные);
- **дополнительные;**
- **вспомогательные.**

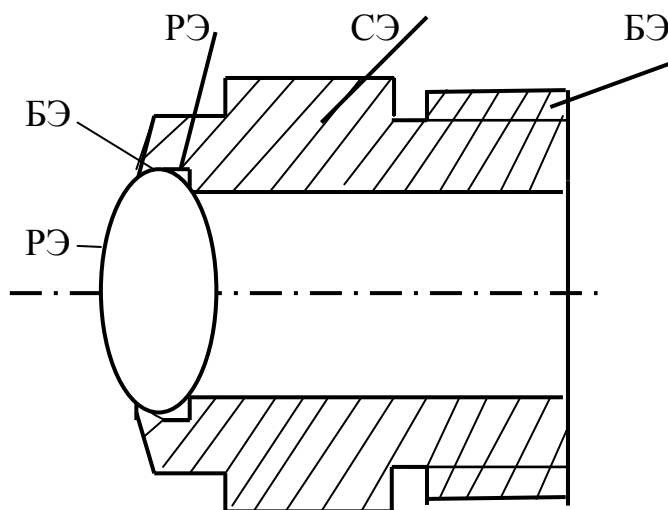
По уровню типизации:

- **стандартные** (изготавливаемые по ГОСТу, ОСТу);
- **типовые;**
- **специальные.**

В общем случае в детали можно выделить три структурных, взаимосвязанных элемента:

- **рабочий элемент (РЭ);**
- **базовый элемент (БЭ);**
- **свободный элемент (СЭ).**

Примеры структурных элементов деталей.



Содержание и этапы конструирования детали

Конструирование детали – комплексный процесс и в общей постановке задачи является весьма неопределенный. Решение вопроса конструирования детали на практике базируется главным образом на опыте конструктора и широким использованием рецептурного материала из справочной литературы. Как всякий сложный процесс, конструирование детали включает в себя ряд общих операций, состав которых и определяет содержание процесса.

Основные операции:

- **выбор материала**
- **выбор формы**
- **определение размеров.**

Поскольку каждая деталь имеет в общем случае три структурных элемента, то назначение их различно, а, следовательно, и операции конструирования решаются применительно к каждому из этих элементов.

Процесс конструирования деталей не является независимым, т.к. он в свою очередь подчинен процессу компоновки – т.е. поиску и разработки рационального размещения элементов конструкции в пространстве.

В связи с этим весь процесс разбивается на этапы:

- **эскизное конструирование**
- **техническое конструирование**
- **рабочее конструирование.**

На протяжении процесса компоновки, начиная от поиска оптимальной композиции конструкции до ее завершения, конструкции деталей остаются в эскизном изображении.

После того, как вариант компоновки выбран и происходит вычерчивание общего вида конструкции, производится отработка (уточнение) форм и размеров деталей с проверкой их на прочность, жесткость и т.д., при этом окончательно устанавливается материал для каждой детали. Этот этап соответствует **техническому конструированию**. При вычерчивании деталей на этом этапе окончательно устанавливаются контуры всех элементов, включая свободные, но остается незавершенной технологическая отработка форм (выточки, фаски и т.д.) – которые окончательно оформляются с учетом технологических ограничений на этапе **рабочего конструирования**. Здесь же координируются все элементы деталей с помощью простановки размеров и задаются допустимые отклонения на размеры и форму.

Показатели качества конструкции детали:

- **Эксплуатационные** – функциональная точность, прочность, жесткость.
- **Конструктивные** – целесообразные и функционально обоснованные масса и габаритные размеры, минимально необходимые объемы свободных элементов, эстетичные формы и соотношение размеров.
- **Технологические** – показатели общей технологичности конструкции деталей согласно требований **ГОСТ 14.203 – 73** и показателей точностной техно-

логичности, характеризующей уровень требований к точности изготовления сопрягаемых поверхностей рабочих и базовых элементов деталей.

Выбор материалов.

Знание материалов, их свойств и умение находить необходимый среди известного в технике широкого их набора, знание справочной литературы и умение ею пользоваться - обязательны для инженера – конструктора.

Все материалы подразделяются:

Металлы – черные, цветные и их сплавы

Неметаллы - пластмассы, специальные (стекла оптические и неоптические), вспомогательные .

Необходимо познакомиться с справочниками, в которых приводятся подробные перечни сортов и марок всех видов материалов и их свойства, необходимых для выбора при конструировании деталей. В [3] приводится также обширная информация по ГОСТам, как на чертежи и их оформление, так и на унифицированные детали, материалы и их профили, выпускаемые промышленностью.

1. Справочник конструктора оптико-механических приборов. Под ред. В.А. Панова. Л.: Машиностроение, 1989.-742 с.
2. Левин И.Я. Справочник конструктора точных приборов. М.: Оборонгиз, 1967.
3. Федоренко В.А., Шошин А.И. Справочник по машиностроительному черчению. Л. «Машиностроение», 1981г.- 416с.

Наиболее важными свойствами конструкционных материалов являются: (перечислить самостоятельно!)

Выбор материалов – весьма важный этап конструирования деталей, т.к. здесь закладываются многие показатели качества конструкции в целом, такие как масса прибора, срок службы, прочность, стоимость, которые в свою очередь регламентируются ТЗ.

В общем случае задача выбора материала неоднозначна вследствие большого числа влияющих факторов. Конструктор может руководствоваться лишь общими принципами, знанием свойств материалов, требований к материалам структурных элементов исходя из их назначения, условий работы и типа производства. Поэтому основным методом является метод аналогий, т.е. выбор на основе аналогов приборов и условий их работы.

В случаях, когда выбор материала затруднен, рекомендуется пользоваться матрицей оптимизации.

Рассмотрим пример.

Требуется выбрать материал для оправы объектива при закреплении его методом завальцовки. Загибаемый буртик оправы должен обеспечить прочность закрепления и компенсацию температурной деформации объектива.

Составление матрицы осуществляется следующим образом. В первом столбце указываются показатели качества, а во втором их весовые коэффициенты. Весовые коэффициенты определяются методом экспертной

оценки, при этом их сумма должна быть равна единице. Материалам приписываются баллы от 1 до 10 для каждого из показателей качества с учетом свойств материалов, которые указываются сверху слева. Внизу справа записываются значения произведений весовых коэффициентов на показатель качества материала. Полученные значения складываются для каждого варианта материала и указываются в итоговой строке.

Показатель качества	Весовой коэффициент	Сталь углеродистая.	Латунь	Алюминиевый сплав
Прочность	0,2	10 2,0	5 1,0	1 0,2
Упругость	0,1	10 1,0	5 0,5	1 0,1
Пластичность	0,5	2 1,0	8 4,0	10 5,0
Технологичность	0,1	3 0,3	10 1,0	8 0,8
Стоимость	0,1	8 0,8	3 0,3	6 0,6
Итого	1	5,1	6,8	6,7

Согласно полученным результатам наиболее подходящим материалом для оправы является латунь с обобщенным показателем 6,8, в то время как алюминиевый сплав немного уступает (6,7).

Выбор формы детали

Форма детали определяется формами ограничивающих деталь поверхностей их сочетанием и соотношением. Набор поверхностей, используемых при проектировании деталей, содержит:

- группу типовых поверхностей (плоскость, цилиндр, сфера)
 - группа специальных поверхностей (параболоид, эллипсоид, тор, эвольвентный профиль, циклоиды, спираль Архимеда, винтовая линия)
- (Рассмотреть построение спец.поверхностей).
- Эвольвента – траектория точки окружности, катящейся по плоскости
 - Циклоида (траектория точки окружности, катящейся по окружности)
 - Спираль Архимеда- траектория точки, движущейся по радиусу с постоянной скоростью, который вращается относительно центра с определенной угловой скоростью.

Наиболее часто при формообразовании деталей для обычных производственных условий имеют типовые поверхности вследствие большей их технологичности по сравнению со специальными поверхностями.

При выборе форм поверхностей следует руководствоваться рядом критериев, из которых главными являются:

- 1- **функция детали**
- 2- **конструктивная целесообразность**
- 3- **технологичность**
- 4- **эстетичность**

1. Функция детали оказывает, как правило, сильное влияние на выбор формы сопрягаемых поверхностей РЭ и БЭ: в ряде случаев они однозначны (профиль зубьев в кинематических парах, профиль кулачка, плоские поверхности преломляющих граней призм и др.). Однако, в общем случае и здесь возможны варианты, требующие специальной оценки при выборе. Например: преломляющие поверхности линз могут быть не только сферическими, а цилиндрическими или параболическими. Менее сильно влияет функция или назначение детали на СЭ.

2. Конструктивная целесообразность отражает в основном соблюдение принципа минимизации объема СЭ и является одним из важнейших принципов типизации форм и размеров БЭ и СЭ.

3. Критерий технологичности позволяет установить последовательность уровней технологичности для различных форм поверхностей. Факторы, определяющие эти уровни с точки зрения производительности технологических процессов представлены в **ГОСТ 14.203 – 73**.

На металлорежущих станках

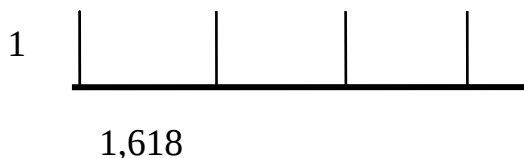
- обработка на основе рабочих ходов станка обеспечивает более высокую точность (без переустановки заготовки)
- с увеличением протяженности обрабатываемой поверхности точность снижается (допуски для деталей разного диаметра Федоренко)

4 Эстетичность форм деталей характеризует гармоничность их пропорций, а технически рациональная и в то же время выразительная композиция структурных элементов по отношению к целому.

Соотношение для сторон прямоугольников $1:\sqrt{3}$, $1:\sqrt{5}$

«Золотое отношение» $0,618 : 1$, или $1:1,618$

Например: соотношение размера репера и расстояния между реперами



ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ

Геометрические размеры – основные конструктивные параметры деталей подразделяются в зависимости от принадлежности их к структурным элементам на размеры **рабочих, базовых и свободных** элементов.

Кроме того, существуют размеры, координирующие положение рабочих элементов относительно базовых. Действительно, это обусловлено тем, что именно базовые элементы определяют соединение деталей и их взаимное расположение.

Размеры РЭ – определяют в основном из условий функциональной точности прибора

Размеры БЭ – находят из условий точности ориентирования РЭ и технологичности сборки

Размеры СЭ – выбирают из условий общей прочности и жесткости детали и Технологичности изготовления.

Определение размеров деталей основано на сочетании методов выбора и расчета. Расчеты применяются в тех случаях, когда удастся построить математическую модель, связывающую размеры детали с требованиями показателей качества.

Для оптических деталей математические модели позволяют с помощью габаритно-абберрационных расчетов найти все конструктивные размеры рабочих элементов оптических деталей и лишь для базовых элементов размеры выбираются исходя из требований ТЗ и стандартов отрасли.

Для деталей механических систем расчетом определяется, как правило, незначительное число размеров, так как только для немногих конструктивных параметров деталей удастся составить модели, отражающие существенные связи между параметрами с одной стороны и требования эксплуатации с другой.

Однако, для некоторых видов ОЭП необходимость расчетов размеров деталей очевидна. Это касается астрономических приборов космического и земного базирования, навигационных приборов, геодезических приборов. Для деталей подвижных систем определение размеров используются кинематические расчеты, выполняемые на основе уравнения, описывающего преобразование движения в кинематической цепи. Целью расчета является определение конструктивных и кинематических параметров, которые входят в это уравнение. Уравнение кинематической цепи связывает входную координату и параметры элементов цепи с выходной координатой.

Общие исходные условия, определяющие размеры элементов деталей

- ограничения габаритных размеров, определяемые техническим заданием
- тенденция к компактности и миниатюризации конструкции
- конструктивная и функциональная целесообразность
- экономичность, включающая ограничения в использовании дефицитных и дорогостоящих материалов
- технологичность изготовления в обычных условиях (универсальное оборудование и типовые инструменты)

ЗАДАЧИ КОНСТРУИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ. КОНТАКТНЫЕ ПАРЫ

Целенаправленным соединением деталей обеспечивается определенность их взаимного ориентирования и возможность выполнения конструкцией ее функционального назначения. Т.о. достижение **определенности взаимного ориентирования** деталей есть одна из задач конструирования соединений.

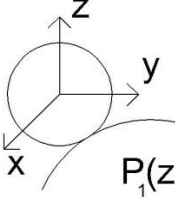
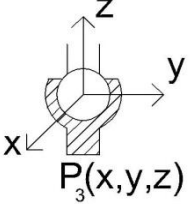
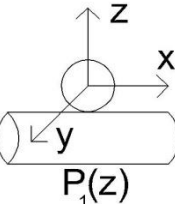
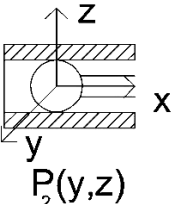
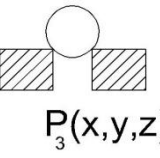
Вспомним, что свободное тело в общем случае имеет шесть степеней свободы. Детали, входящие в приборы и устройства, либо не имеют степеней свободы, либо имеют одну степень свободы (очень редко две степени свободы).

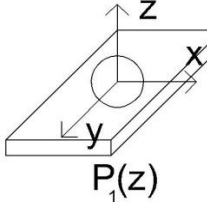
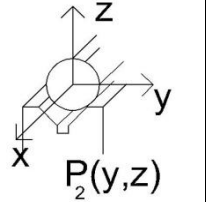
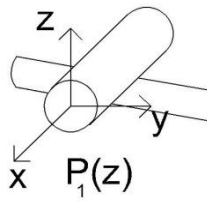
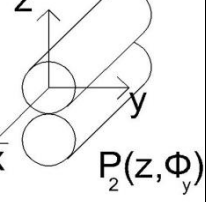
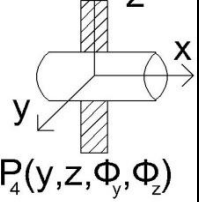
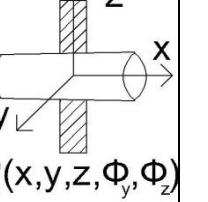
После введения деталей в соединение какие-то из шести степеней свободы будут ограничены. Поэтому при конструировании соединений следует знать наперед во-первых сколько степеней свободы нужно ограничить, и во-вторых, сколько их может ограничить та или иная конструкция. Ограничиваемые степени свободы будем называть **лишними**.

Таким образом, задача конструктора при разработке соединений деталей в обобщенном виде представляет ограничение степеней свободы.

Решение этой основной задачи связано с решением следующих частных задач:

- определением необходимого и достаточного числа накладываемых на детали связей
- выбором предпочтительных форм связей
- оптимизацией конструкций связей, ограничивающих смещения и повороты

Сочетания форм поверхностей	Классы пар				
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
Сфера и сфера					
Сфера и цилиндр					

Сфера и плос- кость					
Ци- линдр и ци- линдр					

Цилиндр
Плоскость

Плоскость-
плоскость

Свойства контактных пар.

Материальные связи, с помощью которых ограничиваются лишние степени свободы деталей в соединениях, представляют собой контактные пары, т.е. пары сопрягаемых поверхностей этих деталей.

Возможные виды элементарных контактных пар образуются при сопряжении деталей с типовыми формами (плоскость, цилиндр, сфера). Контактные пары разбиваются на шесть групп в зависимости от сочетаний форм сопрягаемых поверхностей и на пять классов по числу отнимаемых парой степеней свободы ($P_1 - P_5$)

1 класс (P_1) означает, что пара ограничивает одну степень свободы;

2 класс (P_2) ограничивает две степени свободы и т.д.

Контактные пары 1 класса (P_1) и 2 класса (P_2) имеют контакты по точке и по линии - их относят к высшим контактным парам. Эти контактные пары используются для образования высших кинематических пар, иногда их используют и для базирующих соединений.

Важным свойством элементарных контактных пар является их изаимная эквивалентность, которая заключается в том, что пары высших могут быть использованы вместо пар более низшего класса.

Например: пара класса P_2 с контактом по линии может быть заменена двумя точечными контактами класса P_1 :

Пара класса P_3 может быть заменена на P_2 и P_1 .

Из таблицы следует, что одиночными элементарными контактными парами нельзя ограничить все степени свободы одновременно. Поэтому на практике часто используют комбинации контактных пар.

Геометрическая неопределенность контактных пар

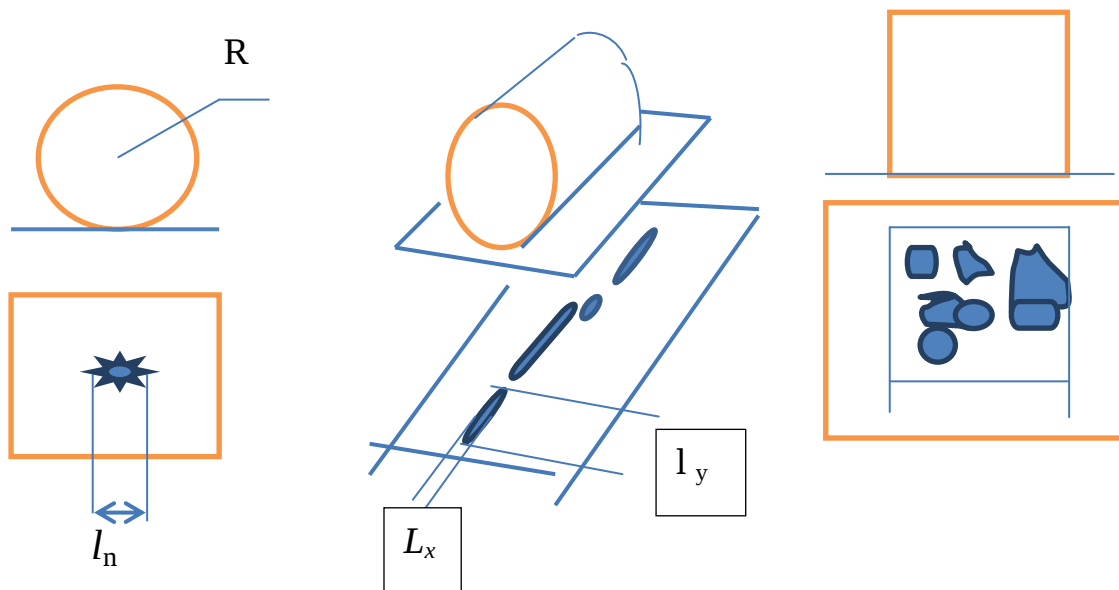
При конструировании конкретных схем базирования встречаются ограничения, которые принуждают учитывать отклонения от исходных схем базирования и допускать ряд условностей в определении классов конкретных пар.

Рассмотрим ограничения, связанные с геометрической неопределенностью типовых контактных пар.

Реальные контуры и размеры площадок контакта в сопряжениях контактных пар отличаются от номинальных контуров и размеров вследствие погрешностей формы сопрягаемых поверхностей деталей.

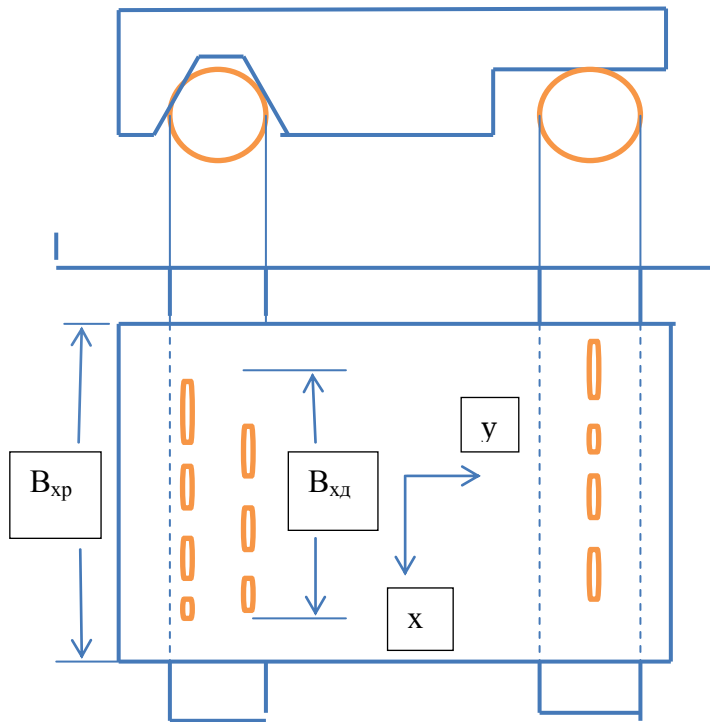
Например: Контакт по точке в действительности из-за погрешностей микроформы (шероховатости) сопрягаемых поверхностей представляет собой пятно размером l_n неопределенной конфигурации.

Контакт по линии имеет некоторую ширину и, вследствие погрешностей макроформы и волнистости при изготовлении, имеет разрывы по длине и обращается в ряд вытянутых пятен неопределенной длины и формы.



Таким образом, практически все виды контакта имеют геометрическую неопределенность в сопряжении контактной пары, наибольшую для контакта поверхностей и наименьшую для контакта по точке. Эта неопределенность

снижает несущую способность сопряжения, а также точность соединения.



Если, например, длина ползуна в направляющих определена из условия ограничения поворотов его при движении вокруг оси Oy по формуле $\Delta\varphi_y - \Delta g/B_x$ где Δg - погрешность изготовления, вызывающая поворот ползуна. Вследствие неопределенности положения пятен контакта действительная ошибка положения ползуна $\Delta\varphi_y^1$ будет в $B_{xp}/B_{хд}$ раз превышать расчетную. Очевидно, что для несущей способности всегда будет более опасной неопределенность размеров пятен, а для точности – неопределенность их положения снижает несущую способность сопряжения, а также точность соединения. Размеры пятен в контактах зависят от качества сопрягаемых поверхностей. Таким образом, ослабление вредного влияния геометрической неопределенности контактных пар связано с ужесточением требований к качеству поверхностей по всем показателям. Для повышения геометрической определенности положения пятен контакта применяется «управление» их положением с помощью систем выборки на сопрягаемых поверхностях деталей.

Размеры выступов при реализации выборки примерно равны размерам пятен.

