

Ивановский государственный энергетический университет

Кафедра технологии автоматизированного машиностроения

Конспект лекций:

Основы технологии машиностроения»

Автор конспекта лекций – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология автоматизированного машиностроения» Ивановского государственного энергетического университета Птуха Л.И.

ВВЕДЕНИЕ

Цель дисциплины – изучение закономерностей, действующих в процессе изготовления машин.

Задачи изучения дисциплины. В результате изучения дисциплины необходимо усвоить:

- основные термины и определения;
- связи в машине и производственном процессе ее изготовления;
- теорию базирования;
- теорию размерных цепей;
- пути реализации размерных связей в машине в процессе ее сборки;
- пути формирования требуемых свойств материала и размерных связей

детали в процессе ее изготовления;

- временные связи в производственном процессе;
- основы разработки технологического процесса механической обработки

детали машины.

ЛЕКЦИЯ 1

1. Основные положения и понятия в технологии машиностроения

В природе существует ничтожно малое количество предметов, которые может использовать человек непосредственно без преобразования. Поэтому человеку приходится приспособлять предметы природы для удовлетворения своих потребностей.

Современный человек стремится преобразования предметов природы выполнять с помощью машин.

Человеческое общество постоянно испытывает потребности в новых видах продукции, либо в сокращении затрат труда при изготовлении освоенной продукции. Эти потребности могут быть удовлетворены с помощью новых технологических процессов и новых машин. Таким образом, стимулом к созданию **новой машины** всегда является **новый технологический** процесс.

Машина полезна лишь, если она обладает требуемым качеством и, т.о., способна удовлетворять потребность людей.

Ресурсы труда в жизни человеческого общества представляют собой наивысшую ценность.

Создавая машину, человек ставит перед собой две задачи:

1. создать машину качественной
2. затратить меньшее количество труда при создании машины

Замысел новой машины возникает при разработке технологического процесса изготовления продукции, в производстве которой возникла потребность. Этот замысел выражается в формулировке служебного назначения, которая является исходным документом для проектируемой машины.

Процесс создания машины состоит из двух этапов:

1. проектирование
2. изготовление

В результате проектирования появляются чертежи машины. В результате изготовления с помощью производственного процесса появляется машина.

Второй этап и составляет основную задачу технологии машиностроения. Создание машины можно представить в виде схемы (рис.1.1). Изготовление машины связано с использованием различных способов обработки металлов.

История возникновения металлообработки в России мало исследована, однако известно, что:

- в X в. Русские ремесленники обладали высокой техникой изготовления оружия, предметов обихода и т.п.;
- в XII в. Русские оружейники применяли сверлильные и токарные устройства с ручным приводом и вращательным движением инструмента или заготовки;
- в XIV – XVI в.в. использовались токарные и сверлильные устройства с приводом от ветряной мельницы;
- в XVI в. в селе Павлове на Оке и в окрестностях г. Тулы существовала металлообрабатывающая промышленность;
- А.И.Нартов (1718—1725) создал механический суппорт для токарного станка;
- М.В. Сидоров (1714) на тульском оружейном заводе создал «вододействующие» машины для сверления оружейных стволов;
- Яков Батищев построил станок для одновременного сверления 24 ружейных стволов;
- М.В.Ломоносов (1711-1765) построил лоботокарные, сферотокарные и шлифовальные станки;
- И.И.Ползунов (1728-1764) построил цилиндрорасточные и др. станки для обработки деталей паровых котлов;
- И.П.Кулибин (1735-1818) построил станки для изготовления зубчатых колес часовых механизмов;
- в конце XIX и начале XX в.в. на некоторых предприятиях начали указывать на рабочих чертежах допуски на изготовление деталей.

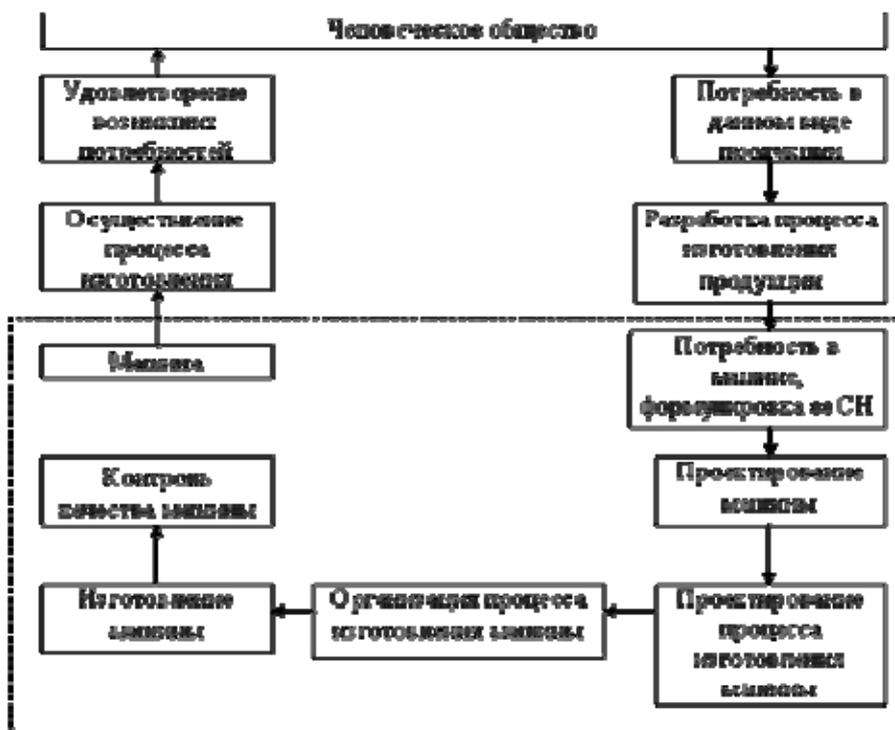


Рис. 1.1. Создание машины

Зарождение технологии машиностроения, как отрасли науки связывают появлением трудов, содержащих описание опыта производства процесса.

Впервые сформулировал положение о технологии и определил, что «технология – наука о ремеслах и заводах» в 1804 г. Академик В.М.Севергин. А в 1817 г. Впервые был изложен опыт производства профессором Московского университета И.А. Двигубским в книге «Начальные основания технологии или краткое описание работ, на заводах и фабриках производимых».

Дальнейшее описание выполнено Тиме И.А. (1838-1920 г.г.) в первом капитальном труде «Основы машиностроения. Организация машиностроительных фабрик в техническом и экономическом отношении и производство в них работ», вышедшим в 1885 г. Позже Гавриленко А.П. (1861-1914г.г.) создал курс «Технология металлов».

Затем появились работы не просто обобщающие опыт, но и выявляющие общие зависимости и закономерности. Соколовский А.П. в 1930-1932 г.г. издал первый труд по технологии машиностроения. В 1933 г. Появился труд Каширина А.И. «Основы проектирования технологических процессов» и «Теория размерных цепей», разработанная Балакшиным Б.С., а в 1935г. – «Технология автотракторостроения», в котором Кован В.М. и Бородачев Н.А. занимались анализом качества и точности производства. Исследованием жесткости, применительно к станкам, в 1936 г. занимался Вотинов К.В. Работы Зыкова А.А. и Яхина А.Б. положили начало анализу причин возникновения погрешностей при обработке. В 1959 г. Кован В.М. разработал методику расчета припусков. Исследования в области технологии машиностроения продолжили Глейзер Л.А., Корсаков В.С., Колесов И.М., Чарнко Д.В. и др.,

Технология машиностроения как наука (в современном понимании) прошла в своем развитии несколько этапов. Маталин А.А., автор одного из учебников по технологии машиностроения, выделяет четыре этапа.

Первый этап (до 1929-1930 г.г.) характеризуется накоплением отечественного и зарубежного производственного опыта изготовления машин. Публикуются описания процессов обработки различных деталей, применяемого оборудования и инструментов. Издаются руководящие и нормативные материалы ведомственных проектных организаций страны.

Второй этап (1930-1941 г.г.) характеризуется обобщением и систематизацией накопленного производственного опыта и началом разработки общих научных принципов построения технологических процессов.

Третий этап (1941-1970 г.г.) отличается интенсивным развитием технологии машиностроения, разработкой новых технологических идей и формированием научных основ технологической науки.

Четвертый этап – с 1970 г. По настоящее время отличается широким использованием достижений фундаментальных и общинженерных наук для решения теоретических проблем и практических задач технологии машиностроения.

Современное представление технологии машиностроения – это отрасль технической науки, которая изучает связи и закономерности в производственных процессах изготовления машин.

Конструкция любой машины – сложная система двух видов сопряженных множеств связей:

1. свойств материалов;
2. размерных.

Для реализации такой системы связей должен быть создан и осуществлен производственный процесс, который представляет собой другую систему сопряженных множеств связей:

1. свойств материалов (нужны для создания аналогичных связей в машине во время производственного процесса);
2. размерных;
3. информационных (для управления производственным процессом);
4. временных и экономических (производственный процесс не может осуществляться вне времени и без затрат живого и овеществленного труда).

Таким образом, создание машины сведены к построению двух систем связей (рис.1.2):

1. конструкции машины;
2. производственного процесса изготовления.

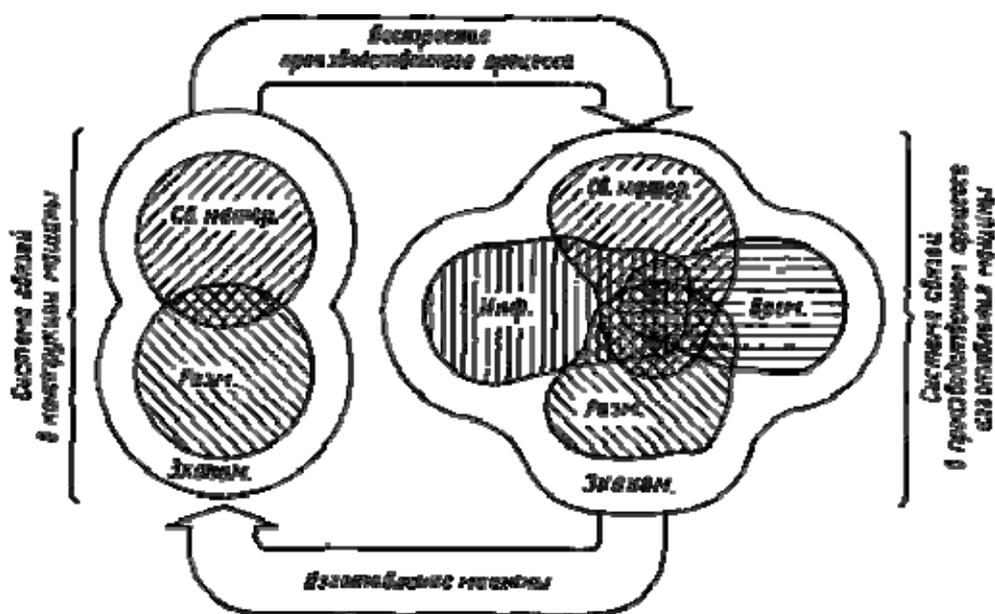


Рис.1.2. Системы связей в машине

1.1. Понятие о машине и ее служебное назначении

Машина- устройство, предназначенное для действия в нем сил природы сообразно потребностям человека.

В настоящее время понятие «машина» имеет ряд смыслов:

- машина — механизм или сочетание механизмов, выполняющих движение для преобразования энергии, материалов или производства – с точки зрения механики;
- машина – доменная печь (Менделеев Д.И.);
- машина (с появлением ЭВМ) – механизм или сочетание механизмов, осуществляющих определенные целесообразные движения для преобразования энергии, выполнения работы или же для сбора, передачи, хранения, обработки и использования информации.

И, наконец, с точки зрения технологии машиностроения: машина является либо объектом, либо средством производства.

Поэтому **машина** – система, созданная трудом человека, для качественного преобразования исходного продукта в полезную для человека продукцию (рис.1.3).

Исходный продукт процесса – предметы природы, сырье или полуфабрикат.

Сырье – предмет труда, на добычу или производство которого, был затрачен труд.

Полуфабрикат – сырье, которое подвергалось обработке, но не может быть потреблено как готовый продукт.

Продукция – это результат производства в виде сырья, полуфабриката, созданных материальных и культурных благ или выполненных работ производственного характера (табл. 1.1).



Рис. 1.3. Машина – средство производства

Таблица 1.1. Преобразования машинами исходного продукта в продукцию

Исходный продукт	Энергия	Машина	Продукция
Заготовка	Электроэнергия	Станок	Деталь
Груз	Механическая	Автомобиль	Перевезенный груз
Ткань, нить	Механическая	Швейная машина	Шов
Эл. магнитные волны	Электрическая	Телевизор	Изображение и звук
Задача	Электрическая	ЭВМ	Решенная задача
Энергия сгораемого топлива	Расширения газов	Двигатель внутреннего сгорания	Механическая энергия

Каждая машина создается для выполнения определенного процесса, т.е. имеет свое, строго определенное предназначение, иными словами — свое служебное назначение.

Под **служебным назначением** машины понимают четко сформулированную задачу, для решения которой предназначена машина.

Формулировка служебного назначения машины должна содержать подробные сведения, конкретизирующие общую задачу и уточняющие условия, при которых эта задача может быть решена. Например, автомобиль или обувь:

Автомобиль	Обувь
Сведений только о перевозке грузов недостаточно, чтобы представить нужный автомобиль. Необходимо знать: характер грузов, их массу и объем, условия, расстояние и скорость перевозки, состояние дорог, климат, внешний вид и т.д.	Сведения о защите ног недостаточно, чтобы удовлетворить потребность в обуви. Необходимо знать: размер, климат, время года, состояние дорог, внешний вид и т.д.

Служебное назначение машины описывают не только словесно, но и системой количественных показателей, определяющих ее конкретные функции, условия работы и т.д. Формулировка служебного назначения машины является важнейшим документом в задании на ее проектирование.

1.2. Качество и экономичность машины

Машина (как рассматривали выше) либо средство производства, либо объект производства – продукция. Поэтому машина, являясь одной из разновидностей продукции, обладает качеством и экономичностью.

Под **качеством** машины понимают совокупность ее свойств, обуславливающих способность выполнять свое служебное назначение. К показателям качества машины относят те, которые характеризуют меру полезности машины, т.е. ее способность

удовлетворять потребности людей в соответствии со своим назначением. К ним относятся:

- качество продукции производимой машиной;
- производительность;
- надежность;
- долговечность (физическая и моральная);
- безопасность работы;
- удобство управления;
- уровень шума;
- КПД;
- степень механизации и автоматизации;
- техническая эстетичность и т.п.

Проектирование машины, ее изготовление, эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт связано с конкретными затратами труда и материалов, энергии, технических средств. Все затраты образуют стоимостное свойство машины – ее экономичность.

$$Э = \frac{Z_{пр} + Z_{из} + Z_1 + Z_{т.о.} + Z_{рем}}{N},$$

где: $Z_{пр}$ — затраты на проектирование;

$Z_{из}$ — затраты на изготовление

Z_1 — затраты на эксплуатацию;

$Z_{т.о.}$ — затраты на техническое обслуживание;

$Z_{рем}$ - затраты на ремонт;

N — количество продукции, произведенной машиной за ее срок службы.

Между качеством и экономичностью машины существуют связи, приводящие к влиянию одних на другие. Например:

- повышение качества по любому показателю связано с увеличением ее стоимости;
- в то же время повышение уровня надежности машины, сокращает затраты на устранение отказов, технического обслуживания и ремонт.

Потребление машиной энергии, топлива, материалов при эксплуатации, в известной мере, характеризующее экономичность машины, во многом зависит от качества ее изготовления и т.п.

Показатели качества отражают степень пригодности, полезности, те блага, которые извлекает человек, используя свою машину.

Экономичность – цена этих благ, их стоимость.

Качество машин обеспечивается уровнем проектных решений, от которого зависит техническое совершенство конструкции машины и технологией, определяющей качество сборки и отделки машины.

Экономичность машины зависит от технического совершенства конструкции машины и технологии ее изготовления. Стоимость машины зависит от качества, количества и стоимости материалов, выбранных конструктором в процессе проектирования. Конечные затраты на материалы, входящие в себестоимость, можно определить лишь уровень после осуществления технического процесса ее изготовления.

Уровень унификации и технологичности машины определяет конструктор. Влияние этих факторов на себестоимость машины проявляется не прямым путем, а через технологию ее изготовления. Эти же факторы оказывают влияние на затраты по технологическому обслуживанию и ремонту.

Экономическими показателями являются потребление машиной энергии, потребление машиной топлива, потребление машиной материалов в процессе эксплуатации.

Но вместе с тем, на значение этих показателей влияет качество реализации технологического процесса и т.д. Таким образом, обеспечение качества и экономичность машины в процессе ее создания является общей задачей конструктора и технолога.

Проблема создания качественных и экономичных машин является важнейшей и наиболее сложной. Сложно не только создание конструкции машины, но и обеспечение ее качества и экономичности при конструировании и изготовлении, так как любая машина создается для выполнения процесса, наделенного вероятностными свойствами, а изготовление сопровождается явлениями случайного характера.

ЛЕКЦИЯ 2

2. Положение теории вероятности и математической статистики, используемые в технологии машиностроения

2.1. Основные положения

Случайная величина, которая в зависимости от случая принимает те или иные значения с определенной вероятностью. Случайные величины могут иметь различный характер. Случайная величина может быть, например:

- скалярной величиной;
- вектором;
- функцией;
- и др.

С каждой случайной величиной можно связать определенное событие.

Событие, которое может произойти или не произойти в результате данного опыта, называется случайным. Количественной оценкой возможности появления случайного события A служит вероятность $P(A)$.

Вероятностью события A называют отношение числа случаев m , благоприятствующих этому событию, к числу n всех возможных случаев в данном опыте:

$$P(A) = \frac{m}{n}.$$

При этом все случаи должны быть равно возможны, несовместимы и независимы.

Вероятность события является объективной мерой его возможности и определяется в предположении проведения очень большого числа опытов, в результате которых появляется данное событие, поэтому эта величина имеет теоретический характер.

Практической **характеристикой возможности** случайного события A служит частота события $m(A)$, представляющая собой отношение частоты f появления события A к общему числу N проведенных опытов:

$$m(A) = \frac{f}{N}.$$

Между вероятностью и частотой какого-либо события существует приближенное равенство:

$$P(A) \approx m(A) \approx \frac{m}{n} \approx \frac{f}{N},$$

которое будет тем точнее, чем больше число опытов.

Характеристикой случайной величины служит **закон ее распределения**.

Под распределением случайной величины понимают совокупность ее значений, расположенных в возрастающем порядке, с указанием либо их вероятностей в теоретическом, либо частотей в практическом распределении.

Практическое распределение случайных величин дискретного характера можно представить в виде таблицы (табл.2.1) или графика 2.1, составленного на основании таблицы 2.1.

Таблица 2.1. Практическое распределение дискретной случайной величины

X	1	2	3	4	5	
m(x _i)	1/20	3/20	8/20	5/20	3/20	$\sum_{i=1}^5 m(x_i) = 1$

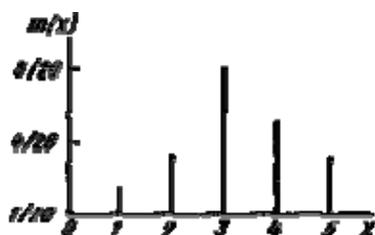


Рис.2.1. Распределение случайной дискретной величины

Распределение случайной величины непрерывного типа может быть также представлено в виде таблицы или графика. Для составления таблицы практического распределения непрерывной случайной величины в совокупности ее значений находят max и min и определяют разность между ними. Разность эта называется **полем рассеивания** Δ случайной величины:

$$\Delta = x_{\max} - x_{\min}.$$

Значения случайной величины, составляющие совокупность, делят на равные интервалы. Их число «k» определяют из отношения значения Δ к избранному значению «a» интервала:

$$k = \frac{\sigma}{a}$$

Относя каждое значение случайной величины к тому или иному интервалу, подсчитывают частоты ее значений в границах интервалов и определяют частоты значений x_i . Например. Пусть в партии валов из 100 штук диаметр одной из шеек $d_{\text{мин}} = 32,13$ мм, а другой $d_{\text{макс}} = 32,36$ мм. Тогда $\sigma = 0,23$ мм.

При избранном значении интервала $a = 0,04$ мм число k будет равно:

$$k = \frac{\sigma}{a} = \frac{0,23}{0,04} = 6.$$

Установив границы и подсчитав частоты, получают таблицу распределения значений d вала:

1)	32,13 – 32,16	3	0,03
2)	32,17 – 32,20	11	0,11
3)	32,21 – 32,24	36	0,36
4)	32,25 – 32,28	40	0,40
5)	32,29 – 32,32	6	0,6
6)	32,33 – 32,36	4	0,04

Графически практическое распределение непрерывной случайной величины может быть представлено либо гистограммой, либо практической кривой (полигоном) распределения (рис.2.2.).

Общей формой закона распределения случайной величины является ее функция распределения. Функцией распределения или интегральным законом распределения скалярной случайной величины X называют вероятность выполнения неравенства $X < x$:

$$F(x) = P(X < x),$$

где X – случайная величина,

x – возможные значения случайной величины.

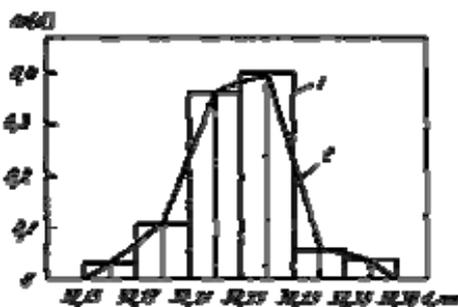


Рис.2.2. Гистограмма и практическая кривая распределения непрерывной случайной величины

Для **дискретной случайной** величины $F(x)$ может быть найдено по таблице или графику распределения для любого значения x , как сумма вероятностей тех значений X , которые лежат влево от точки с координатой x . В рассмотренном выше примере распределения случайной величины для $X < 4$.

$$F(x) = P(X < 4) = P(x=0) + P(x=2) + P(x=3) = \frac{1}{20} + \frac{3}{20} + \frac{8}{20} = \frac{12}{20}.$$

Интегральный закон распределения можно представить в виде графика $F(x)$. Для дискретной случайной величины график будет иметь вид ступенчатой кривой.

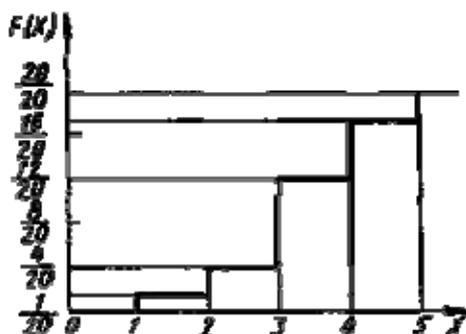


Рис.2.3. Интегральный закон распределения дискретной случайной величины

Имея функцию распределения дискретной случайной величины можно вычислить вероятность ее нахождения в границах от x_1 до x_2 :

$$P(x_1 \leq X < x_2) = F(x_2) - F(x_1)$$

Для **непрерывной случайной** величины график функции распределения будет иметь вид монотонно возрастающей кривой, а сама функция будет дифференцируемой.

Производную $f(x) = F'(x)$ функции распределения $F(x)$ непрерывной случайной величины X называют **плотностью вероятности** или дифференциальным законом распределения этой случайной величины.

Графически этот закон распределения может быть представлен кривой линией, построенной в координатах $x, f(x)$ (рис.2.4).

Зная плотность вероятности, можно определить вероятность того, что значение случайной величины X окажется в интервале от a до b .

$$P(a < X < b) = \int_a^b f(x) dx.$$

В данном случае вероятность равна площади участка с основанием « ab », ограниченного сверху кривой плотности вероятности. При $a = -\infty$ и $b = +\infty$:

$$P(-\infty < x < +\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1.$$

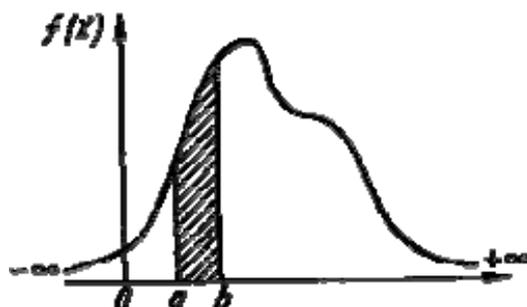


Рис.2.4. Дифференциальный закон распределения непрерывной случайной величины

Дифференциальный закон или плотность вероятности дает полную картину распределения случайной величины. Однако такая полная характеристика не всегда необходима. В ряде теоретических и практических задач бывает достаточным знание отдельных числовых характеристик:

- определяющих положение центра группирования случайной величины $M(x)$;
- ее рассеяние около этого центра.

Для характеристики положения центра группирования используют **математическое ожидание** и **среднее арифметическое значение** случайной величины:

а) для дискретной случайной величины:

$$m_x = \sum_{i=1}^n x_i P(x_i),$$

где n – число возможных значений случайной величины x ;

б) для непрерывной случайной величины:

$$m_x = M[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx,$$

где $M(x)$ – характеристика теоретического распределения случайной величины.

На практике положение центра группирования $M(x)$ характеризует среднее арифметическое значение случайной величины:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i f_i,$$

где f_i – частота отдельных значений x_i ,

n_i – число отдельных значений x_i ,

n – общее количество отдельных значений x_i .

Характеристикой рассеяния значений случайной величины около центра группирования $M(x)$ является дисперсия. Однако чаще используют не саму дисперсию, а положительный квадратный корень из нее, называемый **средним квадратичным отклонением**:

а) дисперсия и среднее квадратичное отклонение **дискретной случайной величины**

$$D_x = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 P(x_i),$$

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n [x_i - M(x)]^2 P(x_i)};$$

б) дисперсия и среднее квадратичное отклонение **непрерывной случайной величины**

$$D_x = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx$$

$$\sigma_x = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} [x - M(x)]^2 f(x) dx}$$

Для практических распределений среднее квадратическое отклонение определяется по формуле:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 f_i}{n}}$$

Размерность σ_x совпадает с размерностью самой случайной величины.

Таким образом, чтобы охарактеризовать распределение случайной величины надо иметь как минимум две числовые характеристики:

1. m_x или \bar{X} – определяют положение центра группирования;
2. D_x или σ_x – разброс значений случайной величины около центра группирования.

Комплектом характеристик распределения следует считать также:

- поле рассеяния случайной величины:

$$\sigma_x = x_{\max} - x_{\min};$$

- — координату середины поля рассеяния:

$$\Delta_{\text{ср}} = 0,5(x_{\max} - x_{\min}) + x_{\min}.$$

В симметричных распределениях центр группирования $M(x)$ оказывается совмещенным с $\Delta_{\text{ср}}$.

2.2. Законы распределения

Распределение случайных величин в зависимости от условий могут подчиняться вполне определенным законам: Гаусса, равной вероятности, Симпсона. Наибольшее практическое значение в технологии машиностроения имеет дифференциальная функция закона нормального распределения (закон Гаусса), для которого плотность вероятности или дифференциальная функция распределения:

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}}{\sigma_x \sqrt{2\pi}},$$

где x – переменная случайная величина;

σ_x – среднее квадратичное отклонение x от m_x ;

m_x – математическое ожидание величины x .

Дифференциальная функция закона нормального распределения графически изображается холмообразной кривой, симметричной относительно центра группирования, представленной величинами m_x и \bar{X} (рис.2.5). Координата центра группирования определяет положение кривой относительно начала отсчета, а параметр σ_x (среднее квадратичное отклонение) – ее форму и размах.

Функция или интегральный закон нормального распределения в общем виде можно записать:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}} dx.$$

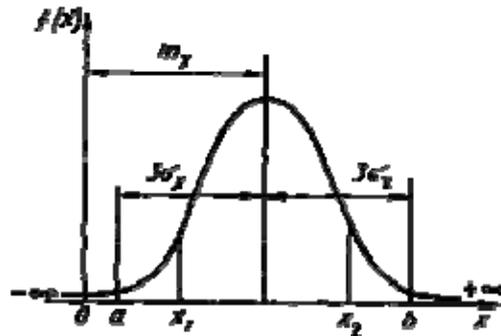


Рис.2.5. Дифференциальный закон нормального распределения случайной величины

Закон **равной вероятности** встречается, когда наряду со случайными факторами, вызывающими рассеяние, действует доминирующий систематический фактор непрерывно или равномерно изменяющийся во времени положение центра группирования $M(x)$. Графически такое распределение случайной величины отображается прямоугольником (рис.2.6).

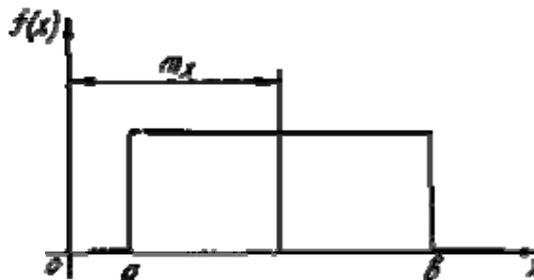


Рис.2.6. Распределение случайной величины по закону равной вероятности

Математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратичное отклонение соответственно равны:

$$m_x = \frac{(b+a)}{2};$$

$$D_x = \frac{(b-a)^2}{12};$$

$$\sigma_x = \frac{(b-a)}{2\sqrt{3}}.$$

К распределению по **закону Симпсона (закон треугольника)** приводит сложение двух случайных величин, подчиненных закону равной вероятности при

одинаковых параметрах рассеяния. Графически кривая рассеяния имеет вид равностороннего треугольника (рис.2.7).

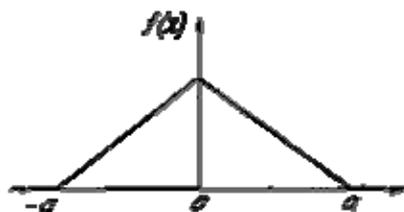


Рис.2.7. Распределение случайной величины по закону Симпсона

Математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратичное отклонение соответственно равны:

$$m_x = 0,$$

$$D_x = \frac{a^2}{6};$$

$$\sigma_x = \frac{a}{\sqrt{6}}.$$

Если рассматривать распределение по законам Симпсона и равной вероятности как отклонение от закона нормального распределения, то можно отразить и количественную сторону этих отклонений с помощью коэффициента λ , который называется относительным средним квадратичным отклонением:

$$\lambda = \frac{2\sigma_x}{\sigma_x^2}.$$

Значения коэффициента λ для рассмотренных законов распределения приведены в табл.2.3. На практике чаще пользуются значением коэффициента возведенного в квадрат.

Таблица 2.3. Значения относительного среднего квадратичного отклонения

Закон распределения	σ_x	σ_x^2	λ	λ^2
Нормальный (Гаусса)	σ_x	$6\sigma_x^2$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{9}$
Симпсона	$\frac{a}{\sqrt{6}}$	$2a^2$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$	$\frac{1}{6}$
Равной вероятности	$\frac{b-a}{2\sqrt{3}}$	$b-a$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{3}$

ЛЕКЦИЯ 3

3. Положение теории вероятности применительно к векторным случайным величинам

3.1. Векторные случайные величины.

При совместном рассмотрении двух случайных величин X и Y их можно трактовать как координаты случайной точки на плоскости или как составляющие случайного вектора V .

Функцией распределения **двумерного случайного вектора** с составляющими X и Y или совместной функцией распределения случайных величин X, Y называют вероятность совместного выполнения неравенств $X < x, Y < y$, рассматривая как функцию переменных x и y :

$$F(x, y) = P\left\{\begin{array}{l} X < x \\ Y < y \end{array}\right\}$$

Функция распределения двумерного случайного вектора представляет собой вероятность попадания конца этого вектора в четверть плоскости, заштрихованную на рис.3.1.

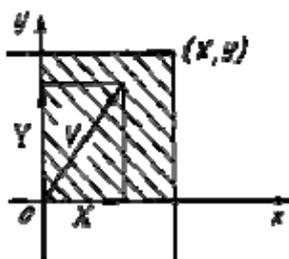


Рис.3.1. Поверхность распределения двумерного случайного вектора

Вероятность попадания конца вектора в прямоугольник, ограниченный прямыми $x = a, x = b, y = c, y = d$ (рис.3.2):

$$P\left[\begin{array}{l} a < X < b \\ c < Y < d \end{array}\right] = F(b, d) - F(a, d) - F(b, c) - F(a, c)$$

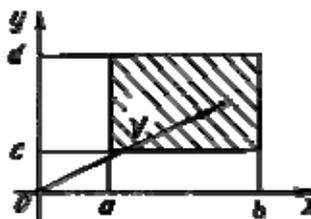


Рис.3.2. Распределение случайного вектора V в прямоугольнике $abcd$

Плотность вероятности двумерного случайного вектора V , составляющими которого являются случайные величины X и Y , или совместная плотность вероятности этих величин:

$$f(x, y) = \lim_{\Delta x \Delta y \rightarrow 0} \frac{P \left[\begin{array}{l} x \leq X < x + \Delta x \\ y \leq Y < y + \Delta y \end{array} \right]}{\Delta x \Delta y}.$$

Вероятность попадания точки A в произвольную область S плоскости выражается интегралом от плотности вероятности, распространенным на эту область (рис.3.3):

$$P(A \in S) = \iint_S f(x, y) dx dy,$$

где $f(x, y) dx dy$ – вероятность попадания случайной точки A в элемент площади $dx dy$, расположенной в точке с координатами x, y .

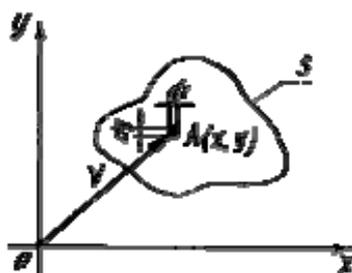


Рис.3.3. Распределение случайного вектора V в области S

Математическим ожиданием случайного вектора V является вектор с составляющими, равным математическим ожиданиям величин X и Y , и представляющий собой векторную сумму этих величин:

$$m_V = M[X] + M[Y] = m_x + m_y.$$

Геометрически математическое ожидание представляет собой радиус-вектор средней точки попадания конца вектора V в область S . Если случайные величины X и Y , образующие вектор V , не связаны, то теоретическими характеристиками рассеяния на плоскости являются дисперсии D_x, D_y , или средние квадратические отклонения σ_x, σ_y ,

Если случайные величины X и Y связаны, то в дополнение к дисперсии необходимо задавать вероятностную характеристику связи составляющих случайного вектора V – корреляционный момент:

$$K_{xy} = M[(X - m_x)(Y - m_y)] = \iint_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)(y - m_y) f(x, y) dx dy.$$

Таким образом, рассеяние возможных значений случайного вектора V на плоскости характеризуется:

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix}$$

где

$$\begin{aligned} k_{11} &= D_x = M[(X - m_x)^2] \\ k_{22} &= D_y = M[(Y - m_y)^2] \\ k_{12} &= M[(X - m_x)(Y - m_y)] \\ k_{21} &= M[(Y - m_y)(X - m_x)] \end{aligned}$$

Причем $k_{12} = k_{21}$ и при отсутствии связи между величинами X и Y их значения равны нулю.

Корреляционная матрица случайного вектора не изменится от прибавления к случайному вектору произвольного неслучайного вектора. Геометрически это свойство проявляется в том, что рассеяние случайного вектора на плоскости не зависит от выбора начала отсчета, что позволяет рассматривать рассеяние отклонений случайного вектора от его математического ожидания вместо рассеяния самого случайного вектора.

При распределении по нормальному закону, рассеяние на плоскости его отклонений от математического ожидания, ограничивается эллипсом, называемым **эллипсом рассеяния**. Центр эллипса находится в точке с координатами m_x, m_y . Оси эллипса называются **осями рассеяния**, а **характеристики рассеяния** – главными дисперсиями D_1 и D_2 (σ_1, σ_2) (рис.3.4).

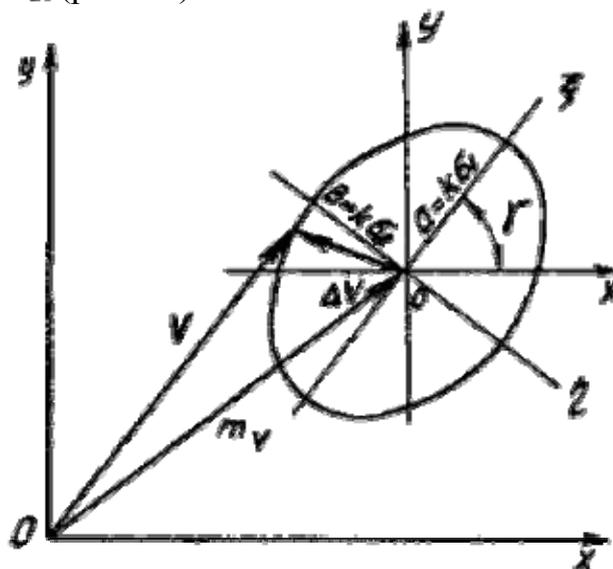


Рис.3.4. Эллипс рассеяния.

Эллипс рассеяния представляет собой геометрическое место точек равных плотностей вероятности. Полуоси эллипса пропорциональны главным средним квадратичным отклонениям:

$$\begin{aligned} a &= k\sigma_1 \\ b &= k\sigma_2 \end{aligned}$$

Большая ось эллипса рассеяния наклонена к оси OZ под углом γ :

$$\operatorname{tg} 2\gamma = \frac{2k_{12}}{(k_{11} - k_{22})}.$$

При $k_{12} > 0$ угол лежит в 1 и 3 четверти, а при $k_{12} < 0$ — во 2 и 4 четверти.

Значения дисперсий:

$$\begin{aligned} D_1 &= \frac{1}{2} [k_{11} + k_{22} + \sqrt{(k_{11} - k_{22})^2 + 4k_{12}}], \\ D_2 &= \frac{1}{2} [k_{11} + k_{22} - \sqrt{(k_{11} - k_{22})^2 + 4k_{12}}]. \end{aligned}$$

Вероятность попадания случайной точки, распределенной по нормальному закону, в область S , ограниченную эллипсом рассеяния:

$$P\{(X, Y) \in S\} = 1 - e^{-\frac{2k}{h}},$$

где k — размеры полуосей эллипса в средних квадратичных отклонениях. Если $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$, то рассеяние по нормальному закону называется **круговым**.

На практике возникает задача определения характеристик рассеяния случайного вектора на основании наблюдаемых значений случайного вектора в нескольких несвязанных опытах. Ограниченность числа опытов позволяет лишь предполагать приближение к теоретическим значениям характеристик, найденных по формулам:

$$\begin{aligned} m_x &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i \\ m_y &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n y_i \\ k_{11} &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 \\ k_{22} &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (y_i - m_y)^2 \\ k_{12} &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)(y_i - m_y) \end{aligned}$$

где x_1, \dots, x_n и y_1, \dots, y_m — составляющие случайного вектора V , N — количество опытов.

3.2. Функции случайных аргументов

В практике технологии машиностроения часто приходится определять вероятностные характеристики случайной величины по известным характеристикам распределения других случайных величин, связанных с первой функциональной зависимостью типа:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n).$$

Если функция не линейна, но может быть с достаточной степенью точности линеаризована (заменена линейной функцией) и приведена к виду:

$$Y \approx \varphi(m_1, m_2, \dots, m_n) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)_m (X_i - m_{x_i}),$$

где

$$\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)_m = \frac{\partial \varphi(m_1, m_2, \dots, m_n)}{\partial x_i}$$

частная производная функция по аргументу x_i , в которую вместо каждого аргумента подставлено математическое ожидание, то приближенные характеристики распределения такой функции могут быть вычислены по следующим формулам.

Математическое ожидание

$$m_y = \varphi(m_1, m_2, \dots, m_n).$$

Дисперсия

$$D_y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)_m^2 D_{x_i} + 2 \sum_{i < j} \left[\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right]_m \left[\frac{\partial \varphi}{\partial x_j} \right]_m k_{ij},$$

где D_{x_i} — дисперсия случайной величины x_i ;

k_{ij} — корреляционный момент величин x_i, x_j ,

Когда случайные аргументы x_1, x_2, \dots, x_n не коррелированы:

$$D_y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)_m^2 D_{x_i}.$$

Если функция линейна и представляет собой алгебраическую сумму несвязанных случайных аргументов $Y = X_1 + X_2 + \dots + X_n$, то ее математическое ожидание

$$m_y = \sum_{i=1}^n m_{x_i}, \text{ а дисперсия } D_y = \sum_{i=1}^n D_{x_i}.$$

ЛЕКЦИЯ 4

4. Производственный и технологический процессы

4.1. Свойства и характеристики процесса

Процесс (в широком смысле слова) – последовательные изменения какого-либо предмета (явления) или совокупность последовательных действий, направленных на достижение определенного результата.

Реальный ход процесса, выполняемого машиной, отличается от идеального из-за непрерывно меняющихся условий. Не остаются постоянными во времени качество исходного продукта, количество сообщаемой энергии, изменяется состояние окружающей среды и самой машины, что приводит к нестабильности качества, количества продукции, производимой в единицу времени, и ее стоимости (рис.4.1).

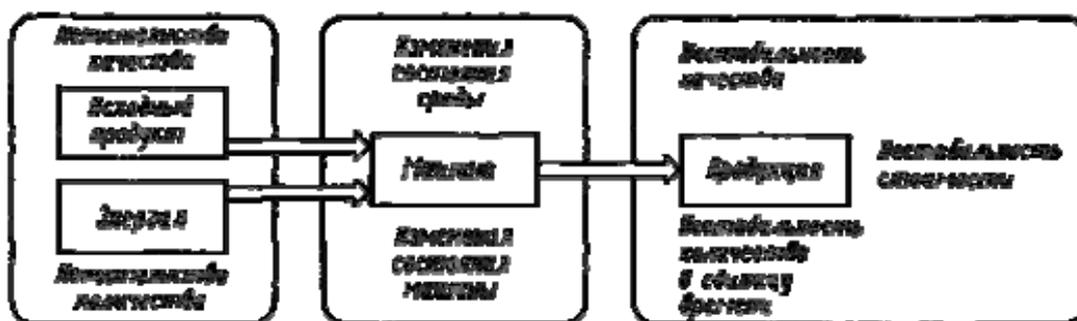


Рис. 4.1. Нарушения намеченного хода процесса

Если в промежутке времени $t_1 - t_2$ проследить за изменением какой-либо характеристики x исходного продукта, энергии, состояния внешней среды, количества, качества и стоимости продукта, то можно построить график, подобный представленному на рис.4.2. Для любого другого промежутка времени $t_3 - t_4$, равного $t_1 - t_2$, получился бы график по виду отличный от первого, что на рисунке показано путем наложения второго графика на первый.

Таким образом, для любого момента времени t_x (как и для других моментов) невозможно предсказать значение X_x , то есть X_x является случайной величиной, а зависимость $X(t)$ – случайной функцией.

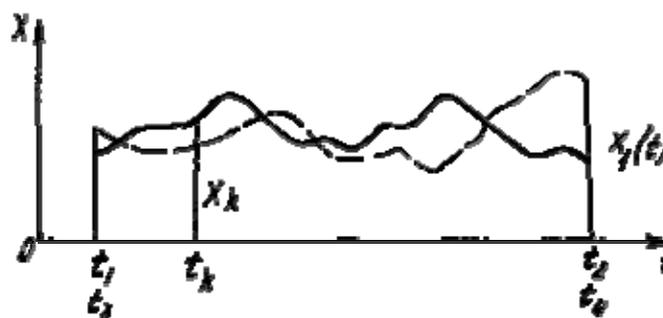


Рис. 4.2. График случайной функции $x(t)$

Случайной функцией $X(t)$ называют такую функцию аргумента t , значение которой при любом значении t является случайной величиной X .

Роль аргумента на практике часто играет: время, путь, порядковый номер и т.д. Случайную функцию можно рассматривать как бесконечную последовательность значений случайной величины, зависящую от одного или нескольких непрерывно изменяющихся параметров t . Каждому значению параметра (параметров) соответствует одно значение $X(t)$ от величины X . Все вместе случайные величины X_t определяют случайную функцию $X(t)$. Если аргумент случайной функции может принимать любые значения в заданном интервале, то в этом случае случайную функцию называют случайным процессом. Если же значения аргумента дискретны, то случайную функцию называют случайной последовательностью. Графическое отображение случайной последовательности в технологии машиностроения получило название точечной диаграммы (рис.4.3).



Рис.4.3. Точечная диаграмма обработки деталей на станке

Для характеристик случайной функции при изменении аргумента в области $t_1 - t_2$ требуется выявить n — мерный дифференциальный закон $f(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_n)$, совместного распределения ее случайных ординат. Существующие способы построения многомерных законов распределения неудобны из-за громоздкости. На практике поэтому пользуются вместо законов их отдельными параметрами. Одним из таких параметров является математическое ожидание.

Математическим ожиданием случайной функции $X(t)$ называют такую функцию $m_x(t)$, значение которой при каждом данном значении аргумента t равно математическому ожиданию значения случайной величины X при этом t :

$$m_x(t) = M[X(t)]$$

Математическое ожидание случайной функции представляет собой некоторую среднюю функцию, около которой группируются и относительно которой колеблются все возможные реализации случайной функции (рис.4.4):

$$m_x(t) = M[X(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x, t) dx,$$

где $f(x,t)$ — одномерная плотность вероятности.

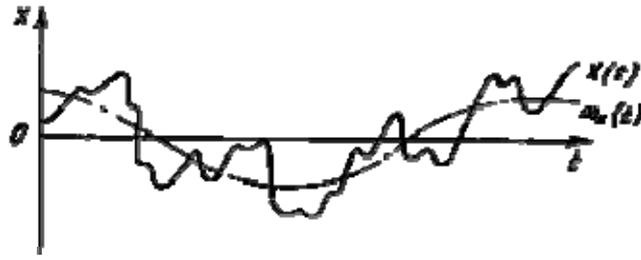


Рис.4.4. Геометрический смысл математического ожидания

Мерой рассеяния значения случайной функции является дисперсия.

Дисперсия случайной функции – функция, значения которой при каждом данном значении аргумента равно дисперсии значений случайной величины X при этом значении аргумента. Дисперсия случайной функции.

$$D_x(t) = D[X(t)] = M[X(t) - m_x(t)]^2 = \int_{-\infty}^{\infty} [x - m_x(t)]^2 f(x,t) dx.$$

Математическое ожидание и дисперсия не являются полными характеристиками случайной функции, так как не отражают характер изменения значений случайных ординат во времени. Две случайные функции, имеющие одинаковые $m_x(t)$ и $D_x(t)$, а интенсивность изменения значений случайных ординат у них различна (рис.4.5).

Для того чтобы учесть степень изменчивости случайной функции с изменением аргумента необходимо определить корреляционные связи между парами ее ординат. **Корреляционная функция** $K_x(t_1, t_2)$ является функцией двух независимых переменных:

$$K_{x(t_1, t_2)} = M[(X(t_1) - m_x(t_1))(X(t_2) - m_x(t_2))] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} [x_1 - m_x(t_1)][x_2 - m_x(t_2)] f(x_1, x_2, t_1, t_2) dx_1 dx_2.$$

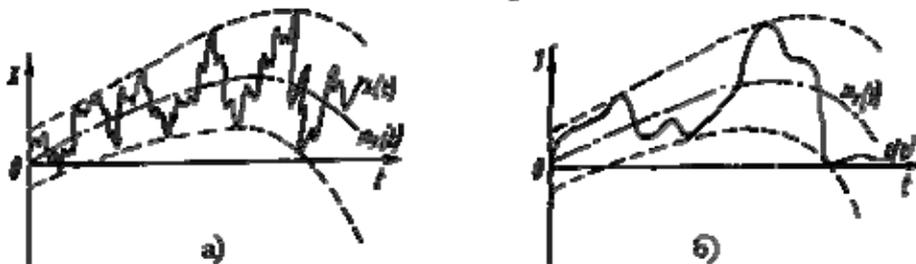


Рис.4.5. Две случайные функции, отличающиеся интенсивностью изменения во времени их ординат

Случайные процессы и последовательности подразделяются на группы по ряду признаков, они могут быть:

- стационарные и нестационарные;
- нормальные и ненормальные;
- марковские и немарковские (в зависимости от поведения случайной функции от ее значений в предшествующий промежуток времени).

Наряду с $m_x(t), D_x(t), K_x(t_1, t_2)$ на практике часто рассеяние случайной величины характеризуются величиной ω_t , называемой **мгновенным полем рассеяния**. Поле рассеяния случайной величины X в совокупности случайных величин определяется:

$$\omega = X_{\max} - X_{\min}.$$

Для зафиксированного момента (мгновения) процесса такой совокупности быть не может, поскольку моменту может соответствовать лишь единственное значение случайной величины X . Однако о пределах, в которых может проявиться это значение, можно судить по разности крайних значений ординат, находящихся поблизости от момента t_x процесса. Это позволяет определить ω_{t_x} через разность значений таких ординат:

$$\omega_{t_x} = X_{\max, t_x} - X_{\min, t_x}.$$

На точечной диаграмме, образующей случайную последовательность, мгновенное поле характеризует ширину полосы точек, в пределах которой наблюдается рассеяние значений x случайных ординат в интервале Δt — изменения аргумента. Характеристику ω_{t_x} , как и дисперсию случайной функции, следует рассматривать как функцию t (рис.4.6).

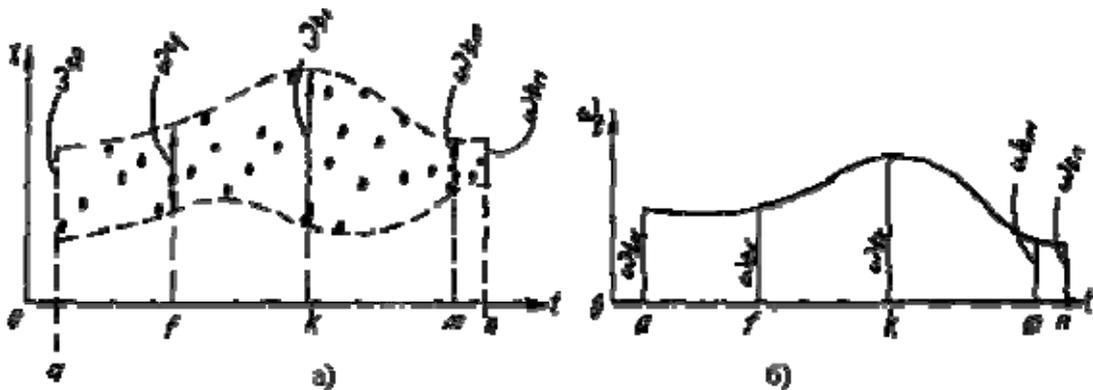


Рис.4.6. Геометрический смысл понятия «мгновенное поле рассеяния» ω_t : а) – точечная диаграмма; б) – ω_t как функция аргумента t

Положение мгновенного поля рассеяния характеризуют либо средним $\bar{X}(t)$ значением случайной функции, либо значением ординат $\Delta_{\text{ср}}$ середин мгновенных полей рассеяния.

Средним значением случайной функции следует считать такую функцию $\bar{X}(t)$, значения которой равны среднему значению \bar{X} возможных значений случайной величины X при данном значении аргумента.

Существуют различные приемы нахождения $\bar{X}(t)$ случайной функции. Часто пользуются приемом, основанным на использовании средних групповых значений случайной величины. При этом используется положение теории вероятностей о том, что рассеяние групповых \bar{X}_g значений случайной величины меньше в \sqrt{n} раз рассеяния значений самой случайной величины X , где n число значений, объединенных в группу:

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma_X}{\sqrt{n}}$$

Значения группируются без нарушения последовательности по отношению к аргументу t . В каждой группе определяется \bar{X}_g , для представления об $\bar{X}(t)$ случайной функции, необходимо на средних групповых значениях построить кривую.

Другая характеристика положения мгновенного поля рассеяния – ордината $\Delta_{\text{ср}}$ его середины, рассматриваемая как функция аргумента t . В примере для момента t_1 :

$$\Delta_{\text{ср}} = 0,5(x_{\text{ср}1} + x_{\text{ср}2}) + x_{\text{ср}3}$$

4.2. Понятие о точности

Любой процесс сопровождается действием большого количества случайных факторов, которые вызывают отклонения показателей качества и количества изделий, выпущенных в единицу времени, и их стоимости от стоимости расчетных значений. То есть, между расчетными и действительными результатами процесса всегда бывают расхождения. К тому же, определить действительные результаты можно с ошибками. Поэтому различают три вида значений любого показателя: номинальное или теоретическое (расчетное); действительное (объективно существующее); измеренное, то есть действительное значение, познанное с каким-то отклонением.

Например, в процессе изготовления изделия необходимо обеспечить некий показатель K (рис.4.7). При проектировании расчетами определяется этот показатель

как $K_{нр}$. Однако в процессе изготовления и измерения появятся отклонения соответственно — $\Delta K_{изг}$ и $\Delta K_{изм}$.



Рис.4.7. Три вида значений показателя K

Под точностью показателя K понимают степень приближения действительного значения показателя к его номинальному значению.

Под точностью измерения показателя K понимают степень приближения познанного показателя к его действительному значению.

Нельзя достичь абсолютной точности показателей, поэтому на отклонения показателей от идеала налагают ограничения. Границы допустимых отклонений показателя, предопределяемые требованиями к качеству, количеству или стоимости производимых изделий называются **допуском**. Допуск устанавливается в соответствии со служебным назначением изделия, (то есть потребности человека).

В процессе создания машины встречаются величины с различными свойствами (скалярные, векторные, функции и другие). Поэтому и отклонения величин и способы задания допуска должны соответствовать свойствам величин.

Для **скалярной величины** существует три способа задания допуска (рис.4.8).

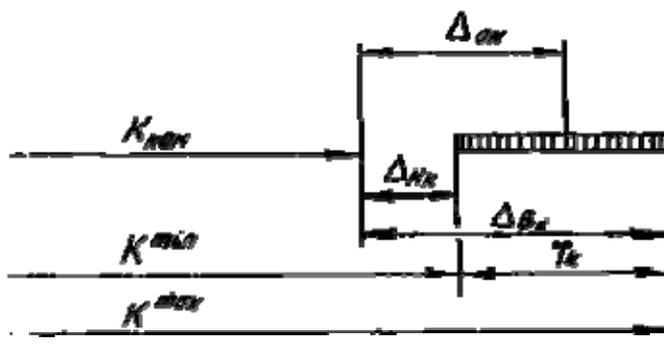


Рис.4.8. Три способа задания допуска, ограничивающего отклонения показателя K :

В табл.4.1 приведены формулы перехода от одной формы задания допуска к другой.

Таблица 4.1. Формулы перехода от одной формы задания допуска к другой

Форма задания допуска	Переход к другим формам
$\Delta_{\text{max}}, \Delta_{\text{min}}$	$T_A = \Delta_{\text{max}} - \Delta_{\text{min}}; \Delta_{\text{ср}} = 0.5(\Delta_{\text{max}} + \Delta_{\text{min}})$ $A^{\text{max}} = A_{\text{ном}} + \Delta_{\text{max}}; A^{\text{min}} = A_{\text{ном}} + \Delta_{\text{min}}$
$\Delta_{\text{ср}}, T_A$	$\Delta_{\text{max}} = \Delta_{\text{ср}} + 0.5T_A; \Delta_{\text{min}} = \Delta_{\text{ср}} - 0.5T_A$ $A^{\text{max}} = A_{\text{ном}} + \Delta_{\text{ср}} + 0.5T_A; A^{\text{min}} = A_{\text{ном}} + \Delta_{\text{ср}} - 0.5T_A$
$A^{\text{max}}, A^{\text{min}}$	$\Delta_{\text{max}} = A^{\text{max}} - A_{\text{ном}}; \Delta_{\text{min}} = A^{\text{min}} - A_{\text{ном}}$ $T_A = A^{\text{max}} - A^{\text{min}}; \Delta_{\text{ср}} = 0.5(A^{\text{max}} + A^{\text{min}} - 2A_{\text{ном}})$

Для **вектора** допуск задается в виде какой-либо геометрической фигуры, определяющей область, в пределах которой допустимо нахождение конца случайного вектора. Такую фигуру называют годографом. Например, случайный вектор R (рис.4.9). Графическое отображение допуска – окружность, ограничивающая отклонения ΔR вектора R ; Δ_{OR} – допустимое среднее значение R ; Δ_{Ox}, Δ_{Oy} — допустимые средние значения его проекций. Площадь, ограниченную окружностью следует считать полем допуска T_{zR} вектора R .

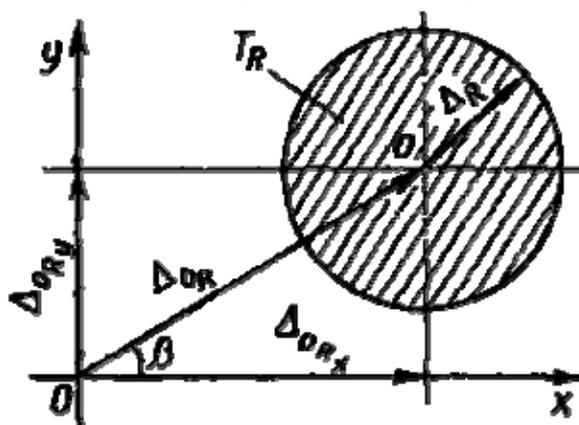


Рис.4.9. Допуск, ограничивающий отклонения случайного вектора R

Говоря о точности, различают требуемую (расчетную) и фактическую (познанную). Фактическая точность группы изделий (рис.4.10) по показателю A , являющемуся скалярной величиной, можно охарактеризовать одним из трех способов:

- Δ_A^{max} и Δ_A^{min} — наибольшим и наименьшим фактическим отклонениями;
- σ_A и $\Delta_{\text{ср}}$ — значениями поля рассеяния и координаты его середины;
- A^{min} и A^{max} — наименьшим и наибольшим фактическими значениями показателя.

Характеристика фактической точности показателя A у группы изделий будет более полной, если на основании практических данных построить кривую рассеяния, вычислить среднее арифметическое значение отклонений показателя,

характеризующее положение центра группирования $M(X)_A$ отклонений, значения коэффициентов α_A и λ_A .

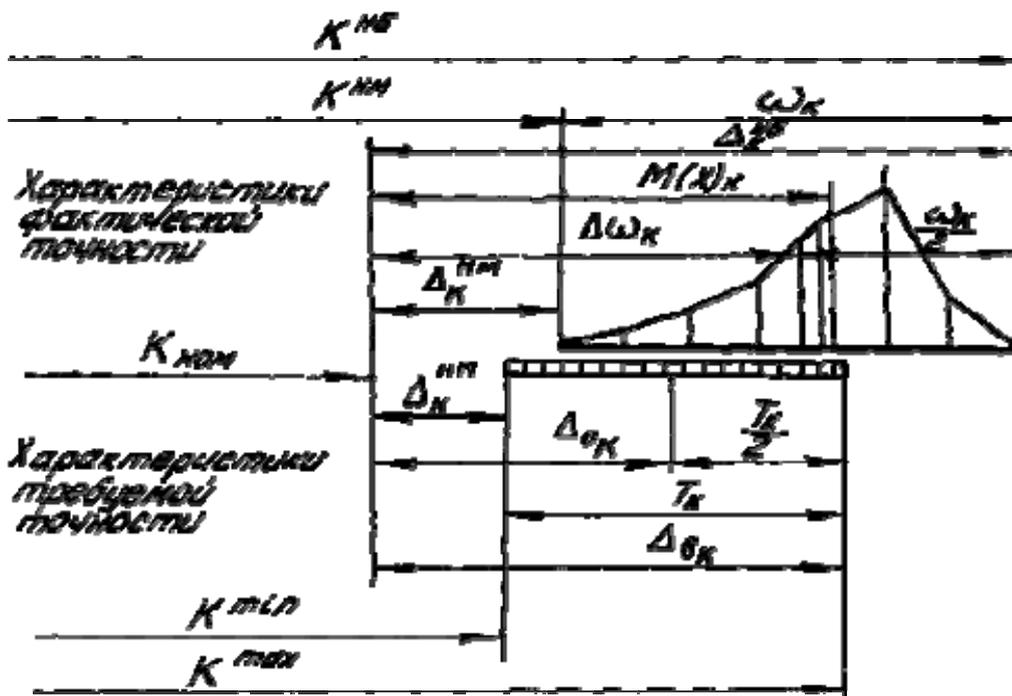


Рис.4.10. Величины, характеризующие требуемую и фактическую точность показателя

Сопоставление фактической и требуемой точности векторной величины может быть проведено наложением границ рассеяния значений вектора на границе допуска, заданного частью n-мерного пространства. На рис. 4.11 такое сопоставление сделано на примере двумерного вектора R .

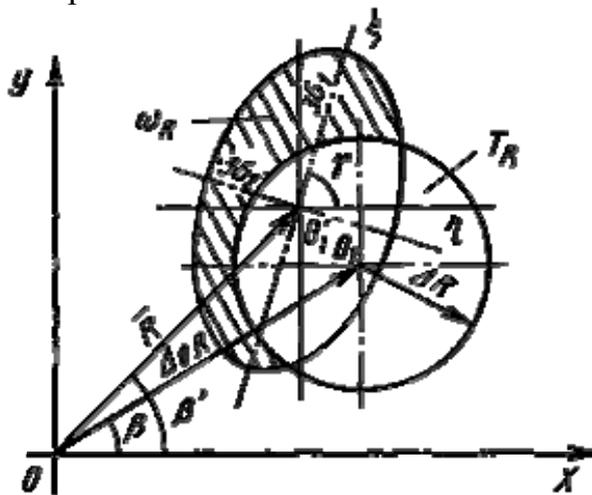


Рис.4.11. Характеристики требуемой и фактической точности случайного вектора R

Машина считается качественной при полном соответствии фактической точности показателей требуемой, то есть:

$$\Delta_{0A} = \Delta_{0A}$$

$$\omega_A \leq T_A$$

Показатели качества машины (производительность, мощность, КПД, долговечность и другие) обеспечиваются в конструкции машины связями свойств материалов деталей и размерными связями. Поэтому при изготовлении машины необходимо обеспечить соответствие фактической точности требуемой и свойств материалов, и размерных связей. Служебное назначение машина выполняет с помощью исполнительных поверхностей и еще целого ряда поверхностей, принадлежащих деталям. Кроме исполнительных поверхностей у деталей различают: основные, вспомогательные и свободные поверхности. **Основные** поверхности (базы) определяют положение детали в машине. **Вспомогательные** поверхности определяют положение деталей, присоединяемых к рассматриваемой детали. **Свободные** поверхности завершают конструктивную форму детали. Качество детали определяется по соответствию свойств материала и геометрического образа детали своему идеальному прототипу. К свойствам материала детали относятся химический состав, структурное состояние, тепло- и электропроводность, прочность, упругость, твердость, распределение и знак остаточных напряжений, качество поверхностного слоя и др.

Представление о геометрическом образе детали дают форма и размеры поверхностей, расстояние между ними и их относительное угловое положение. Поэтому точность геометрического образа детали характеризуется тремя показателями.

- 1) Точность размеров и расстояний (*d.l.b.H*) (рис.4.12 а);
- 2) Точность относительного поворота (перпендикулярность и параллельность) (рис.4.12 б);

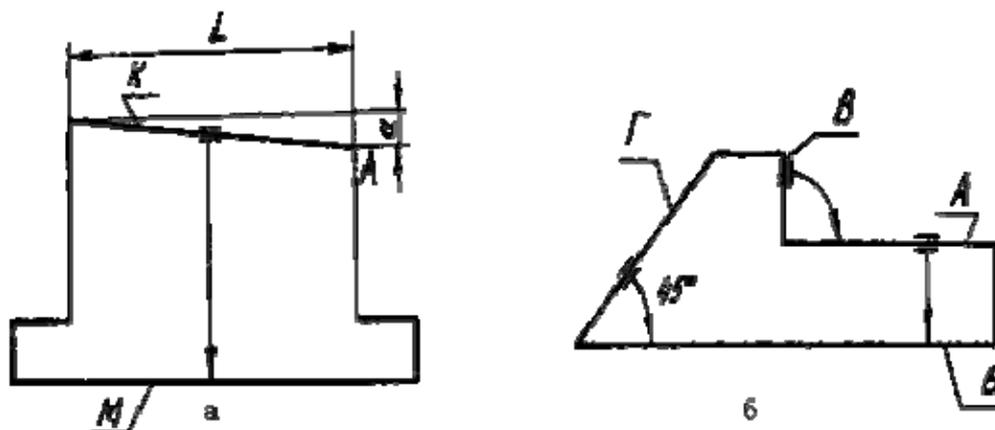


Рис.4.12. Оценка расстояния между двумя поверхностями (а) и оценка относительных поворотов (а, б)

- 3) Точность формы:

а) макроотклонения (рис.4.13а) – отклонения реальной поверхности от правильной геометрической формы в пределах ее габаритных размеров;

б) волнистость (рис.4.13 б)- периодические неровности поверхности, встречающиеся на участках протяженностью от 1 до 10 мм;

в) микроотклонения – микронеровности на участках протяженностью до 1мм называются шероховатостью (рис.4.13 в).

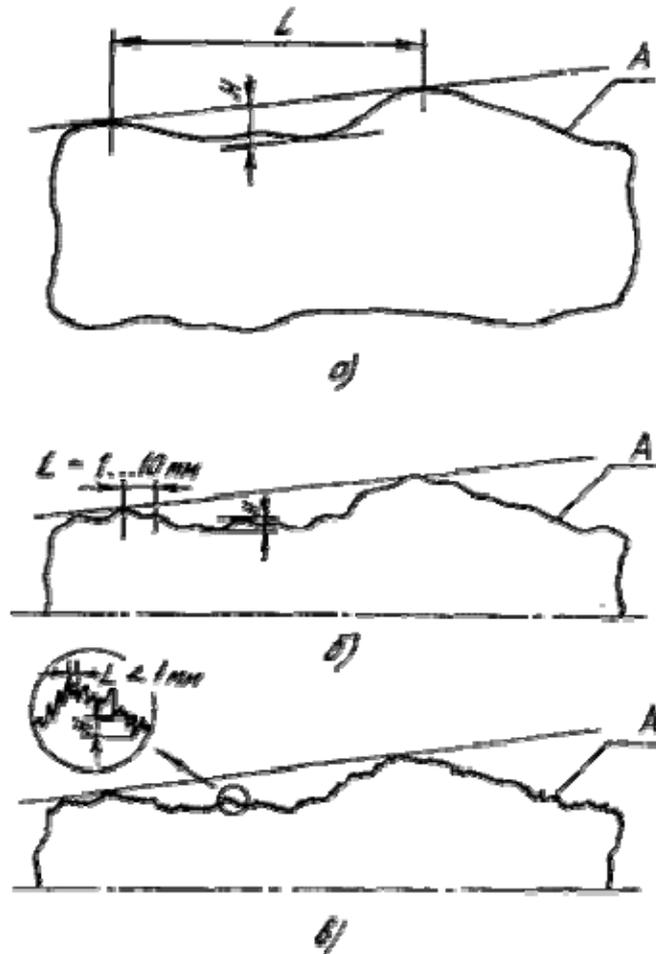


Рис.4.13. Отклонение формы поверхности детали: а-макрогеометрические; б-волнистость; в-микрогеометрические (шероховатость)

Между значениями отклонений всех трех показателей существуют качественные и количественные связи

Первые – отображают общую закономерность в соотношениях величин перечисленных отклонений, не затрагивая функциональную зависимость, имеющуюся между ними. Поэтому отклонения формы меньше отклонений относительного поворота, а последние, в свою очередь, меньше отклонений размеров и расстояний. Без соблюдения соотношений между значениями показателей точности детали возникает неопределенность оценки ее точности (рис.4.14).

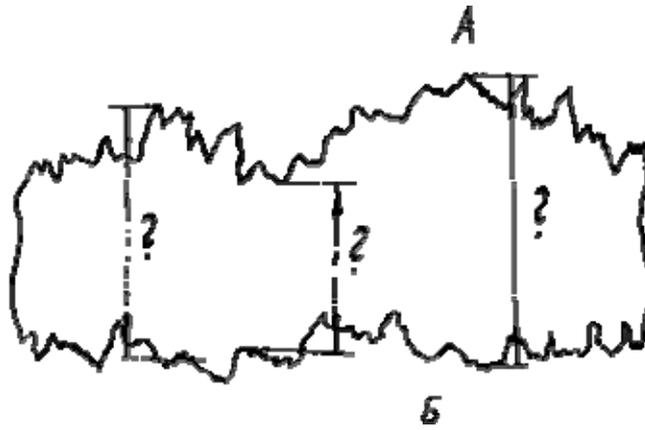


Рис.4.14. Неопределенность оценки точности детали без соблюдения соотношений между значениями показателей ее точности

Учитывается качественная связь следующим образом.

1. Допуски на размер больше;
2. Оценку точности геометрических показателей качества детали начинают с микроотклонений, волнистости и так далее.

В связи с этим обстоятельством ГОСТом 24643 установлено 16 степеней точности формы и относительных поворотов. В зависимости от соотношения между допуском на отклонения формы или относительного поворота установлены уровни относительной геометрической точности: А (нормальная точность)

$$T_{\text{формы}} = 60\% T_{\text{разм.}}$$

В (повышенная точность)

$$T_{\text{формы}} = 40\% T_{\text{разм.}}$$

С (высокая точность)

$$T_{\text{формы}} = 25\% T_{\text{разм.}}$$

ЛЕКЦИЯ 5

5. Производственный и технологический процессы изготовления машины. Характеристики процесса

5.1. Производственный и технологический процессы изготовления машины

Под **производственным процессом** понимается **совокупность всех этапов** которые проходят все исходные продукты на пути их превращения в готовую машину (получение заготовок, механическая обработка, термическая обработка, химико-термическая обработка, контроль, транспортировка, хранение, сборка и так далее).

По отношению к объекту производства различные этапы производственного процесса проявляют себя по-разному:

- одни из них меняют его качественное состояние (форму, размер, структуру, химический состав, внешний вид и тому подобное);
- другие (транспортирование, хранение, контроль и так далее) не оказывают таких воздействий, но нужны для осуществления производственного процесса.

Этапы производственного процесса, на протяжении которых происходят **качественные изменения** объекта производства, называются **технологическими процессами**. Например, технологический процесс изготовления деталей, сборки, окраски и тому подобное.

Можно говорить о производственном процессе не только завода, но и цеха, участка, если присутствуют различные этапы изготовления изделия.

Технологический процесс выполняется рабочими с помощью технологического оборудования, инструментов, приспособлений, размещенных в (помещении) пространстве. **Рабочее место** – часть пространства цеха (участка), предназначенная для выполнения **операции** одним или группой рабочих, в которой размещены оборудование, инструменты, приспособления.

Технологический процесс обычно делят на части.

Операция – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте. Операция является наименьшей частью технологического процесса, для которой разрабатывается технологическая документация, по которой ведется планирование и учет.

Необходимость деления технологического процесса на операции порождена двумя причинами:

1. физическими (невозможно обработать деталь с шести сторон; необходимо различное оборудование для чистовой и черновой обработки);
2. экономическими (целесообразность создания специального станка).

Переход – законченная часть операции, выполняется одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных режимах и установке заготовки.

Переход связан (при резании) с получением каждой поверхности. Например. Обработка отверстия может выполняться несколькими инструментами: сверлом – зенкером – разверткой – в этом случае необходимо три перехода. Растачивание трехступенчатого отверстия блоком резцов – один переход.

Различают переходы:

- **основные** – непосредственно связанные с осуществлением технологического воздействия (сверление, точение и тому подобное);
- **вспомогательные** – действия рабочего и механизмов, необходимые для выполнения основного перехода (установка и закрепление детали, смена приспособления, отвод, подвод и тому подобное).

Прием – законченная совокупность действий, направленных на выполнение перехода или его части и объединенных одним целевым назначением. Например, переход — «установить заготовку» включает в себя ряд действий:

взять заготовку из тары — переместить к приспособлению – забазировать – закрепить.

Переход при механической обработке может выполняться за один рабочий ход или несколько (черновая обработка, шлифование).

Рабочий ход (проход) – однократное относительное движение приспособления и заготовки, в результате которого с ее поверхности удаляется один слой материала, равный глубине резания (рис.5.1).

Чтобы обработать заготовку ее необходимо расположить относительно рабочих органов станка и закрепить (зафиксировать).

Процесс придания требуемого положения детали и закрепление называется **установом**. Для полной обработки детали нужно, как правило, несколько установов.

Для выполнения отдельных частей операции или технологического процесса в целом бывает необходимо перемещение объекта производства в пространстве вместе с приспособлением

Позиция – каждое новое фиксированное положение объекта производства совместно с приспособлением, в котором установлен объект, относительно рабочих органов станка.

При выполнении любой части операции или технологического процесса затрачивается какое-то количество труда рабочих надлежащей квалификации. Затраты эти измеряются продолжительностью, то есть временем.

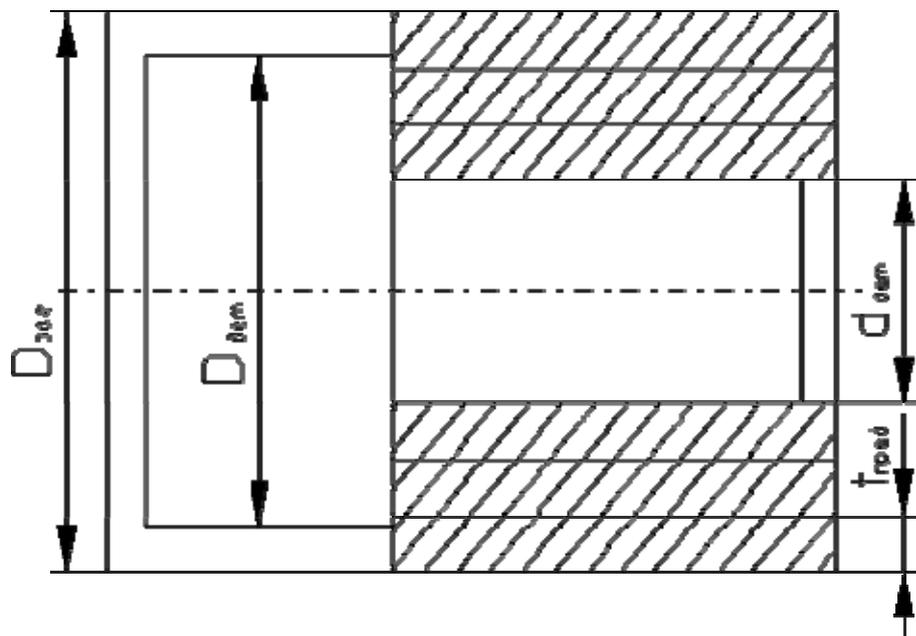


Рис. 5.1. Рабочий проход

Трудоемкость – количество времени, затрачиваемое работающим при нормальной интенсивности труда на выполнение технологического процесса или его части. Единица измерения – **человеко-час**. Для планирования затрат труда используют:

- **норму времени** – время, установленное рабочему, соответствующей квалификации на выполнение операции или технологического процесса в нормальных производственных условиях с нормальной интенсивностью труда. Единица измерения – **Зч. 5-го разряда**.
- **норма выработки** (для нормирования малотрудоемких работ) – установленное количество изделий, которое должно быть изготовлено в единицу времени. Единица измерения – **1000шт. в 1ч., 3-го разряда**.

Цикл – отрезок календарного времени, определяющий длительность периодически повторяющейся технологической операции от начала до ее конца.

Интенсивность производства одинаковых изделий характеризуется тактом выпуска.

Такт – промежуток времени, через который периодически осуществляется выпуск изделия. Если говорят, что машину изготавливают с тактом в 5 мин, это значит, что через каждые 5 мин завод выпускает машину.

Ритм выпуска – величина обратная такту.

Показатели производственного и технологического процесса (трудоемкость, цикл, такт) могут быть номинальными, действительными и измерительными. Случайный характер действительных и измерительных значений показателей производственного и технологического процесса заставляет рассматривать их во времени с позиции теории случайных функций.

5.2. Понятие о производительности

Под производительностью Q понимают объем W годной продукции, выпущенной в единицу времени t :

$$Q = \frac{W}{t}.$$

Производительность станка (ПС) – либо объем удаленного с заготовки материала, либо площадь обработанной поверхности, отнесенные к единице времени. ПС зависит от мощности, режимов, качества инструмента.

Производительность труда рабочего – количество годной продукции, произведенной им за единицу времени. Производительность труда рабочего зависит от: производительности оборудования, удобства управления оборудованием, интенсивности и организации труда, условий труда.

Производительность производственного процесса – учитывает уровень организации планирования и управления, это интегральный показатель деятельности всего трудового коллектива, непосредственно участвующего в осуществлении производственного процесса. Оценивается объемом продукции (штуках, тоннах, рублях), произведенной в единицу времени.

Производительность труда работающего – количество продукции, выпущенной в единицу времени и приходящейся на одного работающего – отражает деятельность коллектива завода. Учитывает деятельность и численность ИТР, управленческого состава и штатов других категорий (то есть всех сотрудников). Измеряется в рублях.

Производительность общественного труда – сопоставление количества выпущенной продукции за некоторый интервал времени с трудовыми затратами на оборудование, здания (прошлый труд), текущие затраты (электроэнергия, инструмент, СОЖ и т.п.), вложенными в эту продукцию. Например, выпущенную продукцию измеряют либо:

- в физических величинах: штуки, единицах массы (т, кг), объема и др.;

- в стоимостном выражении (рублях).

Трудовые затраты выражают:

- либо человеко-час, человеко-день и др.;
- либо в рублях.

В соответствии с этим производительность общественного труда может иметь различную размерность: шт/чел, ч, шт/руб, год, руб/руб.год.

Производительность может быть: номинальной, действительной, измеренной.

5.3. Себестоимость машины

Изготовление машины связано с расходами материалов, живого и общественного труда.

Затраты на материалы, средства производства и зарплату, связанные с изготовлением машины и выраженные в денежной форме, называют цеховой себестоимостью (просто себестоимость).

Различают себестоимость машины, СЕ, деталей, операций, технического процесса и т.д.

$$C = \sum_{i=1}^r M_i + \sum_{j=1}^m \left[O_j + P_j + K_j + \left(1 + \frac{a_1 + a_2}{100} \right) E_j \right],$$

где i – расходы на материалы на единицу продукции за вычетом стоимости отходов, руб.;

\dot{I} – расходы на амортизацию, содержание и эксплуатацию оборудования, приходящую

на единицу продукции, руб.

I – расходы на амортизацию, содержание и эксплуатацию приспособления,

приходящую на единицу продукции, руб.

\dot{E} – расходы на амортизацию, содержание и эксплуатацию инструмента, приходящую

на единицу продукции, руб.

\dot{a}_1 – начисления на расходы по зарплате на социальные нужды, %.

\dot{a}_2 – накладные расходы, начисляемые на расходы по зарплате, %.

\dot{a} – число различных марок материала на единицу продукции;

\dot{b} – число операций, которые проходит единица продукции при ее изготовлении;

\dot{c} – расходы на заработную плату, приходящиеся на единицу продукции, руб.

Себестоимость бывает номинальная, действительная и измеренная.

Себестоимость различают:

- сметную (плановую) – на стадии проектирования;
- отчетную (на основе измеренных фактических затрат производства) – для оценки деятельности.

Сопоставление отчетной и сметной себестоимости позволяет судить о соответствии действительного технологического процесса изготовления машины запроектированному.

5.4. Типы производства и виды организации производственных процессов

В зависимости от потребностей, машины изготавливают в разных количествах, определяемых **объемом** и **программой** выпуска.

Объем выпуска характеризует **примерное количество машин, деталей, заготовок, изделий**, подлежащих выпуску в течение планируемого периода времени (год, месяц). Это понятие используется на стадии проектирования завода, цеха, технологического процесса.

Программа выпуска – перечень изделий с указанием количества выпуска по каждому наименованию на планируемый период (год, месяц). Программу выпуска изделий устанавливают в соответствии с планом отрасли и выполнение ее обязательно.

Серия – общее число изделий, подлежащих изготовлению по неизменным чертежам. Размер серии зависит от совершенства конструкции и степени спроса у потребителей.

Партия – количество заготовок (изделий) одного наименования и типоразмера, одновременно (или непрерывно) поступающих для обработки на одно рабочее место в течение определенного времени.

Различие объемов выпуска приводит к делению производства на три типа: единичное, серийное, массовое.

Под **единичным** производством понимают изготовление машин (изделий), характеризующееся малым объемом выпуска. При этом считают, что выпуск таких же машин (изделий), не повторится по неизменным чертежам. Продукция единичного производства – опытные образцы, тяжелые прессы, уникальные станки т.п.

Под **серийным** производством понимают периодическое изготовление повторяющимися партиями по неизменным чертежам в течение продолжительного промежутка календарного времени. Возможна партия из одного изделия. Различают:

- мелкосерийное;
- среднесерийное;
- крупносерийное.

Продукция серийного производства – станки, компрессоры, судовые двигатели и т.п. выполняется периодически повторяющимися партиями.

Под **массовым** производством понимают непрерывное изготовление в больших объемах по неизменным чертежам продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна и та же операция. Характерно:

- узкая номенклатура;
- большой объем выпуска.

Продукция массового производства – автомобили, холодильники, часы, телевизоры, и т.п.

Отнесение производства к какому-то типу условно. На одном и том же предприятии можно встретить все типы, поэтому определяют тип по преобладающему типу.

По организации производственные процессы делят на два вида:

- поточный;
- непоточный.

Поточный вид характеризуется непрерывностью и равномерностью. Заготовки без задержек передаются с одной операции на другую, а деталь сразу на сборку. Деталь и сборка находятся в постоянном движении со скоростью, подчиненной такту выпуска. Все необходимое оборудование расставляется по ходу технологического процесса

Непоточный вид – движение заготовок на разных стадиях изготовления прерывается пролеживанием на рабочих местах или на складах. Не соблюдается такт выпуска. Поточный вид организации применяется в массовом типе производства. Непоточный вид – в единичном и мелкосерийном типах производства. Принцип организации поточного производства используется и в крупносерийном производстве при изготовлении изделий близких по-своему служебному назначению, которые объединяют в группы. Изготовление ведут поточным методом в пределах одного изделия, со сменой изделия меняется поток и такт выпуска. Такой вид организации называется **переменно-поточным**.

ЛЕКЦИЯ 6

6. Связи в машине и производственном процессе ее изготовления

Машина представляет собой не механическое соединение разнообразных деталей и совокупность разрозненных, независимых друг от друга явлений, происходящих в ней, а нечто единое целое, все составляющее которого (материалы, приданные им формы, размеры, относительные повороты) органически связанные между собой.

Работа машины обеспечивается действием многочисленных связей между явлениями различного физического содержания.

Производственный процесс реализует требуемые связи в изготавливаемой машине (изделии) с помощью своих связей между объектами и явлениями различного физического содержания.

Производственный процесс реализует требуемые связи в изготавливаемой машине (изделии) с помощью своих связей между объектами и явлениями, сопровождающими его. Строение связей в производственном процессе предопределяется связями в конструкции изготавливаемой машины и экономическими соображениями. Поэтому связи производственных процессов имеют строгую направленность и целеустремленность.

6.1. Определение понятия «СВЯЗЬ»

В каждой отрасли науки понятие «связь» определяется применительно к рассматриваемым задачам и явлениям.

Связь – взаимообусловленность существования явлений, разделенных в пространстве и (или) во времени. Связь между какими-то объектами понимают как отношение между ними, при котором наличие (отсутствие) или изменение других объектов.

Какое – либо общее свойство или признак, делающие возможной связь называется основанием связи.

В машине существуют размерные, кинематические и динамические связи, с помощью которых она выполняет свое служебное назначение. Например, токарный станок.

Размерные связи – используются при придании нужного относительного положения заготовке и инструменту в рабочем пространстве станка.

Кинематические связи – используются для создания требуемого относительного движения.

Динамические связи – обеспечивают процесс резания.

Между операциями процесса и на каждой операции также действуют связи, обеспечивающие нужные размеры и их точность. Обработка заготовки сопровождается действием временных связей, образуемых затратами времени на выполнение операции.

Проектирование машины, технического процесса, производственного процесса – выбор и целенаправленное построение строго определенных систем связей, действие которых и обеспечивает получение качественной продукции.

6.2. Аналитическое выражение связей. Прямая и обратная задача

Математическое соотношение, отражающее качественную сторону связи явлений или объектов, называют уравнением связи. В общем виде оно может быть записано так:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

В различных задачах y и x_i уравнения связи могут иметь разный смысл (табл.6.1).
Таблица 6.1. Смысл функции и аргументов в различных задачах

Задача	y	x_1, x_2, \dots, x_n
Переход от служебного назначения машины к связям	Показатель служебного назначения машины	Показатели какого-то вида связей, обеспечивающие выполнение служебного назначения по показателю y
Преобразование связей в машине или производственные процессы	Показатель данного вида связи	Показатели другого вида связей, к которому осуществляется переход
Обеспечение действия связей одного вида	Показатель данного вида в машине или производственные процессы	Показатели того же вида, обеспечивающие значение y

Например, токарный станок. Техническое требование – обеспечение цилиндрической формы обрабатываемой поверхности заготовки

Цилиндричность формы	диаметр	$\xi, \zeta, \beta, \gamma, \mu, \nu, \rho$
----------------------	---------	---

Например, одним из пунктов служебного назначения токарного станка является требование об обеспечении цилиндрической формы обрабатываемой поверхности заготовки. Исследование процесса формообразования показало, что для обеспечения технического требования (цилиндричность формы поверхности) необходимо, чтобы ось вращения заготовки была параллельна направлению перемещения резца в двух координатных плоскостях (рис.6.1). Отклонение в горизонтальной плоскости приводит к конической поверхности, а отклонение в вертикальной плоскости приводит к однополостному гиперболоиду вращения.

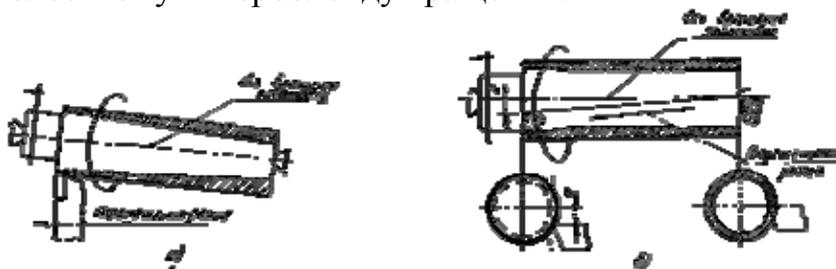
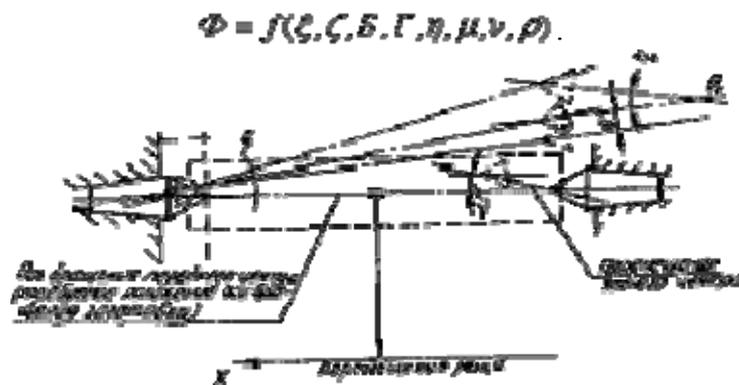


Рис.6.1. Возникновение отклонений формы поверхности вала

Причинами отклонения от параллельности оси вращения заготовки относительно направления перемещения резца как в горизонтальной так и вертикальной плоскостях могут быть собственно отклонения ξ и ζ от параллельности общей оси центров станка направлению перемещения резца, смещения центров A и \bar{A} , повороты центров η и μ и отклонения ν и ρ от параллельности перемещения заднего центра относительно оси переднего центра (рис.6.2).

Таким образом, в общем виде уравнение связи, отображающее решение задачи образования цилиндрической поверхности, будет иметь вид:



6.2 Рис. Факторы, вызывающие отклонение формы

При создании машины встречаются два типа задач: **прямая** и **обратная**.

В прямой задаче (рис.6.3 а) значение функции в уравнении связей известно (задано условием задачи) Решение задачи сводится к установлению значений аргументов, удовлетворяющих значению функции. **Прямую задачу** называют **проектной**. При наличии единственного уравнения связи и известном значении функции возможно бесчисленное сочетание значений аргументов. Поэтому единственный путь решения такой задачи – подбор аргументов, исходя из значения функции. Опыт решения подобных задач позволяет сократить число решений.

Обратная задача имеет противоположное направление решения (рис. 6.3 б). Решение обратной задачи сводится к определению значения функции по известным из условия задачи значениям аргументов. Такую задачу называют **проверочной**.

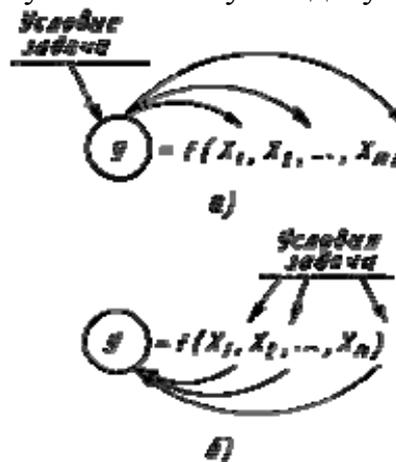


Рис. 6.3. Схемы решения прямой (а) и обратной (б) задач

Различие в направленности решения прямой и обратной задач имеет принципиальное значение, так как за этим стоит направленность действий в проектировании машины, технологического процесса. Все проектные работы ведутся от конечного результата. Процесс изготовления машины идет в противоположном направлении.

6.3. Ограничение отклонений показателей связи допусками

Все связи в производственных процессах и в машине носят вероятностный характер. Поэтому величина x_1, x_2, \dots, x_n имеют отклонения, носящие случайный характер, а их функция «у» представляет собой функцию случайных аргументов, которую необходимо ограничивать допусками. Согласно теории вероятности среднее значение «у» будет функцией средних значений аргументов:

$$\bar{y} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n).$$

Для ограничения рассеяния случайных отклонений функций и аргументов полями допусков можно воспользоваться формулой:

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial y}{\partial x_i} \right]_x^2 \sigma_{x_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial y}{\partial x_j} \right]_x \left[\frac{\partial y}{\partial x_i} \right]_x \sigma_{x_i} \sigma_{x_j} k_{ij}.$$

Так как в корреляционной связи между допусками нет, то для перехода к ним достаточна зависимость:

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial y}{\partial x_i} \right]_x^2 \sigma_{x_i}^2.$$

Для теоретических расчетов поле допуска T , ограничивающее рассеяние случайных отклонений, распределенных по нормальному закону в пределах 6σ , определяется:

$$T_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial y}{\partial x_i} \right]_x^2} T_{x_i} k_{x_i}$$

или

$$T = t \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial y}{\partial x_i} \right]_x^2} T_{x_i} k_{x_i},$$

где $k_{x_i} = \lambda_{x_i} \cdot t$;

t — коэффициент риска (при риске 0,27% $t = 3$); для закона Гаусса $\lambda_{x_i} = \frac{1}{3}$ и тогда:

$$k_{x_i} = \frac{1}{3} \cdot 3 = 1.$$

Формулы, связывающие, как среднее значения, так и поля допусков функции и аргументов, являются универсальными и могут быть применены для расчета допусков в связях различных физических величин при решении прямых и обратных задач.

6.4. Свойства связей

Связь в машине или в производственном процессе можно рассматривать как замкнутый контур, который состоит из:

- результата решения данной задачи;
- аргументов (не менее двух), обеспечивающих решение задачи.

Контур связи могут сопрягаться друг с другом, имея общие звенья. При этом могут встречаться три случая (рис.6.4).

1. Связи могут иметь общие аргументы

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n); \quad W = g(V_1, V_2, \dots, V_m)$$

2. Один из аргументов одной связи является функцией другой связи. В свою очередь аргумент другой связи может быть функцией третьей связи и т.д.

3. Каждый из аргументов данной связи является функцией какой-то связи.

В третьем случае раскрывается содержание не отдельного аргумента, а детализируется вся функция в целом.

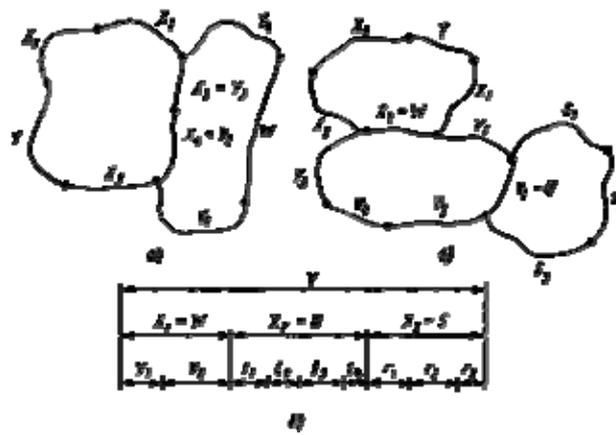


Рис.6.4. Три случая сопряжения контуров связей

Проектирование машин – это последовательный переход от связей, с помощью которых машина выполняет свое служебное назначение, к связям материалов и размерным связям, составляющим ее конструкцию. Переход сопровождается многократным преобразованием связей.

Производственный процесс изготовления машины представляет собой проявление различного вида связей. Связи производственного процесса можно разделить на уровни:

1) высший – к ним относятся связи свойств материальные, размерные, информационные, временные, экономические, то есть те связи, за счет непосредственного действия которых создаются детали машин, осуществляется сборка и определяется ее качество и себестоимость;

2) более низкий уровень – обеспечивают связи более высокого уровня. Например, размерные связи в технологическом процессе изготовления обеспечиваются действием либо механических, либо гидравлических, либо других, создающих необходимые относительные движения инструмента и заготовки.

В производственном процессе происходит преобразование связей, за счет которого технологический процесс и функционирует. Связи в машине и производственный процесс ее изготовления многообразны и неразрывны.

ЛЕКЦИЯ 7

7. Основы базирования

Определение положения детали в машине и в процессе ее изготовления является важнейшей задачей, решение которой влияет на качество деталей и машины в целом. Теория базирования является одним из «китов» технологического машиностроения. Большой вклад внесли в теорию базирования: Балакшин Б.С., Каширин А.И., Кован В.М., Маталин А.А., Соколовский А.П., Фираго В.П., Колесов И.М. и другие. Теория базирования разрабатывалась в двух направлениях. В основе первого направления лежит обобщение опыта машиностроения, а другое, научное направление, опирается на законы теоретической механики. Второе направление (автор Балакшин Б.С. – 40-е годы) принято при разработке ГОСТа 21.495 «Базирование и базы в машиностроении».

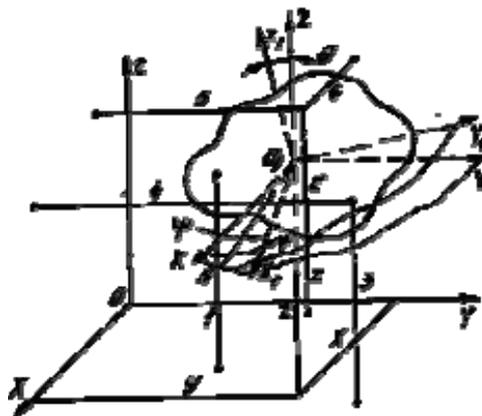
Теоретическая механика рассматривает два состояния твердого тела «покоя» и «движения». Эти понятия относительны, необходимо поэтому указывать систему отсчета. Если положение тела относительно выбранной системы отсчета со временем не изменяется, то считается, что это тело покоится относительно данной системы отсчета. Если же тело изменяет свое положение относительно выбранной системы отсчета, значит тело находится в движении. Требуемое положение или движение тела достигается наложением геометрических или кинематических связей.

Связями в теоретической механике называют условия, которые налагают ограничения либо только на положение, либо также и на скорость точек тела. В первом случае геометрическая связь, во втором – кинематическая.

Связи обычно осуществляются в виде различных тел, стесняющих свободу движения данного тела. Независимые перемещения, которые может иметь тело, называют степенями свободы.

Абсолютно твердое тело имеет шесть степеней свободы (3 перемещения и 3 вращения). Для того, чтобы придать телу необходимое положение и состояние покоя относительно выбранной системы отсчета, его надо лишить шести степеней свободы, наложив на него шесть двусторонних геометрических связей.

Аналитическое определение положения абсолютно твердого тела сводится к заданию значений шести независимых параметров, однозначно характеризующих его положение. С твердым телом связывают подвижную систему координат $O_1X_1Y_1Z_1$. Ее положение в системе координат $OXYZ$ можно характеризовать различными способами (рис.7.1).



а)

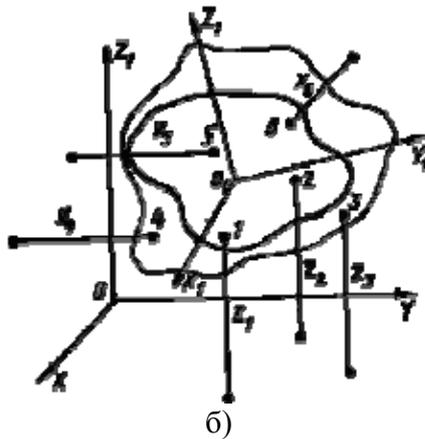


Рис.7.1. Определение положения абсолютно твердого тела.

По первому способу (рис.7.1.а) положение подвижной системы координат в системе $OXYZ$ характеризуют координаты x, y, z начала O_1 и три угла Эйлера: - угол нутации, - угол прецессии и угол собственного вращения системы $O_1X_1Y_1Z_1$.

По другому способу (рис.7.1.б) положение подвижной системы координат в системе $OXYZ$ характеризуют шесть точек, из которых три определяют положение плоскости $X_1O_1Y_1$, две – $X_1O_1Z_1$ и одна – $Y_1O_1Z_1$. Из восемнадцати координат, определяющих положение шести точек, шесть $(z_1, z_2, z_3, x_4, y_5, x_6)$ будут независимыми.

Неизменность их значений есть условие действия шести геометрических связей, наложенных на тело.

Тело находится в неподвижном состоянии, если выполняются два условия:

1. сумма всех активных сил, действующих на тело, и реакции равна нулю;
2. в начальный момент скорость тела также равна нулю.

Если в избранной системе отсчета требуется создать движение тела с определенной скоростью в одном или нескольких направлениях, то соответствующее число геометрических связей должно быть заменено таким же числом кинематических связей.

7.1. Базирование и базы

Базирование – придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

Теоретически базирование детали (изделия и т.п.) связано с лишением ее шести степеней свободы.

Придание детали требуемого положения в избранной системе координат осуществляется путем соприкосновения ее поверхностей с поверхностями детали или деталей, на которые ее устанавливают или с которыми ее соединяют. Фиксация достигнутого положения и постоянство контакта обеспечивается силами, в числе которых первым проявляется действие массы самой детали и сил трения. Реальные детали машин ограничены поверхностями, имеющими отклонения формы от своего идеального прототипа. Поэтому базируемая деталь может контактировать с деталями, определяющими ее положение лишь на отдельных элементарных площадках, условно считаемых точками контакта (рис.7.2.).

В общем случае при сопряжении детали по трем поверхностям с деталями, базируемыми ее, возникает шесть точек контакта. При этом точки контакта распределяются определенным образом.

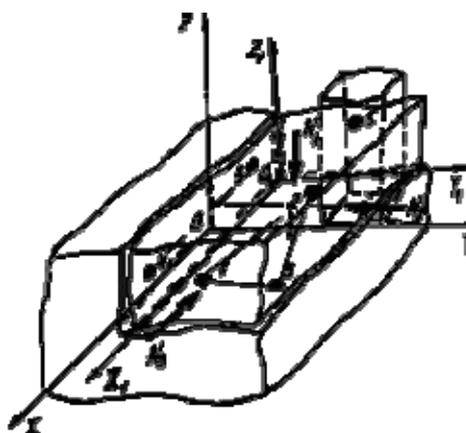


Рис.7.2. Сопряжение реальных деталей

Базирование детали осуществляется с помощью нескольких ее поверхностей, которые выполняют функцию баз.

Базой называется поверхность, или заменяющее ее сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования.

Для базирования детали обычно требуется несколько баз, образующих систему координат. Совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки (изделия, детали) называют **комплексом баз**.

На схемах двусторонние связи заменяются опорными точками. Опорная точка – символ связи, который изображается в виде «галочки» или «ромбика» (рис.7.3).

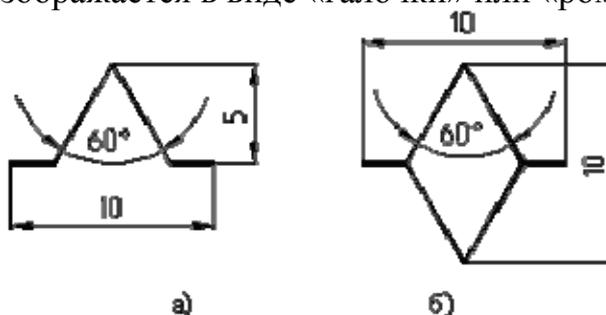


Рис.7.3. Изображение опорной точки: а)- вид сбоку; б) – вид сверху

Базирование призматической детали схематично можно изобразить так, как показано на рис.7.4.

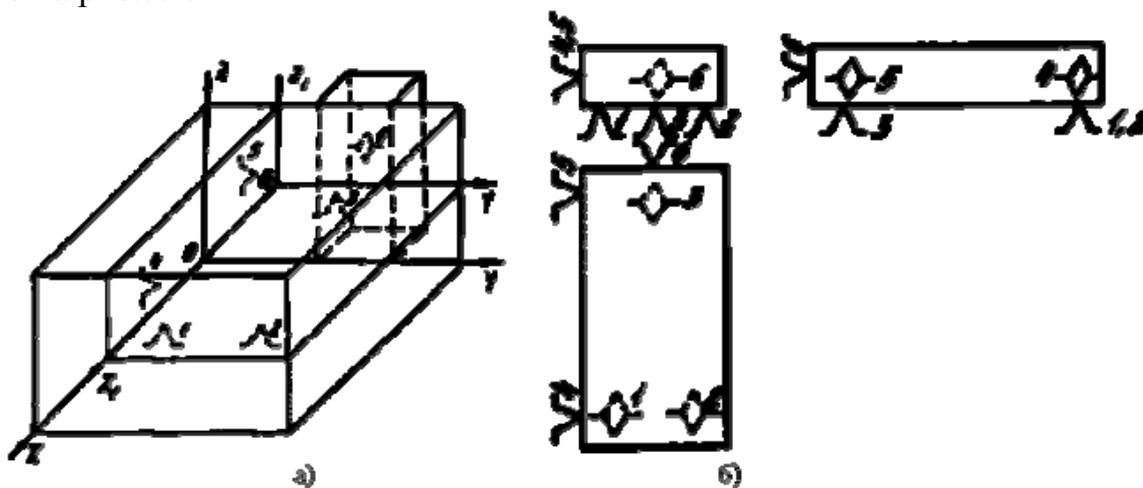


Рис.7.4. Базирование призматической детали: а) – в трехмерном изображении; б) – в проекциях на плоскостях

Базирование призматической детали с использованием двусторонних связей представлено на рис. 7.5.

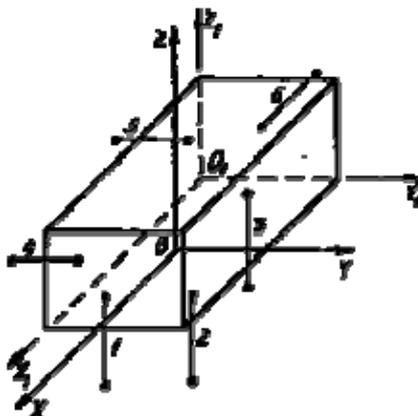


Рис.7.5. Базирование деталей с помощью двусторонних связей

При базировании призматической детали, в качестве баз используются три поверхности, которые образуют комплект баз, включающий в себя установочную, направляющую и опорные базы (рис.7.6.).

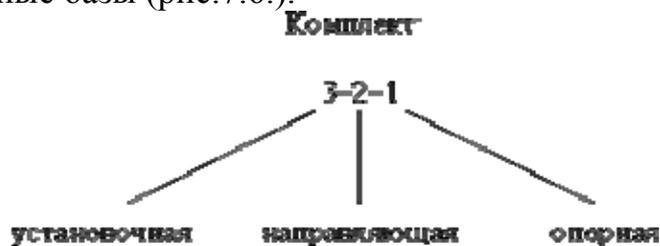


Рис.7.6. Комплект баз призматической детали

Установочной базой называется база, которая накладывает на деталь 3 двусторонние связи и, тем самым, лишает деталь трех перемещений. На практических схемах установочная база отображается 3 опорными точками. Например. На рис. 7.5 первая двусторонняя связь (или первая опорная точка) лишает деталь перемещения вдоль оси OZ ; вторая – вращения вокруг оси параллельной OX третья – вращения вокруг оси параллельной OY .

Направляющей базой называется база, которая накладывает на деталь 2 двусторонние связи, лишает деталь 2 перемещений. На практических схемах направляющая база отображается 2 опорными точками. На рис.7.5 четвертая двусторонняя связь (или четвертая опорная точка) лишает деталь перемещения вдоль оси OY ; пятая – вращения вокруг оси параллельной OZ .

Опорной базой называется база, которая накладывает 1 двустороннюю связь и лишает деталь одного перемещения. На практических схемах опорная база отображается 1 опорной точкой. На рис. 7.5 шестая двусторонняя связь (или шестая опорная точка) лишает деталь перемещения вдоль оси OX .

7.2. Базирование цилиндрической детали

Любая цилиндрическая деталь имеет две плоскости симметрии, которые, пересекаясь, образуют ось.

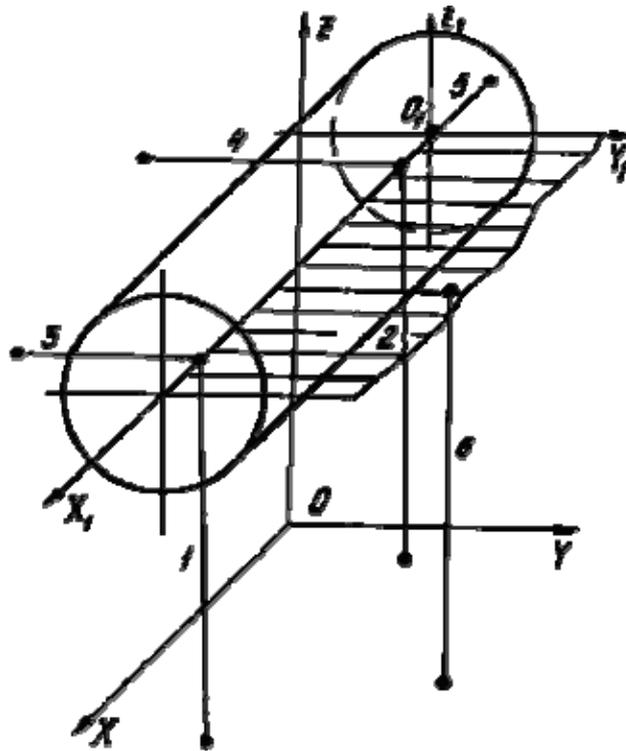


Рис.7.7. Базирование цилиндрической детали

Эта особенность и позволяет использовать при базировании цилиндрической детали в качестве базы ось. Базирование цилиндрической детали с использованием двусторонних связей представлено на рис. 7.7.

При базировании цилиндрической детали в качестве баз используются ось и две плоские поверхности, которые образуют комплект баз, включающий в себя двойную направляющую и две опорные базы (рис.7.8).

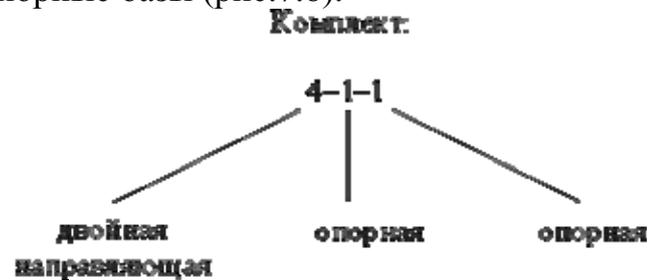


Рис. 7.8. Комплект баз цилиндрической детали

Двойной направляющей базой называется база, которая накладывает 4 двусторонние связи и лишает, тем самым, деталь 4-х перемещений. На практических схемах двойная направляющая база отображается 4 опорными точками. Например. На рис.7.7 первая двусторонняя связь лишает деталь перемещения вдоль оси OZ , вторая – вращения вокруг оси OY , третья — перемещения в вдоль оси OY , четвертая — вращения вокруг оси OZ .

Из двух опорных баз у цилиндрической детали одна лишает деталь перемещения, а другая вращения. На рис.7.7. пятая опорная точка лишает деталь перемещения вдоль оси OX , а шестая – вращения вокруг оси OX .

7.3. Базирование диска

Деталь типа «диск», как правило, имеет две плоскости симметрии, которые, пересекаясь, образуют ось, и хорошо развитые торцовые поверхности. Базирование детали типа «диск» с использованием двусторонних связей приведено на рис. 7.9.

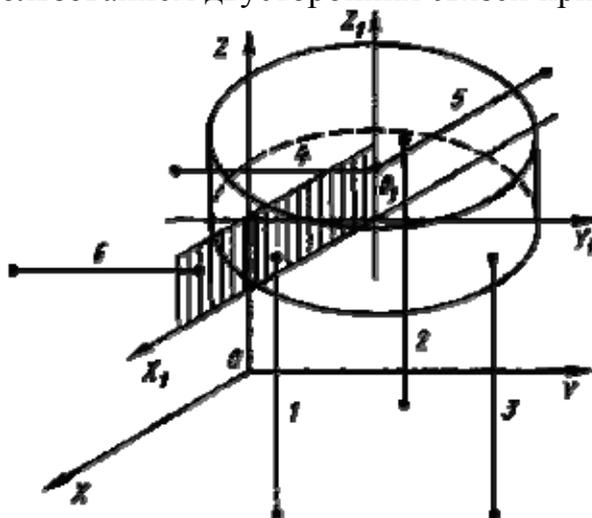


Рис.7.9. базирование детали типа «диск»

При базировании детали типа «диск» в качестве баз используются ось и две плоскости, которые образуют комплект, включающий в себя установочную, двойную опорную и опорную базы (рис.7.10).

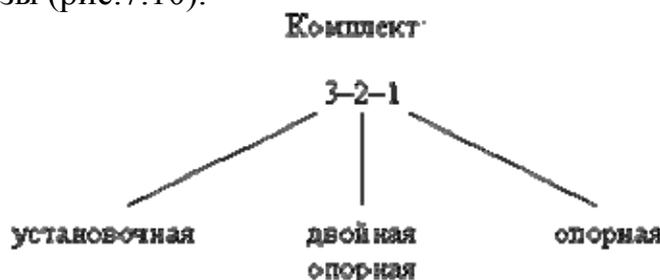


Рис.7.10. Комплект баз деталей типа «диск»

Установочная база – лишает деталь трех степеней свободы. Эта база была рассмотрена при базировании призматической детали. У диска эта база выполняет ту же функцию – она лишает деталь одного перемещения и двух вращений.

Первая двусторонняя связь (первая опорная точка) лишает деталь перемещения вдоль оси OY (рис.7.9); вторая – вращения вокруг оси параллельной OZ ; третья – вращения вокруг оси параллельной OX .

Двойной опорной базой называется база, которая накладывает 2 двусторонние связи и лишает деталь 2 перемещений во взаимно перпендикулярных направлениях. Обе двусторонние связи накладываются на оси, но одна в горизонтальной, а другая в вертикальной плоскости симметрии.

Опорная база накладывает одну двустороннюю связь и лишает деталь типа «диск» вращения вокруг своей оси. Располагается такая база как можно дальше от

оси в горизонтальной или вертикальной плоскости симметрии. Реализуется в виде паза или лыски на цилиндрической поверхности детали.

Итак, при базировании любой детали действует правило «шести точек». Сущность его такова: для определения положения детали **необходимо и достаточно** лишить ее шести степеней свободы, то есть задать координаты шести точек. При нарушении правила шести точек появляется неопределенность базирования.

Базирование необходимо на всех стадиях создания изделия. Несмотря на разнообразие задач, возникающих при этом, ГОСТом 21495 предусмотрена классификация баз по трем признакам: по решаемым задачам, по числу лишаемых степеней свободы и по конструктивному оформлению. Схематично классификация баз представлена на рис.7.11.

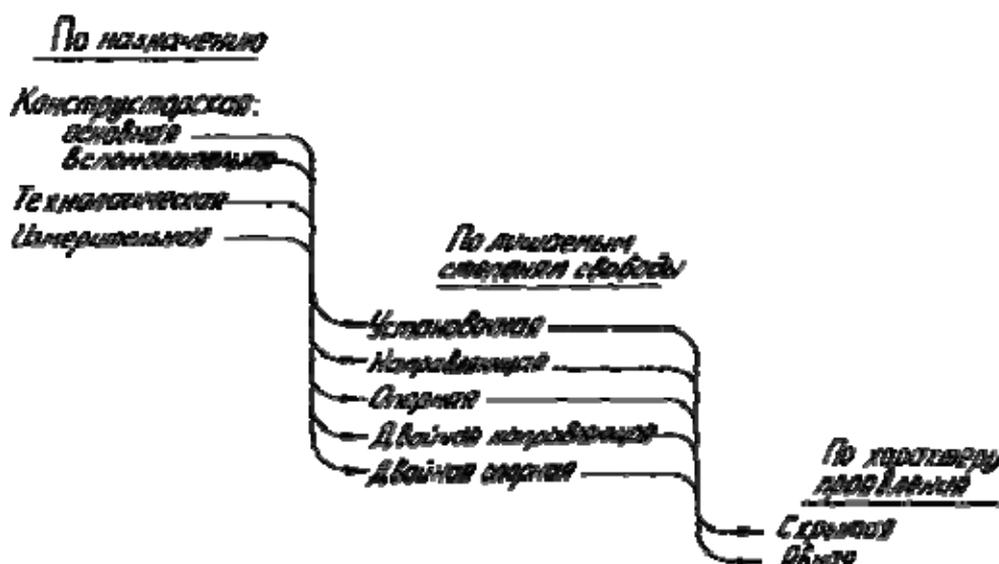


Рис.7.11. Классификация баз

Конструкторской базой называется база, которая определяет положение детали или сборочной единицы (СЕ). Различают конструкторские базы основные и вспомогательные.

Основная база – база, принадлежащая детали и используемая для определения ее положения в изделии.

Вспомогательная база – база, принадлежащая детали используемая для определения положения присоединяемой к ней детали.

Технологическая база называется база, которая определяет положение заготовки или изделия в процессе изготовления и ремонта.

Измерительной базой называется база, которая определяет положение заготовки или изделия и средств измерения.

По числу лишаемых степеней свободы базы различают: установочную, направляющую, опорную, двойную направляющую, двойную опорную. Характеристики этих баз были рассмотрены выше при изучении базирования различных деталей.

По конструкторскому оформлению различают базы явные и скрытые.

Явной базой называется реальная поверхность, разметочная риска или точка пересечения рисок. **Скрытой базой** называется ось, воображаемая поверхность или точка. Схемы базирования при использовании скрытых баз приведены на рис.7.12.

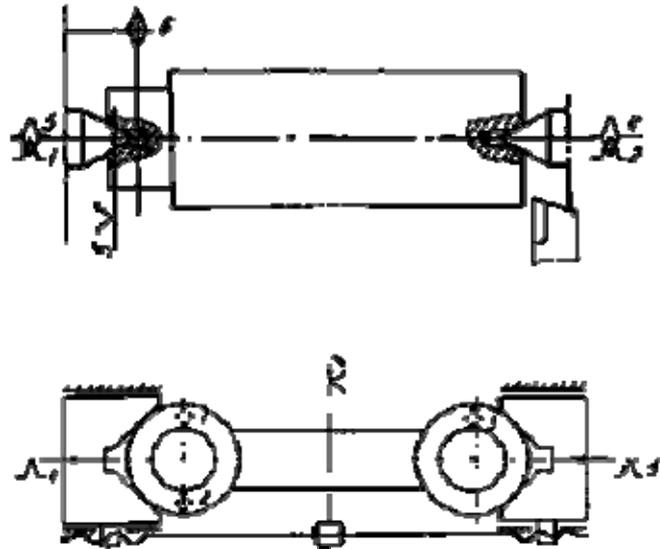


Рис.7.12. Базирование деталей с использованием явных и скрытых баз

ЛЕКЦИЯ 8

8. Теория размерных цепей

Размерные цепи отражают объективные размерные связи в конструкции машины, технологических процессах изготовления ее детали и сборки, при измерении, возникающие в соответствии с условиями решаемых задач.

8.1. Основные понятия и определения

Размерная цепь – совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих замкнутый контур. Обозначаются размерные цепи прописными буквами русского алфавита (**A, B, B...**) и строчными буквами греческого алфавита (β, γ, \dots , кроме $\alpha, \delta, \xi, \lambda, \omega$).

Размеры, образующие размерную цепь, называют звеньями размерной цепи. Одно звено в размерной цепи замыкающее (исходное), а остальные – составляющие.

Замыкающим (исходным) звеном размерной цепи называют звено, получающееся последним или первым (исходным) при ее построении. Замыкающее (исходное) звено отличается значком Δ - Δ (рис.8.1).

Составляющим звеном размерной цепи называют звено размерной цепи, функционально связано с замыкающим звеном. Составляющие звенья, в зависимости от их влияния на замыкающее звено, бывают увеличивающие или уменьшающие:

Увеличивающим звеном называется звено, **при увеличении** которого, замыкающее звено **увеличивается**. Такое звено обозначается стрелочкой слева направо над буквой - \bar{A}_2 (рис.8.1).

Уменьшающим звеном называется звено, **при увеличении** которого, замыкающее звено **уменьшается**. Такое звено обозначается стрелочкой справа налево над буквой - \bar{A}_1, \bar{A}_3 (рис.8.1).

Компенсирующее звено – звено, за счет изменения величины которого, достигается требуемая точность замыкающее звено. Выделяется такое звено заключением его в квадрат (рис.8.1).

Общее звено – звено, одновременно принадлежащее нескольким размерным цепям. В его обозначении используются столько букв, звеньями скольких цепей оно является – $A_1 = B_2 = B_3$.

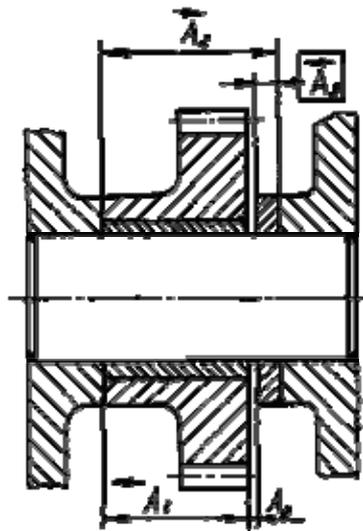


Рис.8.1. Размерная цепь A_2

Размерные цепи удобно классифицировать по характеру решаемой задачи, содержанию, характеру звеньев, геометрическому представлению и виду связи. Схематично классификация представлена на рис.8.2.

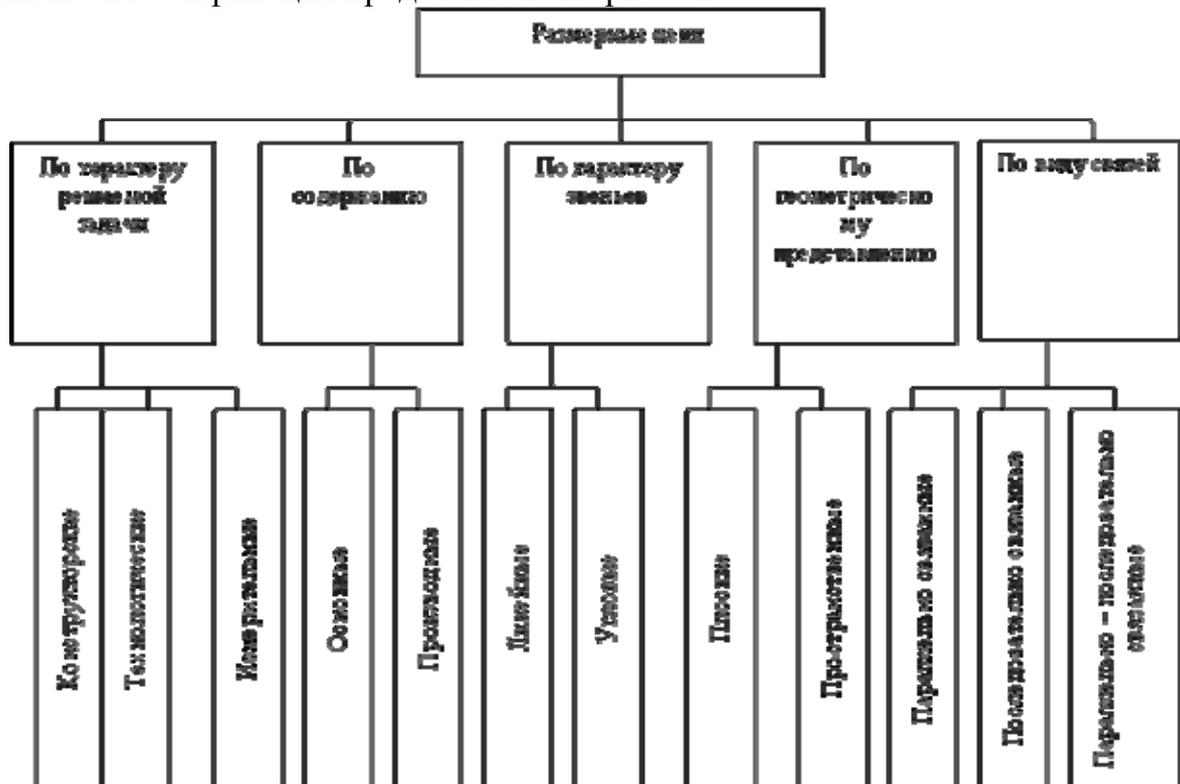


Рис.8.2. Классификация размерных цепей

По характеру решаемой задачи размерные цепи различают конструкторские, технологические, измерительные.

Конструкторская размерная цепь – размерная цепь, определяющая расстояние или относительный поворот поверхностей (осей) в деталях. Примером конструкторской размерной цепи служит размерная цепь, приведенная на рис.8.1.

Технологические размерные цепи – размерные цепи, обеспечивающие требуемое расстояние или относительный поворот поверхностей изделия в процессе их изготовления.

Технологические размерные цепи бывают **первого** и **второго** рода.

К технологическим цепям первого рода относят технологические системы, связывающие между собой оборудование (станок), приспособление, инструмент и деталь - ОПИД. Пример подобной технологической системы приведен на рис.8.3,

где O – оборудование (станок) – B_1, B_2, B_3 ;

Γ – приспособление – B_1, B_2, B_3, B_4 ;

H – инструмент – B_3 ;

D – деталь – A_1 .

Замыкающим звеном технологической цепи первого рода (A) является звено, заключенное между режущей кромкой инструмента и базой (или соответствующими осями). Так в цепи, приведенной на рис.8.3, звено A_1 , является замыкающим и принадлежит детали; звеньям B_1, B_2, B_3 принадлежат станку (являются конструктивными элементами станка); звенья B_1, B_2, B_3, B_4 принадлежат приспособлению (являются конструктивными элементами приспособления или другой технологической оснастки); звено B_3 принадлежит инструменту (ширина дисковой фрезы).

Изображать технологическую цепь первого рода можно подробно (рис.8.3 а) или упрощенно (рис.8.3 б).

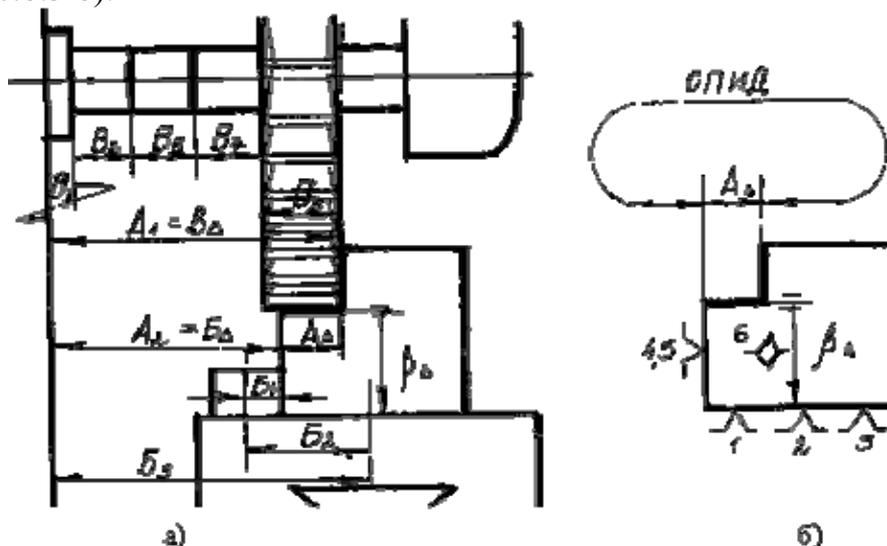


Рис.8.3. Технологическая размерная цепь первого рода: а) – подробное изображение технологической цепи первого рода; б) – упрощенное изображение технологической цепи первого рода

К технологическим цепям второго рода относятся размерные цепи, связывающие отдельные операции, переходы (цепи первого рода). Для того чтобы выявить технологическую цепь второго рода, необходимо проанализировать весь технологический процесс изготовления детали, от операции, на которой заканчивается решение поставленной задачи, до начала технологического процесса. На рис.8.4 представлен анализ технологического процесса изготовления валика, у которого необходимо обеспечить длину ступени $L = A_1$. При изготовлении валика в решении поставленной задачи участвуют цепи первого и второго рода. К цепям второго рода относятся размерная цепь A , которая связывает операции (переходы) получения левой и правой шеек валика; и размерная цепь B , которая связывает

операции (переходы) получения одной из шеек и торцов заготовки. Размерные цепи **Б.Г.Д** являются цепями первого рода.

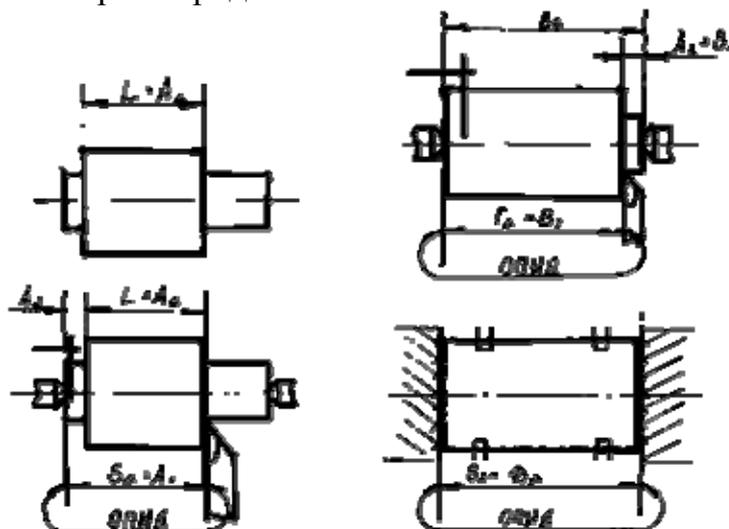


Рис. 8.4. Технологические цепи второго рода

Измерительная размерная цепь – цепь, с помощью которой познается значение измеряемого размера, относительного поворота, расстояния поверхностей или их осей изготовленного или изготавливаемого изделия (рис.8.5).

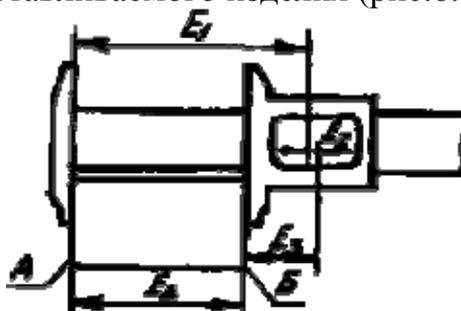


Рис.8.5. Измерительная размерная цепь

Если рассматривать измерение как процесс, то можно встретить цепи первого и второго рода так же, как и в технологическом процессе (рис.8.6).

По содержанию размерные цепи бывают основные и производные.

Основная размерная цепь – цепь, замыкающим звеном которой является размер (расстояние, относительный поворот), обеспечиваемый в соответствии с решением основной задачи (цепь **А** на рис.8.3).

Производная размерная цепь – цепь, замыкающим звеном которой является одно из составляющих звеньев основной размерной цепи (цепи **Б** и **В** на рис.8.3).

Производная размерная цепь раскрывает содержание составляющего звена основной размерной цепи.

По характеру звеньев размерные цепи бывают линейные и угловые.

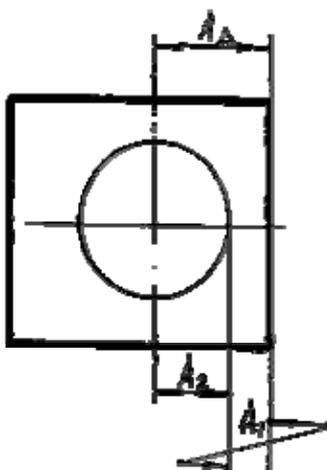


Рис.8.6. Познание размера A_1

Линейная размерная цепь – цепь, звеньями которой являются линейные размеры. Они обозначаются прописными буквами русского алфавита ($A, B, \dots, Я$) и двусторонней стрелочкой.

Угловая размерная цепь – цепь, звеньями которой являются угловые параметры. Они обозначаются строчными буквами греческого алфавита (β, γ, \dots) и односторонней стрелочкой (рис. 8.3).

По геометрическому представлению цепи бывают плоские и пространственные.

Плоская размерная цепь – цепь, звенья которой расположены в одной или нескольких параллельных плоскостях.

Пространственная размерная цепь — цепь, звенья которой расположены в непараллельных плоскостях.

По виду связей размерные цепи бывают параллельные, последовательно и параллельно-последовательно связанные.

Параллельно связанные цепи – цепи, имеющие одно или несколько общих звеньев (рис.8.7 а).

Последовательно связанные цепи – цепи, в которых каждая последующая имеет одну общую базу с предыдущей (рис.8.7 б).

Параллельно последовательно связанные цепи (комбинированные) – цепи, имеющие оба вида связей (рис.8.7 в).

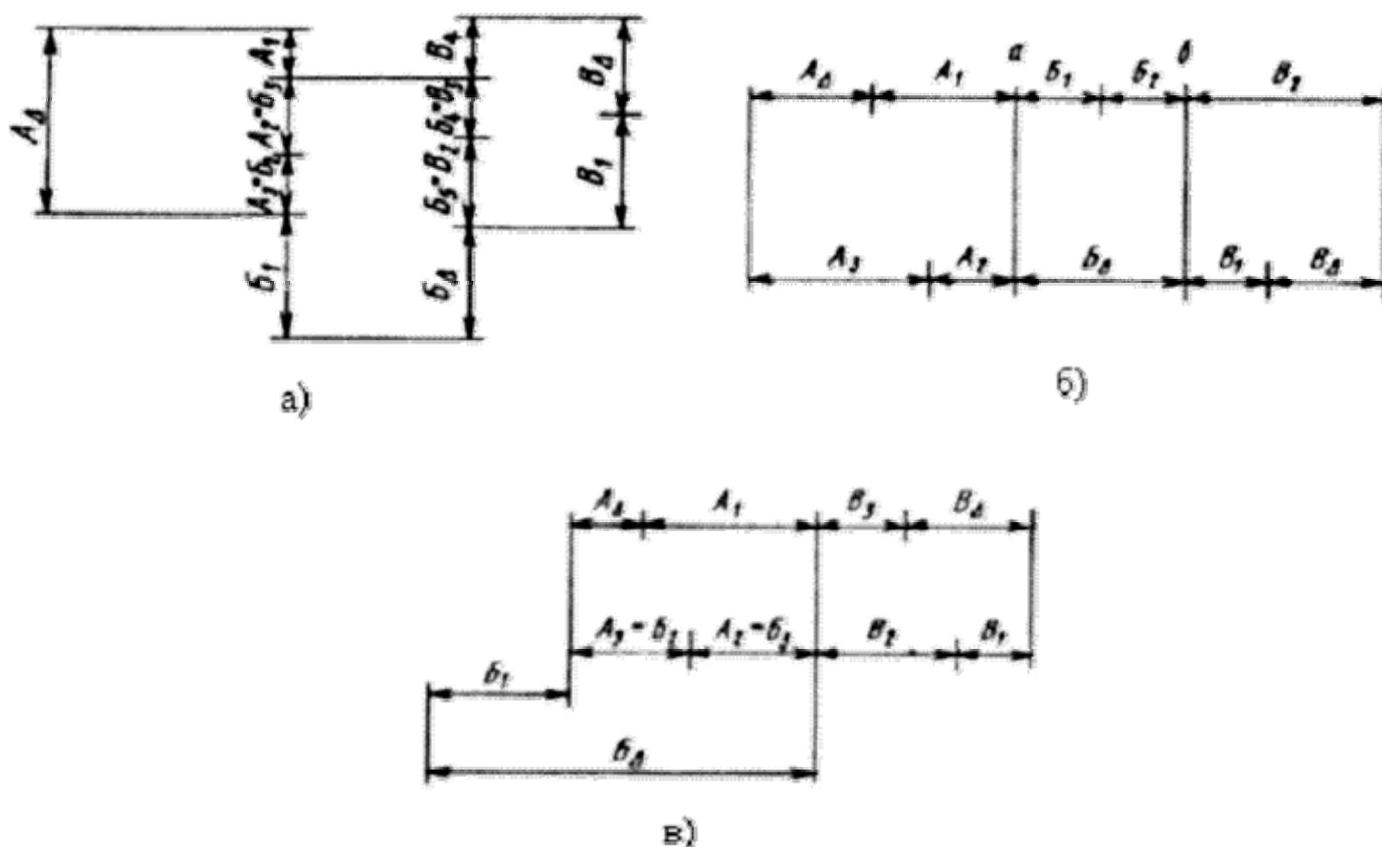


Рис.8.7. Различные виды связей размерных цепей

8.2. Постановка задачи и выявление размерной цепи

Выявление размерной цепи в практике использования теории размерных цепей, является наиболее сложным. Каждой задаче соответствует только одна, единственная размерная цепь.

Выявление любой размерной цепи начинается с нахождения ее замыкающего звена.

Смысл задачи, возникающей при конструировании, изготовлении или измерении изделия связывается с замыкающим звеном.

При конструировании изделия переход от поставленной задачи к нахождению замыкающего звена заключается в выявлении такого линейного или углового размера, от значения которого полностью зависит решение поставленной задачи.

При изготовлении изделия замыкающим звеном размерной цепи является размер, точность которого должна быть обеспечена технологическим процессом.

При измерении замыкающим звеном является измеренный размер.

Допуск замыкающего звена устанавливается следующим образом:

- в конструкторских размерных цепях исходя из служебного назначения;
- в технологических размерных цепях в соответствии с допуском, который необходимо получить в результате осуществления технологического процесса;
- в измерительных размерных цепях исходя из требуемой точности измерения.

Выявив замыкающее звено, приступают к нахождению составляющих звеньев размерной цепи. Составляющими звеньями конструкторских размерных цепей могут быть:

- расстояния (относительные повороты) между поверхностями (их осями) деталей, образующих замыкающее звено, и основными базами этих деталей;
- расстояния (относительные повороты) между поверхностями вспомогательных и основных баз деталей, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи своими размерами.

Для нахождения размерной цепи следует идти от поверхностей (или их осей) деталей, образующих замыкающее звено, к основным базам этих деталей, от них – к основным базам деталей, базирующих первые детали, до образования замкнутого контура (рис.8.8). Несовпадения (зазоры, несоосности) основных и вспомогательных баз соединяемых деталей учитываются отдельными звеньями.

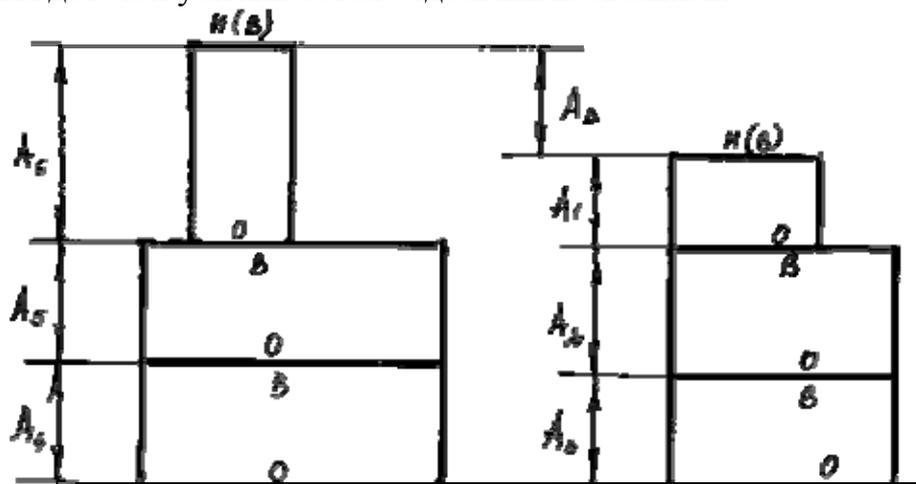


Рис.8.8. Выявление размерной цепи.

ЛЕКЦИЯ 9

9. Методы расчета размерных цепей. Методы достижения точности

9.1. Методы расчета размерных цепей

Размерные цепи являются одной из разновидностей связей, действующих в машине и производственном процессе ее изготовления. Поэтому все теоретические положения о связях распространяются на размерные цепи в той же мере, как и на другие виды связей.

Количественную связь замыкающего звена A_2 с составляющими звеньями A_i отражает уравнение размерной цепи:

$$A_2 = f(A_1, A_3, A_4, \dots, A_{n-1}).$$

Из схемы плоской размерной цепи A с параллельными звеньями (рис.9.1) видно, что номинальное значение замыкающего звена A_2 равно алгебраической сумме номинальных значений составляющих звеньев, в которой увеличивающие звенья имеют знак "+", а уменьшающие - знак "-":

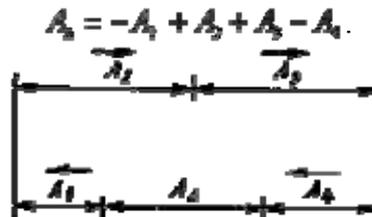


Рис.9.1. Плоская размерная цепь с параллельными звеньями

Влияние составляющих звеньев на замыкающее звено можно учесть в уравнении размерной цепи с помощью передаточных отношений. Это дает возможность записать уравнение размерной цепи в общем виде:

$$A_2 = \sum_{i=1}^{n-1} \xi_{2i} A_i,$$

где $i = 1, 2, \dots$;

i — порядковый номер составляющего звена;

ξ_{2i} — передаточное отношение i -го составляющего звена; для плоских размерных цепей с параллельными звеньями;

$\xi_{2i} = 1$ для увеличивающих составляющих звеньев,

$\xi_{2i} = -1$ для уменьшающих составляющих звеньев.

Согласно количественной связи средних значений функции и аргументов, рассмотренных выше, среднее значение замыкающего звена может быть определено:

$$\bar{A}_2 = f(\bar{A}_1, \bar{A}_3, \bar{A}_4, \dots, \bar{A}_{n-1}).$$

Для рассматриваемой размерной цепи (рис.9.1), уравнение будет показано выглядеть так:

$$\bar{A}_2 = -\bar{A}_1 + \bar{A}_3 + \bar{A}_4 - \bar{A}_4.$$

Но среднее допустимое значение любой величины может быть выражено через ее номинальное значение и координату середины поля допуска: $\bar{A} = A + \Delta_{0_{0.5}}$, поэтому:

$$A_2 + \Delta_{0_{0.5}} = -(A_1 + \Delta_{0_{0.5}}) + (A_3 + \Delta_{0_{0.5}}) + (A_4 + \Delta_{0_{0.5}}) - (A_4 + \Delta_{0_{0.5}}).$$

Вычитая из этого уравнения уравнение номиналов размерной цепи получим уравнение координат середин полей допусков:

$$\Delta_{0,2} = -\Delta_{0,1} + \Delta_{0,2} + \Delta_{0,2} - \Delta_{0,2}.$$

Координата середины поля допуска замыкающего звена плоской размерной цепи с параллельными звеньями равна алгебраической сумме координат середин полей допусков составляющих звеньев с учетом их собственных знаков, т.е.

$$\Delta_{0,2} = \sum_{i=1}^n \bar{\Delta}_{0i} - \sum_{m=1}^{m-1} \bar{\Delta}_{0m},$$

или

$$\Delta_{0,2} = \sum_{m=1}^{m-1} \zeta_m \Delta_{0m}$$

Все рассуждения, касающиеся координат середин полей допусков, в полной мере распространяются и на координаты середин полей рассеяния. Поэтому по аналогии будем иметь

$$\Delta_{0,2} = \sum_{i=1}^n \bar{\Delta}_{0i} - \sum_{m=1}^{m-1} \bar{\Delta}_{0m}$$

или

$$\Delta_{0,2} = \sum_{i=1}^n \zeta_i \Delta_{0i}.$$

При расчетах полей допусков или полей рассеяния могут быть использованы два метода:

1. расчет на максимум—минимум;
2. вероятностный расчет.

9.1.1. Метод расчета на максимум—минимум

Метод расчета на максимум—минимум учитывает только предельные отклонения звеньев размерной цепи и самые неблагоприятные их сочетания. Например, в размерной цепи А показанной на рис.9.2, предельные отклонения замыкающего звена будут при следующих сочетаниях предельных отклонений составляющих звеньев:

$$\Delta_{0,2} = -\Delta_{0,1} + \Delta_{0,2}; \Delta_{0,2} = -\Delta_{0,1} + \Delta_{0,2}.$$

Вычитая почленно из первого равенства второе, получим

$$(\Delta_{0,2} - \Delta_{0,2}) = (-\Delta_{0,1} + \Delta_{0,2}) + (\Delta_{0,1} - \Delta_{0,2}).$$

Но разность верхнего и нижнего предельных отклонений какой-то величины есть поле допуска, в пределах которого допустимы ее отклонения, поэтому

$$T_{0,2} = T_{0,1} + T_{0,2}.$$

Это положение действительно и для размерных цепей с числом составляющих звеньев $m-1$, что дает право записать формулу в общем виде:

$$T_0 = \sum_{i=1}^{m-1} |k_i| T_i,$$

где $m-1$ — число составляющих звеньев в размерной цепи.



Рис.9.2. Размерная цепь и допуски, ограничивающие отклонения ее звеньев

При суммировании допусков учитывают абсолютные значения передаточных отношений, поскольку значения полей допусков всегда положительны. Это значит, что для плоских размерных цепей с параллельными звеньями

$$T_A = \sum_{i=1}^{n-1} T_i,$$

так как $|K_i| = 1$.

Таким образом, поле допуска замыкающего звена плоской размерной цепи с параллельными звеньями равно сумме абсолютных значений полей допусков всех составляющих звеньев.

Формула, учитывающая связь поля рассеяния значений замыкающего звена (его отклонений) с полями рассеяния значений составляющих звеньев (их отклонений), может быть получена путем аналогичных рассуждений. Таким образом, поле рассеяния замыкающего звена может быть определено:

$$\sigma_A = \sum_{i=1}^{n-1} |K_i| \sigma_i;$$

для плоских размерных цепей с параллельными звеньями

$$\sigma_A = \sum_{i=1}^{n-1} \sigma_i.$$

9.1.2. Теоретико-вероятностный метод расчета

Вероятностный метод расчета учитывает рассеяние размеров и вероятность различных сочетаний отклонений составляющих звеньев размерной цепи.

Теоретическую основу для установления связи между полем допуска замыкающего звена и полями допусков составляющих звеньев размерной цепи дают положения теории вероятностей, касающиеся функции случайных аргументов. Согласно этим положениям

$$T_A = \Delta \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \zeta_i^2 \lambda_i^2 T_i^2},$$

где ζ_i - коэффициент риска, характеризующий процент выхода значений замыкающего звена (его отклонений) за пределы установленного на него допуска; λ_i - коэффициент, характеризующий выбираемый теоретический закон рассеяния значений i -го составляющего звена (его отклонений).

Возможное поле рассеяния замыкающего звена при известных полях рассеяния σ_i , составляющих звеньев, коэффициентах λ_i , и выбранном коэффициенте ζ_i можно рассчитать по формуле

$$\sigma_k = \Delta L \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \alpha_i^2}$$

В плоских размерных цепях, имеющих звенья, расположенные под углом к выбранному направлению, каждое из таких звеньев можно заменить его проекцией на это направление. Тем самым любую плоскую размерную цепь можно привести к размерной цепи с параллельно расположенными звеньями.

9.2. Методы достижения точности замыкающего звена.

Методы полной и неполной взаимозаменяемости

Обеспечение точности создаваемой машины сводится к достижению требуемой точности замыкающих звеньев размерных цепей, заложенных в ее конструкцию, и размерных цепей, возникающих в процессе изготовления машины. Задача обеспечения требуемой точности замыкающего звена в зависимости от предъявляемых к нему требований, типа и условий производства может быть решена экономично одним из пяти методов: **полной, неполной, групповой взаимозаменяемости, пригонки или регулирования.**

9.2.1. Метод полной взаимозаменяемости

Сущность метода заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается во всех случаях ее реализации путем включения в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их значений.

Сборка изделий при использовании метода полной взаимозаменяемости сводится к механическому соединению взаимозаменяемых деталей. При этом у 100 % собираемых объектов автоматически обеспечивается требуемая точность замыкающих звеньев размерных цепей.

При изготовлении партии деталей на станке метод полной взаимозаменяемости обеспечивает надлежащую точность замыкающих звеньев технологических размерных цепей. Благодаря этому точность выдерживаемых размеров у деталей всей партии будет соответствовать установленному допуску.

Можно привести много примеров использования метода полной взаимозаменяемости как в машиностроении, так и в бытовой технике (взаимозаменяемые детали и узлы автомобилей, телевизоров, холодильников, взаимозаменяемые шарико- и роликоподшипники, крепежные детали). Методом взаимозаменяемости обеспечивается соединение цоколя электрической лампочки с патроном, взаимозаменяемы детали шариковых ручек и т.д.

Широкое использование метода полной взаимозаменяемости в жизни объясняется следующими его преимуществами:

- относительная простота достижения требуемой точности замыкающего звена, так как формирование размерной цепи сводится практически к простому соединению ее составляющих звеньев;
- возможность широкого кооперирования различных цехов и заводов при изготовлении отдельных деталей или сборочных единиц машин;
- возможность выполнения технологических процессов изготовления деталей и особенно сборки машин рабочими невысокой квалификации;
- простота нормирования технологических процессов во времени.

Поля допусков или возможные значения поля рассеяния замыкающего звена рассчитывают по методу максимума-минимума (см. п. 9.1.1) При решении прямой

задачи расчет полей допусков сводится к распределению поля допуска замыкающего звена между составляющими звеньями. Такое распределение многовариантно, что характерно для решения любой проектной задачи. Формально все решения будут правильными, если в каждом из них сумма допусков составляющих звеньев будет равна допуску замыкающего звена. Однако не все решения могут быть приемлемыми с точки зрения экономики.

Поэтому распределение значения поля допуска замыкающего звена между составляющими звеньями ведут, сопровождая его хотя бы мысленной оценкой экономической целесообразности устанавливаемого поля допуска на то или иное составляющее звено. Например, при расчете конструкторских размерных цепей обычно учитывают следующее:

- чисто технические возможности достижения задаваемой точности;
- экономичность способов обработки, которые могут быть использованы в процессе изготовления деталей (сведения о средней экономической точности различных методов обработки можно получить в справочниках технолога);
- число изделий, подлежащих изготовлению, во многом влияющее на оценку экономичности метода обработки.

Таким образом, критерием удачного распределения поля допуска замыкающего звена между составляющими звеньями может служить лишь себестоимость решения задачи с помощью рассматриваемой размерной цепи.

Расчет координат середин полей допусков не связан с экономикой. Однако всегда желательно придание полю допуска положения относительно номинального значения составляющего звена, удобного для производителей. Этим объясняется частое задание допуска в "материал" детали и симметрично расположенных допусков.

Рассчитывая координаты, обычно составляют уравнение координат середин полей допусков и, используя формулы, приведенные выше (см. п.9.1), устанавливают значения координат середин полей допусков составляющих звеньев, за исключением одного. Решая уравнение с одним неизвестным, находят недостающую координату середины поля допуска.

При расчете полей допусков и координат их середин часты случаи, когда приходится учитывать ограничения, установленные стандартами и другими нормативными материалами. Обязательность их учета не затрагивает существа расчетов и их методической направленности.

Правильность рассчитанных допусков может быть проверена путем определения по установленным значениям полей допусков составляющих звеньев и координат их середин предельных отклонений замыкающего звена и сопоставления их с условиями задачи.

Предельные отклонения замыкающего звена могут быть найдены по следующим формулам:

$$\Delta_{z_1} = \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i \Delta_i - \sum_{i=1}^{n-1} |k_i| 0,5T_i ;$$

$$\Delta_{z_2} = \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i \Delta_i + \sum_{i=1}^{n-1} |k_i| 0,5T_i$$

Метод полной взаимозаменяемости, учитывающий возможность сочетания крайних отклонений составляющих звеньев, часто приводит к неэкономичным

допускам. Считается, что экономически оправданной областью использования метода полной взаимозаменяемости являются малозвенные размерные цепи и размерные цепи с относительно широким полем допуска замыкающего звена.

Очень малая вероятность сочетания в размерной цепи крайних отклонений составляющих звеньев приводит порой к отрицанию права метода полной взаимозаменяемости на существование. Такие категоричные утверждения не только не верны, но и опасны, так как существуют области, для которых единственно приемлемым является метод полной (абсолютной) взаимозаменяемости. К числу таковых, например, относят стрелковое оружие, в котором отклонения диаметральных размеров канала ствола и пули во избежание отказов допустимы в пределах, установленных только по методу полной взаимозаменяемости.

9.2.2. Метод неполной взаимозаменяемости

Сущность метода заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается с некоторым, заранее обусловленным риском путем включения в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их значений.

Преднамеренный риск выхода значений замыкающего звена за пределы допуска, определяемого условиями задачи, обычно незначителен. Однако этот риск позволяет расширить допуски составляющих звеньев в сравнении с их значениями, установленными при достижении точности замыкающего звена методом полной взаимозаменяемости. Эта возможность создается малой вероятностью возникновения крайних отклонений составляющих звеньев и попаданий таких отклонений в одно изделие.

На рис. 9.3 дано разъяснение принципиального различия между методами полной и неполной взаимозаменяемости и схематично отображено преимущество второго метода перед первым.

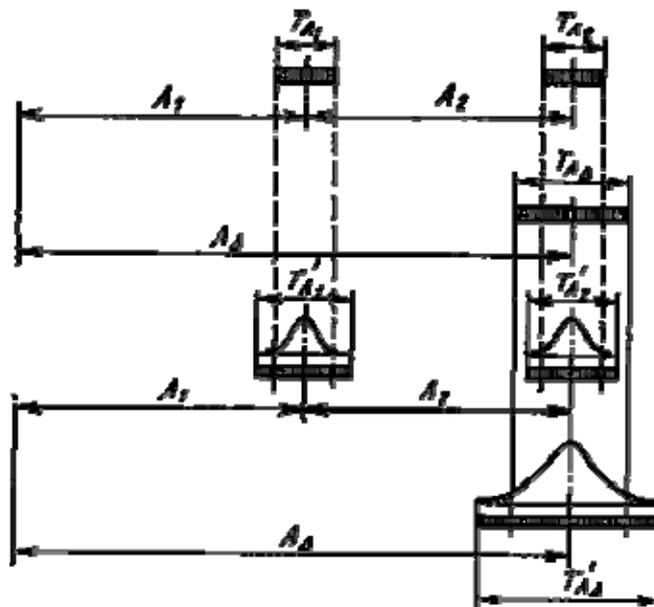


Рис.9.3. Сравнительная схема достижения точности замыкающего звена методами полной и неполной взаимозаменяемости

При заданном допуске T_{Σ} замыкающего звена трехзвенной размерной цепи. При использовании метода полной взаимозаменяемости допуски составляющих звеньев определяются по формуле:

$$T_{\Sigma} = T_A + T_B .$$

Установив более широкие допуски на составляющие звенья ($T_A > T_A$ и $T_B > T_B$) и ориентируясь на метод полной взаимозаменяемости, мы вправе ожидать отклонений замыкающего звена

$$T_{\Sigma} = T_A + T_B .$$

При расчете полей допусков для метода неполной взаимозаменяемости используют формулу, в которой учтены вероятностные явления, сопровождающие процесс изготовления машины (см.п.9.1.2.):

$$T_{\Sigma} = t_{\Sigma} \sqrt{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2 \lambda_i^2} ,$$

где t_{Σ} - коэффициент риска, значения которого выбирают из таблиц значения функций Лапласа в зависимости от принятого риска - P в %;

λ_i - коэффициент, характеризующий закон рассеяния отклонения составляющих звеньев.

Для нормального закона $\lambda_i = 1/3$.

При нормальном законе распределения отклонений и равновероятном их выходе за обе границы поля допуска

$$P = 100 [1 - 2\Phi(t)] .$$

Некоторые значения коэффициента t_{Σ} приведены ниже:

Риск $P, \%$	32,00	10,00	4,50	1,00	0,27	0,10	0,01
Коэффициент t_{Σ}	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	3,29	3,89

Правильность выбора значения P может быть обоснована только технико-экономическим расчетом.

Значение коэффициента λ_i можно назначать, а можно выбирать. Практика показывает, что наиболее распространенными законами, которым подчинено рассеяние отклонений, являются нормальный закон (закон Гаусса), где $\lambda_i^2 = 1/9$, закон Симпсона (закон треугольника), где $\lambda_i^2 = 1/6$, закон равной вероятности, где $\lambda_i^2 = 1/3$.

Наиболее благоприятные условия для рассеяния отклонений по нормальному закону складываются в массовом и крупносерийном производстве, менее благоприятно — в мелкосерийном и единичном. В тех случаях, когда трудно предвидеть законы распределения отклонений составляющих звеньев размерной цепи, избирают закон Симпсона или закон равной вероятности.

Координаты середин полей допусков рассчитывают по формулам (см. п.9.1) так же, как и при методе полной взаимозаменяемости. Уместно отметить, что эти формулы являются общими для всех пяти методов достижения требуемой точности замыкающего звена.

Правильность установленных допусков может быть проверена сопоставлением предельных отклонений замыкающего звена с заданными его значениями:

$$\Delta_{\text{нз}} = \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i \Delta_{\text{нз}} - t_{\alpha} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \xi_i^2 \Delta_i^2 (0,5T_i)^2};$$

$$\Delta_{\text{вз}} = \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i \Delta_{\text{вз}} - t_{\alpha} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \xi_i^2 \Delta_i^2 (0,5T_i)^2}.$$

ЛЕКЦИЯ 10

10. Методы достижения точности замыкающего звена. Методы групповой взаимозаменяемости, регулировки и пригонки

10.1. Метод групповой взаимозаменяемости

Сущность метода заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается путем включения в размерную цепь составляющих звеньев, принадлежащих к одной из групп, на которые они предварительно рассортированы.

При применении метода групповой взаимозаменяемости поле допуска T_A замыкающего звена, заданное условиями задачи, увеличивается в целое число n раз. Расширенное поле допуска, часто называемое производственным допуском, $T'_A = nT_A$, используют для ограничения отклонений составляющих звеньев размерной цепи. Детали, изготовленные по более широким допускам, в сравнении с методами полной или неполной взаимозаменяемости, сортируют на n групп. Изделия собирают из деталей, принадлежащих соответственным группам, что обеспечивает точность изделий в пределах заданного поля допуска T_A и полную взаимозаменяемость деталей в границах каждой группы. При реализации метода необходимо соблюдать два условия:

1. сумма полей допусков увеличивающих составляющих звеньев должна быть равна сумме полей допусков уменьшающих звеньев:

$$\sum_{i=1}^k |k_i| T_i + \sum_{j=1}^m |k_j| T'_j;$$

2. идентичность формы и расположения кривых рассеяния отклонений относительно полей допусков.

Непременность соблюдения первого условия можно пояснить на примере трехзвенной размерной цепи (рис.10.1).

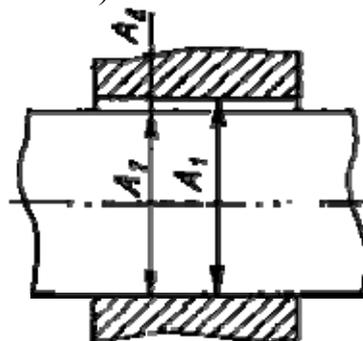


Рис.10.1. Трехзвенная размерная цепь (а)

На рис. 10.1, изображена размерная цепь A , определяющая зазор A_A между валом и отверстием во втулке, $|k_A|=1$:

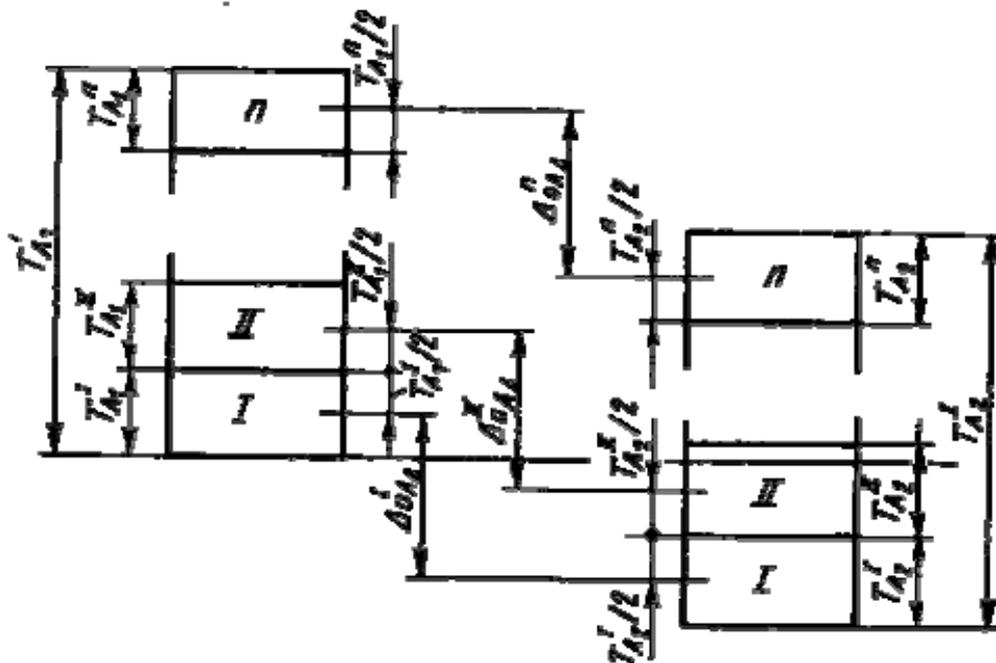
$$A_A = A_1 + A_2.$$

Поле допуска T_A замыкающего звена увеличено в n раз. В соответствии с ним установлены производственные поля допусков T'_A и T''_A составляющих звеньев. Согласно требованию $T'_A = T''_A$.

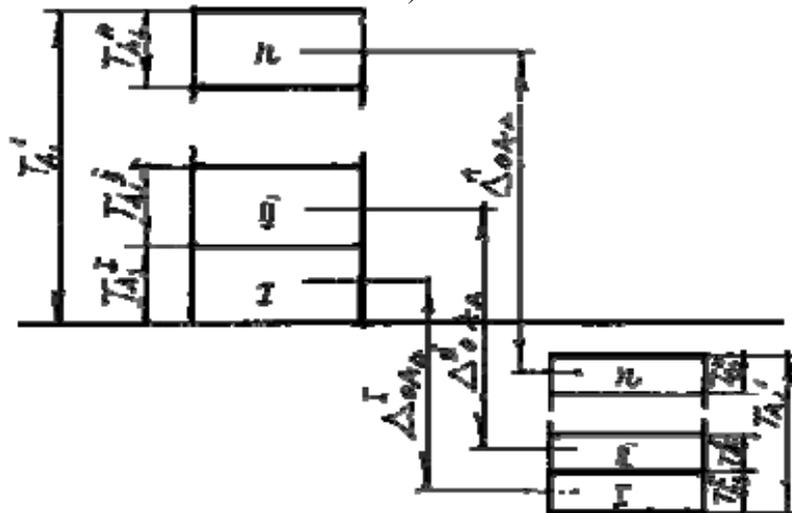
Каждое из полей допусков T_A^I и T_A^II разделено на n интервалов (рис. 10.2, а) так, что

$$\begin{aligned} T_A^I &= T_A^{II} = \dots = T_A^n \\ T_A^I &= T_A^{II} = \dots = T_A^n \\ T_A^I + T_A^{II} &= T_A^{II} + T_A^{III} = \dots = T_A^I + T_A^n = T_A \end{aligned}$$

Таким образом, соединение деталей, взятых из соответствующих групп, обеспечит соблюдение поля допуска T_A точно так же, как и при методе полной взаимозаменяемости.



а)



б)

10.2. Достижение точности методом групповой взаимозаменяемости при соблюдении первого условия (а) и его нарушении (б)

Координата середины поля допуска замыкающего звена для первых интервалов:

$$\Delta_{0A}^I = \Delta_{0A}^I - \Delta_{0A}^I;$$

для вторых интервалов:

$$\Delta_{\theta_{i,j}}^{\text{II}} = (\Delta_{\theta_{i,j}}^I + T_A^I) - (\Delta_{\theta_{i,j}}^I + T_A^I).$$

Поскольку $T_A^I = T_A^{\text{II}}$, то $\Delta_{\theta_{i,j}}^{\text{II}} = \Delta_{\theta_{i,j}}^I - \Delta_{\theta_{i,j}}^I$.

Для последующих интервалов полей допусков, T_{II} и T_{II} координата середины поля допуска замыкающего звена будет оставаться неизменной:

$$\Delta_{\theta_{i,j}}^I = \Delta_{\theta_{i,j}}^{\text{II}} = \dots = \Delta_{\theta_{i,j}}^{\text{II}} = \Delta_{\theta_{i,j}}.$$

Другими словами, при соединении деталей, взятых из соответствующих групп, отклонения замыкающего звена A_j будут находиться в пределах допуска, определяемого заданными значениями T_{A_j} и $\Delta_{\theta_{i,j}}$.

Этого не произойдет, если требование будет нарушено и $T_A^I \neq T_A^{\text{II}}$ (рис.10.2 б), но при этом соблюдены равенство $T_{A_j} = T_A^I + T_{A_j}$.

В этом случае отклонения замыкающего звена A_j , как и прежде, будут находиться в пределах T_{A_j} , так как

$$T_A^I + T_{A_j}^I = T_A^{\text{II}} + T_{A_j}^{\text{II}} = \dots = T_A^{\text{II}} + T_{A_j}^{\text{II}} = T_{A_j}.$$

Однако среднее значение замыкающего звена изделий не будет оставаться постоянным при сборке их из деталей, взятых из разных соответствующих групп. Причиной тому будет изменение координаты середины поля допуска замыкающего звена с изменением номера сочетаемых интервалов T_A^I и T_{A_j} .

Так, для второго интервала

$$\Delta_{\theta_{i,j}}^{\text{II}} = (\Delta_{\theta_{i,j}}^I + T_A^I) - (\Delta_{\theta_{i,j}}^I + T_A^I) \neq \Delta_{\theta_{i,j}},$$

так как $T_A^I \neq T_A^{\text{II}}$.

Разница в значениях координат середин полей допусков по отношению к первому интервалу будет возрастать по мере увеличения номера интервала.

Экономично использовать метод групповой взаимозаменяемости для малозвенных размерных цепей, к точности замыкающих звеньев которых предъявляются высокие требования.

Возможность значительного расширения полей допусков составляющих звеньев и доведение их до экономически достижимых значений делает этот метод в ряде случаев единственно приемлемым для производства высокоточных изделий (отдельных видов подшипников, соединений пальцев и поршней двигателей и т.п.).

При определении экономической эффективности данного метода необходимо учитывать дополнительные расходы, необходимые для точного измерения и сортировки деталей на группы, четкой организации хранения и доставки рассортированных деталей на сборку, исключения путаницы деталей при сборке. Организационные трудности и расходы возрастают с увеличением числа звеньев в размерных цепях и групп сортируемых деталей. Этим и объясняется ограничение области применения метода для малозвенных размерных цепей и стремление иметь число n возможно меньшим.

При достижении точности замыкающего звена методом групповой взаимозаменяемости необходимо соблюдать еще некоторые условия.

Первым из них являются требования к точности формы и относительного поворота поверхностей деталей, соответствующие не производственным (расширенным) допускам на размеры, а групповым допускам, т.е. T_{I}^{II} . Объясняется

это тем, что точность замыкающего звена при методе групповой взаимозаменяемости характеризуется полем допуска T_n , а не $T_n = \sum T_i$. Ему и должно соответствовать ограничение допусками отклонений формы и относительного поворота поверхностей деталей, образующих составляющие звенья размерной цепи.

Вторым требованием, во многом определяющим экономичность метода групповой взаимозаменяемости, является идентичность формы, и расположения кривых рассеяния отклонений относительно полей допусков. Только при соблюдении этого условия будет обеспечиваться комплектность изделий (рис.10.3 а), не будет избытка одних и нехватки других деталей в группах, т.е. случая, показанного на рис. 10.3, б.

Это требование создает дополнительные трудности для изготовителей деталей, которые должны не только соблюдать допуски, но и управлять законами распределения отклонений выдерживаемых размеров.

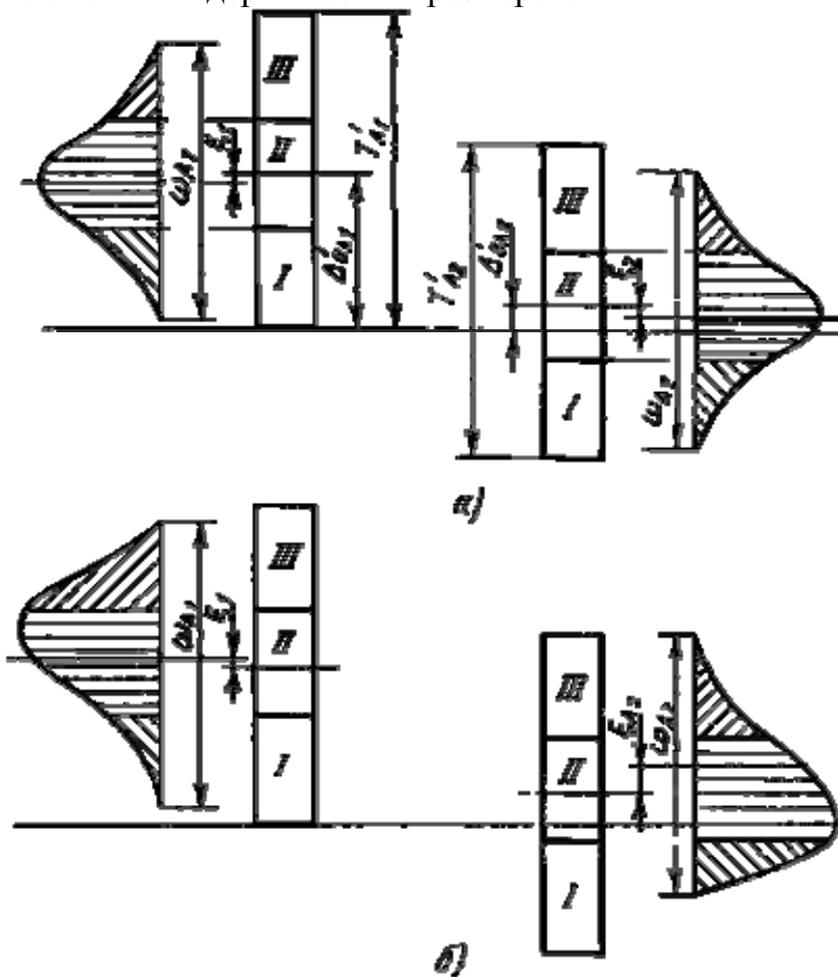


Рис.10.3. Влияние формы и положения кривых рассеяния на собираемость изделий

10.2. Метод пригонки

Сущность метода пригонки заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением размера компенсирующего звена путем удаления с него определенного слоя материала.

При достижении точности замыкающего звена методом пригонки на все составляющие звенья размерной цепи устанавливают целесообразно достижимые (экономичные) в данных производственных условиях допуски:

$$T_1, T_2, \dots, T_{n-1}; \Delta'_1, \Delta'_2, \dots, \Delta'_n.$$

Значения полей допусков, установленные вне связи с заданным значением T_1 поля пуска замыкающего звена, могут привести к тому, что отклонения замыкающего звена будут выходить за его пределы, т.е.

$$\sum_{i=1}^{n-1} k_i T_i = T_1 > T_1.$$

Избыток погрешности на замыкающем звене, наибольшее значение которого называют наибольшей расчетной компенсацией $\delta_1 = T_1 - T_1$, должен быть удален из размерной цепи путем изменения значения заранее выбранного компенсирующего звена.

При выборе в размерной цепи компенсатора руководствуются следующими соображениями.

1. В качестве компенсатора выбирают деталь, изменение размера (являющегося одним из составляющих звеньев) которой при дополнительной обработке требует наименьших затрат.
2. Недопустимо в качестве компенсатора выбирать деталь, размер которой является общим составляющим звеном параллельно связанных размерных цепей. Нарушение этого условия приводит к возникновению погрешности, «блуждающей» из одной размерной цепи в другую.

Произвольное назначение координат середин полей допусков составляющих звеньев может привести к тому, что у компенсатора не окажется нужного запаса материала для пригонки. Для того чтобы обеспечить на компенсаторе минимально необходимый слой материала (припуск) для пригонки, и в то же время достаточный для устранения максимального отклонения замыкающего звена, в координату середины поля допуска компенсирующего звена необходимо ввести поправку Δ_2 .

Пусть в трехзвенной размерной цепи A (рис.10.2) требуемая точность замыкающего звена характеризуется величинами T_A и $\Delta'_{0,2}$; T_1 и T_2 - поля допусков составляющих звеньев, экономически целесообразные для данных производственных условий; $\Delta'_{0,1}$ и $\Delta'_{0,2}$ - координаты середин полей допусков.

При этих допусках отклонения замыкающего звена A_2 возможны в пределах T_A при координате середины поля допуска $\Delta'_{0,2}$. Наибольшее возможное отклонение A_2 отстоит от верхней границы T_A на величину Δ_2 (рис.10.4), значение которой может быть определено следующим путем:

$$\begin{aligned} \Delta'_{0,2} &= \Delta'_{0,1} + \Delta_2; \\ \Delta'_{0,2} + 0,5T_A &= \Delta'_{0,1} + 0,5T_A + \Delta_2; \\ \Delta_2 &= 0,5(T_A - T_1) + \Delta'_{0,1} - \Delta'_{0,2}. \end{aligned}$$

Отсюда

$$\Delta_2 = 0,5\delta_1 + \Delta'_{0,1} - \Delta'_{0,2}.$$

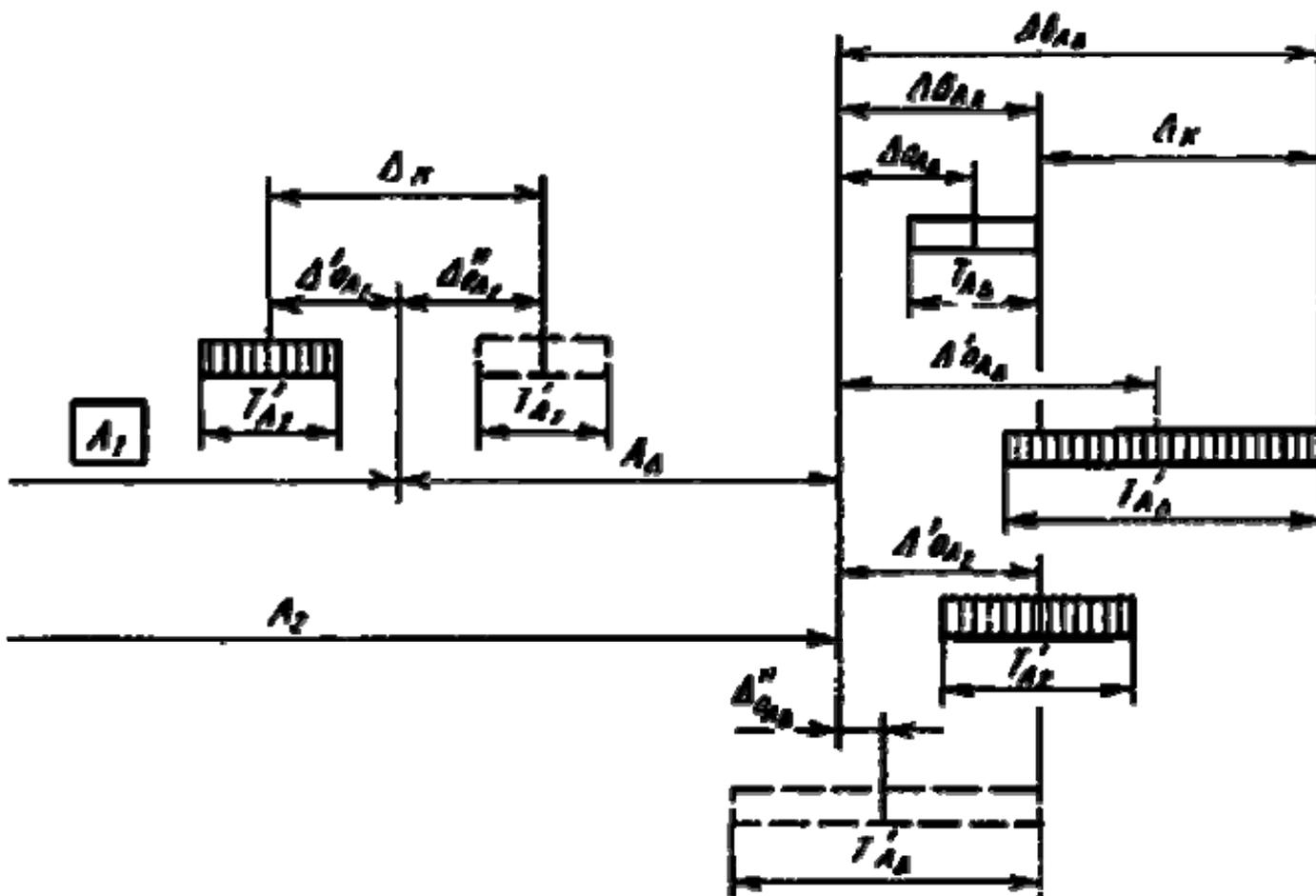


Рис.10.4. Схема определения поправки $\Delta\kappa$

Основным преимуществом метода пригонки является возможность изготовления деталей с экономичными допусками. Методом пригонки может быть обеспечена высокая точность замыкающего звена. Однако пригоночные работы в основном выполняются вручную и требуют высококвалифицированных рабочих.

10.3. Метод регулирования

Сущность метода заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением размера компенсирующего звена без удаления материала с компенсатора.

Принципиально в своей сущности метод регулирования аналогичен методу пригонки. Различие между ними заключается в способе изменения размера компенсирующего звена.

Различают регулирование с помощью подвижного и неподвижного компенсатора.

Достижение точности зазора A_k с применением подвижного компенсатора представлено на рис.10.5 а, а с применением неподвижного компенсатора на рис.10.5 б.

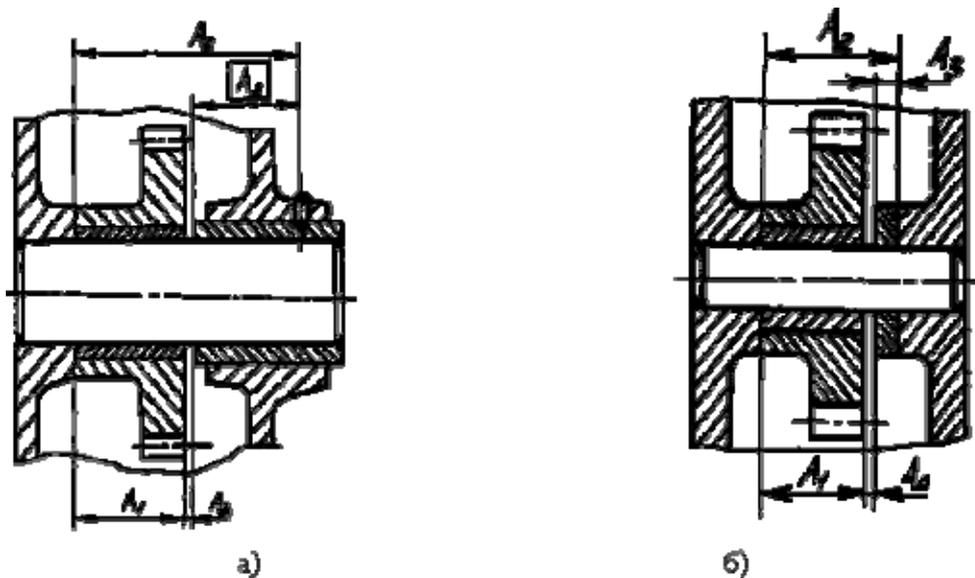


Рис.10.5. Достижение точности зазора Δ_k : а) – с применением подвижного компенсатора; б) – с применением неподвижного компенсатора

Допуски при методе регулирования назначают так же, как при методе пригонки: устанавливают экономически приемлемые для данных производственных условий поля допусков T_1, T_2, \dots, T_{m-1} и координаты их середин $\Delta'_1, \Delta'_2, \dots, \Delta'_{m-1}$.

При применении подвижного компенсатора определяют $\delta_k = T_{\Delta_k} - T_{\Delta'_k}$, которое учитывают при разработке конструкции подвижного компенсатора и определении его разрешающей способности.

При применении неподвижного компенсатора приходится считаться с тем, что неподвижный компенсатор не в состоянии скомпенсировать собственное отклонение. Поэтому

$$T_k^* = \sum_{i=1}^{m-1} |K_i| T_i; \Delta'_k = \sum_{i=1}^{m-1} \zeta_i \Delta'_i,$$

где $m - 2$ означает, что при суммировании значения T_k и Δ'_k компенсатора не учтены.

Следовательно, $\delta_k = T_k^* - T_k$.

Далее необходимо определить число ступеней компенсаторов и их размеры.

$$N = \frac{T_k^*}{(T_k - T_k^*)},$$

где T_k^* — поле допуска, ограничивающее отклонения размера компенсатора.

Для метода регулирования характерны следующие преимущества.

1. Возможно достижение любой степени точности замыкающего звена при целесообразных допусках на все составляющие звенья.
2. Не требуется больших затрат времени на выполнение регулировочных работ, которые могут быть выполнены рабочими невысокой квалификации.
3. Не создается сложностей при нормировании и организации сборочных работ.
4. Обеспечивает машинам и механизмам возможность периодически или непрерывно и автоматически сохранять требуемую точность замыкающего звена, теряемую вследствие изнашивания, теплового и упругого деформирования деталей и других причин.

Преимущества метода регулирования особо ощутимы в многозвенных размерных цепях. Введение в конструкцию машин и механизмов компенсаторов облегчает обеспечение точности замыкающих звеньев не только в процессе изготовления, но и в процессе эксплуатации машин, что положительно отражается на их экономичности.

Завершая рассмотрение методов достижения требуемой точности замыкающего звена, отметим, что теоретико-вероятностные расчеты, присущие методу неполной взаимозаменяемости, могут быть с успехом применены в методах групповой взаимозаменяемости, пригонки и регулирования. Например, использование при суммировании значений производственных полей допусков теоретико-вероятностного метода приведет к меньшему значению δ_1 , а, в конечном счете, - к меньшему числу ступеней компенсаторов и повышению экономической эффективности метода регулирования, хотя это и будет связано с некоторым риском.

ЛЕКЦИЯ 11

11. Построение системы множеств связей свойства материалов и размерных связей в процессе проектирования машины

Машина создается для выполнения конкретного технологического процесса и должна обладать необходимым качеством и быть экономичной.

Обеспечение качества машины начинается с формулировки ее служебного назначения, то есть определения и описания задач, которые должна решать машина и условий, в которых ей предстоит работать, требуемого технико-экономического уровня и так далее.

Конструкция машины представляет собой сложную систему двух множеств связей – свойств материалов и размерных связей. Построение такой системы происходит в процессе проектирования машины. При этом реализуется органическая связь свойств материалов деталей, составляющих машину, формы, размеров, относительного положения их поверхностей и самих деталей с показателями служебного назначения машины.

Таким образом, началом формирования качества машины является формулировка ее служебного назначения.

11.1. Формулировка служебного назначения

Служебное назначение представляет собой четко сформулированную задачу, для решения которой создается машина. Задача при этом максимально «раскрывается» (расшифровывается), с тем, чтобы конкретизировать:

- назначение машины,
- условия эксплуатации, а также определить требования обуславливающие соответствие машины в техническом, экономическом, эргономическом и эстетическом смысле современному уровню.

Служебное назначение машины включает в себе не только словесное описание, но и систему количественных показателей с допусками. Наибольшая сложность в формулировании служебного назначения машины составляет конкретизация ее функций и условий работы, правильное определение значений показателей и допусков.

При уточнении служебного назначения используют следующие источники.

1. Подробные данные о свойствах продукции (вид, материал, размеры, масса, требования к качеству и так далее) для выпуска которой создает машину.
2. Данные о количестве выпуска продукции в единицах времени и по неизменным чертежам (*Мод. Машинст.*).
3. Требования к стоимости продукции.
4. Данные об исходном продукте (вид, качество, количество и так далее).
5. Сведения о технологическом процессе изготовления продукции.
6. Требования к производительности.
7. Условия, в которых должен осуществляться технологический процесс (температура, влажность, запыленность, наличие активных химических веществ и так далее).

8. Требования к надежности машины.
9. Требования к долговечности.
10. Требования к уровню механизации и автоматизации.
11. Условия безопасности работы и обслуживания, удобство управления.
12. Требования к внешнему виду.
13. Вид, качество, количество, источник потребляемой энергии и так далее.

Перечисленные направления конкретизации неполные, так как формулировка служебного назначения каждой машины сугубо индивидуально, специфична и имеет свою систему показателей.

11.2. Сущность задачи, решаемой при проектировании машины

К началу проектирования машины, конструктору должны быть известны номинальные, средние значения и допустимые отклонения следующих групп параметров, определяющих:

1. Требования к качеству продукции — A_i, \bar{A}_i, T_{A_i} ; ее количественный выпуск — N, \bar{N}, T_N ; себестоимость единицы продукции — C, \bar{C}, T_C .
2. Качество исходного продукта — B_x, \bar{B}_x, T_{B_x} .
3. Свойства потребляемой энергии — V_i, \bar{V}_i, T_{V_i} .
4. Состояние окружающей среды — $\Gamma_m, \bar{\Gamma}_m, T_{\Gamma_m}$.

Сущность задачи, решаемой при проектировании машины, представлена на рис. 11.1.

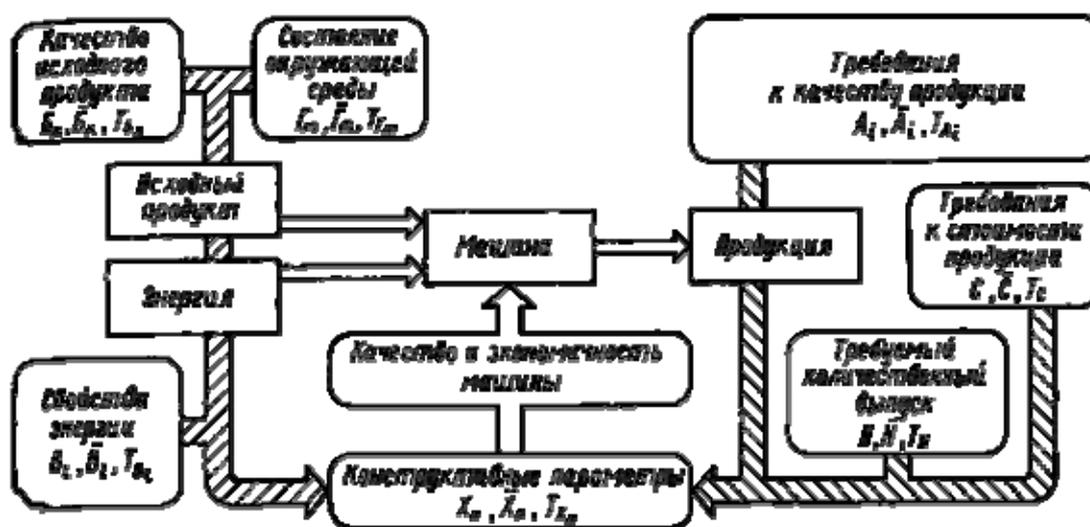


Рис.11.1. Задача, решаемая в процессе проектирования машины

Параметры первой группы устанавливаются в соответствии с требованиями человеческого общества (и нормативами хозяйства). Для удовлетворения этих потребностей и создается машина, поэтому соблюдение параметров первой группы обязательно.

Значение параметров 2-й группы также не могут быть изменены, так как за этим последовало бы создание другой машины.

Способность машины выполнять служебное назначение в заданных условиях обеспечивается рядом ее конструктивных свойств, характеризуемых группой параметров X_2, \bar{X}_2, T_{2x} . К числу этих параметров относятся характеристики материалов, размерных связей, а также их производных (кинематики, жесткости, износостойкости, надежности и так далее).

Смысл проектирования машины заключается в нахождении таких X_2, \bar{X}_2, T_{2x} и таком конструктивном обеспечении их, при которых машина находилась бы в соответствии с условиями определяемыми значениями параметров 1 – 4 групп.

11.3. Выбор видов связей и конструктивных форм исполнительных поверхностей машины

Свое служебное назначение машина выполняет с помощью связей, действующих между ее исполнительными поверхностями. Между исполнительными поверхностями могут действовать размерные, кинематические, динамические, гидравлические, пневматические, электрические, магнитные, звуковые, световые и другие связи.

Проектирование машины всегда начинается с выбора связей, позволяющих машине осуществлять требуемый технологический процесс экономично.

Требуемые виды связей исполнительных поверхностей машины выбирают в соответствии с ее служебным назначением.

Вид и форму исполнительных поверхностей машины устанавливают исходя из ее служебного назначения и в результате совокупного рассмотрения вида и характера необходимых связей, выявленных ранее.

Большую роль при решении этой задачи играет конструкторская преемственность.

Например, выбор исполнительных поверхностей токарного станка – сочетание поверхностей шпинделя (под центр, планшайбу, патрон), поверхности конического отверстия пиноли и поверхности резцедержателя был сделан с целью осуществления кинематических и размерных связей. Однако на эти же поверхности возлагается и осуществление динамических связей, то есть передачу сил и моментов сил, необходимых для процесса резания, сил для закрепления заготовки и тому подобное (рис.11.2).

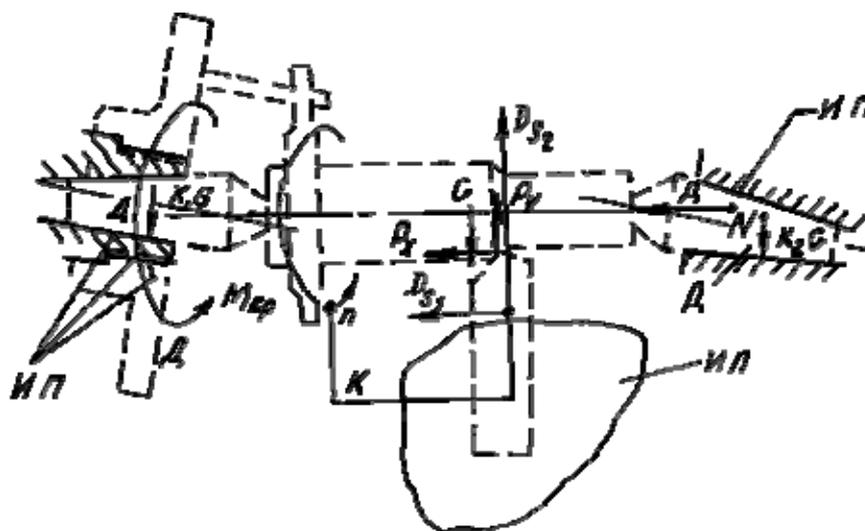


Рис.11.2. Исполнительные поверхности токарного станка и связи между ними

11.4. Переход от показателей служебного назначения машины к показателям связей ее исполнительных поверхностей

Целью перехода является установление значений показателей связей исполнительных поверхностей машины, исходя из значений показателей ее служебного назначения.

Основной путь перехода – это расчет, для проведения, которого необходимо соответствующие уравнения связи:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где y – один из показателей служебного назначения;

x – показатели вида связи исполнительных поверхностей машины, влияющие на y .

Например, при проектировании токарного станка, для получения поверхностей вращения и плоских поверхностей деталей необходимо обеспечить вращение заготовки и прямолинейное движение режущего инструмента. В соответствии с этим исходные уравнения кинематической связи исполнительных поверхностей станка будет иметь вид:

$$V_s = nS,$$

где V_s – скорость подачи прямолинейного движения режущего инструмента мм/мин;

n – частота вращения шпинделя, мин^{-1} ;

S – подача мм/об .

Скорость прямолинейного движения режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности детали характеризует производительность станка. Требуемая производительность задается его служебным назначением.

Желание иметь $V_z \text{max}$ сдерживается 2 факторами: стойкостью режущего инструмента, зависящей от V , и точностью обработки, зависящей от S . Поэтому при выборе n и S приходится учитывать требуемую точность обработки различных деталей; методы обработки, требующие различные режимы обработки, и, в связи с этим, появляется необходимость в диапазонах и рядах чисел оборотов, представляющих собой показатели кинематической связи исполнительных поверхностей токарного станка.

Для снятия с заготовки требуемого слоя материала необходимо приложения режущими кромками инструмента к заготовке определенной силы резания. Силы резания задаются действием динамических связей исполнительных поверхностей токарного станка.

Сила резания:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2},$$

где

$$P_x = C_{P_x} t^{m_x} S^{n_x} V^{p_x} k_{Mn};$$

$$P_y = C_{P_y} t^{m_y} S^{n_y} V^{p_y} k_{Mn};$$

$$P_z = C_{P_z} t^{m_z} S^{n_z} V^{p_z} k_{Mn}.$$

Силы резания рассчитываются исходя из: наибольшей глубины резания t , наибольшей твердости материала k_M , наибольшей подачи S и наименьшей скорости V .

Для расчета силы резания режимы обработки берут из формулировки служебного назначения.

Далее, например, составляющая P_x создается вращающим моментом M_n . Исходя из требуемых значений P_x , на исполнительных поверхностях шпинделя нужно создать момент

$$M_{\alpha} = P_{\Sigma} \times 0,5D$$

P_{Σ} создается силой подачи и так далее.

Все необходимые виды связей в машине создают с помощью деталей, имеющих определенные геометрические формы, размеры, относительные положение и изготовленных из определенных материалов. Материалы и возможность придания им нужных форм, размеров и положения – это все чем располагает конструктор для создания требуемых связей в машине.

Поэтому, проектируя машину, конструктор вынужден неоднократно осуществлять переход от одного вида связи к другому, и, в конечном счете, сводить все виды связей, требующиеся для работы машины, к материалам деталей и размерным связям. В учебнике приведен пример (смотрите самостоятельно) – электрический двигатель.

11.5. Преобразование связей в процессе проектирования машины

Все необходимые виды связей в машине создают с помощью деталей, имеющих определенные геометрические формы, размеры, относительное положение и изготовленных из определенных материалов. Таким образом, конструктор для создания требуемых связей в машине располагает лишь материалами и возможностью придания им нужных форм, размеров и положения. Поэтому, проектируя машину, конструктор вынужден многократно осуществлять переход от одного вида связи к другому и в конечном счете сводить все виды связей, требующиеся для работы машины к материалам деталей и размерным связям.

Для перехода от одного вида связей к другому необходимо иметь уравнение, отражающее зависимость показателя (функции) преобразуемого вида связи от показателей (аргументов) вида связи, к которому осуществляется переход.

Переход в номиналах и допусках от параметров продукции машины к связям свойств материалов и размерным связям, можно рассмотреть на примере электродвигателя (рис.11.3).

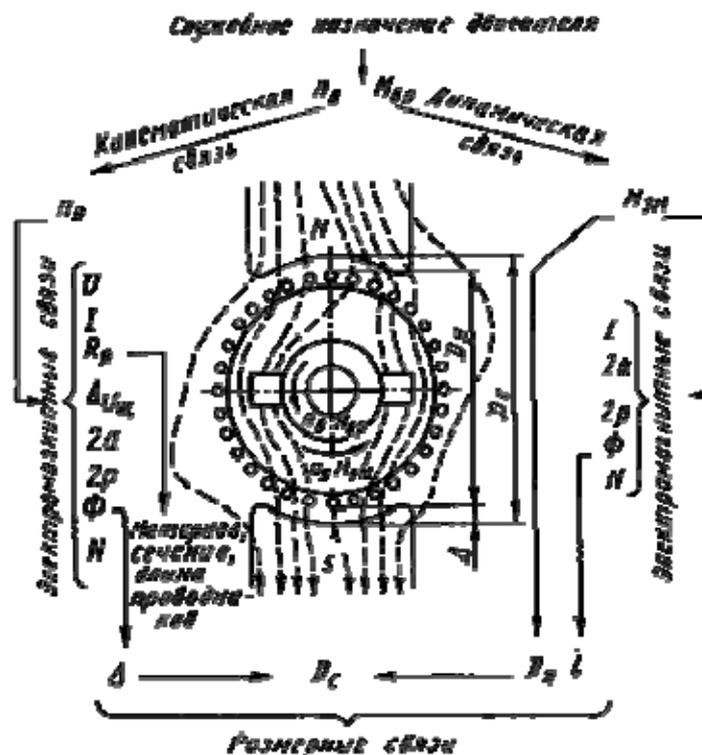


Рис.11.3. Преобразование связей в электродвигателе

Электродвигатель предназначен для создания вращательного движения с частотой вращения вала n_e (мин^{-1}) и вращающим моментом M_{ep} на валу. Вращательное движение вала с определенной скоростью и вращающий момент являются продукцией электродвигателя, заданные соответственно T_n, \bar{n}_e и T_M, \bar{M}_{ep} .

Вращение электродвигателя является результатом его кинематической связи с якорем ($n_e = n_j$), а вращающий момент – динамической связи ($M_{ep} = M_{ep1}$). Каждая из них осуществляется через электромагнитные связи.

Переход от кинематической связи к электромагнитной может быть выполнен в номиналах с помощью уравнения:

$$n_1 = \frac{E \alpha 60}{p \Phi N}$$

где E – электродвижущая сила в обмотке якоря, $E = U - IR_a - \Delta U_c$, при этом U – напряжение питания электродвигателя; I – сила тока в обмотке якоря; R_a – сопротивление обмоток якоря; ΔU_c – падение напряжения на щетках,

$2a$ – число пар параллельных ветвей обмотки якоря,

$2p$ – число пар полюсов электродвигателя,

Φ – магнитный поток в зазоре,

N – число проводников в обмотке якоря.

Дальнейшие преобразования позволяют перейти от сопротивления с якоря R_j к материалу, длине и сечению проводников обмотки, используя зависимость:

$$R_j = \rho \frac{l}{S},$$

где ρ – удельное сопротивление материала проводников, характеризующие свойства материала;

l и S – соответственно длина и сечение проводников.

А, воспользовавшись уравнением магнитного потока:

$$\Phi = \frac{MDC}{[l_i / \mu S_{Fe} + \Delta]},$$

где MDC – магнитодвижущая сила;

l_i – средняя длина силовой линии;

μ – магнитная проницаемость железа;

S_{Fe} – сечение железа;

Δ – воздушный зазор,

можно, исходя из величины Φ , установить минимальный воздушный зазор Δ между якорем и статором, параметры характеристик свойств материалов магнитов и площадь их сечения.

Для создания требуемого вращающего момента на валу двигателя необходимо перейти от заданного СН двигателя момента к электромагнитному моменту M_{em} . Так как $M_{em} = M_{\sigma}$, то на основании зависимости:

$$M_{em} = \frac{1}{2\pi} \frac{P}{a} \Phi NI$$

можно подойти к значениям аргументов с позиции обеспечения требуемой динамической связи исполнительных поверхностей двигателя. Так как $M_{em} = 0,5 D_j \Phi NI$, то, используя выбранные значения N и Φ можно установить номинальный диаметр якоря.

Для установления норм точности двигателя необходимо перейти от допусков на параметры продукции двигателя к допускам на показатели размерных связей и свойств материалов. Например, зависимость поля допуска на частоту вращения от

полей допусков на параметры электромагнитных связей выглядит следующим образом:

$$T_{\Sigma} = \sqrt{\left(\frac{\partial \epsilon_s}{\partial \Phi}\right)^2 T_{\Phi}^2 + \left(\frac{\partial \epsilon_s}{\partial R_s}\right)^2 T_{R_s}^2 + \left(\frac{\partial \epsilon_s}{\partial \Delta v_{\Sigma}}\right)^2 T_{\Delta v_{\Sigma}}^2 + \left(\frac{\partial \epsilon_s}{\partial W}\right)^2 T_W^2}.$$

Средние допустимые значения аргументов и функции находятся в следующей зависимости:

$$\epsilon_s = \frac{(U - IR - \Delta v_{\Sigma}) \cdot 60}{p \Phi N}.$$

Помимо задания требуемой точности связей в машине методом расчета, являющегося основным, в практике машиностроения используют и другие пути. Требуемая точность связи может быть установлена:

- на основании экспериментов, поставленных на опытных образцах, первых экземплярах или макетах машин;
- путем имитационного моделирования процесса работы машины и явлений, сопутствующих ее работе;
- в результате опыта эксплуатации аналогичных машин создаваемой;
- путем логических умозаключений и на основании опыта лица, проектирующего машину.

Однако последние два пути менее надежны, так как отражают лишь то, что достигнуто в прошлом, и не могут быть избавлены от субъективизма.

ЛЕКЦИЯ 12

12. Этапы конструирования машины и разработка размерных связей в машине

12.1. Этапы конструирования машины

Цель конструирования машины – выбор материалов с соответствующими свойствами и придание им нужных конструктивных форм, размеров, положения, т.е. построение такой системы связей, которая была бы способна качественно и экономично осуществлять предписанный процесс.

Конструирование машины обычно начинают с обеспечения в машине требуемых форм движения. Движение любой формы создается каким-то источником движения. В машинах с механической формой движения исполнительных поверхностей источником движения чаще всего является двигатель (электрический, гидравлический и др). Выбор двигателя зависит от назначения машины, законов относительного движения исполнительных поверхностей, требуемой мощности, коэффициента полезного действия и экономичности применения. Дальнейшее конструирование машины может быть следующим.

1. После выбора источника движения и форм движения определяют исполнительные поверхности или заменяющие их сочетания поверхностей надлежащей формы.
2. Выбирается закон относительного движения исполнительных поверхностей, обеспечивающий выполнение машины ее служебного назначения.
3. Разрабатывается кинематическая схема машины и всех ее составляющих звеньев.
4. Рассчитываются силы, действующие на исполнительные поверхности, и характер их действия.
5. Зная служебное назначение каждого звена кинематических цепей машины и ее механизм, закон движения, характер, величину действующих сил и ряд других факторов выбирают материал для каждого звенья.
6. Путем расчета определяют основные конструктивные формы, то есть звенья кинематической цепи превращают в детали машин.

Для того чтобы детали, несущие исполнительные поверхности машины, а также все другие детали, выполняющие функции звеньев кинематических цепей двигались в соответствии с выбранными законами и занимали требуемое положение, их соединяют при помощи ряда деталей, называемых базирующими (станины, кронштейны, корпуса и тому подобное) деталями.

Конструктивные формы каждой детали создают исходя из ее служебного назначения путем ограничения необходимого объема выбранного материала различными поверхностями и их сочетаниями.

Разработку начинают с деталей несущих исполнительные поверхности машины, затем переходят к деталям, осуществляющим в машине передачу движения, и, наконец, разработку конструктивной формы базирующих деталей.

Конструктивные формы поверхностей детали рекомендуются разрабатывать в следующей последовательности:

1. **исполнительные поверхности** – это поверхности, с помощью которых деталь непосредственно выполняют свое служебное назначение;
2. **вспомогательные поверхности (базы)** — поверхности, определяющие положение деталей, присоединяемых к данной детали;
3. **основные поверхности (базы)** – поверхности, определяющие в машине положение самой детали;
4. **свободные поверхности** – поверхности свободные от прикосновения других деталей.

Например, необходимо разработать конструктивные формы вала II редуктора, приведенного на рис. 12.1.

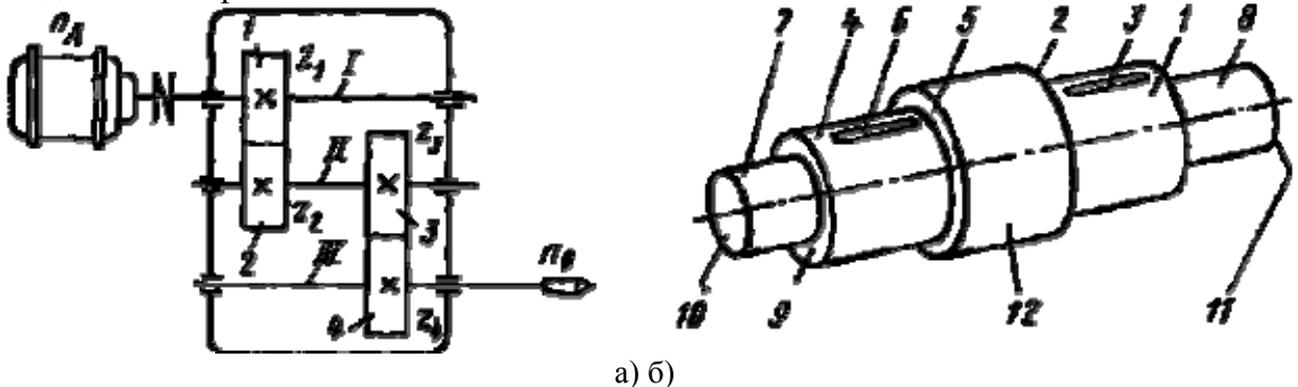


Рис.12.1. Кинематическая схема редуктора (а) и конструктивные формы вала II (б)

Вал II предназначен для передачи вращательного движения и крутящего момента от колеса 2 к колесу 3, каждый из них относительно вала надо лишить 6 степеней свободы. Для этого необходимо создать два комплекта вспомогательных баз, в качестве которых могут быть взяты поверхности любой геометрической формы. Однако ради экономичности изготовления детали для первого комплекта вспомогательных баз целесообразно выбрать в качестве двойной направляющей базы цилиндрическую поверхность 1 (рис.12.1 б), в качестве опорной базы, лишаящей зубчатое колесо перемещение вдоль оси вала, плоскую поверхность 2. Вторую опорную базу, лишаящую зубчатое колесо вращения вокруг оси вала, удобнее создать с помощью промежуточной детали – шпонки, для размещения которой на валу надо предусмотреть паз 3. По аналогии с этим поверхности вала 4, 5, 6 составят второй комплект вспомогательных баз. Чтобы определить положение с сидящими на нем зубчатыми колесами относительно других деталей узла, требуется создать комплект основных баз. В принципе опорные поверхности могут быть любой формы (конические, бочкообразные и т.д.), но с точки зрения экономичности изготовления детали выгоднее сделать их цилиндрическими. Две опорные короткие цилиндрические поверхности 7 и 8 образуют основную двойную направляющую базу вала. Перемещения вдоль оси вала может быть лишен с помощью плоской поверхности 9, которая будет основной опорной базой. Наконец, для ограничения длины вала необходимо выбрать две плоские поверхности 10, 11 и использовать цилиндрическую поверхность 12 для придания удобной формы средней части вала. Тогда объем материала окончательно примет конструктивные формы вала, являющегося звеном кинематической цепи.

Аналогичным путем разрабатывают конструктивные формы любых деталей машин.

12.2. Разработка размерных связей в машине

При разработке размерных связей в машине определяют размеры поверхностей деталей, положение поверхностей деталей, относительное положение деталей в механизмах, относительное положение механизмов в машине.

Размеры поверхностей деталей устанавливаются в результате преобразования кинематических связей:

- длин плеч рычагов;
- шаги резьбы ходовых винтов;
- число зубьев зубчатых колес и т. д.

Расчеты на прочность, жесткость, выносливость, износостойкость позволяют определить основные размеры поверхностей исходя из их служебного назначения и свойств выбранного материала. В результате таких расчетов устанавливают, например, модули, диаметры делительных окружностей и ширину зубчатых венцов, типы подшипников, длины и диаметры шеек валов и т. д.

Переход от действующих нагрузок на кинематических звеньях к размерам поверхностей с учетом избранных материалов является преобразованием динамических связей в размерные.

Положение поверхностей деталей зависит от их служебного назначения (исполнительные, основные, вспомогательные, свободные).

Комплекты баз образуются основными и вспомогательными поверхностями, материализующими соответствующие прямоугольные системы координат (рис.12.2).

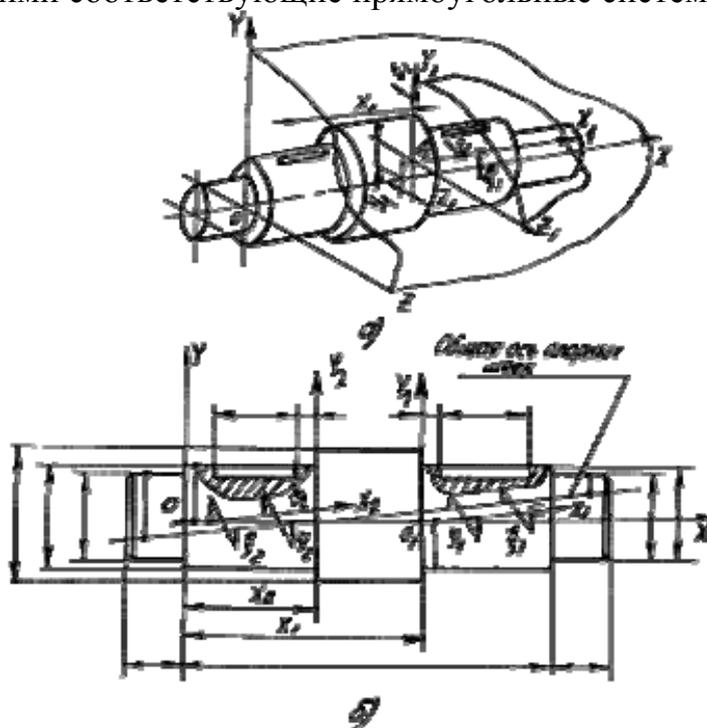


Рис.12.2. Установление размерных связей между поверхностями вала

В комплекте положение баз должно быть вполне определенным. Например, в комплекте баз для:

- призматической детали (3–2–1) опорная база должна быть перпендикулярна к направляющей, а направляющая — перпендикулярна к установочной;
- детали типа диска (3–2–1) опорная база должна быть перпендикулярна к двойной опорной, а двойная опорная – перпендикулярна к установочной;
- цилиндрической детали (4–1–1) опорные должны быть перпендикулярны к двойной направляющей.

Участие каждого размера детали в решении задачи строго определено. Поэтому каждая деталь в соответствии со своим служебным назначением может иметь лишь единственный вариант простановки размеров в ее чертежах.

К сожалению, это учитывается не всегда.

Построение машины осуществляется путем соединения деталей в СЕ и СЕ между собой. Происходит это в результате соприкосновения основных баз присоединяемых деталей и СЕ со вспомогательными базами базирующих деталей или СЕ. Иначе говоря, соединение деталей и СЕ представляет собой совмещение соответствующих систем координат.

12.3. Обеспечение требуемой точности связей исполнительных поверхностей машины

Обеспечение требуемой точности размерных связей исполнительных поверхностей машины чаще всего решается с помощью размерных цепей с использованием одного из пяти методов достижения требуемой точности замыкающего звена.

Например: токарно-винторезный станок, в соответствии с его служебным назначением должен быть способен нарезать различные резьбы. Параметр резьбы, зависящий от кинематики – шаг P (рис.12.3).

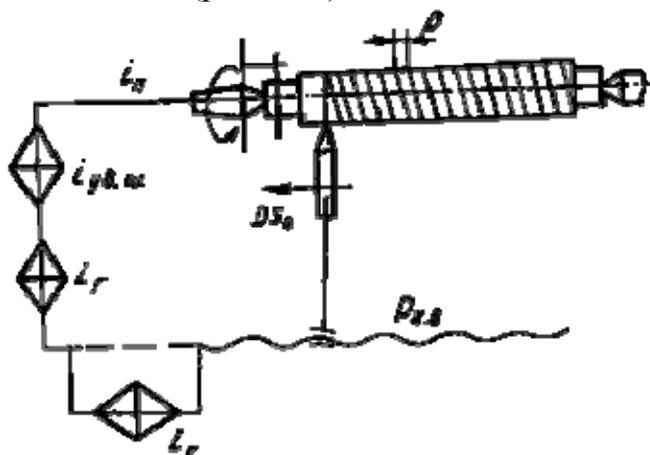


Рис.12.3. Кинематическая цепь токарно-винторезного станка, обеспечивающая получение резьбы с шагом P

Образование шага резьбы осуществляется посредством кинематической цепи. Связь продольного перемещения резца с вращением заготовки в образовании шага резьбы при одном обороте шпинделя может быть представлена уравнением:

$$P = i_{\text{шпиндель}} \cdot i_{\text{ув.шаг}} \cdot P_{\text{резьба}}$$

где i_n – передаточное отношение коробки скоростей с постоянным по номиналу передаточным отношением;

$i_{\text{ув.ш.}}$ – передаточное отношение звена увеличения шага;

i_r – передаточное отношение гитары сменных колес;

i_k – передаточное отношение коробки подач;

$p_{х.в.}$ – шаг ходового винта.

В служебном назначении станка заданы допуски, ограничивающие отклонение шагов резьбы (T_P) разных типов. Исходя из T_P , можно ограничить допусками отклонения передаточных отношений механизмов токарно-винторезного станка:

$$T_P = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \alpha_1}\right)^2 T_{\alpha_1}^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial \alpha_{r.m.}}\right)^2 T_{\alpha_{r.m.}}^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial \alpha_2}\right)^2 T_{\alpha_2}^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial \alpha_3}\right)^2 T_{\alpha_3}^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial \varphi_{r.e.}}\right)^2 T_{\varphi_{r.e.}}^2}$$

Определив допуск каждого кинематического звена, необходимо задать допуски на размеры кинематического звена на основе преобразования кинематических связей в размерные.

Например: так как передаточное отношение зубчатой передачи есть отношение радиусов основных окружностей, находящихся в зацеплении пары колес,

$$i_z = r_o / r_a$$

то,

$$T_{i_z} = \sqrt{\left(\frac{\partial i_z}{\partial r_o}\right)^2 T_{r_o}^2 + \left(\frac{\partial i_z}{\partial r_a}\right)^2 T_{r_a}^2}$$

Таким образом, можно перейти к точности размеров деталей, выполняющих в станке роль кинематических звеньев.

Любая машина представляет собой не абсолютно жесткую, а упругую систему, детали которой деформируются: под действием нагрузок, изменением температур и остаточных напряжений. К тому же детали машин изнашиваются.

Все перечисленное приводит к тому, что точность деталей, достигнутая при изготовлении, не остается постоянной.

Изменяются значения всех показателей геометрической точности деталей (размеров, расстояний, относительных поворотов, формы), а также положение самих деталей в машине.

Поэтому при точностных расчетах должны быть установлены допустимые границы действия каждого динамического фактора, исходя из допуска на показатели геометрической точности и положения деталей, а также предусмотрены средства, обеспечивающие действия факторов в установленных границах. Однако, пока нет общей методики расчета точности машин с учетом действия динамических факторов, расчеты ведут выборочно в местах, где воздействие отдельных динамических факторов проявляется наиболее активно. Так как в конечном счете, динамические явления проявляются в изменении размеров деталей, то на сегодня расчеты ведут основываясь на теории размерных цепей.

Например: В машине (рис.12.4) необходимо обеспечить, чтобы за все время эксплуатации поверхности К и М (исполнительные) находились на расстоянии A_c с допуском отклонением в пределах поля допуска T_{A_c} . Это требование может быть выполнено. Если в работающей машине отклонения составляющих звеньев A_i размерной цепи будут находиться в пределах полей допусков T_{A_i} , установленных в результате расчета размерной цепи A :

$$T_{A_c} \geq T_{A_1} + T_{A_2} + T_{A_3}$$

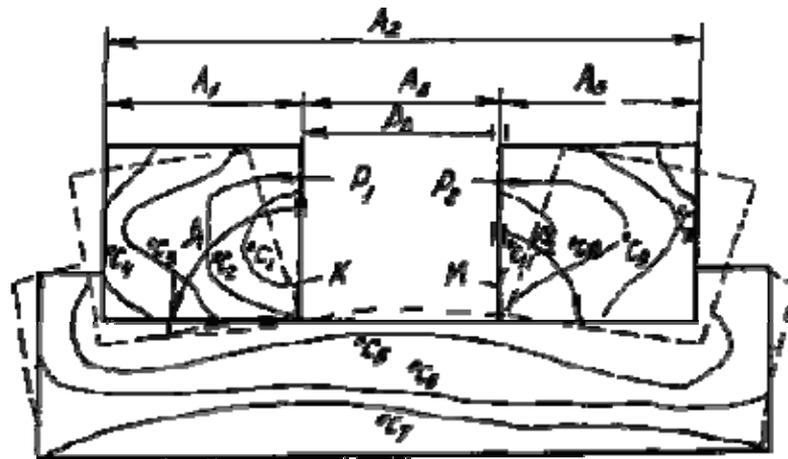


Рис.12.4 Изменения размеров звеньев размерных цепей в работающей машине

Причинами отклонений значений каждого составляющего звена могут быть погрешности изготовления деталей, погрешности монтажа деталей, упругие перемещения, возникающее под действием рабочих нагрузок P , тепловые деформации из-за нагрева и неравномерности нагрева, деформации деталей из-за перераспределения остаточных напряжений, износ детали.

Если попытаться учесть перечисленные факторы, то T_A каждого звена будет являться суммой допусков, ограничивающих эти факторы. Например, для звена A_1 допуск будет равен:

$$T_A \geq T_{A_{из}} + T_{A_{сб}} + T_{A_{уп}} + T_{A_{теп}} + T_{A_{ост}} + T_{A_{изн}}$$

где $T_{A_{из}}$ – допуск, ограничивающий погрешность изготовления детали;

$T_{A_{сб}}$ – допуск, ограничивающий погрешность сборки;

$T_{A_{уп}}$ – допуск, ограничивающий погрешность от упругих деформаций;

$T_{A_{теп}}$ – допуск, ограничивающий погрешность от тепловых деформаций;

$T_{A_{ост}}$ – допуск, ограничивающий погрешность от остаточных напряжений;

$T_{A_{изн}}$ – допуск, ограничивающий погрешность изнашивания.

Соблюдение допуска $T_{A_{из}}$ полностью связано с технологией изготовления детали. Остальные составляющие зависят от технологии изготовления и конструирования.

В процессе конструирования точность обеспечивается путем решения целого ряда задач.

Так на допуск $T_{A_{сб}}$ влияет оформление основных и вспомогательных баз, требования, предъявленные к ним, решение задачи закрепления, результаты расчета контактных деформаций и деформаций самой детали под действием закрепления.

Так на допуск $T_{A_{уп}}$ влияют упругие перемещения под воздействием нагрузок, зависящих от жесткости детали. Исходными данными для определения жесткости детали являются, с одной стороны допуск, ограничивающий упругое перемещение в направлении A_1 , с другой стороны – максимальное значение P^{max} действующих сил при работе. Характеристикой минимально необходимой жесткости j^{min} детали является прямая, проходящая через начало координат системы y, P и точку с координатами y^{max} и P^{max} (рис.12.5 а). Исходя из значения j^{min} и допуска T_j , ограничивающего отклонения жесткости, конструктор должен предпринять меры по обеспечению необходимой жесткости детали.

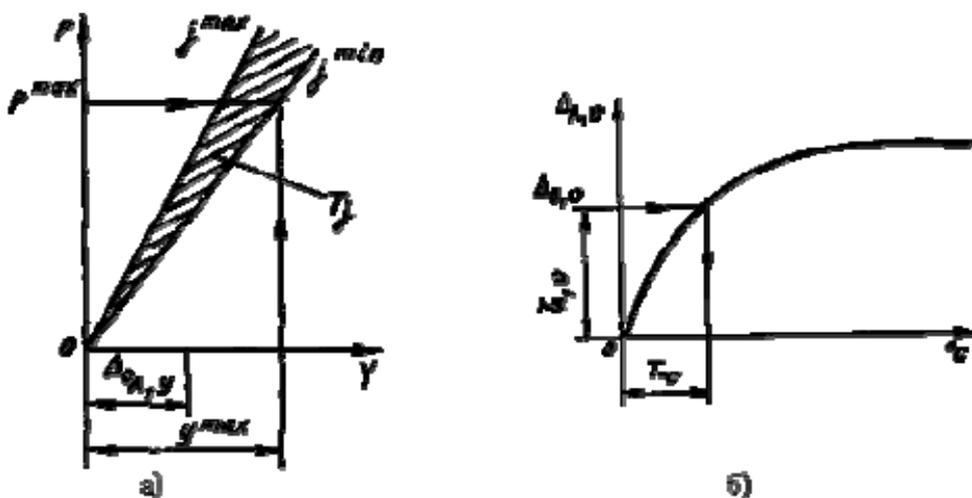


Рис.12.5. Разработка требований к жесткости детали (а) и тепловому режиму ее работы (б)

Обеспечение тепловых деформаций детали в пределах допуска T_{Δ_s} связано с поддержанием температурного режима работающей машины. Для соблюдения требуемого теплового режима в машине может оказаться необходимым оснащение ее устройствами стабилизации температуры (рис.12.5 б).

Малоизученным и трудно управляемым являются процессы деформирования деталей из-за перераспределения остаточных напряжений. Опасны деформации тем, что они могут проявляться спустя много времени после изготовления машины, когда она попадает к потребителю и будет находиться в эксплуатации. Пока основные мероприятия по борьбе с деформированием деталей из-за перераспределения остаточных напряжений предпринимают при изготовлении деталей и сборки машины.

Мерами предотвращения изнашивания детали машины являются следующие:

- выбор материала надлежащей износостойкости;
- конструирование разветвленной и надежной системы смазывания;
- выбор вида смазывающего материала, соответствующего условиям и режимам работы машины;
- создание защиты трущихся поверхностей детали от проникновения пыли и грязи.

Таким образом, первый этап создания машины ? ее проектирование, завершается выдачей чертежей, являющихся графическим отображением машины, т.е. системы множеств связей, свойств материалов и размерных связей. Второй этап ? изготовление машины, является реализацией этой системы связей с помощью производственного процесса.

ЛЕКЦИЯ 13

13. Реализация размерных связей в машине в процессе сборки

Технологический процесс сборки складывается из ряда переходов, включающих соединения деталей в СЕ и общую сборку машины. В процессе соединения придается требуемое относительное положение деталей и различных СЕ и фиксируется.

К технологическому процессу сборки относятся также переходы, связанные:

- с проверкой правильности действия СЕ и различных устройств;

- с регулированием машины и ее механизмов;
- с очисткой;
- с мойкой;
- окраской деталей, СЕ и машины в цепи;
- с разборкой (если машина отправляется потребителю в разобранном виде).

Процесс сборки – заключительный этап в изготовлении машины и определяющий этому процессу подчиняются все остальные.

В общем случае достижение требуемой точности машины в технологическом процессе сборки осуществляется не через конструкторские, а через технологические размерные цепи. Технологические размерные цепи полностью совпадают с конструкторскими при достижении точности замыкающего звена размерной цепи методами взаимозаменяемости: полной, неполной, групповой. При использовании регулировки и пригонки технологические цепи отличаются от конструкторских. Примером может служить размерная цепь A (рис.13.1), определяющая зазор A_4 между торцами шестерни простановочного кольца в редукторе.

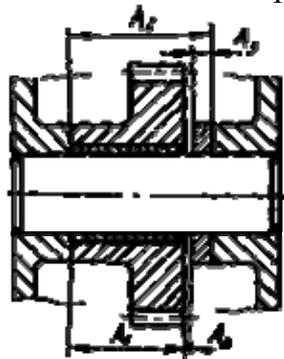


Рис.13.1. Конструкторская размерная цепь A

Точность замыкающего звена A_4 будет достигаться не с помощью размерной цепи A , а уже с помощью технологической размерной цепи B (рис.13.2), в которой $B_4 = A_4$ и $B_1 = B_1 - B_2$.

Значение звена B_1 может быть выявлено двумя способами: непосредственным измерением звена B_1 (рис.13.3) или путем расчета размерной цепи D (рис.13.4).

При первом способе достижения точности замыкающего звена ограничение отклонений допусками определяется схемой:

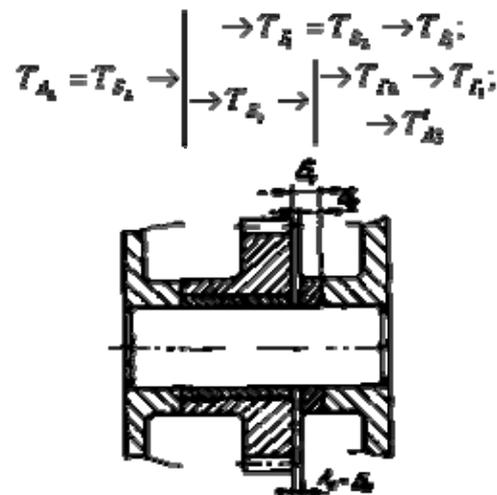


Рис.13.2. Технологическая размерная цепь B

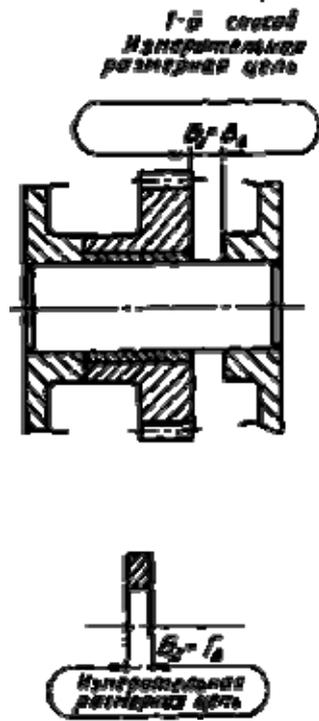


Рис.13.3. Первый способ определения звена E_1

При втором способе достижения точности замыкающего звена ограничение отклонений допусками определяется схемой:

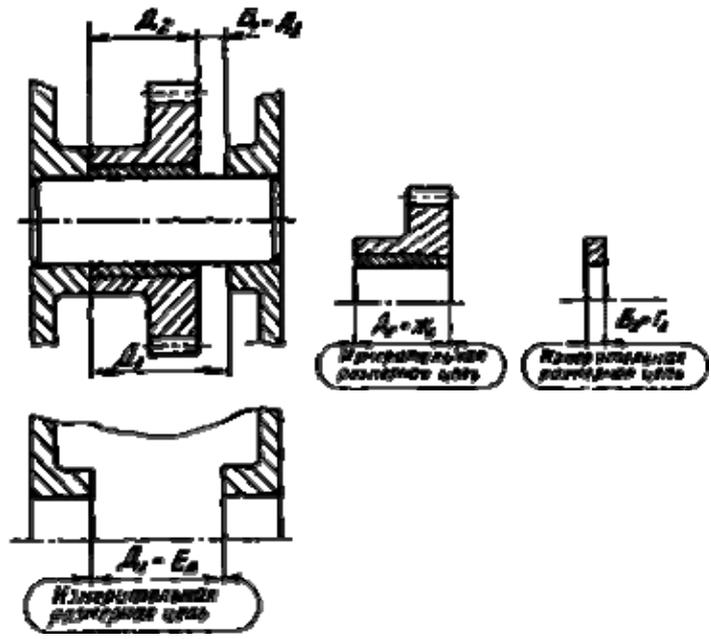
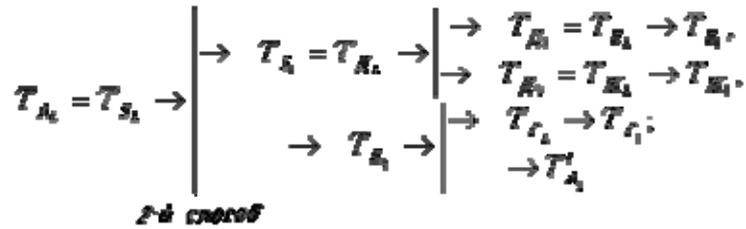


Рис.13.4. Второй способ определения звена E_1

При втором способе размерные цепи оказываются более сложными. Однако этот способ может оказаться предпочтительней из-за меньшей трудоемкости.

13.2. Причины отклонений размерных связей, возникающих при сборке машины

Точность реализации размерных связей в машине в процессе ее сборки зависит от многих факторов, основными из которых является:

- отклонение формы, относительного поворота, и расстояний деталей при их изготовлении. Эти отклонения приводят к отклонениям положения деталей от требуемого, к неправильному сопряжению и так далее;
- деформации самих деталей и стыков между ними. Деформации являются причинами нарушения геометрической точности деталей по всем показателям, а следовательно, и изменения их положения, достигнутого до приложения силового замыкания;
 - погрешность измерения;
 - неточность и состояние технической оснащённости;
 - относительные сдвиги деталей в промежутке между базированием и закреплением;
 - культура производства (грязь, заусеницы, задиры на поверхностях соединения);
 - квалификации сборщика.

13.3. Деформирование деталей в процессе сборки машины

Деформация деталей **под воздействием сил тяжести** наблюдается в тех случаях, когда недостаточно жесткая деталь имеет большую массу, например станины, рамы, основания и т.п. Такие детали деформируются под действием собственной силы тяжести уже при установке их на фундамент, стенд. Если деформации оказываются сопоставимыми с допусками, ограничивающими отклонение геометрических показателей, принимают меры по уменьшению последствий деформирования.

Мерами, по уменьшению последствий деформаций, могут быть следующие.

1. Повышение жесткости базирующих деталей за счет увеличения числа опор (к шести неподвижным опорам устанавливают дополнительные подвижные опоры в виде регулируемых клиновых опор, домкратов и т. п.).
2. Преднамеренное наделение изготавливаемой детали погрешностью противоположной по характеру и значению деформации детали, возникающей в процессе сборки машины. Например, для обеспечения прямолинейности длинных направляющих некоторых станков при установке станины на операции отделочной обработки ее деформируют, придавая направляющим отклонение в сторону вогнутости.
3. Исправление деформированных поверхностей шабрением при сборке машины. Обрабатываются шабрением основные (вспомогательные) базы базирующих деталей СЕ, деформированные под тяжестью смонтированных на ней деталей.

13.3.1. Деформации деталей при закреплении

В резьбовых соединениях на детали и СЕ при закреплении воздействует случайно сформировавшаяся система сил, по следующим причинам:

- отклонения формы, поворотов основных и вспомогательных баз деталей приводят к случайному местоположению точек контакта сопрягаемых поверхностей;
- отклонения поворота крепежных отверстий относительно баз деталей, неперпендикулярность площадок, на которые опираются гайки и головки болтов, относительно осей крепежных отверстий, а также неперпендикулярность торцов болтов к их резьбе смещают точки приложения сил закрепления:
- колебания сил затяжки, сил сопротивления в резьбах приводит к тому, что значение силового замыкания отличается от расчетного:
- последовательность затяжки крепежных деталей.

Перечисленные факторы приводят к пластическому и упругому деформированию стыков. Самих деталей и СЕ. При этом в процессе закрепления могут возникнуть деформации изгиба, кручения и т.д., снижающие качество сборки и работоспособность изделий. Например при установке редуктора на основание (рис.13.2) отклонения формы поверхностей баз приведут к контакту корпуса редуктора с основанием в трех случайно подобравшихся точках (1—3).

При закреплении винтом 4 под воздействием пары сил N_1N_1 редуктора опрокинется относительно линии, соединяющей точки 1 и 2, и соприкоснется с основанием в точке 5, оторвавшись от точки 3. Установка винта 6 и его затяжка вызовет деформацию корпуса и его касание с основанием справа стороны. При закреплении деформации подвергнутся донная часть, полки корпуса, его боковые стенки, что может нарушить положение подшипников и привести к защемлению вала. Деформируются при этом и крепежные детали из-за чего их работа, не будет соответствовать расчетной схеме.

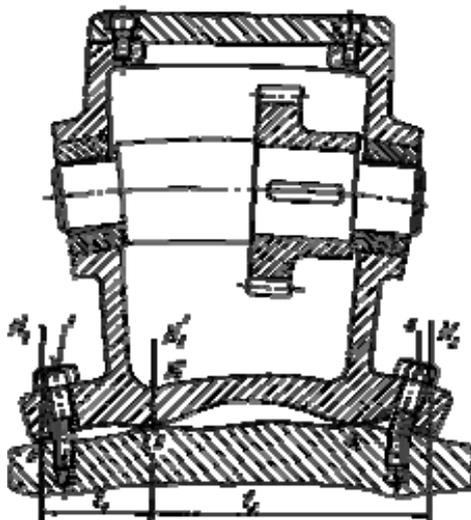


Рис.13.2. Деформирования деталей редуктора при закреплении

Уменьшению погрешностей сборки, вызванных деформированием деталей при закреплении, способствуют:

1. Правильное конструктивное оформление баз деталей и средств крепления. Исключающее (уменьшающее) возможность возникновения пар сил, изгибающих и скручивающих детали.

2. Затяжка крепежных деталей с равномерной силой и требуемым моментом затяжки. Использование предельных (тарированных) ключей позволяет обеспечить требуемый момент затяжки.

3. Обеспечение при изготовлении деталей правильного положения крепежных отверстий и площадок под гайки и головки болтов. Отклонение от перпендикулярности оси резьбового отверстия относительно площадки под головку болта приведет к перекоосу болта при ввинчивании и изгибу при затяжке (рис.13.3).

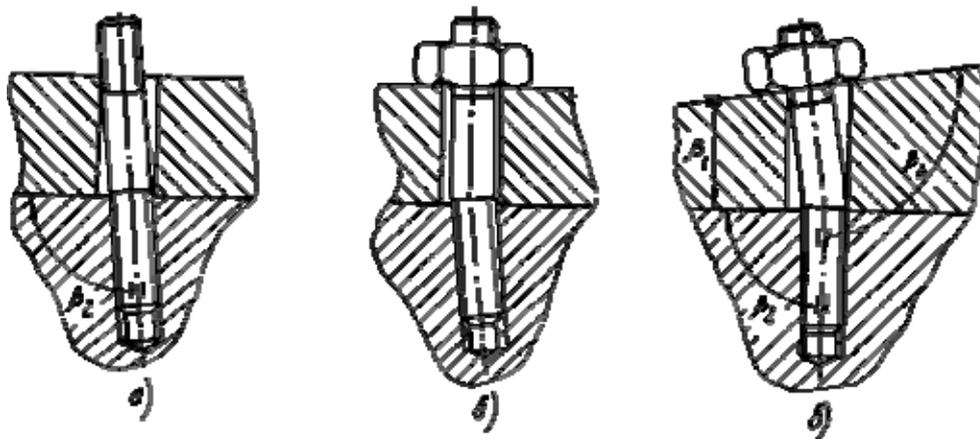


Рис.13.3. Погрешности, возникающие при сборке резьбовых соединений

4. Соблюдение определенной последовательности завинчивания гаек или винтов при большом их числе. Последовательность закрепления гаек и винтов основана на принципе сокращения упругих деформаций сопрягаемых деталей в направлении от середины к краям (рис.13.4).

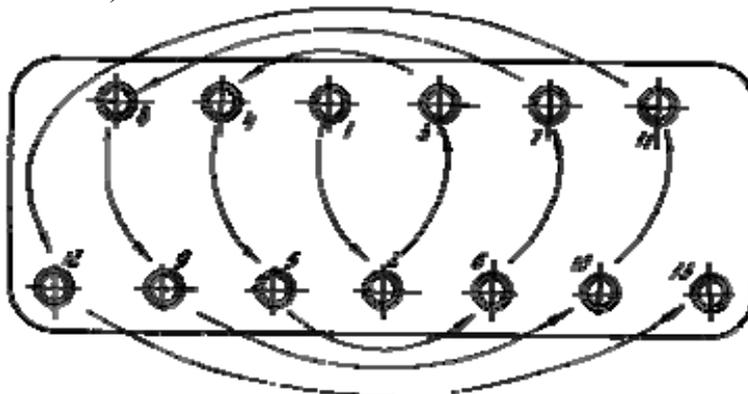


Рис. 13.4. Последовательность затяжки гаек или винтов

13.3.2. Деформации деталей при сборке соединений с натягом

Соединения деталей с натягом достаточно широко распространены. На процесс запрессовки влияют:

- макрогеометрические отклонения поверхностей сопряжения деталей, их волнистость и шероховатость;
- неоднородность свойств материала;
- нецентральное приложение усилий запрессовки;

- дефекты и загрязнение поверхностей сопряжения соединяемых деталей.

Повышению качества и уменьшению трудоемкости соединения деталей с натягом способствует следующее.

1. Изменение размера одной из сопрягаемых деталей или обеих одновременно за счет разности их температур. Если охватываемую деталь (вал) охладить до температуры:

$$t_1 = \frac{(d - d_1) + \Delta_1}{k_{\alpha} d},$$

где d_1 - диаметр вала;

d - диаметр втулки;

Δ_1 - наименьший зазор, обеспечивающий свободное соединение деталей;

k_{α} - коэффициент линейного расширения охлаждаемой детали,

то ее можно свободно забазировать с требуемой точностью.

Аналогичный эффект может быть достигнут при нагреве охватывающей детали (втулки) до температуры:

$$t_2 = \frac{(d - d_1) + \Delta_2}{k_{\alpha} d},$$

но не выше 350-370° С.

Для охлаждения используют твердую угольную кислоту ($t=78,5^{\circ}$ С), жидкий азот, кислород, воздух ($t = 180-195^{\circ}$ С).

Охлаждение ведут в термостатических камерах или шкафах. Нагрев в масляных ваннах или газовых средах.

Прочность посадок с нагревом при передаче крутящего момента больше прочности обычных посадок (микронеровности сопрягаемых поверхностей как бы сцепляются друг с другом. При этом лучшие результаты при соединении с охлаждением.

2. Устранение относительных перекосов деталей, особенно в первоначальный момент их соединения

3. Соответствие силы запрессовки натягу. Наибольшая сила запрессовки, необходимая для сборки, может быть определена:

$$P = f \pi p d L.$$

где f - коэффициент трения при запрессовке;

p - давление на поверхностях контакта;

d - диаметр поверхности сопряжения охватываемой детали, мм;

L - длина запрессовки, мм.

Скорость запрессовки обычно составляет 1-10 мм/с. Наибольшая прочность соединения достигается при скорости до 3 мм/с.

4. Тщательная очистка и промывка деталей перед соединением с натягом. Наличие на поверхностях сопряжения даже незначительных загрязнений приводит к задирам и снижению качества сборки. Для предотвращения задиров сопрягаемые поверхности покрывают тонким слоем смазочного материала.

13.4. Погрешности измерений

Процесс сборки машины сопровождается многочисленными измерениями. Ни одно измерение не может быть выполнено абсолютно точно, поэтому присущие ему отклонения влияют на качество машины.

Погрешность измерения представляет собой степень приближения познанного значения измеряемой величины к ее действительному значению. Например, измерение размера A детали (рис.13.5 а) будет сопровождаться погрешностью измерения, состоящей из систематической погрешности $\Delta_{\text{изм}}$ и случайной - $\sigma_{\text{изм}}$. Рассеяние случайных отклонений чаще подчинено нормальному закону. Таким образом познанные значения размера A могут находиться между значениями $A^{\text{н}}$ и $A^{\text{п}}$.

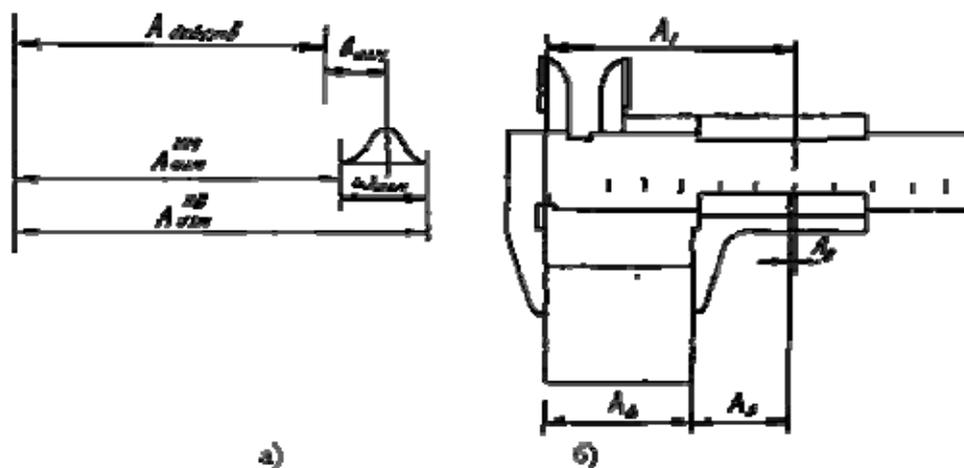


Рис.13.5. Схема образования погрешности измерения

Измеряемый объект при измерении включается в размерные, а иногда и в кинематические цепи, замыкающими звеньями которых являются познанные значения измеряемых величин. Так при измерении размера A_c помощью штангенциркуля (рис.13.5б), размерная цепь A отображает размерные связи, с помощью которых познается значение A_c .

Отклонение A_c , возникшее в процессе измерения, и является суммой отклонений составляющих звеньев размерной цепи A , является тем отклонением, с которым будет познано действительное значение измеряемого размера.

Процесс измерения состоит обычно из трех этапов: установки, настройки системы измерения и собственно измерения. На каждом этапе измерения возникают погрешности соответственно σ_1^* , σ_2^* , σ_3^* .

Основными причинами σ_1^* являются: отклонение поверхностей измерительных баз детали (объект измерения) от правильной геометрической формы; состояния рабочих поверхностей измерительного средства (инструмента, прибора, приспособления); неправильное приложение сил, фиксирующих относительное положение измеряемого объекта и средств измерения; недостаточная квалификация лица, проводящего измерение.

Погрешность статической настройки σ_2^* зависит: от правильного выбора методов и средств, используемых при настройке, погрешности отсчета, состояния измерительного средства, недостаточной квалификации лица, проводящего измерения и др. факторов.

Погрешность динамической настройки σ_d зависит: от величины и колебания сил, возникающих в процессе измерения; жесткости средства и объекта измерения; от значения и колебания температуры средств и объекта измерения; состояния средств измерения, недостаточной квалификации лица, проводящего измерения, и ряда др. факторов.

Таким образом, погрешность измерения представляет собой сумму погрешностей, которая схематично может быть отображена формулой:

$$\sigma_{изм} = \sigma_s + \sigma_t + \sigma_d.$$

Размерные цепи, возникающие при измерении, могут быть весьма сложными, особенно в тех случаях, когда измерение включает в себя несколько операций (переходов). Например. Определение размера A_1 у детали, представленной на рис.8.6, потребует нескольких операций (переходов), каждая из которых будет сопровождаться $\sigma_{изм}$.

В производственных условиях методы и средства измерения выбирают таким образом, чтобы погрешность измерения не превышала 1/10-1/6 допуска на измеряемый параметр объекта измерения (машины или детали). При соблюдении этого условия погрешностью измерения пренебрегают. В противном случае $\sigma_{изм}$ должна быть учтена путем установления производственного допуска, величина которого определяется по формуле:

$$T_{доп} = T_A - T_{изм}$$

где $T_{доп}$ — производственный допуск, в пределах которого допустимы отклонения при изготовлении изделия;

T_A - допускаемое отклонение измеряемого параметра;

$T_{изм}$ - допускаемое отклонение, ограничивающее погрешность измерения параметра изделия.

ЛЕКЦИЯ 14

14. Проявление отклонений формы, относительного поворота поверхностей деталей и расстояния между ними

Обычно предполагают, что деталь машины это кусок выбранного материала, ограниченный геометрически правильными, т.е. идеальными поверхностями, расположенными параллельно или перпендикулярно относительно друг друга в строгом соответствии со служебным назначением детали. Собранная из идеальных деталей машина представляется идеальной.

Идеализация машины и деталей лежит в основе методов назначения допусков и оценки точности деталей и машины. Представляя машину такой, какой она показана на рис. 14.1 а,

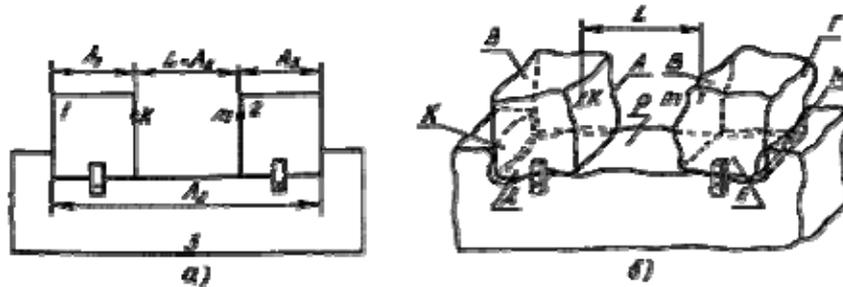


Рис.14.1. Идеализированное (а) и реальное (б) представление о машине

для обеспечения расстояния L между точками k и m выявляют размерную цепь A , считая $L = A_2$, и распределяют T_{A_2} между составляющими звеньями, при этом считают, что отклонения формы и относительного поворота должны находиться в пределах допуска на размер или составлять его часть соответственно 25%, 40%, 60%.

У деталей машины нет и, не может быть, идеально правильных плоских, цилиндрических или конических поверхностей. Поэтому машина, собранная из реальных деталей в действительности имеет вид, показанный на рис.14.1 б, несколько утрировано.

На точность расстояния L будут влиять не только поворот, форма, и расстояния поверхностей деталей связанных размерной цепью A_2 , но и отклонения от перпендикулярности поверхностей A к D ; B к E ; K и M к P , а также отклонения формы этих поверхностей. Все эти отклонения необходимо ограничивать допусками, исходя из: $T_{A_2} = T_L$. Однако применяемые методы назначения допусков не дают возможности выполнить это.

Несовершенство методов расчета допусков и оценки точности деталей на практике проявляется в том, что из деталей, признанных годными, не всегда получаются качественные изделия. Результаты повторной сборки из тех же деталей отличаются от результатов, которые были достигнуты при первой сборке.

Переход к новой идеализации поверхностей деталей заставляет отказаться от ряда привычных положений и понятий.

1. Если у деталей поверхности неидеальны, то теряет смысл принятое понятие о расстоянии, параллельности, перпендикулярности. Нужно для характеристики относительного положения поверхностей и деталей использовать что-то иное.

Например, характеристики относительного положения систем координат, материализуемые точками контакта по основным и вспомогательным базам.

2. На подбор и определение местоположения точек контакта влияют рельефы поверхностей сопряжение обеих соединяемых деталей. Например, на рис. 14.2 представлено образование расстояния A_2 между торцами втулок, посаженных на вал без зазора. В обоих случаях на валу сидят одни и те же втулки. Только на рис. 14.2 б втулка 2 повернута относительно первоначального положения на 180° , что вызвало изменение замыкающего звена на величину Δ . Причиной изменения явилась смена точек контакта на торцах деталей, повлекшая за собой возникновение новых значений составляющих звеньев размерной цепи.

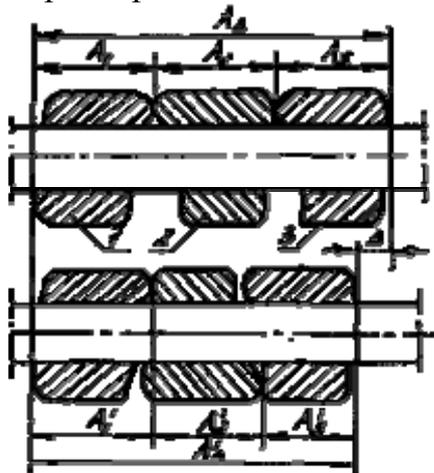


Рис.14.2. Возникновение действительных размеров деталей в момент их соединения

Возникает вопрос о правильности подхода и оценки точности деталей. Оценка точности должна быть нацелена на выявление пределов, в которых может проявляться действительные значения размеров.

3. Возникающие на точках контакта системы координат остаются связанными с деталями, пока сохраняется ее контакт с деталями, базирующими ее. Каждая смена точек контакта означает переход детали в другую систему координат.

4. В установлении относительного положения координатных систем связанных с деталью, отклонения формы, поворота, удаленности основных и вспомогательных баз выступает в своем единстве и определенной функциональной зависимости.

Отклонения формы поверхностей влияют на местонахождение точек контакта. Расположение точек контакта влияет на относительный поворот, удаленность координатных плоскостей и систем, связанных с деталью. При этом относительный поворот является функцией не только собственного поворота, но и отклонений формы поверхностей детали, а удаленность – функцией собственной удаленности, их относительного поворота и формы.

Отказ от идеализации геометрической формы поверхностей деталей позволяет глубже вникнуть в сущность явлений, сопутствующих достижению точности машин, укрепить теоретическую основу методов назначения допусков и оценки точности.

14.1. Характеристики относительного положения баз деталей

Если об относительном положении основных и вспомогательных баз детали судить по положению координатных плоскостей систем, возникающих на точках

контакта, то характеристиками относительного положения баз будут характеристики относительного положения соответствующих координатных плоскостей, выраженных в координатах точек контакта.

Известно, что положение одной системы относительно другой характеризуется координатами ее начала и тремя углами Эйлера.

Например: положение плоскости $X_1O_1Y_1$ (вспомогательная) относительно XOY (основная) характеризуют два угла Эйлера:

1. угол θ (угол нутации) – характеризует величину;
2. угол ψ (угол прецессии) – характеризует направление поворота $X_1O_1Y_1$ относительно XOY . Однако нагляднее вместо $\angle \psi$ использовать $\angle \beta$ (показывающий направление перпендикуляра, опущенного из начала координат).
3. угол φ (угол собственного вращения системы $O_1X_1Y_1Z_1$) – отражает относительный поворот XOZ и $X_1O_1Z_1$, совмещенных с основной и вспомогательной направляющими базами детали.

Плоскость контакта, проходящая через первую (x_1, y_1, z_1) ; вторую (x_2, y_2, z_2) ; третью (x_3, y_3, z_3) точки контакта может быть выражена уравнением:

$$\begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = 0$$

и общим уравнением:

$$A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0,$$

тогда

$$\text{tg } \theta = \sqrt{A_1^2 + B_1^2} / C_1.$$

Для нахождения третьего угла Эйлера φ , необходимо знать координаты четвертой (x_4, y_4, z_4) и пятой (x_5, y_5, z_5) точек контакта, материализующих координатную плоскость $X_1O_1Z_1$, совмещенную с направляющей вспомогательной базой детали.

Приближенно угол φ может быть определен по формуле:

$$\cos \varphi = \sin \beta \cos \Delta \varphi - \cos \beta \sin \Delta \varphi,$$

где $\Delta \varphi = \arctg \Delta y / \Delta x$; здесь $\Delta x = x_5 - x_4$; $\Delta y = y_5 - y_4$; $\Delta z = z_5 - z_4$.

Координатная плоскость $X_1O_1Z_1$ описывается уравнением:

$$\begin{vmatrix} c_1 & \Delta z \\ B_1 & \Delta y \end{vmatrix} x + \begin{vmatrix} A_1 & \Delta z \\ C_1 & \Delta x \end{vmatrix} y + \begin{vmatrix} B_1 & \Delta y \\ A_1 & \Delta x \end{vmatrix} z + \begin{vmatrix} z_4 & y_4 \\ z_5 & y_5 \end{vmatrix} A_1 + \begin{vmatrix} x_4 & z_4 \\ x_5 & z_5 \end{vmatrix} B_1 + \begin{vmatrix} y_4 & x_4 \\ y_5 & x_5 \end{vmatrix} C_1 = 0$$

или, в общем виде

$$A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0.$$

Координатная плоскость $Y_1O_1Z_1$, проходящая через шестую точку контакта (x_6, y_6, z_6) , описывается уравнением:

$$\begin{vmatrix} B_1 & C_1 \\ B_2 & C_2 \end{vmatrix} x + \begin{vmatrix} C_1 & A_1 \\ C_2 & A_2 \end{vmatrix} y + \begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix} z + \begin{vmatrix} C_1 & B_1 \\ C_2 & B_2 \end{vmatrix} x_6 + \begin{vmatrix} A_1 & C_1 \\ A_2 & C_2 \end{vmatrix} y_6 + \begin{vmatrix} B_1 & A_1 \\ B_2 & A_2 \end{vmatrix} z_6 = 0$$

или в общем виде:

$$A_3x + B_3y + C_3z + D_3 = 0$$

Непараллельность плоскости контакта координатной плоскости совмещенной с основной установочной базой (рис.14.3 а), характеризуется вектором. Составляющие \vec{n}_1 и \vec{n}_2 вектора $\vec{\theta}$ представляют собой отклонения плоскости контакта от перпендикулярности к координатным плоскостям YOZ и XOZ.

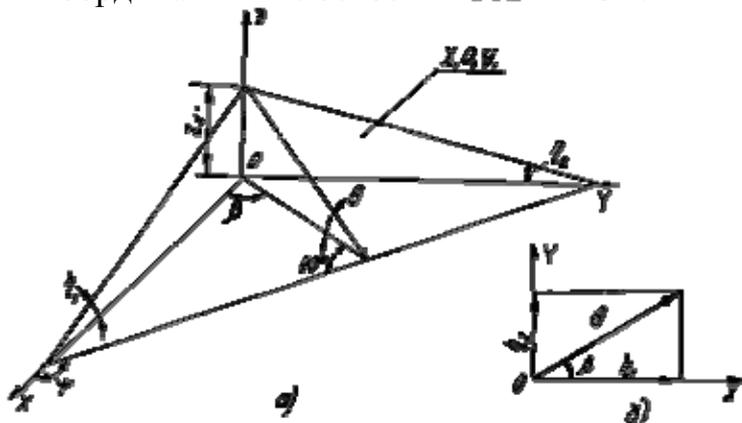


Рис.14.3. Характеристики относительного положения координатных плоскостей, совмещенных с основной и вспомогательными установочными базами деталей

Относительные повороты координатных плоскостей, совмещенных с основными и вспомогательными направляющими и опорными базами детали также можно изображать векторами $\vec{\theta}_1$ и $\vec{\theta}_2$ (рис.14.4), значения углов θ_1 , β_1 и θ_2 , β_2 могут быть определены по формулам:

$$\cos \theta_1 = \cos \beta \sin \varphi + \sin \beta \cos \varphi \cos \theta;$$

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{1}{\sin \theta} (\sin \beta \operatorname{tg} \varphi - \cos \beta \cos \theta);$$

$$\cos \theta_2 = \sin \beta \cos \varphi + \cos \beta \sin \varphi \cos \theta;$$

$$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{1}{\sin \theta} (\cos \beta \operatorname{tg} \varphi - \sin \beta \cos \theta).$$

Относительную удаленность координатных плоскостей можно характеризовать координатами начала системы O_1, X_1, Y_1, Z_1 . Однако удобнее характеризовать относительную удаленность поверхностей деталей отрезками осей системы координат (построенной на ее основных базах), отсекаемыми координатными плоскостями, совмещенными со вспомогательными базами. В этом случае, говоря об относительной удаленности поверхностей детали, можно вернуться к привычному термину «расстояние». При этом **расстояния** между поверхностями реальной детали – это отрезки Z_k , Y_L , X_M осей соответственно OZ, OY, OX, значения которых можно определить по формулам:

$$Z_k = -D_1/C_1; Y_L = -D_2/B_2; X_M = -D_3/A_3,$$

где $D_1, C_1, D_2, B_2, D_3, A_3$ – свободные члены и коэффициенты при неизвестных в уравнениях координатных плоскостей.

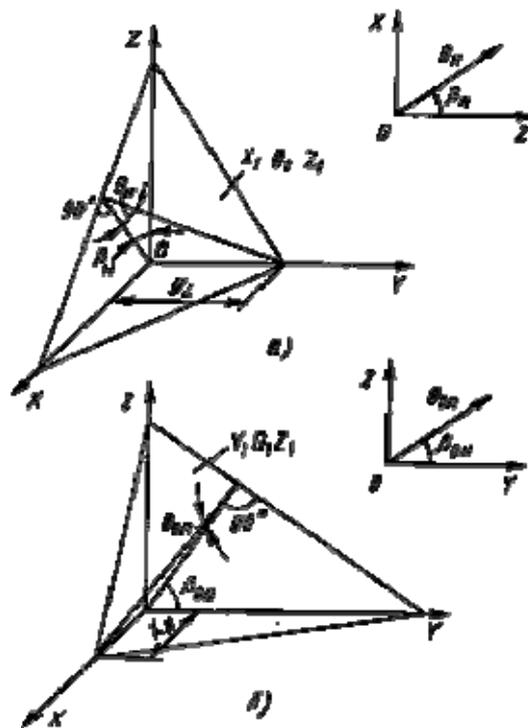


Рис.14.4. Характеристики относительного положения координатных плоскостей, совмещенных с основными и вспомогательными направляющими (а) и опорными базами (б)

В зависимости от полноты сведений о рельефе поверхностей сопряжения в практике машиностроения встречаются 3 типа задач:

1. Известны рельефы (описаны) поверхности сопряжения. Это позволяет однозначно определить координаты точек контакта, воспроизвести на них систему координат и характеризовать относительное положение поверхностей детали определенными величинами.

2. Известен (описан) рельеф одной из сопрягаемых деталей и известны пределы, в которых могут находиться погрешности формы второй детали. В этом случае можно лишь судить о возможном местоположении точек контакта деталей, поскольку оно случайно. Поэтому характеристики относительного положения будут носить случайный характер.

Подобного типа задачи возникают при контроле деталей.

Точность относительного поворота и удаленности поверхностей необходимо характеризовать при контроле не однозначными параметрами, а пределами, в которых возможно проявление и нахождение этих параметров при установке деталей в машине.

3. Известны только пределы, в которых могут изменяться рельефы поверхностей детали (обеих соединяемых). Случайность подбора – еще выше. К этому типу относятся задачи, связанные с расчетом допусков.

14.2. Определение местонахождения точек контакта деталей

Возникновение точек контакта на установочных, направляющих и опорных базах детали происходит в момент их соединения одновременно. Однако из-за сложности описания этого явления удобнее рассматривать возникновение точек контакта последовательно на каждой из баз.

В зависимости от исходных данных в трех типах задач определение местоположения точек контакта выполняется по разным методикам.

В **задачах первого типа**, когда известны рельефы обеих сопрягаемых деталей, определение местонахождения точек контакта сводится к следующему.

На поверхностях **установочных** баз деталей отыскиваются точки с максимальной суммой координат Z_i и Z'_i (рис.14.5 а) и двух точек, для которых тангенсы углов поворота присоединяемой детали в двух направлениях до соприкосновения с базирующей минимальны. Найденные три точки, образуя треугольник, должны охватывать место приложения равнодействующей R_y силового замыкания деталей на установочную базу.

На поверхностях **направляющих** баз деталей сначала отыскиваются точки с максимальной суммой координат Y_i и Y'_i (рис.14.5 б), а затем точки, для которых будет наименьшим тангенс угла поворота, присоединяемой детали до соприкосновения с базирующей. При этом две точки контакта должны располагаться по разные стороны от плоскости, проходящей через равнодействующую силового замыкания R_x перпендикулярно к установочной базе детали.

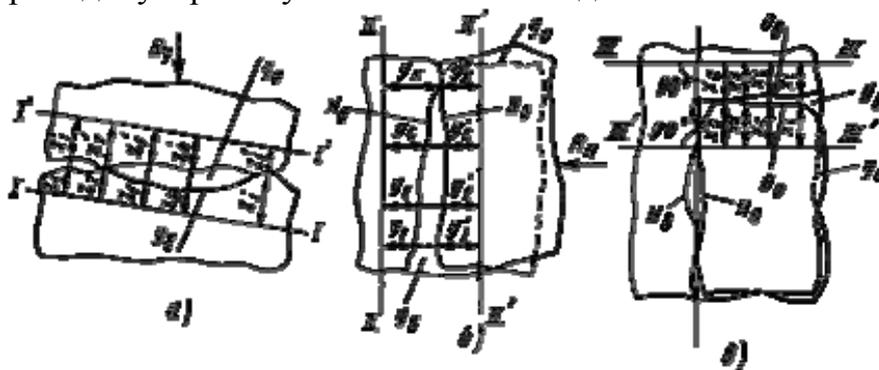


Рис.14.5. Определение местонахождения точек контакта деталей в задачах первого типа

На поверхности **опорных** баз отыскиваются точки с максимальной суммой координат X_i и X'_i (рис.14.5 в).

Определение местонахождения точек контакта в задачах второго типа представляет собой вероятностную задачу, так как заранее неизвестно, какая именно деталь, из имеющейся совокупности, будет присоединена к базирующей.

Экспериментальное наблюдение за возникновением точек контакта на поверхностях баз показало, что:

1. точки контакта располагаются на выпуклостях макронеровностей. Причем, их распределение между выпуклостями зависит от места приложения равнодействующей силового замыкания (рис.14.6 а);
2. границы областей возможного нахождения точек контакта зависят от предела h высоты неровностей поверхностей сопряжения присоединяемых деталей (рис.14.6 б);
3. наиболее вероятно расположение точек контакта около вершин выпуклостей и чаще всего распределение точек контакта в областях их возможного нахождения подчинено нормальному закону.

Для любой точки A установочной, направляющей или опорной поверхностей баз можно определить вероятность того, что она может оказаться точкой контакта:

$$P_A = P_1 P_2 P_3,$$

где P_1 — вероятность того, что при данном приложении R выпуклость с точкой A обладает возможностью давать точки контакта;

P_2 — вероятность того, что точка A находится в пределах области расположения точек контакта;

P_3 — вероятность совмещения точек контакта с точкой A .

Для определения P_1 точки A , принадлежащей установочной базе необходимо установить все возможные сочетания выпуклостей по три из числа n :

$$C_3^n = \frac{n!}{3!(n-3)!},$$

и для i — ой выпуклости определить вероятность:

$$P_{1i} = J/C,$$

где J — число, характеризующее участие каждой выпуклости в образовании действительных сочетаний выпуклостей.

Для определения P_2 (которая может быть равна 1 или 0) необходимо знать задана ли точка A в границах области, располагающей точками контакта, или нет. Границы областей представляют собой контуры сечений выпуклостей установочной базы детали, удаленных от плоскости P , проходящей через их вершины на расстоянии h , представляющего собой предел макронеровностей основной установочной базы присоединяемой детали (рис.14.6). Если базирующие детали имеет меньшую высоту неровностей, то $P_2 = 1$.

Для определения P_3 можно воспользоваться зависимостью:

$$P_3 = \Delta S/S,$$

где S — площадь проекции области возможного нахождения точек контакта на плоскость, проходящую через вершины выпуклостей;

ΔS — площадь элементарного участка поверхности базы детали, на котором, контактирует с ней присоединяемая поверхность.

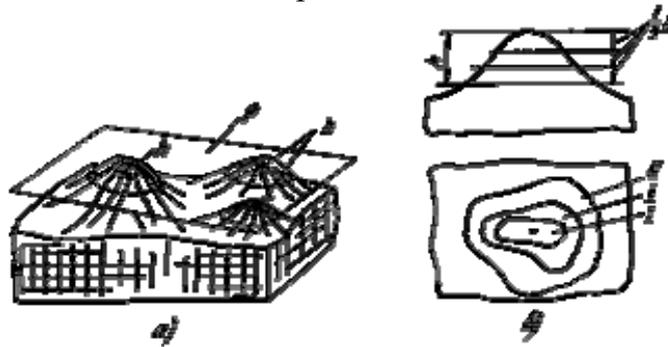


Рис.14.6. Область и зоны распределения точек контакта в задачах второго типа

При соприкосновении деталей по поверхностям направляющих баз. Присоединяемая деталь обладает свободой только одного поворота и перемещения в одном направлении. Поэтому при определении P_1 необходимо учесть возможности возникновения точек контакта на выпуклостях направляющей базы при рассмотрении ее в продольном (P_2) и поперечном (P_3) направлениях:

$$P_1 = P_2 P_3.$$

Особенностью сопряжения деталей по опорным базам является то, что местоположение единственной точки контакта зависит не только от рельефа