


Проф. А.С.Мельников

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА МАШИН




Тема 4. Обеспечение требуемой точности машины




Формирование показателей второй группы точности машины (*точность взаимного расположения ИП и точность их взаимных перемещений*), описывается соответствующими размерными цепями, в которых показатели точности машины являются исходными, а затем и замыкающими звеньями.

Таким образом *задача обеспечения точности машины по этим показателям сводится к достижению требуемой точности замыкающего звена размерной цепи.*




Задача достижения точности замыкающего звена размерной цепи решается на всех этапах создания машины (при проектировании, изготовлении и измерении).

Действия участников этого процесса, приводящие к желательному результату, могут быть разными в зависимости как от уровня требований к точности замыкающего звена, так и от типа и условий производства, в которых будет изготавливаться машина, т.е. **различными методами.**



Под методом достижения точности замыкающего звена размерной цепи понимают совокупность последовательных действий Конструктора, Технолога и Метролога, в результате которых достигается требуемая точность замыкающего звена размерной цепи.



В теории и практике машиностроения применяются шесть методов достижения точности замыкающего звена РЦ:

- *метод полной взаимозаменяемости;*
- *метод неполной (частичной) взаимозаменяемости;*
- *метод групповой взаимозаменяемости;*
- *метод пригонки;*
- *метод регулирования;*
- *метод подбора составляющих звеньев.*



Метод полной взаимозаменяемости

Основные понятия о взаимозаменяемости и ее видах

Взаимозаменяемость - это пригодность одного изделия, процесса или услуги быть использованным для замены другого изделия, процесса, услуги с целью выполнения одних и тех же требований (норм, правил).

Взаимозаменяемость позволяет:

- существенно упростить сборку и снизить ее стоимость;
- сборочный процесс точно нормируется во времени, легко укладывается в установленный темп работы, организован поточный метод и введена автоматизация сборки;
- возможна широкая специализация заводов;
- упрощается ремонт изделий, т.к. любая износившаяся или сломанная деталь могут быть заменены новыми




Метод полной взаимозаменяемости

Метод полной взаимозаменяемости – это метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается при включении в нее или замене в ней любого звена без выбора, подбора или изменения его величины.



Метод полной взаимозаменяемости

При использовании метода полной взаимозаменяемости требуемая точность размерных связей в машине обеспечивается на сборке при простом соединении любого набора входящих в нее деталей, и достижение этой точности не требует от рабочего-сборщика каких-либо особых действий, кроме действий по осуществлению различных соединений (подвижных или неподвижных, разъемных или неразъемных, и т.д.).



Метод полной взаимозаменяемости

К основным достоинствам метода относятся:

- I. Наибольшая простота достижения заданной точности замыкающего звена во время сборки, так как процесс достижения точности сводится к простому соединению всех деталей, несущих составляющие звенья.

2. Простота нормирования во времени технологических процессов, при помощи которых достигается требуемая точность замыкающего звена.



Метод полной взаимозаменяемости

К основным достоинствам метода относятся:

3. Относительная простота механизации и автоматизации технологических процессов, в которых достигается требуемая точность замыкающего звена.

4. Возможность использования рабочих низкой квалификации и обусловленные этим низкие затраты на живой труд.

5. Простота восстановления утраченной за время эксплуатации машины точности простой заменой деталей при ремонте.

Метод полной взаимозаменяемости

При использовании этого метода достижения точности **Конструктор** должен решить прямую задачу и назначить номинальные значения A_i , поля допусков TA_i и координаты их середин EC_i для всех составляющих звеньев размерной цепи из условия обязательного соответствия всем трем уравнениям РЦ:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m \xi_i A_i,$$

$$TA_{\Delta} = \sum |\xi_i| TA_i.$$

$$EC_{\Delta} = \sum_{i=1}^m \xi_i EC_i,$$

Метод полной взаимозаменяемости

Для случая плоской размерной цепи с параллельными звеньями:

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m TA_i.$$

Из этого уравнения рассчитывается средний допуск составляющих звеньев:

$$TA_{CP} = \frac{TA_{\Delta}}{m}$$

Допуски составляющих звеньев корректируют, уменьшая или увеличивая допуски TA_i каждого звена по сравнению с TA_{CP} в зависимости от трудности и экономичности получения на соответствующих деталях требуемой точности.

Метод полной взаимозаменяемости

После этого устанавливают или рассчитывают координаты середин EC_i для всех составляющих звеньев, удовлетворяющие уравнению

Обычно на $(m-1)$ звеньев координаты EC_i назначают, исходя из имеющихся нормативных документов на отдельные входящие в размерную цепь детали (нормалей, стандартов и т.п.), либо из удобства получения их при обработке деталей, а на одно звено - рассчитывают, как неизвестное уравнении

$$EC_{\Delta} = \sum_{i=1}^m \xi_i EC_i,$$

Метод полной взаимозаменяемости

Правильность назначения всех TA_i и EC_i проверяют, решая обратную задачу и рассчитывая верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена по формулам:

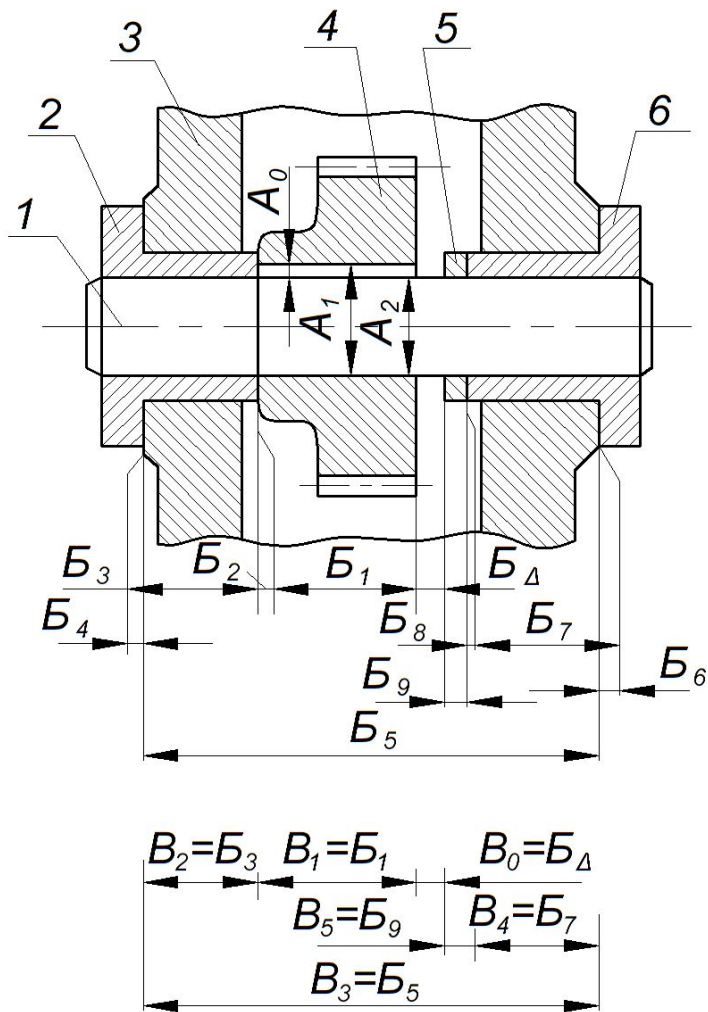
$$ES_{\Delta} = EC_{\Delta} + \frac{1}{2}TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m \xi_i EC_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m |\xi_i| TA_i$$

$$EI_{\Delta} = EC_{\Delta} - \frac{1}{2}TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m \xi_i EC_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m |\xi_i| TA_i$$

Допуски TA_i и координаты их середин EC_i назначены верно, если рассчитанные по формулам значения ES_{Δ} и EI_{Δ} совпадают с заданными в условии задачи.

Проверка по приведенным формулам известна под названием **«расчет размерной цепи на максимум-минимум»**.

Метод полной взаимозаменяемости



Пример. В размерной цепи В необходимо обеспечить зазор B_Δ в пределах $0,2 \pm 0,15$ мм, т.е. поле допуска $TB_\Delta = 0,3$ мм и $ES_\Delta = 0$. В цепи В составляющих звеньев $m = 5$.

Тогда $TB_{cp} = 0,3:5 = 0,06$ мм.

Метод полной взаимозаменяемости

Все размеры, входящие в размерную цепь, возможно получить в механообработке с такой точностью.

Однако на проставочном кольце - звене B_5 - получить такую точность, и даже более высокую, значительно легче, чем при обработке корпуса - звене B_3 .

Поэтому целесообразно допуск T_{B_5} уменьшить по отношению к $T_{B_{cp}}$ и на эту величину увеличить T_{B_3} .

Размеры втулок (звенья B_2 и B_4) и шестерни (звено B_1) также можно получить в механообработке с несколько более узкими допусками.

В результате назначаем:

$$T_{B_1} = 0,04 \text{ мм}, \quad T_{B_2} = T_{B_4} = 0,05 \text{ мм}, \quad T_{B_3} = 0,13 \text{ мм}$$

$$T_{B_5} = 0,03 \text{ мм}.$$

Проверка: $T_{B_{\Delta}} = 0,04 + 0,05 + 0,13 + 0,05 + 0,03 = 0,3 \text{ мм}.$

Метод полной взаимозаменяемости

Учитывая рекомендации стандартов, условия получения размеров на каждой детали, назначаем координаты ES_i следующим образом:

$$ES_1 = -0,02, \quad ES_2 = ES_4 = 0, \quad ES_3 = 0.$$

Подставив эти значения в уравнение ES_{Δ} получим:

$$0 = (-1) \times (-0,02) + (-1) \times (0) + (+1) \times (0) + (-1) \times 0 + (-1) \times ES_5, \text{ откуда } ES_5 = +0,02 \text{ мм.}$$

Проверка:

$$ES_{\Delta} = (-1) \times (-0,02) + (-1) \times 0 + (+1) \times 0 + (-1) \times 0 + (-1) \times (+0,02) + 0,5 \times (0,04 + 0,05 + 0,13 + 0,05 + 0,03) = 0 + 0,15 = 0,15 \text{ мм;}$$

$$EI_{\Delta} = (-1) \times (-0,02) + (-1) \times 0 + (+1) \times 0 + (-1) \times 0 + (-1) \times (+0,02) - 0,5 \times (0,04 + 0,05 + 0,13 + 0,05 + 0,03) = 0 - 0,15 = -0,15 \text{ мм,}$$

что соответствует условию задачи.



Метод полной взаимозаменяемости

Использованная в примере методика назначения допусков составляющих звеньев базируется на принципе равных влияний, согласно которому все звенья в равной степени влияют на величину погрешности замыкающего звена, и поэтому их допуски могут быть равны между собой и могут соответствовать TA_{cp} .

Этот принцип с достаточной степенью точности может быть применен для расчетов в размерных цепях, где номинальные значения звеньев не очень сильно разнятся между собой (относятся к одному интервалу, либо к двум соседним).



Метод полной взаимозаменяемости

Если же размеры звеньев сильно отличаются по номиналу, используют принцип равного качества точности, согласно которому все звенья размерной цепи должны иметь равный качество точности.

Тогда звенья будут иметь разные поля допусков.

Это позволяет организовать изготовление деталей по размерам-звеньям РЦ на одном уровне точности.

Метод полной взаимозаменяемости

В практике же обычно поступают следующим образом.

Вначале выделяют звенья-размеры стандартных деталей или сборочных единиц и назначают их допуски в соответствии со стандартом.

Затем определяют часть поля допуска замыкающего звена, которая остается на компенсацию погрешностей остальных звеньев цепи:

$$TA_{\Delta}' = TA_{\Delta} - \sum_{j=1}^k |\xi_j| TA_j$$

где k - число звеньев со стандартизованными допусками.

Допуски на оставшиеся $(m - k)$ звеньев определяют по изложенным выше методикам, либо подбором, исходя из условия, что их сумма не должна превышать допуск TA_{Δ}' .

Метод полной взаимозаменяемости

Технолог для реализации при изготовлении машины заложенного Конструктором метода полной взаимозаменяемости должен:

- спроектировать и реализовать такие технологические процессы изготовления деталей, несущих составляющие звенья размерной цепи, которые обязательно обеспечат достижение заданной точности, т.е. будут отвечать условию:

$$\omega A_i \leq TA_i$$

где ωA_i – поля рассеяния размеров-звеньев размерной цепи, полученные в результате технологических процессов.

Метод полной взаимозаменяемости

- Полученные при изготовлении координаты середин полей рассеяния должны все вместе обеспечивать выполнение следующих условий:

$$ES_{\Delta} \leq \sum_{i=1}^m \xi_i EC \omega_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m |\xi_i| \omega A_i$$

$$EI_{\Delta} \geq \sum_{i=1}^m \xi_i EC \omega_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m |\xi_i| \omega A_i$$

При выполнении этих условий технологические процессы сборки будут содержать только действия по соединению деталей и сборочных единиц, и требуемая точность замыкающих звеньев будет достигаться автоматически.



Метод полной взаимозаменяемости

- К технологическим процессам предъявляется дополнительное требование – стабильность во времени.

Это требование вытекает из необходимости достижения заданного качества всего запланированного количества машин, изготовленных в любой промежуток времени.




Метод полной взаимозаменяемости

Метролог смещает акцент с контроля всех изготовленных изделий на контроль стабильности технологических процессов.

Это позволяет вместо сплошного контроля изготовленных деталей применять выборочный и

по результатам измерения периодических выборок судить о качестве переноса технологом пространственно-размерной информации на конкретные конструкционные материалы.



Метод полной взаимозаменяемости

Поскольку точность замыкающих звеньев на сборке достигается автоматически, то выборочный контроль достаточен и для собранных изделий.

Это обстоятельство является дополнительным достоинством метода полной взаимозаменяемости, так как выборочный контроль, обеспечивая достаточную достоверность о качестве изготовленных изделий, существенно снижает затраты на него.



Недостаток метода – ограниченная область применения.

Ограничения вытекают из формулы среднего допуска составляющего звена:

$$TA_{CP} = \frac{TA_{\Delta}}{m}$$

Ограничение 1 – число составляющих звеньев m .

С увеличением m быстро растут требования к точности составляющих звеньев, что либо обуславливает дополнительные затраты на их достижение, либо делает это физически невозможным.

Ограничение 2 – высокая требуемая точность замыкающего звена, которая обуславливает экономически или физически невозможными допуски составляющих звеньев.

Поэтому метод применим в размерных цепях с $m \leq 4$ при относительно невысокой точности замыкающего звена



Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

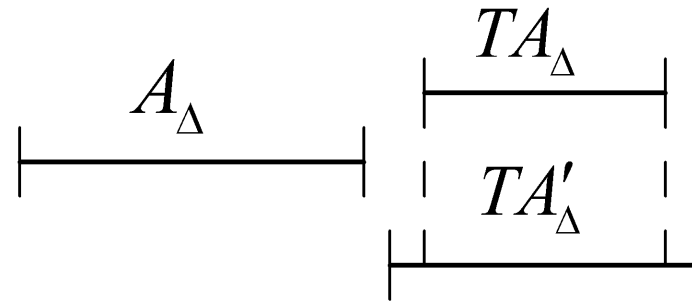


Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости – это метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается не у всех изделий, а у заранее обусловленной их части при включении в нее или замене в ней любого звена без выбора, подбора или изменения его величины.

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

Это допущение предполагает определенное расширение поля рассеяния замыкающего звена ωA_{Δ} по сравнению с допуском TA_{Δ} , т. е. назначение нового производственного допуска на замыкающее звено $TA'_{\Delta} > TA_{\Delta}$



Это расширение поля допуска замыкающего звена конечно же позволит расширить и производственные допуски составляющих звеньев $TA'_i > TA_i$ по сравнению с рассчитанными для полной взаимозаменяемости



Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

В методе полной взаимозаменяемости совершенно не учитывается явление рассеяния значений всех составляющих звеньев.

В действительности рассеяние размеров-звеньев размерной цепи всегда имеет место и его учет позволяет существенно отодвинуть границу применимости взаимозаменяемости и использования ее достоинств при изготовлении машины.



Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

Степень расширения производственных допусков и α , следовательно, и допускаемое количество изделий за пределами конструкторского допуска, ограничиваются экономическим условием:

дополнительные затраты на отбраковку и «исправление» этих изделий **не должны превышать экономии**, полученной в механообработке за счет

- снижения затрат на изготовление менее точных деталей и
- полученной на сборке за счет достоинств взаимозаменяемости.

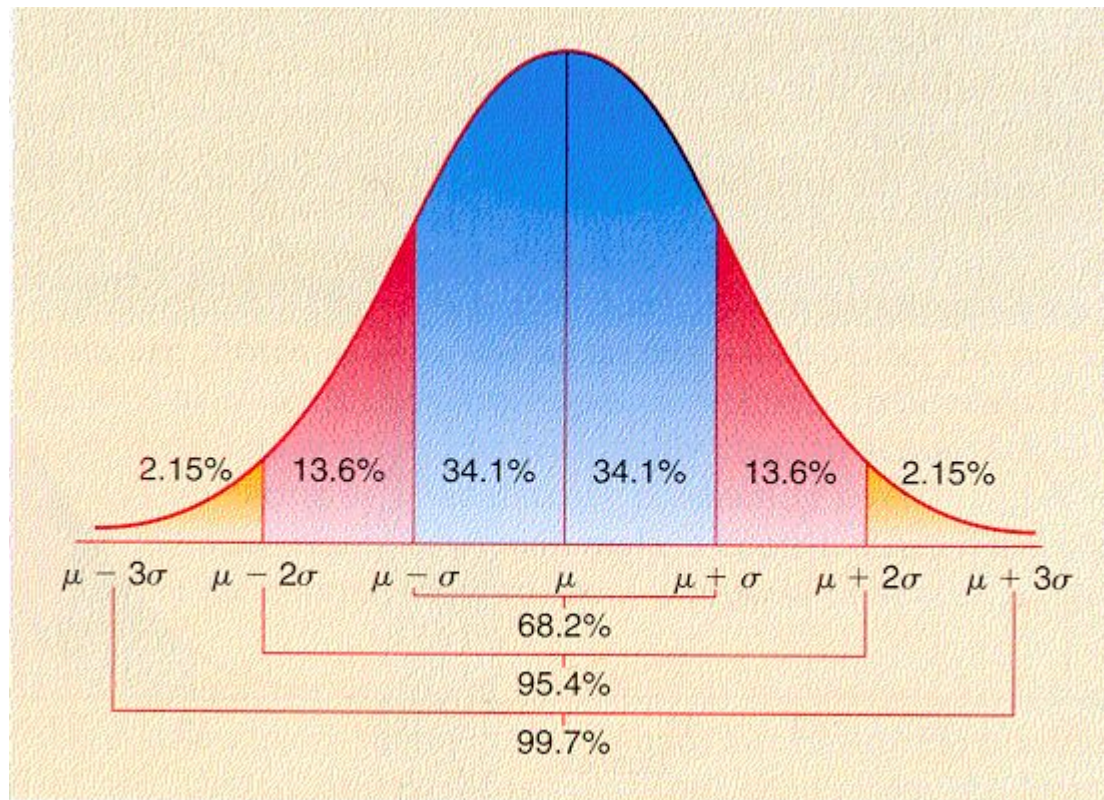


Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

Такая постановка задачи требует от **Конструктора *других расчетов*** для назначения точности составляющих звеньев размерной цепи.

Теоретическую базу этих расчетов составляет вероятностное описание результата технологического процесса.

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

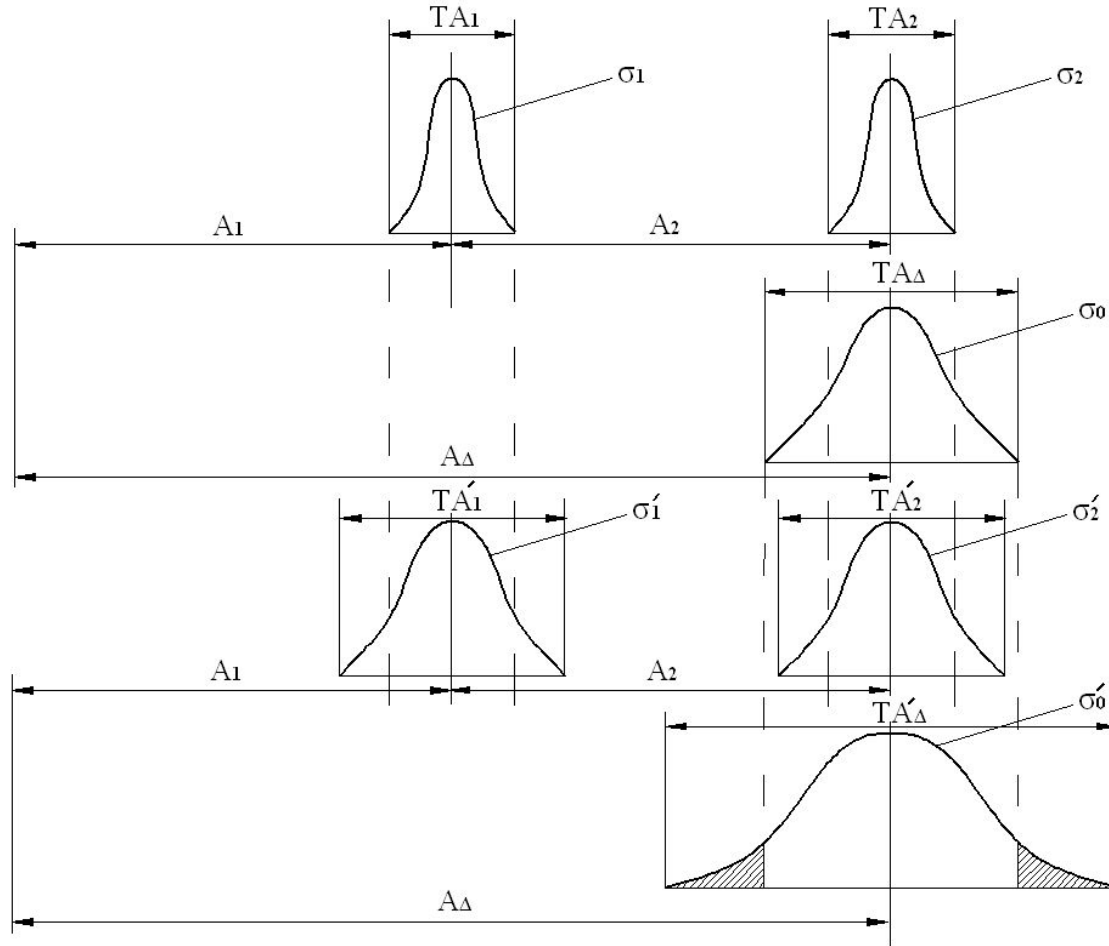




Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

При сборке партии изделий случаи сочетания в одном изделии предельных отклонений у всех звеньев размерной цепи встречаются еще реже, чем предельный размер в партии каждой детали, и частота таких случаев резко убывает с увеличением количества звеньев m в размерной цепи.

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости



Сравнительная схема достижения требуемой точности методами полной и неполной взаимозаменяемости

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

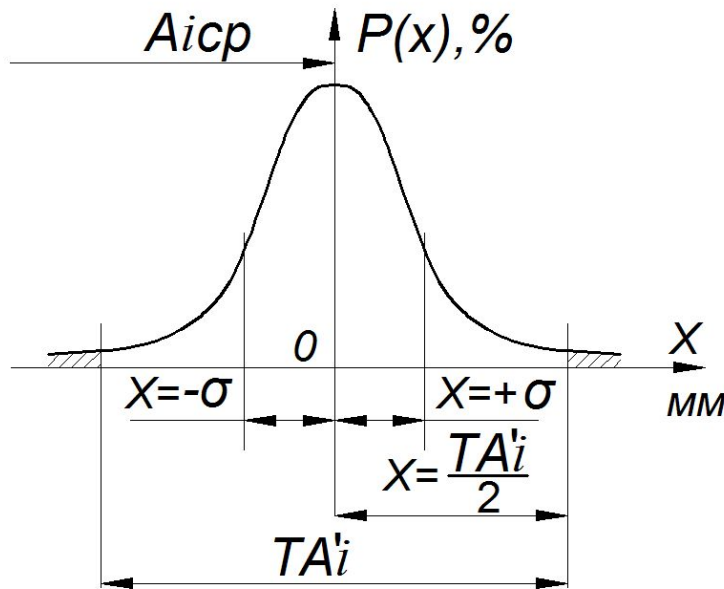
Из теории вероятностей известно, что закон распределения суммы случайных величин, каждая из которых рассеяна по закону Гаусса, также будет Гауссовым со среднеквадратичным отклонением

$$\sigma_0 = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

Для размерной цепи с m составляющих звеньев:

$$\sigma_{\Delta}^2 = \sum_{i=1}^m \sigma_i^2$$

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости



Введем коэффициент риска $t = \frac{x}{\sigma}$

где x - некоторая величина отклонения размера A_i от его среднего значения $A_{i\text{cp}}$ в партии.

При $x_i = \frac{TA_i'}{2}$ коэффициент риска $t_i = \frac{TA_i'}{2\sigma_i}$, откуда:

$$\sigma_i = \frac{TA_i'}{2t_i}$$

Тогда:
$$\frac{TA_{\Delta}^2}{4t_{\Delta}^2} = \sum_{i=1}^m \frac{(TA_i')^2}{4t_i^2}$$

или

$$\frac{TA_{\Delta}^2}{t_{\Delta}^2} = \sum_{i=1}^m \frac{(TA_i')^2}{t_i^2}$$

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

Отношение $\frac{1}{t_i} = \lambda_i$ представляет собой

относительное среднее квадратическое отклонение. Тогда:

$$\frac{TA_{\Delta}^2}{t_{\Delta}^2} = \sum_{i=1}^m \lambda_i^2 (TA_i')^2 \quad \text{или} \quad TA_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^m \lambda_i^2 (TA_i')^2}$$

t_{Δ} - коэффициент риска на замыкающем звене, характеризует вероятность (процент) изделий за пределами установленного допуска TA_{Δ} .

Задавшись процентом изделий, которые могут выйти за пределы допуска, находят соответствующее значение коэффициента риска t_{Δ} по таблицам функции $F(t)$ Лапласа.

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

Можно рассчитать средний допуск составляющих звеньев:

$$TA_{CP}' = \frac{TA_{\Delta}}{t_{\Delta} \sqrt{\lambda_{CP}^2 m}}$$

С достаточной для практики точностью этой формулой можно пользоваться:

- если составляющие звенья распределены по закону Гаусса – при $m \geq 3$;
- если составляющие звенья распределены по законам, близким, к закону треугольника – при $m \geq 4$;
- если составляющие звенья распределены по закону равной вероятности – при $m \geq 6$.

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

Степень расширения допусков составляющих звеньев по сравнению с полной взаимозаменяемостью В ЛЮБОЙ РАЗМЕРНОЙ ЦЕПИ МОЖНО ОЦЕНИТЬ ОТНОШЕНИЕМ .

$$R = \frac{TA_{CP}'}{TA_{CP}}$$

$$R = \frac{\sqrt{m}}{t_{\Delta} \lambda_{CP}}$$

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

Пример.

В размерной цепи с $m = 6$ требуется обеспечить $TA_{\Delta} = 0,3$ мм.

Так как ранее было указано, что с достаточной для практики точностью можно принять, что поле рассеяния равно шести σ , при этом 99,87% изделий находятся внутри этого поля, риск получения негодных изделий составляет 0,27%.

Этому риску соответствует $t_{\Delta} = 3$. (за пределы TA_{Δ} в этом случае выйдут 2÷3 изделия из тысячи).

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

В индивидуальном или мелко-серийном производствах и если ничего не известно о законах распределения составляющих звеньев в расчетах принимают закон равной вероятности для всех звеньев размерной цепи, чему соответствует

значение $\lambda_{CP} = \frac{1}{\sqrt{3}}$, тогда;

$$R = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{6 \times 3}{1}} = 1,41$$

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

В серийном производстве обычно считают, что составляющие звенья рассеяны по закону Симпсона,

для которого $\lambda_{CP} = \frac{1}{\sqrt{6}}$. Тогда:

$$R = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{6 \times 6}{1}} \cong 2$$

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

В крупно-серийном и массовом производствах законы распределения ближе всего к нормальному

Гаусса, для которого $\lambda_{CP} = \frac{1}{3}$. Тогда:

$$R = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{6 \times 9}{1}} \cong 2,55$$

Расчеты показывают, что при использовании метода неполной взаимозаменяемости в размерной цепи с $m = 6$ в условиях серийного производства средний допуск составляющего звена может быть расширен до 0,1 мм, а в условиях массового производства – до 0,13 мм против среднего допуска 0,05 мм при полной взаимозаменяемости.

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

Дальнейшие действия Конструктора аналогичны методу полной взаимозаменяемости.

Как и в методе полной взаимозаменяемости необходимо проверить правильность назначенных допусков и их координат.

Эту проверку конструктор выполняет также с учетом рассеяния размеров составляющих звеньев по следующим формулам:

$$ES_{\Delta}' = \sum_{i=1}^m \xi_i EC_i + \frac{1}{2} t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^m \lambda_i^2 (TA_i')^2};$$

$$EI_{\Delta}' = \sum_{i=1}^m \xi_i EC_i - \frac{1}{2} t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^m \lambda_i^2 (TA_i')^2}$$

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

Технолог для реализации при изготовлении машины заложенного Конструктором метода неполной взаимозаменяемости должен спроектировать и реализовать технологические процессы изготовления деталей, несущих составляющие звенья размерной цепи, которые обязательно обеспечат достижение заданной точности, т.е. будут отвечать условию

$$\omega A_i \leq T_{A_i}'$$

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

Полученные при изготовлении поля рассеяния ωA_i должны также быть расположены относительно номинальных размеров в соответствии с заданными конструктором координатам середин полей допусков.

Все вместе они должны обеспечивать выполнение следующих условий:

$$ES\omega_{\Delta}' = \sum_{i=1}^m \xi_i EC_i + \frac{1}{2} t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^m |\xi_i| \lambda_i^2 (\omega A_i)^2};$$

$$EI\omega_{\Delta}' = \sum_{i=1}^m \xi_i EC_i - \frac{1}{2} t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^m |\xi_i| \lambda_i^2 (\omega A_i)^2}$$



Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

Состав действий **Метролога** по контролю технологических процессов изготовления деталей ничем не отличается от полной взаимозаменяемости.

Но контроль собранных машин должен быть 100%-ным для того, чтобы потребителю не попала машина, не обладающая требуемым качеством, т.е. с каким-нибудь показателем точности за пределами установленного допуска.

Это увеличение объема контроля тоже приводит к дополнительным затратам по сравнению с полной взаимозаменяемостью.



Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

Затраты на "исправление" выбракованных изделий, сводятся к затратам на их разборку.

Детали этих изделий после разборки включаются в следующую партию, поступающую на сборку, и в новых случайных сочетаниях с другими могут дать изделие с показателем точности в пределах установленного конструктором допуска.



Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости

Неполная взаимозаменяемость имеет свои ограничения области применения:

- объем выпуска изделий
- техническая невозможность при некотором числе составляющих звеньев m достигать соответствующую точность, и
- экономическая целесообразность, выраженная допустимым процентом (вероятностью) появления выходящих за установленный допуск изделий.

Эта граница обычно достигается в размерных цепях с $m \leq 9$.



Метод групповой взаимозаменяемости



Метод групповой взаимозаменяемости

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



Метод групповой взаимозаменяемости

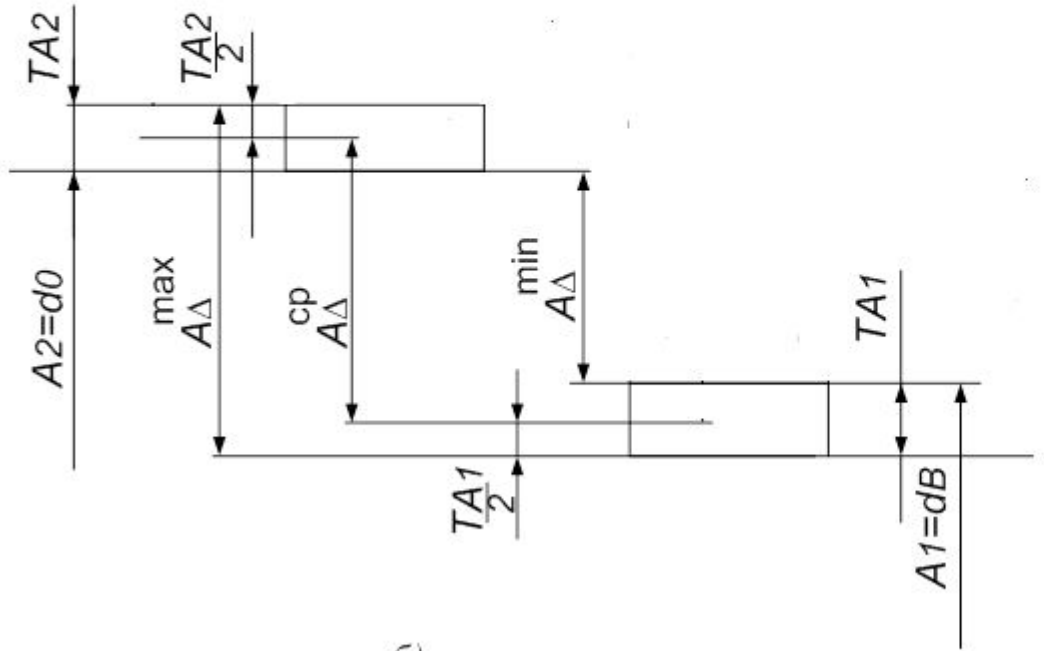
Для реализации этого метода **Конструктор** должен:

- рассчитать и назначить расширенные по сравнению с полной взаимозаменяемостью поля допусков составляющих звеньев размерной цепи;
- определить число и границы групп, на которые нужно рассортировать каждое составляющее звено.

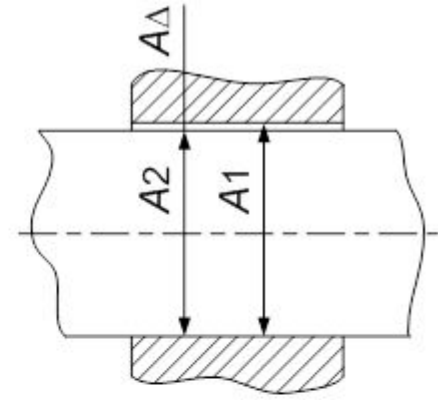
Метод групповой взаимозаменяемости

Конструктор:

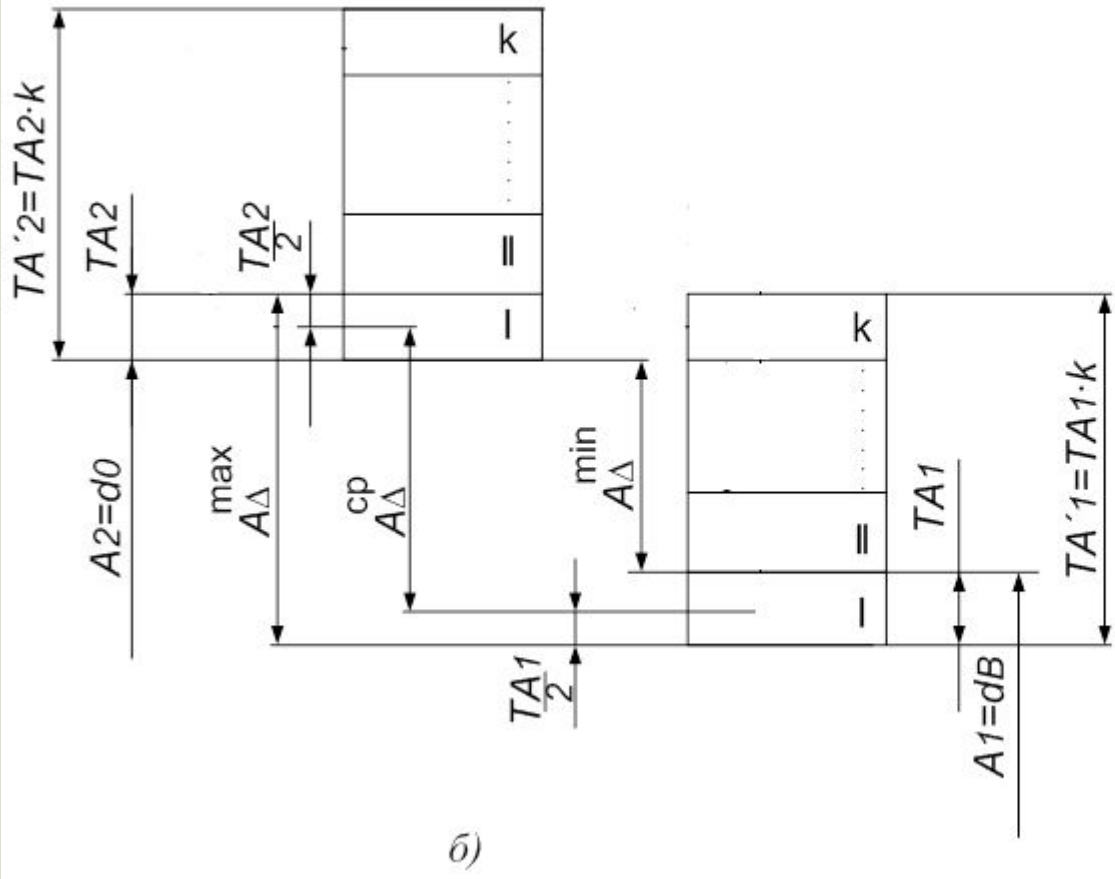
- рассчитывает средний допуск составляющих звеньев по формуле для метода полной взаимозаменяемости
- назначает допуски составляющих звеньев TA_1 и TA_2 .
- оба эти допуски увеличивает в k раз и определяет производственные допуски $TA_1' = TA_1k$ и $TA_2' = TA_2k$ где k – количество групп сортировки.



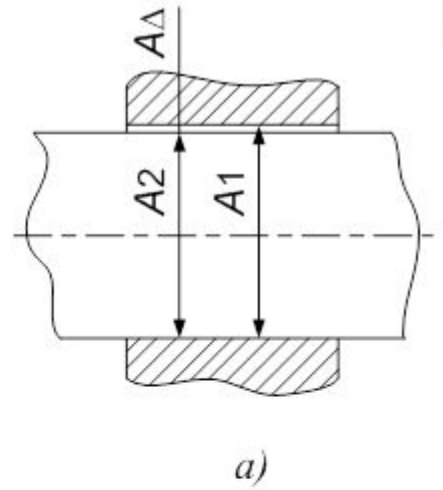
б)



а)



б)



Метод групповой взаимозаменяемости

Число групп k выбирают таким, чтобы производственные допуски были, с одной стороны, экономически достижимыми в конкретных производственных условиях, но, с другой стороны, не шире полей рассеяния окончательных методов обработки поверхностей.

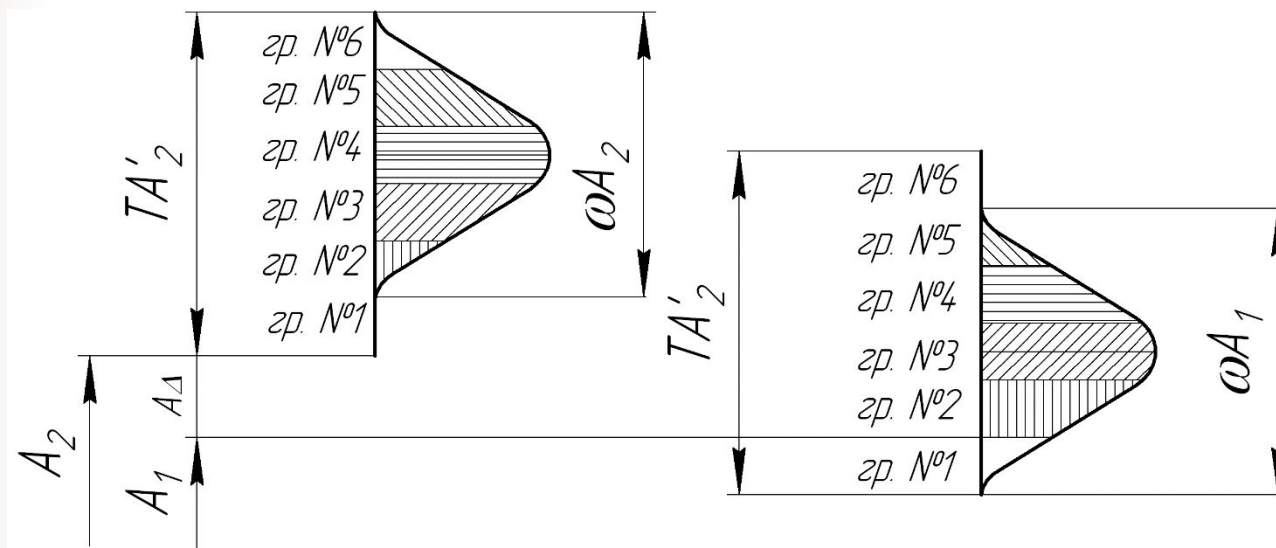



Схема групповой взаимозаменяемости с чрезмерно широкими производственными допусками составляющих звеньев



Метод групповой взаимозаменяемости

Чрезмерное расширение полей производственных допусков сверх экономически достижимых приводит к негативным последствиям при изготовлении изделий:

- **во-первых**, невозможно будет собрать ни одного изделия из деталей первой и шестой групп, так как в шестой группе нет ни одного вала, а в первой – ни одной втулки;
- **во-вторых**, в группах со второй по пятую окажется разное количество валов и втулок, и часть их останется «без партнера», т.е. годных деталей останется много, но из них невозможно будет собрать ни одного годного изделия.

Метод групповой взаимозаменяемости

Конструктор должен обеспечить особые условия для реализации метода:

1. Обеспечить в каждой из k групп одинаковую величину замыкающего звена, т.е. $A_{\Delta}^{CP} = Const$ или $A_{\Delta 1}^{CP} = A_{\Delta k}^{CP}$

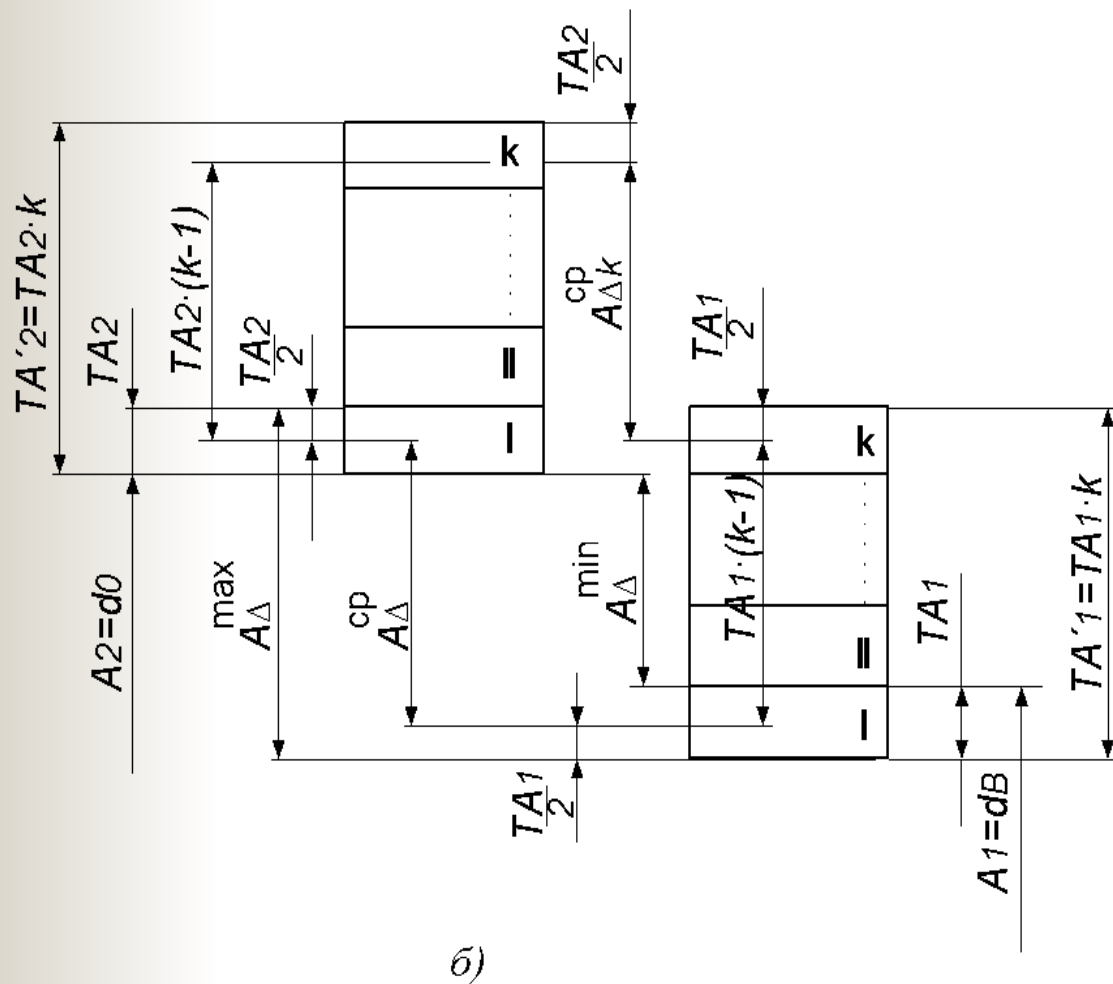
$$A_{\Delta 1}^{CP} = A_{\Delta}^{\min} + \frac{1}{2}TA_1 + \frac{1}{2}TA_2;$$

$$A_{\Delta k}^{CP} = A_{\Delta}^{\min} + (k-1)TA_2 + \frac{1}{2}TA_1 + \frac{1}{2}TA_2 - (k-1)TA_1 =$$

$$= A_{\Delta}^{\min} + \frac{1}{2}TA_1 + \frac{1}{2}TA_2 + (k-1)(TA_2 - TA_1)$$

$$A_{\Delta}^{\min} + \frac{1}{2}TA_1 + \frac{1}{2}TA_2 = A_{\Delta}^{\min} + \frac{1}{2}TA_1 + \frac{1}{2}TA_2 + (k-1)(TA_2 - TA_1),$$

Метод групповой взаимозаменяемости



Метод групповой взаимозаменяемости

или:

$$(k - 1)(TA_2 - TA_1) = 0$$

При $k > 1$ равенство справедливо, если $TA_1 = TA_2$.

Вывод: в трехзвенной размерной цепи допуски составляющих звеньев должны быть равны между собой.

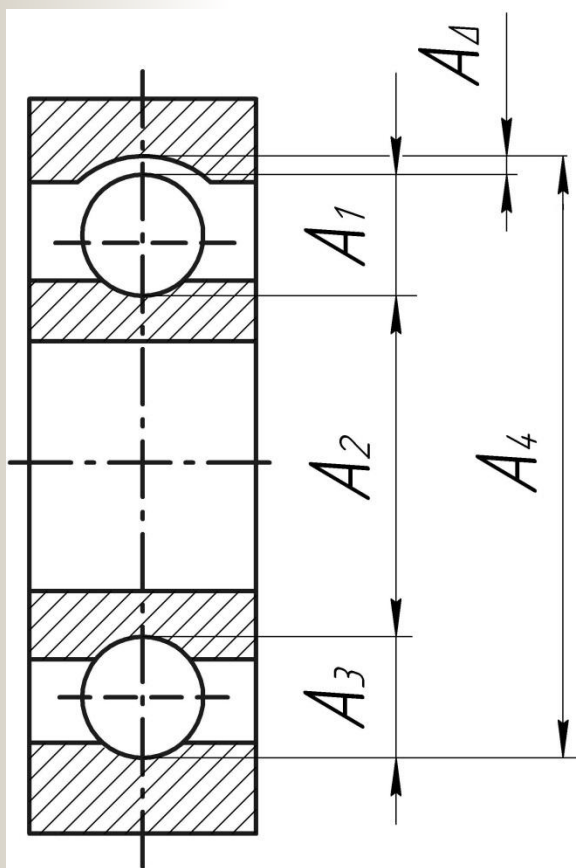
Любую размерную цепь можно заменить трехзвенной, если просуммировать между собой отдельно все увеличивающие и все уменьшающие звенья. Тогда:

$$\sum_{i=1}^j |\xi_i| TB_i = \sum_{i=j+1}^m |\xi_i| TB_i.$$

Из чего следует, что на каждое увеличивающее или уменьшающее звено можно назначать разные допуски, не нарушая этого условия

Метод групповой взаимозаменяемости

Пример: Задача – обеспечить радиальный зазор в шарикоподшипнике $TA_{\Delta} = 0,02$ мм.



Согласно условию нужно обеспечить:

$$TA_1 + TA_2 + TA_3 = TA_4 = 0,01 \text{ мм},$$

$$, TA_2 = 0,006 \text{ мм}.$$

такие жесткие допуски недостижимы на оборудовании подшипниковых заводов.

принимая $k = 5$, тогда,

$$TA'_1 = TA'_3 = 0,01 \text{ мм}$$

$$TA'_2 = 0,03 \text{ мм}, \quad TA'_4 = 0,05 \text{ мм}$$



Метод групповой взаимозаменяемости

Конструктор должен обеспечить особые условия для реализации метода:

2. допустимые погрешности формы поверхности (овальность, конусность и т.д.) или относительного поворота (например, непараллельность) не должны превышать допуска размера, назначаемого из условия полной взаимозаменяемости, т.е. *не должны выходить за границы одной группы сортировки.*



Метод групповой взаимозаменяемости

Технолог при организации групповой взаимозаменяемости должен:

- спроектировать и реализовать технологические процессы изготовления деталей, обеспечивающие точность их размеров в пределах расширенных производственных допусков.
- обеспечить получение идентичных законов распределения на всех составляющих звеньях размерной цепи для обеспечения одинакового их количества в одноименных группах.



Метод групповой взаимозаменяемости

Технолог при организации групповой взаимозаменяемости должен:

- при реализации техпроцесса сборки обеспечить подачу на рабочее место сборщика одноименных групп предварительно рассортированных деталей.

Это существенно усложняет организацию отдельного хранения и транспортировки деталей, что обуславливает дополнительные расходы по сравнению с полной взаимозаменяемостью.



Метод групповой взаимозаменяемости

Метролог при групповой взаимозаменяемости должен

организовать не только 100%-ный контроль изготовленных деталей, но и их сортировку на группы.

Это влечет значительно большие расходы на контроль, чем при полной взаимозаменяемости.



Метод групповой взаимозаменяемости

Экономическую эффективность групповой взаимозаменяемости ограничивают дополнительные расходы, необходимые для точного измерения и сортировки деталей на группы, четкой организации хранения и транспортировки рассортированных деталей на сборку.

Организационные трудности и затраты возрастают с увеличением количества звеньев в размерной цепи и групп сортировки деталей. Поэтому метод применяют в малозвенных размерных цепях и стремятся иметь возможно меньшее число k групп сортировки.



Метод групповой взаимозаменяемости

В некоторых случаях групповая взаимозаменяемость является единственной возможностью достигнуть высокую точность замыкающего звена в малозвенной размерной цепи, например, в производстве подшипников качения, в соединениях пальцев с поршнями двигателей внутреннего сгорания и т. д.



МЕТОД ПРИГОНКИ



Метод пригонки

Сущность метода пригонки заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена достигается изменением величины одного из составляющих звеньев размерной цепи путем съема слоя материала.

Метод пригонки

При пригонке **Конструктор** назначает номинальные размеры, допуски и их координаты середин для всех соответствующих звеньев с учетом наименьших затрат на их достижение в заданных производственных условиях и вне связи с требуемой его точностью.

Это приводит к тому, что на замыкающем звене формируется расширенный допуск $TB_{\Delta}' = \sum |\xi_i| TA_i$ и часть изделий не будет обладать требуемой точностью, так как $TB_{\Delta}' > TB_{\Delta}$.

Метод пригонки

Излишнюю погрешность замыкающего звена называют величиной компенсации:

$$\delta_k = TB_{\Delta}' - TB_{\Delta}$$

Излишнюю погрешность удаляют из размерной цепи, изменяя величину одного из составляющих звеньев путем съема материала.

Это звено называют *компенсирующим*, а деталь, с которой снимают слой материала, называют *компенсатором*,



Метод пригонки

В задачу **Конструктора** входит:

- *во-первых*, выбор детали-компенсатора,
- *во-вторых*, обеспечение на ней достаточного слоя материала.



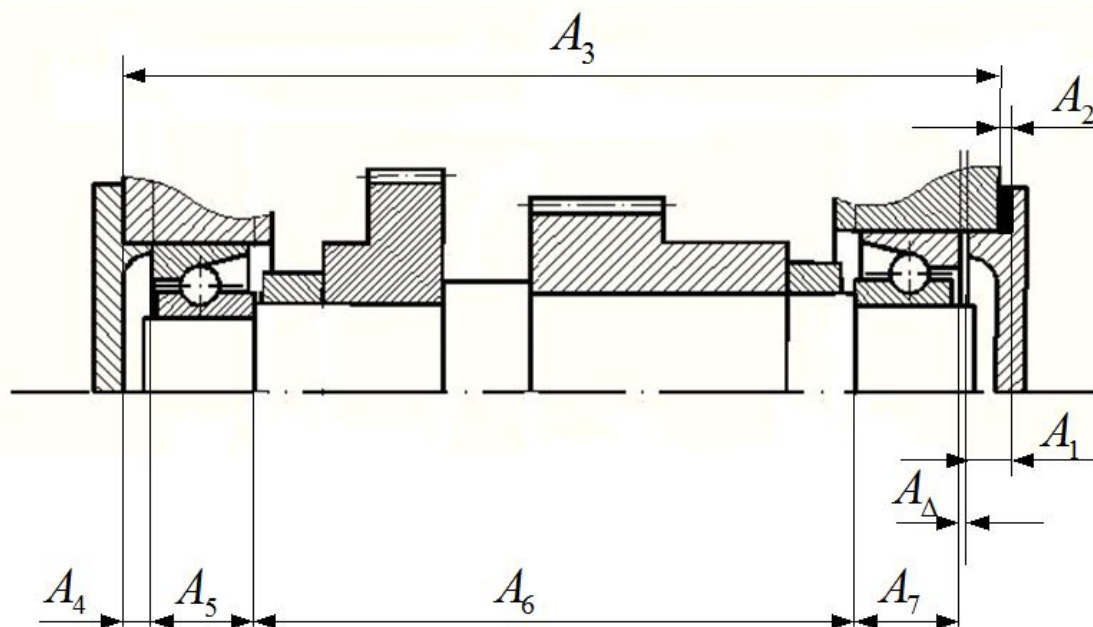
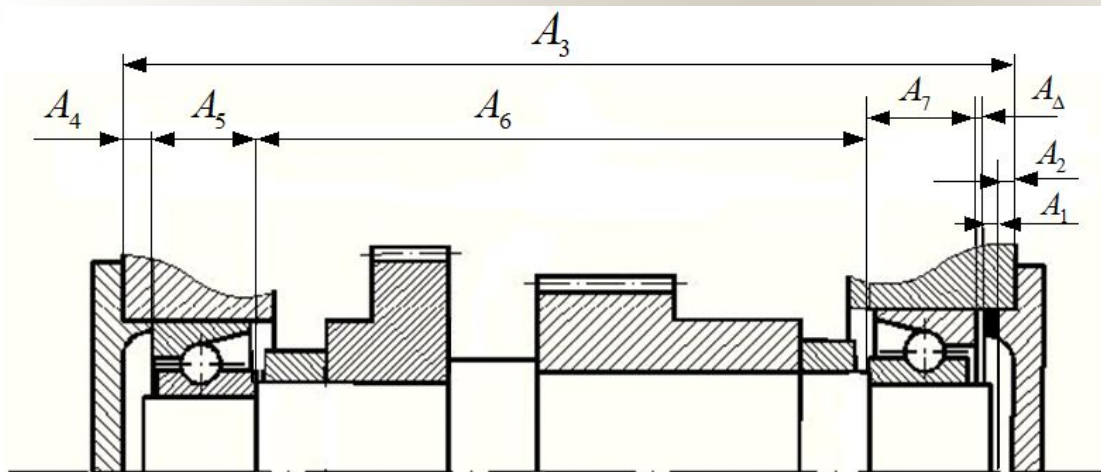
Метод пригонки

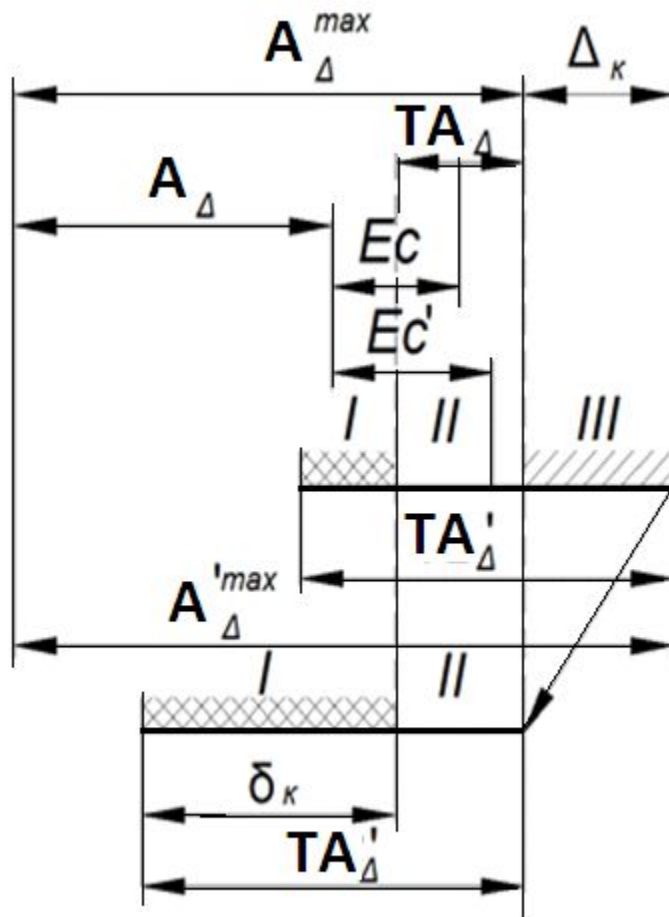
При выборе компенсирующего звена руководствуются двумя соображениями:

1. Компенсирующим не может быть общее звено нескольких параллельно связанных размерных цепей, иначе при пригонке в одной из них в другой достигнутая точность нарушается и появляется «блуждающая» из одной размерной цепи в другую погрешность.

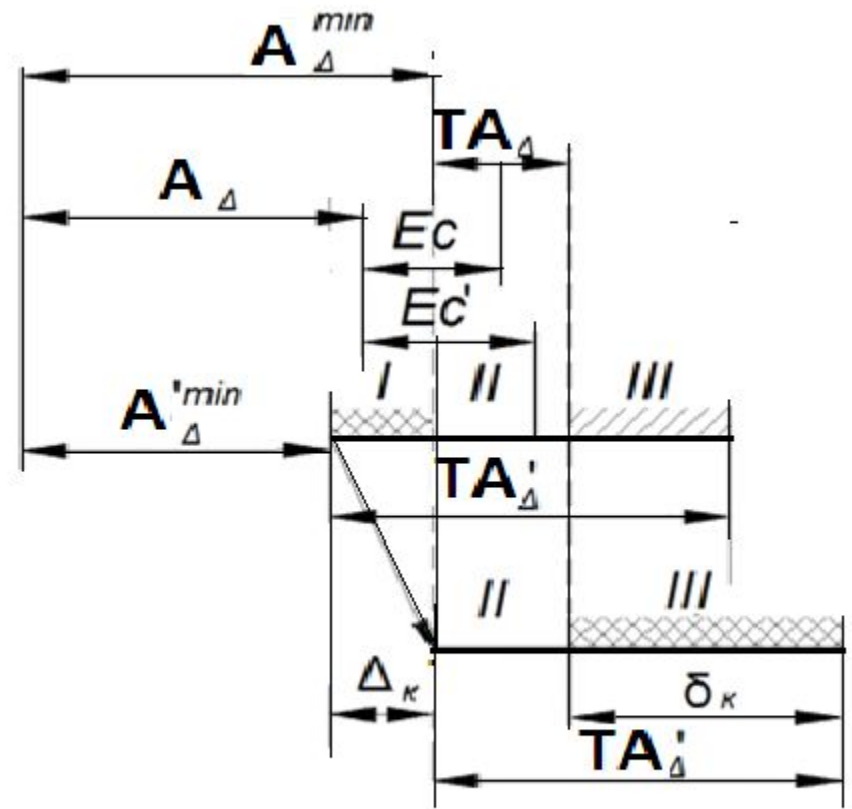
2. Компенсатором должна быть деталь, с которой наиболее просто и с наименьшими затратами может быть удален необходимый для пригонки слой материала.

Метод пригонки





a)



б)

- a) компенсирующее звено - уменьшающее*
б) компенсирующее звено - увеличивающее



Если компенсирующее звено уменьшающее:

$$\begin{aligned}\Delta_k &= A'_{\max} - A_{\min} = A_{\Delta} + Ec' + 0,5T'_{\Delta} - (A_{\Delta} + Ec_{\Delta} + 0,5T_{\Delta}) = \\ &= Ec'_{\Delta} - Ec_{\Delta} + 0,5\delta_k\end{aligned}$$

Если компенсирующее звено увеличивающее:

$$\begin{aligned}\Delta_k &= A_{\min} - A'_{\min} = A_{\Delta} + Ec_{\Delta} - 0,5T_{\Delta} - (A_{\Delta} + Ec'_{\Delta} - 0,5T'_{\Delta}) = \\ &= Ec_{\Delta} - Ec'_{\Delta} + 0,5\delta_k\end{aligned}$$

Рассчитанную поправку вносят в координату середины поля допуска компенсирующего звена.



Метод пригонки

Достоинство метода пригонки :

на замыкающем звене любой размерной цепи (т.е. со сколь угодно большим числом составляющих звеньев m) можно достичь очень высокую точность.



Метод пригонки

Недостатки, которые ограничивают область применения метода пригонки:

I. Необходимость частичной разборки каждого изделия для извлечения компенсатора на пригонку после измерения в нем фактической величины замыкающего звена.



Метод пригонки

Недостатки, которые ограничивают область применения метода пригонки:

2. Необходимость иметь в технологическом процессе сборки операцию механической обработки со всеми возникающими при этом проблемами.



Метод пригонки

Недостатки, которые ограничивают область применения метода пригонки:

3. Разная величина припуска на пригонку на компенсаторе (от нуля до δ_k) и обусловленный этим различный объем пригоночных работ, а, следовательно, и их длительность на каждом изделии.

Это затрудняет нормирование сборки и организацию ритмичного потока в крупносерийном и массовом производствах.



МЕТОД РЕГУЛИРОВАНИЯ



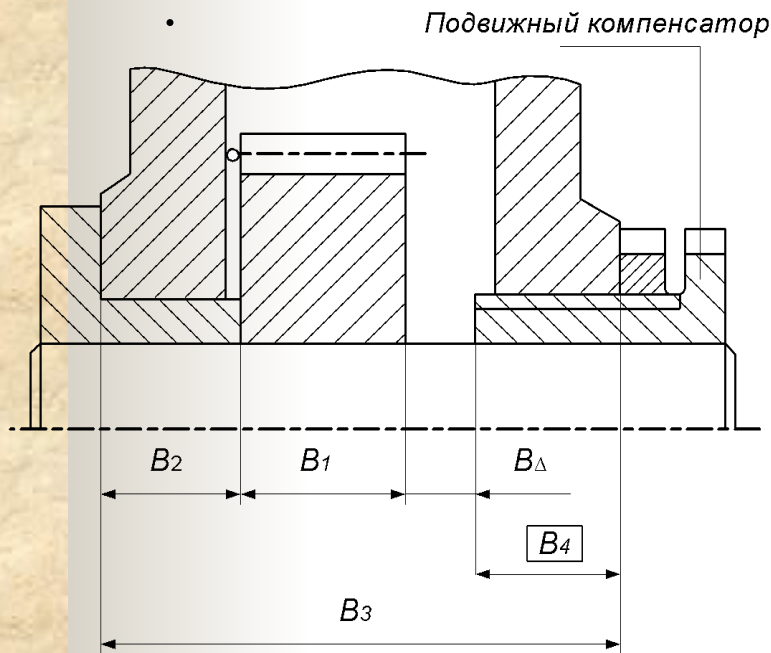
Метод регулирования

Сущность метода заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением величины одного из составляющих звеньев без съема с него материала.

Метод регулирования

Это изменение можно осуществить двумя способами:

- Изменением положения одной из деталей изделия на величину необходимой компенсации.

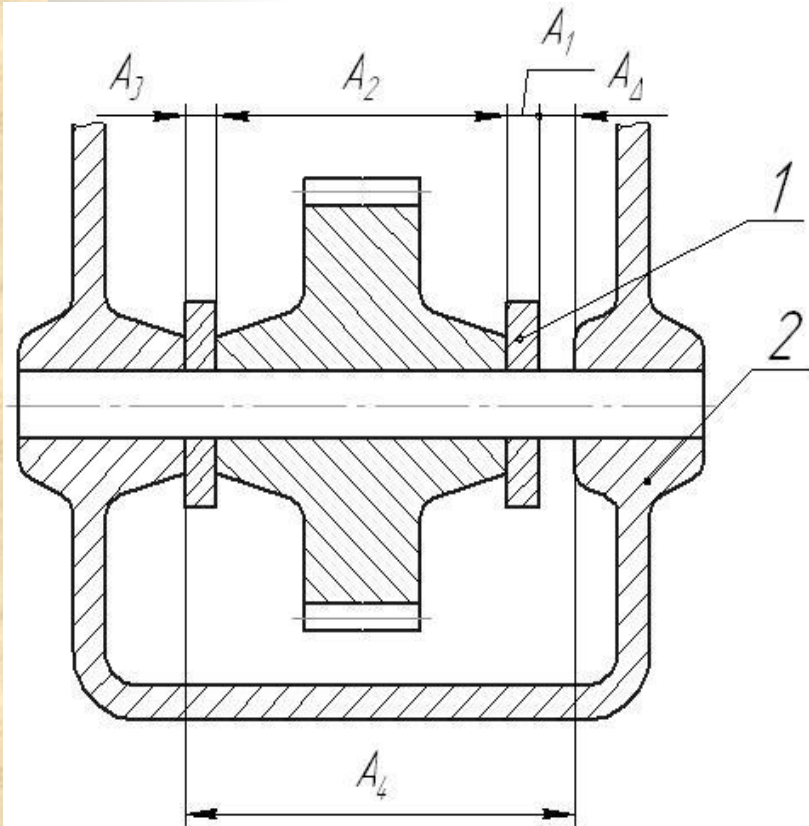


При этом способе величина компенсирующего звена изменяется непрерывно, а компенсатор называют подвижным

Реализация такого способа регулирования требует введения в конструкцию изделия специального механизма для перемещения детали-компенсатора.

Метод регулирования

Введением в изделие специальной детали-компенсатора, имеющей соответствующий размер.



При этом способе величина компенсирующего звена изменяется дискретно, а компенсатор называют неподвижным.

При сборке нет необходимости снимать с компенсатора слой материала, но необходимо заранее изготовить компенсаторы с разными размерами



Метод регулирования

При использовании метода регулирования
Конструктор:

- назначает номинальные значения, допуски и координаты их середин всех составляющих звеньев так же как и в методе пригонки, т.е. экономически достижимые в заданных производственных условиях, и рассчитывает величину компенсации δ_k .



Метод регулирования

- При регулировании подвижным компенсатором в регулировочном механизме предусматривает возможность перемещения компенсатора не менее чем на величину компенсации δk .



Метод регулирования

- **При регулировании неподвижным компенсатором:**
 - в конструкцию вводит специальную деталь-компенсатор и, следовательно, в размерную цепь дополнительное звено –компенсирующее.
 - назначает на компенсирующем звене номинальное значение, допуск и координату его середины,
 - корректирует номинальные значения одного или нескольких составляющих звеньев, так, чтобы уравнение номинальных размеров не нарушалось.
 - вычисляет поправку для совмещения верхней или нижней границы получившегося расширенного поля допуска и требуемого поля допуска замыкающего звена

Метод регулирования

- в отличие от пригонки, вносит эту поправку в координату середины поля допуска любого составляющего звена, *но не компенсирующего*.

В результате этой работы оказываются заданными размеры всех составляющих звеньев размерной цепи.

- определяет и задает количество ступеней компенсации и размеры компенсаторов каждой ступени:

$$N = \frac{\delta_k}{TB_{\Delta}} + 1$$

Метод регулирования

Количество ступеней компенсации:

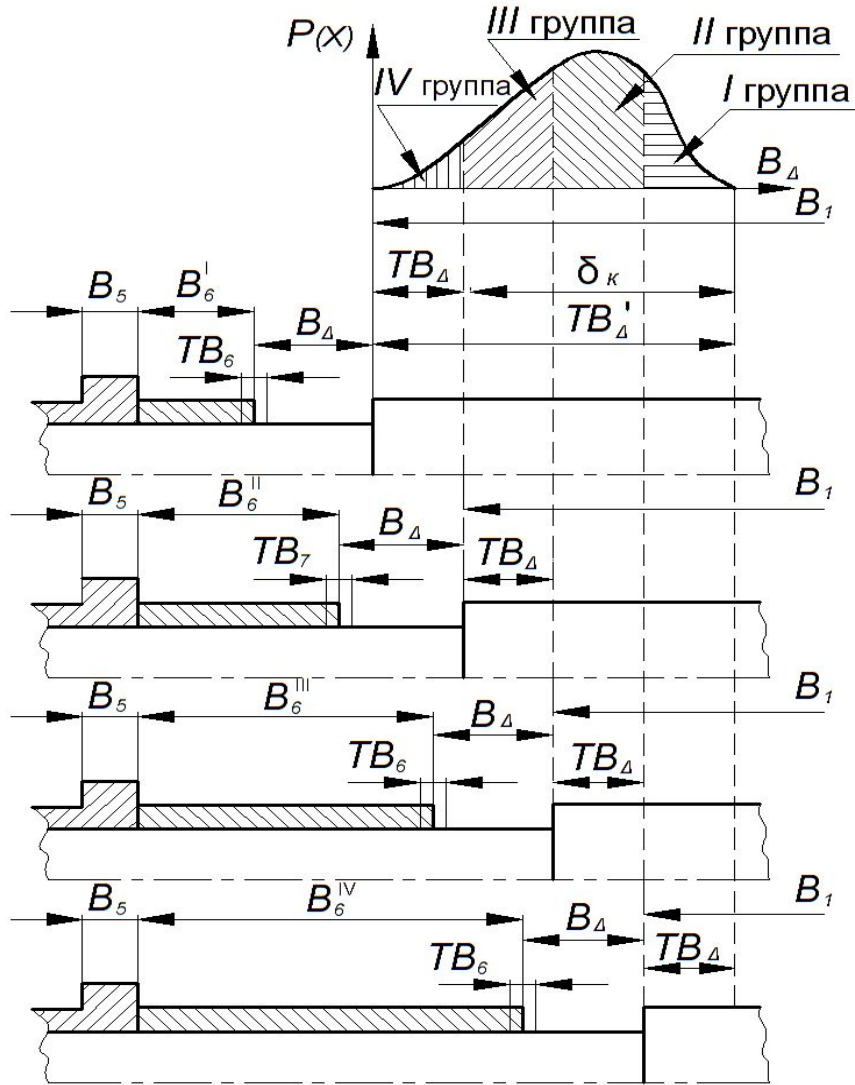
а) без учета точности (допуска) компенсирующего звена

$$N = \frac{\delta_k}{TB_{\Delta}} + 1$$

б) с учетом точности (допуска) компенсирующего звена

$$N = \frac{\delta_k}{TB_{\Delta} + 0,5TB_{\text{комп}}} + 1$$

Метод регулирования



Метод регулирования

Расчет размера компенсатора любой ступени:

а) при совмещении нижних границ полей допусков

$$TB_{\Delta}' \quad \text{и} \quad TB_{\Delta}$$

$$B_{\text{комп}}^N = B_{\text{комп}}^{\min} + (N - 1)TB_{\Delta}$$

б) при совмещении верхних границ полей допусков

$$TB_{\Delta}' \quad \text{и} \quad TB_{\Delta}$$

$$B_{\text{комп}}^N = B_{\text{комп}}^{\max} - (N - 1)TB_{\Delta}$$

Метод регулирования

Количество компенсаторов одного размера (одной ступени компенсации) пропорционально площади под кривой распределения на расширенном производственном поле допуска замыкающего звена

T_{Δ}' между границами этой ступени компенсации.



Метод регулирования

Регулирование неподвижным компенсатором целесообразно использовать в крупносерийном или массовом производстве,

- когда дополнительные расходы на изготовление компенсаторов разных размеров оказываются ниже, чем затраты на пригонку, и
- есть уверенность в том, что каждый изготовленный впрок компенсатор найдет применение в одном из изделий, что может и не случиться в единичном или мелкосерийном производствах.



Метод регулирования

Целесообразность применения регулирования подвижным компенсатором может быть ограничена только экономическими соображениями, так как введение в конструкцию регулирующего устройства взамен неподвижного компенсатора всегда связано с усложнением, а, следовательно, и с удорожанием конструкции.

Оправдать такое удорожание можно только существенной экономией на трудоемкости сборочных работ



Метод подбора составляющих звеньев



Метод подбора составляющих звеньев

Сущность метода заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается подбором составляющих звеньев с частично или полностью компенсирующимися отклонениями.

Метод подбора составляющих звеньев

Теоретически метод основан на механизме образования отклонения замыкающего звена размерной цепи в единичном изделии:

$$E_{\Delta}^j = \sum_{i=1}^m \xi_i E_i^j,$$

Принципиально возможно ⁱ⁼¹ все изготовленные детали распределить по таким комплектам, в которых сумма $\sum \xi_i E_i^j$ была бы одинакова.

Еще легче такую задачу решить, если дать возможность этой сумме хотя бы в небольших пределах различаться:

$$E_{\Delta}^{\min} > E_{\Delta}^j = \sum_{i=1}^m \xi_i E_i^j < E_{\Delta}^{\max}$$

Метод подбора составляющих звеньев

Реализация этой принципиальной возможности сопряжена с огромными организационно-экономическими затруднениями :

- требуется измерить абсолютно все детали по составляющим звеньям размерной цепи и связать неразрывно эту информацию с каждой деталью;
- вести непрерывные расчеты , перебирая возможные сочетания оставляющих звеньев, пока все изготовленные детали не будут распределены по комплектам, отвечающим условию $E_{\Delta}^{\min} > E_{\Delta}^j = \sum_{i=1}^m \xi_i E_i^j < E_{\Delta}^{\max}$
- все количество изготовленных деталей распределить по комплектам, сформированным в результате выполнения выше указанных расчетов;
- подавать на сборку комплекты деталей, ничего не перепутав.



Метод подбора составляющих звеньев

Реализация этого метода на практике становится возможной с внедрением в машиностроительное производство микропроцессорной техники, автоматических методов измерения и идентификации, систем адресного хранения и перемещения деталей и т.д.

Эти устройства берут на себя все расчеты и автоматический подбор составлявших деталей в комплекты.



Метод подбора составляющих звеньев

Метод требует разработки специального программного обеспечения, создания систем автоматизации технологических и транспортных процессов.

Метод находится в стадии теоретических разработок и экспериментов с технологическим оснащением, обеспечивающим возможности практического использования достаточно простой идеи метода.

