

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
“БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим работам

**«ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЗАМЫКАЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ ПРИ СБОРКЕ МЕТОДАМИ
ПРИГОНКИ И РЕГУЛИРОВАНИЯ»** по дисциплине
«Технология машиностроения (отраслевая)»
*для студентов специальностей 36 01 01 «Технология машиностроения» и
36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства».*

БРЕСТ 2004

УДК 621.91.002

Методические указания предназначены для оказания помощи студентам при выполнении практических работ и курсовых проектов по дисциплине «Технология машиностроения (отраслевая)»

Составитель: О.А. Медведев, доцент, к. т. н.

Рецензент: Ю. И. Плющев, доцент, зам. генерального директора по производству
РУПП Брестский машиностроительный завод.

1. ДОСТИЖЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЗАМЫКАЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ ПРИ СБОРКЕ МЕТОДОМ ПРИГОНКИ

1.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является приобретение практических навыков расчета размерных цепей при достижении точности замыкающих звеньев методом пригонки.

1.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В результате сборки должно быть обеспечено требуемое взаимное расположение исполнительных поверхностей деталей, при котором функциональные размеры машины не выходят за пределы своих допусков. В большинстве случаев функциональные размеры являются замыкающими звеньями конструкторских сборочных размерных цепей [4], анализ которых позволяет выбрать рациональные методы достижения точности сборки и спроектировать соответствующие сборочные операции.

Наиболее просто и быстро требуемая точность замыкающих звеньев достигается методами полной и неполной взаимозаменяемости путём простого сопряжения деталей по основным и вспомогательным конструкторским базам. При этом, для длинных сборочных размерных цепей, как правило, требуется высокая точность составляющих звеньев, и следовательно, большие затраты на изготовление комплектующих деталей.

Достижение высокой точности замыкающих звеньев длинных размерных цепей, при экономически приемлемых, расширенных допусках составляющих звеньев, возможно путём целенаправленного изменения величины одного из составляющих звеньев (компенсатора), удаляя с него определённый слой материала, то есть его пригонкой по месту.

К компенсатору предъявляются следующие требования:

- простая технологичная конструкция;
- малые габариты и масса;
- хорошая обрабатываемость материала;
- подгоняемый размер компенсатора может входить, как составляющее звено, лишь в одну сборочную конструкторскую размерную цепь;
- доступность местоположения компенсатора для измерения.

Если в рассматриваемой размерной цепи ни одно составляющее звено не удовлетворяет указанным требованиям, в цепь включают искусственный компенсатор, за счёт уменьшения или увеличения номинала одного из составляющих звеньев. Как правило, это прокладки, пластины, шайбы, дистанционные кольца и т. п.

Охватываемый компенсатор изначально должен быть изготовлен с максимальным размером, а охватывающий компенсатор - с минимальным размером, необходимым при худшем сочетании остальных составляющих звеньев.

Размер компенсатора, требуемый при конкретном сочетании составляющих звеньев в изделии, как правило, определяют при предварительной сборке, когда на место замыкающего звена устанавливают его эталон, а компенсатор не используют. Местоположение компенсатора измеряют и пригоняют компенсатор в полученный размер

точением, фрезерованием, шлифованием, шабрением, опиливанием или другими способами. За тем разбирают изделие, удаляют эталон и выполняют окончательную сборку с пригнанным компенсатором.

Распространённым случаем пригонки является обработка детали – компенсатора по месту в сборе.

Из-за значительной трудоёмкости предварительной сборки – разборки изделия и пригонки компенсатора такой метод достижения точности сборки применяется, в основном, в единичном и мелкосерийном производстве.

Целью размерного анализа сборки при методе пригонки является определение требований к точности сборочных работ и оснастки, исходного размера компенсатора и припуска на пригонку.

Определение предельных размеров компенсатора ведут на основе анализа и расчёта сборочной конструкторской размерной цепи. Расчёт осуществляется на основе метода максимума – минимума. Установить взаимосвязь между предельными размерами замыкающего звена, составляющих звеньев и компенсатора можно на основе рациональной схемы компенсации расширенных допусков составляющих звеньев. Она должна обеспечивать минимальную разницу между верхним и нижним номиналами компенсатора, что обеспечит снижение средней трудоёмкости пригонки, а также учитывать допуск пригонки компенсатора.

Схему компенсации, удовлетворяющую указанным требованиям, рассмотрим на примере трехзвенной размерной цепи, в которой компенсатор является уменьшающим охватываемым звеном. Схема приведена на рисунке 1.

Любая многозвенная размерная цепь с уменьшающим охватываемым компенсатором может быть сведена к такой математически тождественной трехзвенной цепи путём определения номинала A_{Σ} как алгебраической суммы всех составляющих звеньев (кроме компенсатора) и определения допуска TA_{Σ} как арифметической суммы допусков всех составляющих звеньев (кроме компенсатора).

Из схемы на рисунке 1 видно, что при максимальном значении суммарного составляющего звена $A_{\Sigma \max}$ для получения замыкающего звена A_{Δ} в пределах допуска TA_{Δ} с минимальными затратами материала компенсатора, достаточно иметь верхнее (исходное) минимальное значение компенсатора $K_{s \min}$, обеспечивающее получение $A_{\Delta \max}$. При этом допуск компенсатора TK не должен превышать допуска замыкающего звена TA_{Δ} . При минимальном значении суммарного составляющего звена $A_{\Sigma \min}$, чтобы сократить затраты времени на пригонку компенсатора, достаточно получить нижнее максимальное значение компенсатора $K_{s \max}$, обеспечивающее получение $A_{\Delta \min}$.

Если при $A_{\Sigma \max}$ добиваться получения $A_{\Delta \min}$, а при $A_{\Sigma \min}$ добиваться получения $A_{\Delta \max}$, то верхний номинал компенсатора будет больше и повысится среднее время пригонки компенсатора.

На основе описанной схемы компенсации запишем соотношения между предельными

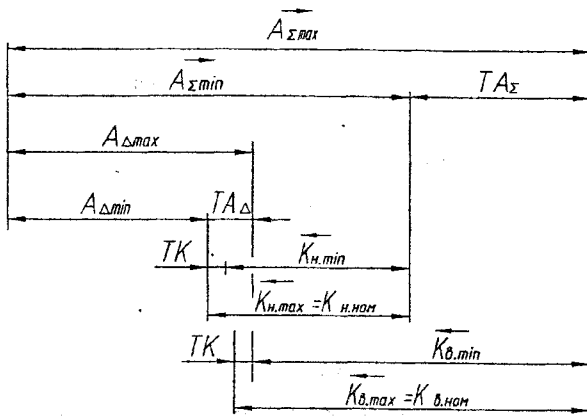


Рисунок 1. Схема компенсации суммарного расширенного допуска составляющих звеньев при методе пригонки, если компенсатор - уменьшающее охватываемое звено \bar{K}

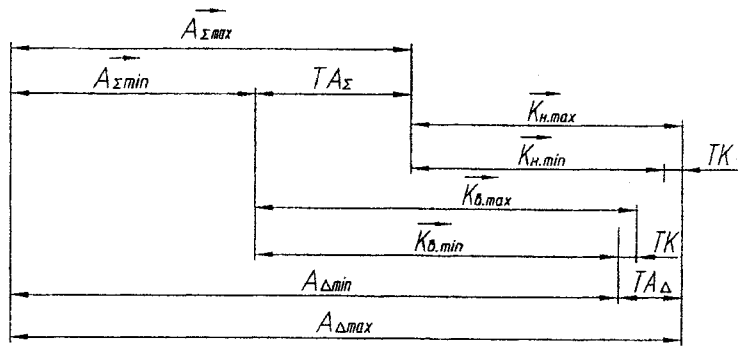


Рисунок 2. Схема компенсации суммарного расширенного допуска составляющих звеньев при методе пригонки, если компенсатор - увеличивающее охватываемое звено \bar{K}

размерами суммарного составляющего звена, замыкающего звена и компенсатора

$$A_{\Delta \max} = A_{\Sigma \max} - \bar{K}_{\sigma \min} \quad (1)$$

$$A_{\Delta \min} = A_{\Sigma \min} - \bar{K}_{\mu \max} \quad (2)$$

Предельные размеры суммарного составляющего звена для любой линейной размерной цепи

$$A_{\Sigma \max} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_i \max - \sum_{i=1}^m \bar{A}_i \min, \quad (3)$$

$$A_{\Sigma \min} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_i \min - \sum_{i=1}^m \bar{A}_i \max, \quad (4)$$

где: $\bar{A}_i \max$; $\bar{A}_i \min$ - предельные размеры i -го увеличивающего составляющего звена;

$\bar{A}_i \max$; $\bar{A}_i \min$ - предельные размеры i -го уменьшающего составляющего звена;

n ; m - число увеличивающих и уменьшающих звеньев соответственно.

Тогда для любой размерной цепи с уменьшающим компенсатором

$$A_{\Delta \max} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_i \max - \sum_{i=1}^m \bar{A}_i \min - \bar{K}_{\sigma \min} \quad (5)$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_i \min - \sum_{i=1}^m \bar{A}_i \max - \bar{K}_{\mu \max} \quad (6)$$

Верхнее максимальное значение компенсатора определим с учётом допуска компенсатора

$$\bar{K}_{\sigma \max} = \bar{K}_{\sigma \min} + TK = \sum_{i=1}^n \bar{A}_i \max - \sum_{i=1}^m \bar{A}_i \min - A_{\Delta \max} + TK \quad (7)$$

Нижнее минимальное значение компенсатора определим по значению $K_{\mu \max}$ и ТК

$$\bar{K}_{\mu \min} = \bar{K}_{\mu \max} - TK = \sum_{i=1}^n \bar{A}_i \min - \sum_{i=1}^m \bar{A}_i \max - A_{\Delta \min} - TK \quad (8)$$

Максимальный припуск, снимаемый во время пригонки компенсатора определим, вычитая почленно уравнение (8) из уравнения (7)

$$Z_{\max} = \bar{K}_{\sigma \max} - \bar{K}_{\mu \min} = \sum_{i=1}^{n+m} TA_i - TA_{\Delta} + 2TK \quad (9)$$

На рисунке 2 приведена схема компенсации расширенного суммарного допуска составляющих звеньев TA_{Σ} при методе пригонки для случая, если компенсатор является увеличивающим охватывающим звеном. Она построена аналогично предыдущей схеме и удовлетворяет требованию минимизации трудоёмкости пригонки. Соотношение между предельными значениями составляющих звеньев, замыкающего звена и компенсатора для схемы с увеличивающим охватываемым компенсатором запишем аналогично

$$A_{\Delta \max} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_{i \max} - \sum_{i=1}^m \bar{A}_{i \min} + \bar{K}_{H \max} \quad (10)$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_{i \min} - \sum_{i=1}^m \bar{A}_{i \max} + \bar{K}_{\sigma \min} \quad (11)$$

$$\bar{K}_{\sigma \max} = \bar{K}_{\sigma \min} + TK = A_{\Delta \min} - \left(\sum_{i=1}^n \bar{A}_{i \min} - \sum_{i=1}^m \bar{A}_{i \max} \right) + TK \quad (12)$$

$$\bar{K}_{H \min} = \bar{K}_{H \max} - TK = A_{\Delta \max} - \left(\sum_{i=1}^n \bar{A}_{i \max} - \sum_{i=1}^m \bar{A}_{i \min} \right) - TK \quad (13)$$

Вычитая почленно уравнение (13) из уравнения (12) получим выражение максимального припуска на пригонку увеличивающего компенсатора, точно совпадающее с уравнением (9).

Обычно охватывающие звенья нежелательно использовать в качестве компенсатора, так как трудоёмкость пригонки внутренних поверхностей деталей выше, чем наружных при одинаковой точности. Однако, в случае необходимости, выражения (5), (6), (7), (8), (9) можно использовать для размерных цепей с уменьшающим охватывающим компенсатором, а выражения (10), (11), (12), (13), (9) для размерных цепей с увеличивающим охватывающим компенсатором.

Из уравнения (9) следует, что с увеличением допусков составляющих звеньев и компенсатора растёт максимальный припуск на пригонку, а, следовательно, и средняя трудоёмкость пригонки, определяемая по среднему припуску

$$Z_{cp} = Z_{\max} / 2 \quad (14)$$

На основе производственного опыта рекомендуется назначать расширенные допуски составляющих звеньев (кроме компенсатора) по 11...12 квалитетам, если нет других более жестких ограничений по трудоёмкости пригонки, типу сопряжения деталей, или требованиям стандартов. Предельные отклонения увеличивающих звеньев назначают как на основные отверстия, а уменьшающих – как на основные валы.

Для обоснованного определения допуска компенсатора рассмотрим погрешности, возникающие на всех этапах формирования его размера.

В процессе предварительной сборки формируется технологическая сборочная размерная цепь, в которой замыкающим звеном B_{Δ} будет зазор между двумя деталями, предназначенный для размещения компенсатора. Кроме размеров деталей изделия в

эту технологическую размерную цепь в качестве составляющего звена входят размер эталона, установленного на место замыкающего звена A_{Δ} конструкторской сборочной размерной цепи, погрешность установки эталона, погрешность измерения зазора под компенсатор. Средний размер эталона должен быть равен среднему размеру замыкающего звена $A_{\Delta cp}$. Путём измерения зазора и пригонки компенсатора по месту компенсируются отклонения конкретных составляющих звеньев в конкретном изделии. Если место под компенсатор нельзя измерить, туда устанавливают эталон K_{Δ} , а измеряют замыкающее звено $A_{\Delta H}$. Тогда требуемый размер компенсатора $\bar{K}_{TP} = \bar{K}_{\Delta} + (A_{\Delta H} - A_{\Delta cp})$ или $\bar{K}_{TP} = \bar{K}_{\Delta} - (A_{\Delta H} - A_{\Delta cp})$. При окончательной сборке изделия из тех же составляющих звеньев и пригнанного компенсатора поле рассеяния замыкающего звена A_{Δ} будет равно технологическому допуску компенсатора. Этот допуск равен сумме погрешности пригонки и погрешностей тех составляющих звеньев технологической размерной цепи, которые при предварительной сборке конкретного изделия могут приобретать случайные значения, отличающиеся от их значений в конструкторской размерной цепи при окончательной сборке того же экземпляра изделия, или отсутствующие в конструкторской цепи. Погрешности таких звеньев не могут быть учтены пригонкой компенсатора. В большинстве случаев такими звеньями являются: размер эталона; погрешность установки эталона; погрешность измерения местоположения компенсатора.

Тогда

$$TK = \varepsilon_{II} + \varepsilon_{\Delta} + \varepsilon_{V\Delta} + \varepsilon_{И}, \quad (15)$$

где:

ε_{II} - погрешность пригонки, мм;

ε_{Δ} - допуск эталона, мм;

$\varepsilon_{V\Delta}$ - погрешность установки эталона, мм;

$\varepsilon_{И}$ - погрешность измерения местоположения компенсатора, мм.

Точность сборки всех изделий будет обеспечена, если выполняется условие

$$TA_{\Delta} \geq TK \quad (16)$$

Способ пригонки должен соответствовать форме обрабатываемой поверхности компенсатора; механическим свойствам его материала и возможности удаления максимального припуска на пригонку за один проход. Погрешность пригонки можно определить по таблицам точности [2]. Размер компенсатора после пригонки K должен удовлетворять условию

$$K_{И} - \frac{\varepsilon_{II}}{2} \leq K \leq K_{И} + \frac{\varepsilon_{II}}{2}, \quad (17)$$

где $K_{И}$ - размер местоположения компенсатора, полученный измерением, мм.

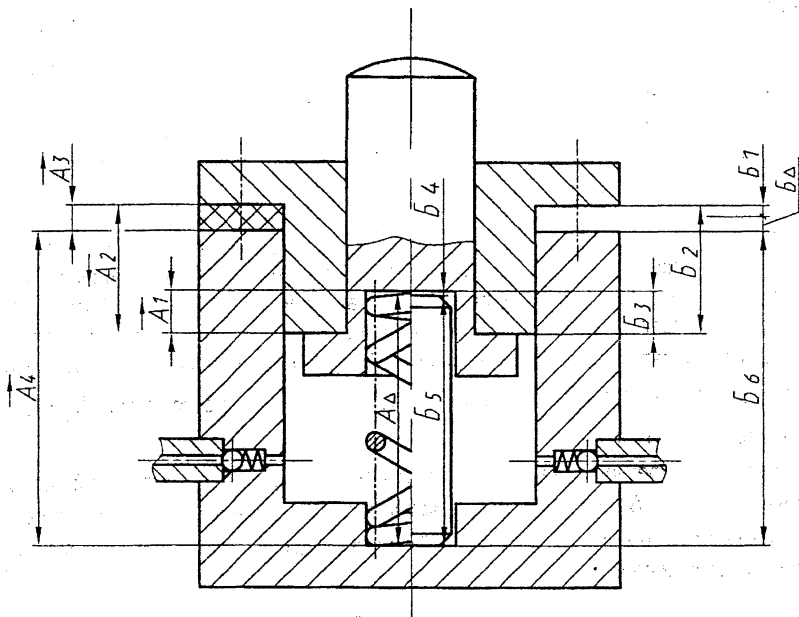


Рисунок 3. Схема сборочных размерных цепей для плунжерного насоса:
 конструкторской - для замыкающего звена A_{Δ}
 технологической - для замыкающего звена B_{Δ}

Средство измерения $K_{из}$ должно соответствовать номиналу и виду размера (охватывающий или охватываемый). Погрешность измерения определяется по таблицам [1,6].

Погрешность установки эталона определяют как перекося его исполнительной поверхности за счет зазора между эталоном и сопрягаемой деталью или как погрешность формы исполнительной поверхности эталона.

Допуск эталона назначают по 7...10 квалитетам [6]. Номинал эталона равен $A_{\Delta_{ср}}$.

Приемлемость способа пригонки, средства измерения, допуска эталона и способа установки поверяют по условию (16).

Рассмотренную методику поясним на примере достижения точности высоты полости под пружину плунжерного насоса $A_{\Delta} = 54 \pm 0,2$ методом пригонки. Схема сборочной конструкторской размерной цепи для A_{Δ} приведена на рисунке 3. Номиналы составляющих звеньев: $\bar{A}_1 = 9 \text{ мм}$; $\bar{A}_2 = 27 \text{ мм}$; $\bar{A}_3 = 5 \text{ мм}$; $\bar{A}_4 = 67 \text{ мм}$.

Наиболее полно всем требованиям к компенсатору отвечает звено A_1 - толщина прокладки.

Принимаем $\bar{A}_3 = \bar{K}$. Для увеличивающего компенсатора принимаем схему компенсации суммарного расширенного допуска составляющих звеньев, представленную на рисунке 2.

Так как в размерной цепи нет размеров стандартных изделий и размеров точных сопряжений, то на все составляющие звенья, кроме компенсатора, назначаем допуски по 12 квалитету с предельными отклонениями: $\bar{A}_1 = 9^{+0,15}$; $\bar{A}_2 = 27_{-0,21}$; $\bar{A}_4 = 67^{+0,3}$.

Определение требуемого размера компенсатора для конкретного экземпляра насоса производится при предварительной сборке, в процессе которой формируется технологическая сборочная размерная цепь, приведенная на рисунке 3. Замыкающим звеном в ней является зазор под прокладку B_Δ , а составляющими звеньями, кроме размеров деталей насоса $B_2 = A_2$, $B_3 = A_1$, $B_6 = A_4$, являются также: $B_4 = \varepsilon_{\text{вз}}$; B_5 - размер эталона; $B_1 = \varepsilon_{\text{н}}$.

В каждой конкретной реализации предварительной и окончательной сборки размеры $B_2 = A_2$, $B_3 = A_1$, $B_6 = A_4$ являются постоянными и их отклонения компенсируются пригонкой компенсатора. Тогда возможное поле рассеяния значений измеренного зазора под компенсатор

$$TB_\Delta = TB_4 + TB_5 + TB_1 = \varepsilon_{\text{вз}} + \varepsilon_{\text{э}} + \varepsilon_{\text{н}}$$

Возможное поле рассеяния размера пригнанного компенсатора (технологический допуск компенсатора)

$$TK = TB_\Delta + \varepsilon_{\text{п}} = \varepsilon_{\text{вз}} + \varepsilon_{\text{э}} + \varepsilon_{\text{н}} + \varepsilon_{\text{п}}$$

Погрешность установки эталона определим как смещение края его верхнего торца за счет перекоса в пределах зазора между цилиндром эталона и стенками отверстий плунжера и корпуса. При зазоре $S=0,15$ мм и длине эталона $L_3=54$ мм тангенс угла перекоса эталона α

$$tg\alpha = S/L_3 = 0,15/54$$

Смещение края верхнего торца эталона при его диаметре $d = 18$ мм

$$\Delta_{\text{вз}} = d * tg\alpha = \frac{18 * 0,15}{54} = 0,05 \text{ мм}$$

Погрешность изготовления эталона принимаем предварительно по экономически приемлемому 9 квалитету $\varepsilon_{\text{э}} = 0,074$ мм.

Для измерения зазора под компенсатор принимаем штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ166-80 с ценой деления нониуса 0,1мм и предельной погрешностью измерения $\varepsilon_{\text{н}} = 0,2$ мм [1,6].

При ожидаемом максимальном припуске около 1мм в качестве способа пригонки незакаленного компенсатора по плоскости следует принять чистовое фрезерование, для удаления значительного припуска за один проход. Для чистового фрезерования по 10 квалитету $\varepsilon_{\text{п}} = 0,048$ [6].

Тогда технологический допуск компенсатора

$$TK = \varepsilon_{\Pi} + \varepsilon_{\Theta} + \varepsilon_{V\Theta} + \varepsilon_H = 0,048 + 0,074 + 0,05 + 0,2 = 0,372 \text{ мм}$$

Так как $TK < TA_{\Delta} = 0,4 \text{ мм}$, то требуемая точность замыкающего звена может быть обеспечена при выбранном способе пригонки, измерительном средстве, способе установки эталона и точности эталона.

Определяем предельные размеры компенсатора. Верхнее (исходное) минимальное значение компенсатора определяем из уравнения (11)

$$K_{\varepsilon \min} = A_{\Delta \min} - \sum_{i=1}^n \bar{A}_{i \min} + \sum_{i=1}^m \bar{A}_{i \max} = 53,8 - 9 - 67 + 21 = 4,8 \text{ мм}$$

Верхнее максимальное значение компенсатора

$$K_{\varepsilon \max} = K_{\varepsilon \min} + TK = 4,8 + 0,372 = 5,172 \text{ мм}$$

Нижнее максимальное значение компенсатора (10)

$$K_{H \max} = A_{\Delta \max} - \sum_{i=1}^n \bar{A}_{i \max} + \sum_{i=1}^m \bar{A}_{i \min} = 54,2 - 9,15 - 67,3 + 26,79 = 4,54 \text{ мм}$$

Нижнее минимальное значение компенсатора

$$K_{H \min} = K_{H \max} - TK = 4,54 - 0,372 = 4,168 \text{ мм}$$

Максимальный припуск на пригонку (9)

$$Z_{\max} = \sum_{i=1}^{m+n} TA_i - TA_{\Delta} + 2TK = 0,15 + 0,21 + 0,3 - 0,4 + 2 * 0,372 = 1,004 \text{ мм}$$

Проверим правильность расчетов по уравнениям (10) и (11)

$$A_{\Delta \max} = 9,15 + 67,3 - 26,79 + 4,54 = 54,2 \text{ мм} \quad - \text{сходится}$$

Если в этом случае компенсатор получится с размером $K_{H \min}$, то

$$A_{\Delta} = 9,15 + 67,3 - 26,79 + 4,168 = 53,828 \text{ мм} \quad - \text{в пределах } TA_{\Delta}$$

$$A_{\Delta \min} = 9 + 67 - 27 + 4,8 = 53,8 \text{ мм} \quad - \text{сходится}$$

Если в этом случае компенсатор получился с размером $K_{\varepsilon \max}$, то

$$A_{\Delta} = 9 + 67 - 27 + 5,172 = 54,172 \text{ мм} \quad - \text{в пределах } TA_{\Delta}$$

Таким образом, расчеты проведены верно, а выбранные методы проведения сборочных работ могут обеспечить требуемую точность замыкающего звена TA_{Δ} .

1.3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1.3.1. Для выявленной сборочной конструкторской размерной цепи (смотри методические указания к практической работе «Выявление сборочных конструкторских размерных цепей») с заданными номиналом и предельными отклонениями замыкающего звена и номиналами составляющих звеньев, выбрать компенсатор и соответствующую схему компенсации расширенного суммарного допуска составляющих звеньев.

1.3.2. Назначить допуски и предельные отклонения на все составляющие звенья, кроме компенсатора:

- на стандартные звенья по соответствующим стандартам;
- на звенья точных сопряжений по рекомендациям [6, 7], исходя из условий их работы;
- на остальные составляющие звенья по таблицам допусков [6] по 11...12 квалитетам, с предельными отклонениями на увеличивающие звенья, как на основные отверстия, а на уменьшающие звенья, как на основные валы.

1.3.3. Выявить технологическую сборочную размерную цепь для предварительной сборки изделия с эталоном.

1.3.4. Назначить допуск эталона и определить погрешность установки эталона.

1.3.5. Выбрать средство измерения местоположения компенсатора. Определить погрешность измерения.

1.3.6. Выбрать способ пригонки компенсатора. Определить погрешность пригонки.

1.3.7. Определить технологический допуск компенсатора по уравнению (15). Проверить выполнение неравенства (16) и при необходимости скорректировать пункты 1.3.4, 1.3.5, 1.3.6, 1.3.7.

1.3.8. Определить предельные размеры компенсатора по уравнениям (5-8) или (10-13).

1.3.9. Определить максимальный припуск на пригонку по уравнению (9).

1.3.10. Проверить правильность расчетов по уравнениям (5) и (6) или (10) и (11).

1.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сущность метода пригонки. Его преимущества и недостатки.
2. Требования к компенсатору.
3. Область рационального использования метода пригонки.
4. Цель размерного анализа при методе пригонки.
5. Принципы назначения допусков и предельных отклонений составляющих звеньев конструкторской размерной цепи.
6. Принципы построения рациональных схем компенсации при увеличивающим и уменьшающем компенсаторе.
7. Уравнения взаимосвязи предельных размеров замыкающего звена, составляющих звеньев и компенсатора (увеличивающего и уменьшающего).
8. Определение максимального припуска на пригонку.
9. Определение размера компенсатора для конкретного изделия.
10. Принципы выявления технологической сборочной размерной цепи для предварительной сборки изделия.
11. Определение составляющих технологического допуска компенсатора.
12. Оценка приемлемости способа пригонки и методов выполнения сборочных работ для достижения точности замыкающего звена.
13. Последовательность размерного анализа при методе пригонки.

2. ДОСТИЖЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЗАМЫКАЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ ПРИ СБОРКЕ МЕТОДОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

2.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является приобретение практических навыков расчета размерных цепей при достижении точности замыкающих звеньев методом регулирования.

2.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Принцип компенсации суммарного расширенного допуска составляющих звеньев, путём изменения размера компенсатора для достижения требуемой точности замыкающего звена, можно применить в серийном и крупносерийном производстве, если заменить пригонку быстрым регулированием размера компенсатора.

В машиностроении наибольшее применение получили две разновидности метода регулирования:

- регулирование подвижного компенсатора;
- использование комплекта неподвижных компенсаторов.

2.2.1. МЕТОД РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО КОМПЕНСАТОРА

Подвижный компенсатор представляет собой устройство, в котором расстояние между деталями или элементами одной детали может быстро изменяться и фиксироваться. Например: регулируемая резьбовая тяга, клиновое устройство, разрезная упругая конусная втулка, упругий элемент и т. п.

Такое усложнение конструкции компенсатора обеспечивает ряд преимуществ перед методом пригонки:

- снижается трудоёмкость изменения размера компенсатора;
- исключается предварительная сборка – разборка изделия (при возможности измерения замыкающего звена или лёгкой установки – снятия эталона);
- появляется возможность восстанавливать точность замыкающего звена в процессе эксплуатации изделия по мере износа деталей.

Размер подвижного компенсатора, требуемый для конкретного изделия, получается регулированием компенсатора в процессе окончательной сборки. При этом замыкающее звено конструкторской сборочной размерной цепи контролируется эталоном (калибром, щупом) или измерительным средством.

Конструкция подвижного компенсатора принимается при проектировании изделия с учетом следующих требований:

- регулируемый размер компенсатора может входить в качестве составляющего звена лишь в одну сборочную конструкторскую размерную цепь;
- доступность местоположения компенсатора для регулирования;
- малая трудоёмкость регулирования;
- простая и надёжная конструкция компенсатора;

- достаточность диапазона регулирования компенсатора для компенсации расширенного суммарного допуска составляющих звеньев конструкторской размерной цепи.

Целью размерного анализа сборки при использовании подвижного компенсатора является определение требований к точности сборочных работ и оснастки, предельных размеров компенсатора и диапазона его регулирования.

В конструкторскую сборочную размерную цепь следует включать только один регулируемый размер подвижного компенсатора. Эта цепь используется для определения предельных значений регулируемого размера и диапазона регулирования компенсатора, в зависимости от предельных значений составляющих звеньев с расширенными допусками и требуемых предельных значений замыкающего звена. Для этого используются те же схемы компенсации, что и для метода пригонки (рисунки 1 и 2) и уравнения для предельных размеров (5), (6), (7), (8) или (10), (11), (12), (13) соответственно для уменьшающего или увеличивающего размера компенсатора. По уравнению (9) вместо максимального припуска на пригонку определяется диапазон регулирования подвижного компенсатора ΔK .

Формирование размера подвижного компенсатора в конкретном изделии отличается от формирования компенсатора при методе пригонки. Размер подвижного компенсатора является замыкающим звеном B_{Δ} технологической размерной цепи, возникающей в процессе окончательной сборки на этапе установки эталона на место замыкающего звена A_{Δ} (или измерения A_{Δ}) и регулирования компенсатора. В эту цепь, кроме размеров деталей изделия, в качестве составляющих звеньев входят: размер эталона; погрешность его установки (или размер измерительного средства и погрешность измерения A_{Δ}); погрешность регулирования подвижного компенсатора. Технологический допуск подвижного компенсатора $TK = TB_{\Delta}$ будет равен сумме погрешностей тех составляющих звеньев технологической размерной цепи, которые отсутствуют в конструкторской размерной цепи, или приобретают в ней другие случайные значения и, поэтому, не могут быть компенсированы регулировкой компенсатора. Таким образом, при использовании эталона

$$TK = \varepsilon_{\mathcal{E}} + \varepsilon_{y\mathcal{E}} + \varepsilon_p, \quad (18)$$

где: $\varepsilon_{\mathcal{E}}$ - допуск эталона (калибра, щупа), мм;

$\varepsilon_{y\mathcal{E}}$ - погрешность установки эталона, мм;

ε_p - погрешность регулирования подвижного компенсатора, мм.

При использовании измерительного средства для контроля A_{Δ}

$$TK = \varepsilon_H + \varepsilon_p, \quad (19)$$

где: ε_H - погрешность измерения, мм.

Выбор точности эталона, способа его установки, средства измерения выполняется так же, как при методе пригонки. Погрешность регулирования определяется конструкцией компенсатора.

Приемлемость выбора проверяется по условию (16).

Размерный анализ техпроцесса сборки при достижении точности замыкающего звена методом регулирования подвижного компенсатора осуществляется в той же последовательности, что и при методе пригонки, но с учетом ранее указанных особенностей.

2.2.2. МЕТОД РЕГУЛИРОВАНИЯ КОМПЛЕКТА НЕПОДВИЖНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

В этом случае изменение размера компенсатора осуществляется ступенчато, путём выбора и установки в изделие при окончательной сборке одного компенсатора определённого размера из заранее изготовленного комплекта, или установкой определённого числа одинаковых тонких компенсаторов.

Неподвижные компенсаторы применяются в случае, если конструктивно невозможно применить более сложный, громоздкий и дорогой подвижный компенсатор. Требования к неподвижному компенсатору такие же, как и при методе пригонки.

Для уяснения принципа использования комплекта неподвижных компенсаторов разной длины обратимся к схеме компенсации на рисунке 1. Применяя компенсатор с размером $K_{н, \max}$ можно обеспечить A_{Δ} в пределах заданного допуска TA_{Δ} , если A_{Σ} находится в пределах от $A_{\Sigma \min}$ до $A_{\Sigma \min} + TA_{\Delta}$, то есть, можно компенсировать часть TA_{Σ} , равную TA_{Δ} . Применяя второй компенсатор с размером $K_{н, \max} + TA_{\Delta}$ можно компенсировать еще такую же часть TA_{Σ} , примыкающую к первой. Таким образом, для компенсации всего TA_{Σ} потребуется $N = TA_{\Sigma} / TA_{\Delta}$ компенсаторов. Разность размеров соседних компенсаторов называется ступенью компенсации c . В идеале $c = TA_{\Delta}$. В действительности $c < TA_{\Delta}$, из-за наличия допуска изготовления компенсаторов TK и погрешности определения требуемого размера компенсатора ε_K .

Размер требуемого в конкретном изделии компенсатора определяется в результате предварительной сборки и измерения местоположения компенсатора, так же, как при методе пригонки. Выбирают тот компенсатор, средний размер которого (в пределах допуска) наиболее близок к измеренному. Требуемое количество одинаковых тонких компенсаторов определяется делением найденного при измерении размера на средний размер одного компенсатора.

В данных условиях, по аналогии с методом пригонки, наибольшее отклонение A_{Δ} от $A_{\Delta \text{ср}}$ будет равно отклонению $\varepsilon_K / 2$ выбранного компенсатора от требуемого размера $K_{ТР}$, которое формируется при предварительной сборке изделия, измерении местоположения компенсатора, а также, (в отличие от метода пригонки) при предварительном изготовлении и выборе компенсатора, и её составляющие должны быть учтены в технологической сборочной размерной цепи. В этой цепи замыкающим звеном является размер выбранного компенсатора. Его погрешность ε_K будет равна сумме погрешностей тех составляющих звеньев технологической размерной цепи, которые отсутствуют в конструкторской размерной цепи или приобретают в ней другие случайные значения и не могут быть компенсированы выбором компенсатора (в том числе и погрешность изготовления самого компенсатора).

Тогда

$$\varepsilon_K = \varepsilon_{\Sigma} + \varepsilon_{V\Sigma} + \varepsilon_H + \varepsilon_B + TK, \quad (20)$$

где: $\varepsilon_{\Sigma}, \varepsilon_{V\Sigma}, \varepsilon_H, \varepsilon_B$ - погрешность эталона, установки эталона, измерения, выбора компенсатора, соответственно, мм;

TK - допуск изготовления компенсаторов в комплекте, мм.

Значения $\varepsilon_{\Sigma}, \varepsilon_{V\Sigma}, \varepsilon_H$ определяются так же, как при методе пригонки. Предельное значение погрешности выбора компенсатора равно разности между средними размерами соседних компенсаторов в комплекте, то есть ступени компенсации. С такой погрешностью измеренное значение компенсатора воспроизводится на выбранном компенсаторе в самом неблагоприятном случае.

$$\varepsilon_B = c \quad (21)$$

Допуск изготовления компенсаторов определяется по таблицам точности, с учетом метода их обработки [2].

Требуемая точность замыкающего звена A_{Δ} будет обеспечена путём выбора неподвижного компенсатора из заранее изготовленного комплекта, если соблюдается условие

$$TA_{\Delta} \geq \varepsilon_K = \varepsilon_{\Sigma} + \varepsilon_{V\Sigma} + \varepsilon_H + c + TK \quad (22)$$

Для сокращения числа компенсаторов в комплекте принимается максимально возможное значение c , при котором условие (22) превращается в равенство.

Тогда

$$c = TA_{\Delta} - \varepsilon_{\Sigma} - \varepsilon_{V\Sigma} - \varepsilon_H - TK \quad (23)$$

Схемы компенсации суммарного расширенного допуска составляющих звеньев конструкторской размерной цепи, показывающие взаимосвязь между границами $TA_{\Delta}, TA_{\Sigma}, TK, \varepsilon_K$, ступенями компенсации, с учетом описанных принципов, для уменьшающего и увеличивающего неподвижного компенсатора приведены на рис. 4 и 5 соответственно.

На схемах погрешность формирования размера компенсатора обозначена ε_{PK}

$$\varepsilon_{PK} = \varepsilon_{\Sigma} + \varepsilon_{V\Sigma} + \varepsilon_H \quad (24)$$

Число ступеней компенсации (компенсаторов разной длины в комплекте) определяется по формуле

$$N = \frac{TA_{\Sigma}}{c} = \frac{TA_{\Sigma}}{TA_{\Delta} - \varepsilon_{\Sigma} - \varepsilon_{V\Sigma} - \varepsilon_H - TK} \quad (25)$$

Значение допусков составляющих звеньев конструкторской и технологической размерных цепей следует выбирать так, чтобы значение N получалось целым и не превышало 10 (с целью ограничения затрат на изготовление комплекта компенсаторов). В обоснованных случаях N может быть больше.

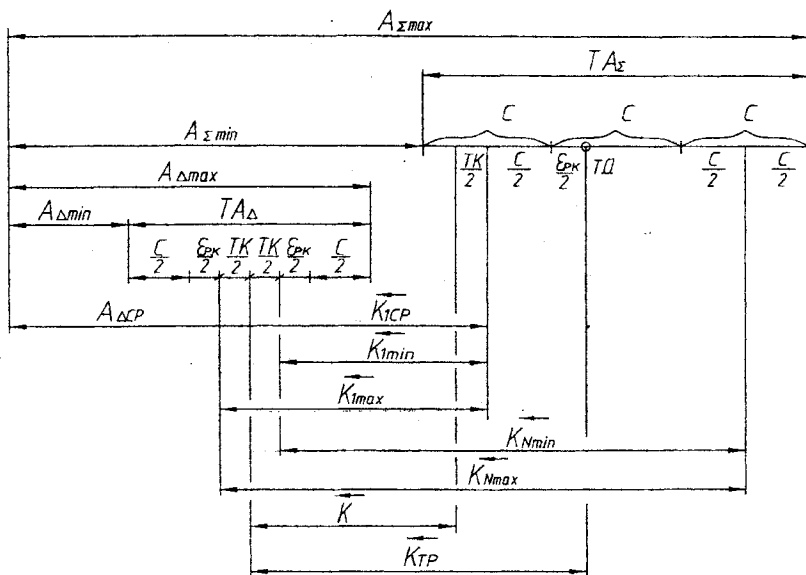


Рисунок 4. Схема компенсации суммарного расширенного допуска составляющих звеньев при методе регулирования комплектом неподвижных уменьшающих компенсаторов

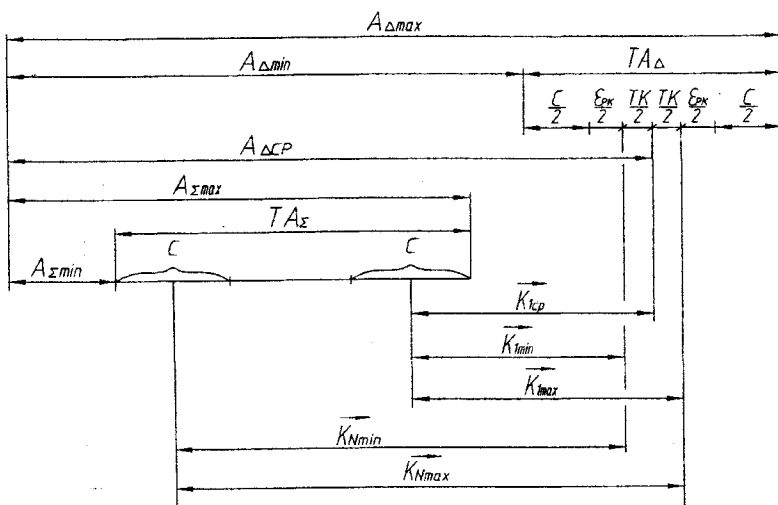


Рисунок 5. Схема компенсации суммарного расширенного допуска составляющих звеньев при методе регулирования, комплектом неподвижных увеличивающих компенсаторов

Для схемы компенсации с уменьшающимися неподвижными компенсаторами разной длины запишем основные соотношения между средними и предельными размерами замыкающего, составляющих звеньев и компенсаторов первой K_1 и последней K_N ступеней.

$$\bar{K}_{1cp} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_{i \min} - \sum_{i=1}^m \bar{A}_{i \max} + \frac{c}{2} - A_{\Delta cp} \quad (26)$$

$$\bar{K}_{1 \min} = \bar{K}_{1cp} - \frac{TK}{2}; \quad \bar{K}_{1 \max} = \bar{K}_{1cp} + \frac{TK}{2} \quad (27)$$

$$\bar{K}_{2cp} = \bar{K}_{1cp} + c \quad (28)$$

$$\bar{K}_{2 \min} = \bar{K}_{2cp} - \frac{TK}{2}; \quad \bar{K}_{2 \max} = \bar{K}_{2cp} + \frac{TK}{2} \quad (29)$$

$$\bar{K}_{Ncp} = \bar{K}_{cp} + (N-1) * c \quad (30)$$

$$\bar{K}_{N \min} = \bar{K}_{Ncp} - \frac{TK}{2}; \quad \bar{K}_{N \max} = \bar{K}_{Ncp} + \frac{TK}{2} \quad (31)$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_{i \min} - \sum_{i=1}^m \bar{A}_{i \max} - \bar{K}_{1 \max} - \frac{\varepsilon_{PK}}{2} \quad (32)$$

$$A_{\Delta \max} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_{i \max} - \sum_{i=1}^m \bar{A}_{i \min} - \bar{K}_{N \min} + \frac{\varepsilon_{PK}}{2} \quad (33)$$

Аналогичные соотношения запишем для схемы компенсации с увеличивающимися неподвижными компенсаторами разной длины

$$\bar{K}_{1cp} = A_{\Delta cp} - \sum_{i=1}^n \bar{A}_{i \max} + \sum_{i=1}^m \bar{A}_{i \min} + \frac{c}{2} \quad (34)$$

Предельные размеры компенсаторов всех ступеней также определяются по формулам (27), (28), (29), (30), (31).

$$A_{\Delta \min} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_{i \min} - \sum_{i=1}^m \bar{A}_{i \max} + \bar{K}_{N \min} - \frac{\varepsilon_{PK}}{2} \quad (35)$$

$$A_{\Delta \max} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_{i \max} - \sum_{i=1}^m \bar{A}_{i \min} + \bar{K}_{1 \max} + \frac{\varepsilon_{PK}}{2} \quad (36)$$

Размеры компенсаторов, рассчитанные по данным формулам обеспечивают требуемую точность замыкающего звена A_{Δ} даже в самых неблагоприятных условиях выбора компенсатора, когда отклонения, возникающее на каждом этапе выбора, направлены в одну сторону и не компенсируют друг друга. Рассмотрим такой случай по схеме на рисунке 4. Пусть в конкретном изделии суммарное составляющее звено соответствует точке a , расположенной на расстоянии $\varepsilon_{PK}/2$ левее первой ступени компенсации. Для получения среднего значения замыкающего звена $A_{\Delta cp}$, в этом случае потребуется компенсатор с размером K_{TP} . Этот размер наиболее близок к среднему размеру компенсатора второй ступени, который и должен быть выбран. Однако при предварительной сборке и измерении местоположения компенсатора может быть получен размер меньше K_{TP} на $\varepsilon_P/2$, что соответствует границе между первой и второй ступенью компенсации. При таком измеренном значении может быть обоснованно выбран компенсатор первой ступени со средним значением K_{1cp} . В этом случае возникает максимально возможное отклонение выбора размера компенсатора $\varepsilon_B/2 = c/2$. Выбранный для конкретного изделия компенсатор первой ступени может иметь действительный размер на $TK/2$ меньше среднего K_{1cp} , и общее максимально возможное отклонение выбранного компенсатора K от K_{TP} будет

$$\frac{\varepsilon_K}{2} = \frac{\varepsilon_{PK}}{2} + \frac{c}{2} + \frac{TK}{2} \quad (37)$$

Но и в этом случае замыкающее звено A_{Δ} не выйдет за пределы заданного допуска TA_{Δ} при окончательной сборке изделия.

Рассмотрим пример размерного анализа сборки при достижении точности замыкающего звена методом регулирования комплектом неподвижных компенсаторов разной длины для тех же исходных данных, что и в примере для метода пригонки.

Выбор компенсатора, допусков и предельных отклонений составляющих звеньев конструкторской размерной цепи, погрешностей составляющих звеньев технологической размерной цепи определяем так же, как в указанном примере. Принимаем схему компенсации на рисунке 5.

Допуск изготовления компенсаторов комплекта принимаем по таблицам точности [2] для чистового фрезерования по 10 качеству $TK = 0,048$ мм.

По формуле (24) определяем погрешность формирования размера компенсатора

$$\varepsilon_{PK} = 0,074 + 0,05 + 0,2 = 0,324 \text{ мм}$$

Величину ступени компенсации определяем по формуле (23)

$$c = 0,4 - 0,074 - 0,05 - 0,2 - 0,048 = 0,028 \text{ мм}$$

Число ступеней компенсации определяем по формуле (25)

$$N = \frac{0,66}{0,028} = 23,57$$

Уменьшение, неприемлемо большого числа компенсаторов, возможно путём использования более точного средства измерения, например индикаторного нутромера, для которого $\varepsilon_H = 0,01$ мм [1]. Тогда

$$c = 0,4 - 0,074 - 0,05 - 0,01 - 0,048 = 0,218 \text{ мм}$$

$$N = \frac{0,66}{0,218} = 3,027$$

Для получения целого $N = 3$ корректируем допуск компенсатора $TK = 0,046$ мм. После корректировок $\varepsilon_{PK} = 0,134$ мм.

Средний размер увеличивающего компенсатора первой ступени определяем по формуле (34)

$$\bar{K}_{1cp} = 54 - 9,15 - 67,3 + 26,79 + \frac{0,22}{2} = 4,45 \text{ мм}$$

Средние размеры компенсаторов остальных ступеней определяем по формуле (30)

$$K_{2cp} = 4,45 + 0,22 = 4,67 \text{ мм}$$

$$K_{3cp} = 4,45 + 2 * 0,22 = 4,89 \text{ мм}$$

Предельные размеры компенсаторов всех ступеней определяем по формуле (31):

$$K_{1min} = 4,45 - \frac{0,046}{2} = 4,427 \text{ мм}; \quad K_{1max} = 4,45 + \frac{0,046}{2} = 4,473 \text{ мм}$$

$$K_{2min} = 4,67 - \frac{0,046}{2} = 4,647 \text{ мм}; \quad K_{2max} = 4,67 + \frac{0,046}{2} = 4,693 \text{ мм}$$

$$K_{3min} = 4,89 - \frac{0,046}{2} = 4,867 \text{ мм}; \quad K_{3max} = 4,89 + \frac{0,046}{2} = 4,913 \text{ мм}$$

Проверку правильности проведенных расчетов осуществляют по уравнениям (35) и (36):

$$A_{\Delta min} = 9 + 67 - 27 + 4,867 - \frac{0,134}{2} = 53,8 \text{ мм} - \text{сходится}$$

$$A_{\Delta max} = 9,15 + 67,3 - 26,79 + 4,473 + \frac{0,134}{2} = 54,2 \text{ мм} - \text{сходится}$$

Таким образом, рассчитанный комплект неподвижных компенсаторов может обеспечить требуемую точность замыкающего звена A_{Δ} .

Достижение точности замыкающего звена, при использовании комплекта тонких неподвижных компенсаторов, основано на аналогичных принципах, но требует учета ряда особенностей и ограничений:

- все компенсаторы в комплекте должны иметь одинаковый номинал $K_{cp} \geq 0,2 \text{ мм}$ (более тонкие компенсаторы трудно изготавливать и использовать). Следовательно, они не могут использоваться для достижения высокой точности замыкающего звена из-за необходимости соблюдения условия компенсации $TA_{\Delta} > c = K_{cp} \geq 0,2 \text{ мм}$;

- для уменьшения числа компенсаторов в комплекте необходимо, чтобы при уменьшающем компенсаторе соблюдалось условие

$$A_{\Delta cp} = A_{\Sigma \min} + c/2, \quad (38)$$

а для увеличивающего компенсатора соблюдалось условие

$$A_{\Delta cp} = A_{\Sigma \max} - c/2 \quad (39)$$

При этом TA_{Δ} и TA_{Σ} частично перекрываются, и число компенсаторов в комплекте будет на единицу меньше, чем число ступеней компенсации, то есть $N-1$;

- компенсаторы должны изготавливаться с более жестким допуском TK , чем компенсаторы разной длины, так как набор из $N-1$ компенсатора, необходимый для компенсации отклонений в пределах N -ой ступени компенсации, будет иметь суммарный допуск $(N-1) * TK$.

Схемы компенсации, учитывающие эти особенности, приведены на рисунке 6 и 7, для уменьшающего и увеличивающего компенсатора соответственно.

На основе этих схем установим соотношение между TA_{Δ} , TA_{Σ} , c , N , ε_{PK} , предельными значениями A_{Δ} и A_{Σ} .

Требуемая точность замыкающего звена A_{Δ} будет обеспечена при любых отклонениях A_{Σ} в пределах TA_{Σ} , если выдерживается условие, составленное по аналогии с условием (22)

$$TA_{\Delta} = \varepsilon_{PK} + c + (N-1) * TK \quad (40)$$

Подставим в (40) $N = TA_{\Sigma} / c$, после преобразований получим

$$c^2 + (\varepsilon_{PK} - TA_{\Delta} - TK) * c + TK * TA_{\Sigma} = 0 \quad (41)$$

Решая квадратное уравнение (41) относительно c , находим

$$c_{1,2} = -\frac{\varepsilon_{PK} - TA_{\Delta} - TK}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{PK} - TA_{\Delta} - TK}{2}\right)^2 - TK * TA_{\Sigma}}, \text{ мм} \quad (42)$$

Решение возможно при положительной подкоренной величине. В противном случае следует уменьшить ε_{PK} , TK , либо TA_{Σ} .

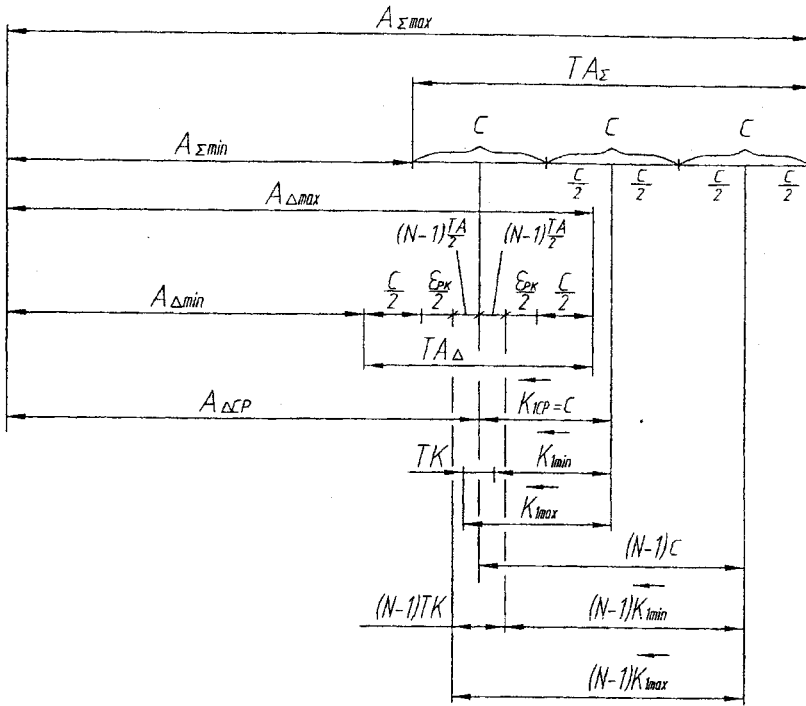


Рисунок 6. Схема компенсации суммарного расширенного допуска составляющих звеньев при методе регулирования комплект тонких уменьшающих компенсаторов

Для дальнейших расчетов следует принимать значение $c > 0,2$ мм. Если оба корня c_1 и c_2 меньше 0,2мм, следует уменьшать ε_{PK} или TK и повторить расчеты c_1 и c_2 .

Число ступеней компенсации определяем по (25) $N = TA_{\Sigma} / c$ и принимаем ближайшее целое значение N' для дальнейших расчетов. Корректировка N требует корректировки TA_{Σ} или c , что вновь вызовет отклонение N' от целого. Поэтому для корректировки c по N' следует использовать уравнение их взаимосвязи (40) из которого:

$$K_{cp} = c' = TA_{\Delta} - \varepsilon_{PK} - (N' - 1) * TK \quad (43)$$

$$K_{\min} = K_{cp} - TK / 2; \quad K_{\max} = K_{\min} + TK \quad (44)$$

За тем следует скорректировать TA_{Σ}

$$TA'_{\Sigma} = c' * N' \quad (45)$$

а также предельные отклонения и размеры составляющих звеньев конструкторской размерной цепи, по следующим уравнениям.

Для уменьшающего компенсатора

$$A'_{\Sigma \min} = A_{\Delta cp} - c' / 2 \quad (46)$$

$$A'_{\Sigma \max} = A'_{\Sigma \min} + TA'_{\Sigma} \quad (47)$$

$$A_{\Delta \min} = A'_{\Sigma \min} - \frac{\varepsilon_{PK}}{2} - \frac{(N' - 1)TK}{2} \quad (48)$$

$$A_{\Delta \max} = A'_{\Sigma \max} + \frac{\varepsilon_{PK}}{2} - (N' - 1)K_{\min} \quad (49)$$

Для увеличивающего компенсатора:

$$A'_{\Sigma \max} = A_{\Delta cp} + c' / 2 \quad (50)$$

$$A'_{\Sigma \min} = A'_{\Sigma \max} - TA'_{\Sigma} \quad (51)$$

$$A_{\Delta \min} = A'_{\Sigma \min} - \frac{\varepsilon_{PK}}{2} + (N - 1)K_{\min} \quad (52)$$

$$A_{\Delta \max} = A'_{\Sigma \max} + \frac{\varepsilon_{PK}}{2} + \frac{(N - 1)TK}{2} \quad (53)$$

Выполнив все указанные корректировки, можно обеспечить все условия, необходимые для использования тонких неподвижных компенсаторов.

Рассмотрим пример размерного анализа сборки при достижении точности замыкающего звена методом регулирования комплектом тонких неподвижных компенсаторов для тех же исходных данных, что и в примере для метода регулирования комплектом неподвижных компенсаторов разной длины.

Выбор компенсатора, допусков и предельных размеров составляющих звеньев конструкторской размерной цепи, погрешностей составляющих звеньев технологической размерной цепи определяем так же, как в указанном примере.

Принимаем схему компенсации на рисунке 7.

Для измерения зазора под компенсатор величиной не более $TA_{\Sigma} = 0,66$ мм индикаторный нутромер использовать невозможно. Принимаем измерительную лупу ЛИ-4 [6] с ценой деления 0,05 мм и погрешность измерения $\varepsilon_{И} = 0,01$ мм.

Погрешность формирования размера компенсатора:

$$\varepsilon_{PK} = \varepsilon_{\Sigma} + \varepsilon_{УЭ} + \varepsilon_{И} = 0,074 + 0,05 + 0,01 = 0,134 \text{ мм}$$

Так как $TA_{\Delta} = 0,4 > 0,2$ мм, то применение тонких компенсаторов возможно.

По уравнению (42) найдём значение ступеней компенсации

$$c_{1,2} = -\frac{0,134 - 0,4 - 0,048}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{0,134 - 0,4 - 0,048}{2}\right)^2 - 0,048 * 0,66}$$

Так как под корнем отрицательная величина, то при указанных исходных данных обеспечить требуемую точность замыкающего звена с использованием комплекта тонких компенсаторов невозможно. Для обеспечения такой возможности уменьшим допуск изготовления компенсатора.

Принимаем $TK = 0,014$ мм для чистового плоского шлифования по 8 квалитету, при номинале компенсатора до 3мм.

Тогда:

$$c_{1,2} = -\frac{0,134 - 0,4 - 0,014}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{0,134 - 0,4 - 0,014}{2}\right)^2 - 0,014 * 0,66} ;$$

$$c_{1,2} = 0,14 \pm 0,1017 \text{ мм};$$

$$c_1 = 0,2417 \text{ мм}; \quad c_2 = 0,0383 \text{ мм}.$$

Принимаем $c = 0,2417$ мм, так как она больше 0,2 мм.

Определяем число ступеней компенсации:

$$N = TA_{\Sigma} / c = 0,66 / 0,2417 = 2,7$$

Принимаем целое значение $N' = 3$.

Корректируем величину ступени компенсации:

$$c' = TA_{\Delta} - \varepsilon_{PK} - (N-1) * TK = 0,4 - 0,134 - (3-1) * 0,014 = 0,238 \text{ мм.}$$

Корректируем суммарный допуск составляющих звеньев конструкторской размерной цепи:

$$TA'_{\Sigma} = N' * c' = 3 * 0,238 = 0,714 \text{ мм.}$$

Размеры одного компенсатора:

$$K_{cp} = c = 0,238 \text{ мм.}$$

$$K_{\min} = K_{cp} - \frac{TK}{2} = 0,238 - \frac{0,014}{2} = 0,231 \text{ мм.}$$

$$K_{\max} = K_{cp} + \frac{TK}{2} = 0,238 + \frac{0,014}{2} = 0,245 \text{ мм.}$$

Проводим корректировку предельных значений суммарного составляющего звена:

$$A'_{\Sigma \max} = A_{\Delta cp} + c' / 2 = 54 + 0,238 / 2 = 54,119 \text{ мм.}$$

$$A'_{\Sigma \min} = A'_{\Sigma \max} - TA'_{\Sigma} = 54,119 - 0,714 = 53,405 \text{ мм.}$$

Скорректируем номинал и предельные отклонения одного из составляющих звеньев конструкторской размерной цепи, например \bar{A}_2 , чтобы соблюдались условия:

$$A'_{\Sigma \min} = \bar{A}_{1 \min} - \bar{A}_{2 \max} + \bar{A}_{4 \min}$$

$$A'_{\Sigma \max} = \bar{A}_{1 \max} - \bar{A}_{2 \min} + \bar{A}_{4 \max}$$

Откуда

$$\bar{A}'_{2 \max} = \bar{A}_{1 \min} + \bar{A}_{4 \min} - A'_{\Sigma \min} = 9 + 67 - 53,405 = 22,595 \text{ мм.}$$

$$\bar{A}'_{2 \min} = \bar{A}_{1 \max} + \bar{A}_{4 \max} - A'_{\Sigma \max} = 9,15 + 67,3 - 54,119 = 22,331 \text{ мм.}$$

$$TA'_2 = \bar{A}'_{2 \max} - \bar{A}'_{2 \min} = 22,595 - 22,331 = 0,264 \text{ мм.}$$

Выполним проверку правильности расчетов по уравнениям (52) и (53):

$$A_{\Delta \min} = 53,405 - \frac{0,134}{2} + (3-1) * 0,231 = 53,8 \text{ мм - сходится.}$$

$$A_{\Delta \max} = 54,119 + \frac{0,134}{2} + \frac{(3-1) * 0,014}{2} = 54,2 \text{ мм - сходится.}$$

Таким образом, рассчитанный комплект неподвижных тонких компенсаторов может обеспечить требуемую точность замыкающего звена A_{Δ} .

2.3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.3.1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЛЕКТА НЕПОДВИЖНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ РАЗНОЙ ДЛИНЫ.

1. Для выявленной сборочной конструкторской размерной цепи с заданными номиналом и предельными отклонениями замыкающего звена и номиналами составляющих звеньев выбрать компенсатор и соответствующую схему компенсации суммарного допуска составляющих звеньев.
2. Назначить допуски и предельные отклонения на все составляющие звенья, кроме компенсатора:
 - на стандартные звенья по соответствующим стандартам;
 - на звенья точных сопряжений по рекомендациям [6, 7], исходя из условий их работы;
 - на остальные составляющие звенья по таблицам допусков [6] для 11...12 квалитетов, с предельными отклонениями увеличивающих звеньев - как на основные отверстия, а на уменьшающие звенья, как на основные валы.
3. Выявить технологическую сборочную размерную цепь для предварительной сборки изделия с эталоном.
4. Назначить допуск эталона и определить погрешность установки эталона.
5. Выбрать средство измерения местоположения компенсатора или замыкающего звена. Определить погрешность измерения [1, 6].
6. Выбрать метод изготовления и допуск изготовления компенсаторов [2].
7. Определить погрешность формирования размера компенсатора по уравнению (26).
8. Определить степень компенсации по формуле (23).
9. Определить число ступеней компенсации (число компенсаторов в комплекте) по формуле (25). При слишком большом числе компенсаторов ($N > 10$) скорректировать пункты 2, 4, 5, 6, 7, 8, уменьшая составляющие погрешности формирования размера компенсатора, допуск компенсатора, или суммарный допуск составляющих звеньев конструкторской размерной цепи. При нецелом значении числа компенсаторов также скорректировать пункты 2, 4, 5, 6, 7, 8 так, чтобы число компенсаторов стало целым.
10. Определить средний размер компенсатора первой ступени по формуле (26) или (34).
11. Определить средние размеры компенсаторов остальных ступеней по формуле (30).
12. Определить предельные размеры компенсаторов всех ступеней по формуле (31).
13. Выполнить проверку правильности расчетов по формулам (32), (33) или (35), (36).
14. Сделать вывод о приемлемости выбранных методов выполнения сборочных работ, оснастки и рассчитанного комплекта компенсаторов для достижения требуемой точности замыкающего звена конструкторской размерной цепи.

2.3.2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЛЕКТА ТОНКИХ НЕПОДВИЖНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

1. Для выявленной сборочной конструкторской размерной цепи с заданными номиналом, допуском (больше 0,2...0,3 мм), предельными отклонениями

- замыкающего звена и номиналами составляющих звеньев выбрать компенсатор и соответствующую схему компенсации суммарного допуска составляющих звеньев.
2. Назначить допуски и предельные отклонения на все составляющие звенья, кроме компенсатора:
 - на стандартные звенья по соответствующим стандартам;
 - на звенья точных сопряжений по рекомендациям [6, 7], исходя из условий их работы;
 - на остальные составляющие звенья по таблицам допусков [6] для 11...12 квалитетов, с предельными отклонениями увеличивающих звеньев - как на основные отверстия, а на уменьшающие звенья, как на основные валы.
 3. Выявить технологическую сборочную размерную цепь для предварительной сборки изделия с эталоном.
 4. Назначить допуск эталона и определить погрешность установки эталона.
 5. Выбрать средство измерения местоположения компенсатора или замыкающего звена. Определить погрешность измерения [1, 6].
 6. Выбрать метод изготовления и допуск изготовления компенсаторов [2].
 7. Определить погрешность формирования размера компенсатора по формуле (24).
 8. Определить значения возможных ступеней компенсации по формуле (42): При отрицательной подкоренной величине скорректировать пункты 2, 4, 5, 6, 7, уменьшая составляющие погрешности формирования размера компенсатора, допуск компенсатора или суммарный допуск составляющих звеньев, и повторить расчет ступеней компенсации. Если оба значения ступеней компенсации меньше 0,2 мм, скорректировать пункты 4, 5, 6, 7, уменьшая составляющее погрешности формирования размера компенсатора, и повторить расчет ступени компенсации. Принять значение ступени компенсации больше 0,2 мм.
 9. Определить число ступеней компенсации по формуле (25). При слишком большом числе ступеней компенсации ($N > 10$) скорректировать пункт 2, уменьшая суммарный допуск составляющих звеньев и повторить пункты 8, 9. При нецелом значении числа ступеней компенсации, принять его большее ближайшее целое значение и скорректировать величину ступени компенсации по формуле (43). Затем скорректировать суммарный допуск составляющих звеньев по формуле (45).
 10. Определить число одинаковых компенсаторов в комплекте, уменьшив на единицу число степеней компенсации. Определить средний и предельные размеры компенсаторов по формулам (43) и (44).
 11. Скорректировать предельные значения суммарного составляющего звена по формулам (46), (47) или (50), (51).
 12. Выбрать из составляющих звеньев конструкторской размерной цепи одно корректируемое звено. Выразить его предельные значения из формул (3) и (4) и рассчитать их с учетом новых значений суммарного составляющего звена, полученных в пункте 11. Рассчитать новый допуск корректируемого звена как разность предельных значений.
 13. Выполнить проверку правильности расчетов по формулам (48), (49) или (52), (53).
 14. Сделать вывод о приемлемости выбранных методов выполнения сборочных работ, оснастки и рассчитанного комплекта компенсаторов для достижения требуемой точности замыкающего звена конструкторской размерной цепи.

2.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сущность метода регулирования компенсатора.
2. Разновидности метода регулирования. Их преимущества и недостатки.
3. Область рационального использования метода регулирования.
4. Требования к подвижным и неподвижным компенсаторам.
5. Цель размерного анализа при использовании подвижного и неподвижного компенсаторов.
6. Принципы назначения допусков и предельных отклонений составляющих звеньев конструкторской размерной цепи при методе регулирования.
7. Принципы построения рациональных схем компенсации при использовании увеличивающего и уменьшающего подвижного компенсатора.
8. Уравнения взаимосвязи предельных размеров замыкающего звена, составляющих звеньев подвижного компенсатора.
9. Определение диапазона регулирования подвижного компенсатора.
10. Определение размера подвижного компенсатора для конкретного изделия.
11. Определение технологического допуска подвижного компенсатора.
12. Оценка приемлемости конструкции подвижного компенсатора и сборочной оснастки для достижения требуемой точности замыкающего звена.
13. Особенности использования комплекта неподвижных компенсаторов. Их преимущества и недостатки.
14. Требования к комплекту неподвижных компенсаторов.
15. Цель размерного анализа сборки при использовании комплекта неподвижных комплектов.
16. Определение размера неподвижного компенсатора для конкретного изделия.
17. Выявление технологической сборочной размерной цепи для предварительной сборки изделия. Назначение этой цепи.
18. Определение погрешности формирования размера компенсатора и погрешности компенсатора.
19. Взаимосвязь между допуском замыкающего звена, погрешностью формирования размера компенсатора, допуском компенсатора и степенью компенсации при использовании комплекта неподвижных компенсаторов разной длины и комплекта тонких компенсаторов.
20. Определение числа ступеней компенсации и числа компенсаторов для комплекта компенсаторов разной длины и комплекта тонких компенсаторов.
21. Принципы построения схем компенсации при использовании комплекта неподвижных компенсаторов разной длины и тонких компенсаторов.
22. Уравнения взаимосвязи предельных размеров замыкающего звена, составляющих звеньев и компенсаторов всех ступеней.
23. Определение степени компенсации при использовании тонких компенсаторов. Особенности корректировки степени компенсации и числа ступеней компенсации.
24. Порядок размерного анализа при использовании комплекта компенсаторов разной длины и комплекта тонких компенсаторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении: Справочник в 2т. М.: Издательство стандартов, 1989.-Т2: Контроль деталей – 208с.
2. Косилова А. Г., Мещеряков Р. К., Калинин М. А. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении. Справочник технолога. - М., Машиностроение, 1976 – 288с.
3. Маталин А. А. Технология машиностроения. - Л.: Машиностроение, 1985 – 496с.
4. Проектирование технологии: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов/ Под. общ. ред. Ю. М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1990 – 416с.
5. Соломин И. С., Соломин С. И. Расчет сборочных и технологических размерных цепей. – М.: Машиностроение, 1980, 110с.
6. Справочник контролера машиностроительного завода / Под. ред. А. И. Якушева – М.: Машиностроение. 1980 – 527с.
7. Якушев А. И. и др. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник для ВТУЗОВ. – М.: Машиностроение, 1986 – 352с.

Приложение

Таблица 1 - Точность и качество обработки плоскостей.

Метод обработки	Квалитет	Шероховатость Ra, мкм	Дефектный слой, мкм	Степень точности формы и расположения
Резка резцом фрезой абразивным кругом	16...14	50...25	100...50	11...10
	16...14	50...25	100...50	11...10
	15...12	6,3...3,2	25...12	9...8
Фрезерование цилиндрической фрезой	14...12	50...25	100...50	11...10
	11...19	12,5...3,2	50...20	9...8
	9...8	3,2...1,6	20...10	8...7
Фрезерование торцевой фрезой	14...12	15,5...6,3	100...50	11...10
	11...9	6,3...3,2	50...20	9...8
	9...8	1,6...0,8	20...10	8...7
Строгание	13...11	25...12,5	100...50	10...9
	10...9	6,3...3,2	50...20	9...8
	9...7	3,2...1,6	20...10	8...7
Точение	14...12	50...25	100...50	11...10
	11...9	12,5...6,3	50...20	10...9
	8...7	3,2...1,6	20...10	8...7
Шлифование	11...9	6,3...3,2	50...20	8...6
	8...6	1,6...0,4	20...10	6...5
	6...5	0,4...0,1	10...5	5...3
Шабрение	11...10	6,3...1,6	20...10	8...6
	9...8	0,8...0,2	10...5	6...5
Опиловка	11...8	25...3,2	20...10	10...8
Протягивание	9...8	6,3...3,2	20...10	8...7
	8...7	3,2...0,8	10...5	7...6
Притирка	6...5	0,4...0,1	5	4...3

Таблица 2 - Допуски параллельности, перпендикулярности, наклона, торцевого биения, полного торцевого биения, плоскостности и прямолинейности.

Отклонения		Интервалы размеров, мм							
Параллельности, перпендикулярности, наклона, торцевого биения и полного торцевого биения	Плоскостности и прямолинейности	До 10	Св. 10 до 16	Св. 16 до 25	Св. 25 до 40	Св. 40 до 63	Св. 63 до 100	Св. 100 до 160	Св. 160 до 250
		Допуск, мкм							
Степень точности									
---	1	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2
1	2	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2
2	3	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2	2,5	3
3	4	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5
4	5	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8
5	6	2,5	3	4	5	6	8	10	12
6	7	4	5	6	8	10	12	16	20
7	8	6	8	10	12	16	20	25	30
8	9	10	12	16	20	25	30	40	50
9	10	16	20	25	30	40	50	60	80
10	11	25	30	40	50	60	80	100	120
11	12	40	50	60	80	100	120	160	200
12	---	60	80	100	120	160	200	250	300
Допуски, мм									
---	13	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3
13	14	0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
14	15	0,16	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
15	16	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2
16	---	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2

Таблица 3 - Значения допусков, мкм.

Интервалы размеров, мм	Квалитеты																		
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
Св. 3 до 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
» 6 » 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
» 10 » 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
» 18 » 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
» 30 » 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
» 50 » 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
» 80 » 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
» 120 » 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
» 180 » 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
» 250 » 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
» 315 » 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
» 400 » 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

Примечание. Для размеров до 1 мм квалитеты от 14 до 17 не применяются.

Таблица 4 - Предельные погрешности измерения линейных размеров.

Измерительное средство	Предельная погрешность измерения, мкм, для диапазона размеров, мм				
	До 10	10...18	18...50	50...80	80...120
Штангенциркули с ценой деления нониуса 0,1 мм	150	150	150	200	200
Штангенциркули с ценой деления нониуса 0,05 мм	100	100	100	100	100
Микрометры гладкие с величиной отсчета 0,01 мм	5	5	10	10	15
Скобы индикаторные с ценой деления 0,01 мм	10	10	15	15	20
Микрометры рычажные с ценой деления 0,002 и 0,01мм	5	5	7	10	15
Нутромеры микрометрические с величиной отсчета 0,01 мм	---	---	---	15	15
Нутромеры индикаторные с ценой деления 0,01 мм	10	10	10	15	15
Нутромеры индикаторные с ценой деления измерительной головки 0,001 и 0,002 мм	5	5	5	7	7
Микроскопы инструментальные	7	7	10	10	10
Лупы измерительные с ценой деления 0,1 мм	20	40	---	---	---
Микроскоп переносной Бринеля с ценой деления 0,05 мм	10	10	---	---	---

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составитель: О.А. Медведев, доцент, к. т. н.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим работам

«ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЗАМЫКАЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ ПРИ СБОРКЕ МЕТОДАМИ
ПРИГОНКИ И РЕГУЛИРОВАНИЯ» по дисциплине
«Технология машиностроения (отраслевая)»
*для студентов специальностей 36 01 01 «Технология машиностроения» и
36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства».*

Ответственный за выпуск: Медведев О.А.

Редактор: Строкач Т.В.

Технический редактор: Никитчик А.Д.

Корректор: Никитчик Е.В.

Вёрстка: Кармаш Е.Л.

Подписано к печати 21.09.2004 г. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,1. Уч.
изд. л. 2,25. Заказ № 931. Тираж 100 экз. Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет», 224017, г. Брест, ул. Московская, 267