

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИГОНКИ КОМПЕНСАТОРОВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ СБОРОЧНЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Для многозвенных сборочных размерных цепей с узким допуском замыкающего звена достижение его точности методами полной или неполной взаимозаменяемости может оказаться экономически не целесообразным или технически недостижимым из-за необходимости выдерживать очень малые допуски составляющих звеньев. Обеспечить попадание замыкающего звена в пределы узкого допуска, при широких допусках составляющих звеньев, можно целенаправленным, индивидуальным для каждого изделия, изменением одного из составляющих звеньев — компенсатора. Для определения размера компенсатора, требуемого в конкретном экземпляре изделия, обычно выполняется предварительная сборка этого экземпляра без компенсатора. При этом на место замыкающего звена устанавливается его эталон. Затем измеряется полость, которую должен заполнить компенсатор, чтобы замыкающее звено было равно эталону, и компенсатор пригоняется к измеренному значению. После частичной разборки экземпляра изделия эталон удаляется и выполняется окончательная сборка этого объекта с пригнанным компенсатором.

Индивидуальной пригонкой компенсатора устраняется прямая зависимость замыкающего звена от остальных составляющих звеньев, а отклонение замыкающего звена от его среднего значения будет равно отклонению компенсатора после пригонки от размера полости, которая измерялась при предварительной сборке.

Таким образом, метод пригонки позволяет уменьшить требования к точности изготовления составляющих звеньев, но из-за большой трудоемкости предварительной сборки-разборки изделия, измерения и пригонки компенсатора он обычно применяется в единичном и мелкосерийном производстве.

При пригонке компенсатора вне изделия он должен удовлетворять следующим требованиям:

- технологичная конструкция компенсатора (охватываемый элемент, ограниченный поверхностями простой формы, малые габариты и масса, хорошая обрабатываемость материала);

- пригоняемый 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 (прокладку, пластина, шайба, дистанционное кольцо), за счет уменьшения или увеличения номинала одного из составляющих звеньев.

Основной задачей, которая решается при расчетах размерных цепей в случае достижения точности их замыкающих звеньев методами пригонки, является расчет величины компенсации (части суммы расширенных допусков составляющих звеньев, подлежащей компенсации пригонкой компенсатора), расчет размера первоначально изготовленных для всех экземпляров изделия компенсаторов, расчет диапазона изменения размера компенсаторов при пригонке (максимального припуска на пригонку). Эти параметры должны определяться с учетом обеспечения минимальной металлоемкости первоначально изготовленных компенсаторов и минимальной трудоемкости их последующей пригонки.

Анализ традиционных методик расчета компенсаторов для пригонки [1, 2, 3, 4, 5, и др.] позволил выявить их существенные недостатки:

- величина компенсации определяется с учетом допуска компенсатора, несмотря на то, что он не используется при предварительной сборке;
- допуск компенсатора определяется произвольно без учета погрешностей пригоночных работ;
- не учитывается влияние на точность сборки погрешностей сборочной оснастки и погрешностей сборочных работ (установки эталона, измерения местоположения компенсатора, пригонки).

Устранение этих недостатков позволит обоснованно установить требования к точности сборочных работ и сборочной оснастки, а также рационально определить предельные размеры изначально изготовленного компенсатора и максимальный припуск на пригонку.

Системный анализ влияния компенсаторов на замыкающие звенья линейных сборочных конструкторских размерных цепей позволил разработать несколько типовых схем компенсации расширенных допусков составляющих звеньев, наглядно отражающих это влияние для всех возможных случаев. Каждая из таких схем построена на основе трехзвенной линейной размерной цепи, математически тождественной реальной сборочной размерной цепи, и включает суммарное составляющее звено  $A_{\Sigma}$  (без учета компенсатора), компенсатор  $K$  и замыкающее звено  $A_{\Delta}$  и их допуски. При этом все многообразие реальных конструкторских цепей может быть сведено к двум вариантам математически тождественных трехзвенных цепей, имеющих практическое значение, изображенных на рисунках 1, 2 и отличающихся по влиянию компенсатора и суммарного составляющего звена на замыкающее звено (уменьшающий или увеличивающий компенсатор, уменьшающее или увеличивающее суммарное составляющее звено).

На построенных схемах компенсации границы суммарного допуска составляющих звеньев связаны с границами поля рассеяния замыкающего звена максимальным  $K_{max}$  (до пригонки) и минимальным  $K_{min}$  размерами компенсатора так, чтобы разность между ними (максимальный припуск на пригонку) и, следовательно, средняя трудоемкость пригонки были минимальны.

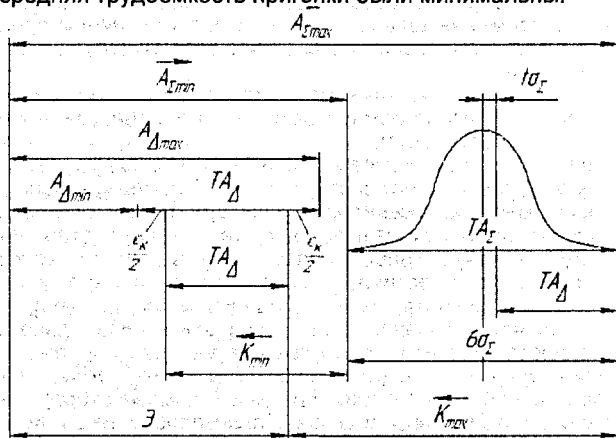


Рисунок 1 - Схема компенсации суммарного допуска составляющих звеньев путем пригонки уменьшающего компенсатора при увеличивающем суммарном составляющем звене

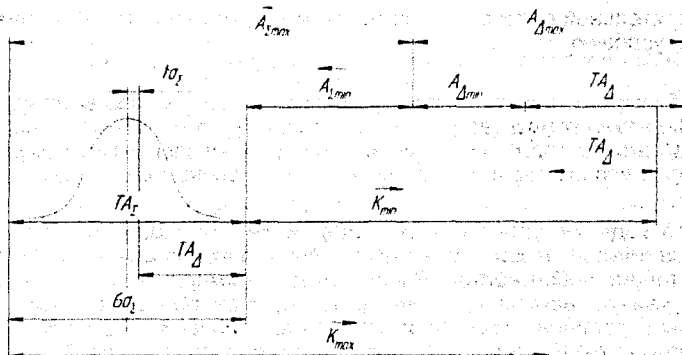


Рисунок 2 - Схема компенсации суммарного допуска составляющих звеньев путем пригонки увеличивающего компенсатора при уменьшающем суммарном составляющем звене

При этом в схемах компенсации учтена погрешность формирования размера компенсатора при пригонке  $\epsilon_k$ , которая является суммой погрешности эталона замыкающего звена, погрешности установки эталона, погрешности измерения полости под компенсатор при предварительной сборке, погрешность пригонки компенсатора, равная погрешности первоначального изготовления компенсатора ТК. Достижение точности сборки методом пригонки возможно, если выполняется условие  $TA_{\Delta} \geq \epsilon_k$ . При наличии  $\epsilon_k$ , применение максимального уменьшающего компенсатора, приводящего к получению  $A_{\Delta max}$ , целесообразно для уменьшения металлоемкости этого компенсатора, может привести к выходу замыкающего звена за пределы  $TA_{\Delta}$ . Поэтому при определении  $K_{max}$  следует учитывать значение

$$A_{\Delta} = \bar{A}_{\Delta max} - \frac{\epsilon_k}{2}. \quad (1)$$

Это значение целесообразно принимать и для изготовления эталона Э замыкающего звена. Поэтому в соответствии со схемой компенсации, изображенной на рисунке 1, номинал первоначально изготовленных уменьшающих компенсаторов  $K_{max}$  и номинал минимально достаточного компенсатора  $K_{min}$  можно определить по следующим формулам:

$$\bar{K}_{max} = \bar{A}_{\Sigma max} - A_{\Delta max} + \frac{\epsilon_k}{2}, \quad (2)$$

$$\bar{K}_{min} = \bar{A}_{\Sigma min} - A_{\Delta min} - \frac{\epsilon_k}{2}. \quad (3)$$

Максимально возможный припуск на пригонку  $Z_{max}$  придется снять в том случае, если компенсатор с изначальным размером  $K_{max}$  потребует пригнать в размер  $K_{min}$ . Выражение для  $Z_{max}$  получим, вычитая почленно формулу (2) из (1):

$$Z_{max} = TA_{\Sigma} - TA_{\Delta} + \epsilon_k. \quad (4)$$

Как видно из последнего равенства, с увеличением допуска суммарного составляющего звена, допуска первоначально изготовленного компенсатора, погрешностей пригоночных работ увеличивается максимальный припуск на пригонку, и, как следствие, растет среднее время на пригонку.

Разработанные рациональные схемы компенсации позволяют определить долю собираемых изделий, для которых первоначально изготовленный компенсатор  $K_{max}$  обеспечит попадание замыкающего звена в пределы заданного допуска и его пригонка не потребуется. В таких изделиях измеренный при

предварительной сборке размер полости под компенсатор  $K_u$  должен удовлетворять условию

$$\bar{K}_{\max} - (TA_{\Delta} - \varepsilon_t) \leq K_u \leq K_{\max}. \quad (5)$$

Требуемый для конкретного экземпляра изделия, не соответствующего условию (5), размер компенсатора можно рассчитать по результату измерения полости под компенсатор  $K_u$ , сформированной при предварительной сборке этого экземпляра с использованием указанного ранее эталона замыкающего звена Э

$$\bar{K} = K_u + TA_{\Delta} - \varepsilon_t. \quad (6)$$

Доля изделий, для которых выдерживается условие (5) и не требуется пригонка компенсатора, может быть определена на основе известных положений теории вероятностей. Рассматривая суммарный составляющий размер как случайную величину, являющуюся суммой большого числа слагаемых случайных величин, можно считать, что его значения подчиняются нормальному закону распределения и его полное поле рассеяния  $TA_{\Sigma}$  равно шести среднеквадратическим отклонениям [2]. Тогда

$$\sigma_{\Sigma} = \frac{TA_{\Sigma}}{6}. \quad (7)$$

На схеме компенсации (рисунок 1), представлена кривая нормального распределения значений  $A_{\Sigma}$  с указанием на оси абсцисс отрезка  $TA'_{\Delta} = TA - \varepsilon_k$ , в который попадают значения тех экземпляров изделий, для которых не требуется пригонка компенсатора. Для определения вероятности попадания значений  $A_{\Sigma}$  в интервал между серединой  $TA_{\Sigma}$  и значением  $A_{\Sigma\max} - TA'_{\Delta}$ , при условии что  $TA_{\Sigma}/2 \geq TA'_{\Delta}$ , воспользуемся функцией Лапласа  $\Phi(t)$ , аргументом которой является коэффициент риска  $t$ . Коэффициент риска показывает, сколько среднеквадратических отклонений укладывается в указанный интервал

$$t = \frac{TA_{\Sigma}/2 - TA_{\Delta} + \varepsilon_t}{\sigma_{\Sigma}}. \quad (8)$$

Определив по таблице [3] значение функции Лапласа для полученного аргумента  $t$  и учтя, что вероятность попадания значений  $A_{\Sigma}$  в половину поля его допуска равна 0,5 получим выражение для определения доли изделий, для которых не требуется пригонка компенсатора

$$P = 0,5 - \Phi(t). \quad (9)$$

Таким образом, на основе полученных схем компенсации можно определить минимально достаточный размер первоначально изготовленных компенсаторов, предельные значения размера полости под компенсатор, сформированные при предварительной сборке изделий, при которых пригонка компенсатора не потребуется, долю таких изделий. Применение описанной методики позволяет на 10...15% снизить среднюю трудоемкость пригонки, приходящуюся на одно изделие.

#### Список цитированных источников

1. Палей, М.А. Допуски и посадки: справочник: в 2 ч. – Ч. 2. – 8-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2001. – 608 с.
2. Солонин, И.С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И.С. Солонин, С.И. Солонин – М.: Машиностроение, 1980. – 110 с.
3. Справочник контролера машиностроительного завода. / Под ред. А.И. Якушева – М.: Машиностроение, 1980. – 527 с.
4. Никифоров, А.Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебное пособие для вузов. – 4-е издание – М.: Высшая школа, 2007. – 295 с.
5. Гусев, А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.