

Разборка обрaмления производится после охлаждения отливки до  $t = 40-50^{\circ}\text{C}$ . Готовый штамп направляется в прессовый цех. После использования штамп переплавляется. Сплав МСР 137 может использоваться повторно неограниченное число раз.

Помимо данной детали, литьем МСР-сплава были получены опытные образцы стола и нижней панели плиты мод. 6100, стенки боковые муфеля духовки встраиваемой мод. ДА 602 и др.

Применение технологии литья штампов из МСР-сплава позволяет предприятию вдвое сокращать сроки «выхода» нового изделия на рынок и экономить до 40% средств по сравнению с традиционными методами изготовления штампов.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Материалы фирмы МСР НЕК GmbH.

УДК 621.91.002

*Рожков Ю.В.*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Медведев О.А.*

### ТЕОРЕТИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА НЕПОДВИЖНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ СБОРКИ МЕТОДОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Наиболее широкое применение в машиностроении получила разновидность метода регулирования, основанная на быстром ступенчатом изменении одного из составляющих звеньев сборочной конструкторской размерной цепи, называемого неподвижным компенсатором. Этим изменением компенсируется суммарное отклонение остальных составляющих звеньев, приводящее к выходу замыкающего звена цепи за пределы его допуска. Величина компенсатора для определенного экземпляра изделия обычно определяется измерением зазора, возникающего во время предварительной сборки изделия без компенсатора и с эталоном на месте замыкающего звена. Число тонких компенсаторов (прокладок), нужное для окончательной сборки этого изделия определяется делением результата измерения на размер одного компенсатора. Если не использовать ни одной прокладки, можно компенсировать за счет допуска замыкающего звена лишь часть суммарного допуска составляющих звеньев; в идеале равную допуску замыкающего звена, при условии, что эти поля допусков частично совмещены, путем корректировки номинала одного из составляющих звеньев. При использовании одной прокладки можно компенсировать за счет допуска замыкающего звена, еще такую же часть суммарного допуска составляющих звеньев, примыкающую к первой, и так далее. В идеале степень компенсации (толщина одной прокладки) равна допуску замыкающего звена, а максимально необходимое число компенсаторов на единицу меньше отношения суммарного допуска составляющих звеньев к допуску замыкающего звена. В действительности степень компенсаций должна быть меньше из-за наличия погрешностей изготовления компенсаторов и погрешности определения требуемого размера компенсатора.

Анализ способов расчета размерных цепей, используемых при достижении точности сборки методом регулирования и описанных в технической и учебной литературе [1, 2, 3 и др.], позволил выявить их существенные недостатки:

- не выявляются рациональные схемы определения величины компенсации с целью минимизации числа компенсаторов;

- в величину компенсации кроме допусков составляющих звеньев конструкторской размерной цепи включаются погрешности технологической оснастки, которые не формируют поле рассеивания местоположения компенсатора при окончательной сборке и не могут компенсироваться выбором компенсатора, так как влияют на этот выбор и могут иметь разные значения при сборке одного изделия. Такой подход ведет к неоправданному завышению величины компенсации и числа компенсаторов;

- допуск компенсатора назначается без учета других погрешностей формирования его размера, и, следовательно, не гарантируется точность сборки при рассчитанных параметрах компенсаторов;

- при использовании тонких прокладок не учитывается то, что допуск набора из нескольких прокладок больше допуска одной прокладки;

- традиционные методики определения параметров компенсаторов основаны на расчете размерных цепей методом максимума-минимума. Разработка и применение теоретико-вероятностного способа расчета компенсаторов позволят сократить число требуемых компенсаторов, снизить требования к точности изготовления компенсаторов и применяемой сборочной оснастки, при допустимой доле бракованных изделий.

С учетом сказанного можно сделать вывод о недостаточной надежности используемых методик и необходимости их уточнения, что позволит обосновать требования к точности сборочных работ и оснастки, а также к комплекту компенсаторов.

В основе предлагаемой методики лежат схемы компенсации суммарного допуска составляющих звеньев конструкторской сборочной размерной цепи, описанные в [4] и представляющие собой сочетание конструкторской и технологической сборочных размерных цепей. Реальная конструкторская цепь представлена в схеме компенсации математически тождественной трехзвенной цепью, состоящей из суммарного составляющего звена  $A_z$ , компенсатора  $K$  и замыкающего звена  $A_d$ . Суммарное составляющее звено является алгебраической суммой всех увеличивающих и уменьшающих составляющих звеньев реальной цепи (кроме компенсатора), а его допуск  $TA_z$  равен арифметической сумме допусков составляющих звеньев (кроме компенсатора). При этом все многообразие реальных конструкторских цепей может быть сведено к трем вариантам математически тождественных трехзвенных цепей, отличающихся по влиянию компенсатора на замыкающее звено (уменьшающий или увеличивающий компенсатор), и по расположению увеличивающего компенсатор в одной ветви цепи с суммарным составляющим звеном или в разных ветвях. В схеме компенсации каждое звено трехзвенной цепи представлено его предельными размерами и полем допуска.

Технологическая сборочная размерная цепь формируется на этапе предварительной сборки изделия, когда определяется требуемый размер компенсатора. Замыкающим звеном в ней является местоположение компенсатора, а составляющими звеньями, кроме размеров деталей изделия, также являются размеры используемой сборочной оснастки и погрешности выполнения сборочных работ. При окончательной сборке изделия из комплектующих деталей и выбранного компенсатора отклонение замыкающего звена конструкторской цепи от эталона будет равно отклонению размера выбранного компенсатора от размера его местоположения. Это отклонение складывается из отклонений тех звеньев технологической цепи, которые при предварительной сборке конкретного изделия могут приобретать случайные значения, отличающиеся от их значений в конструкторской цепи (погрешность изготовления эталона среднего значения замыкаю-

щего звена  $\varepsilon_s$ , погрешность установки эталона  $\varepsilon_{yo}$ , погрешность измерения местоположения компенсатора  $\varepsilon_L$ , погрешность изготовления компенсаторов  $TK$ , погрешность выбора компенсатора  $\varepsilon_s$ ). Погрешности таких звеньев могут быть компенсированы только за счет допуска замыкающего звена конструкторской цепи, а не выбором компенсатора. Технологическая цепь представлена в схеме компенсации указанными погрешностями, которые в сумме не должны превышать допуск замыкающего звена конструкторской цепи  $TA_{\Delta}$ . При допущении о симметричном распределении суммарной погрешности совмещаем середину ее поля рассеяния с серединой поля допуска замыкающего звена конструкторской цепи. На схемах сумма  $\varepsilon_s, \varepsilon_{yo}, \varepsilon_L$  обозначена как погрешность формирования размера компенсатора  $\varepsilon_{pk}$ .

Для уменьшения требуемого числа компенсаторов целесообразно обеспечить частичное перекрытие  $TA_{\Delta}$  и  $TA_{\Sigma}$ . Это всегда можно сделать путем корректировки положения поля допуска хотя бы одного из составляющих звеньев конструкторской цепи. При этом число компенсаторов в комплекте на одно изделие будет на единицу меньше числа ступеней компенсации. Для того чтобы набор компенсаторов при любом их числе оставался уменьшающим или увеличивающим, надо середину  $TA_{\Delta}$  совместить с серединой первой ступени компенсации.

Так как ступень компенсации равна средней толщине одного компенсатора (обычно не менее 0,1 мм), то эта толщина, наряду с погрешностями сборочной оснастки и допуском изготовления компенсаторов, определяет точность сборки.

При одинаковых прочих погрешностях допуск тонкого компенсатора должен быть значительно жестче допуска компенсаторов разной длины, так как набор из  $N-1$  тонкого компенсатора, необходимый для компенсации отклонений  $A_{\Sigma}$  в пределах  $N$ -ой ступени компенсации, должен иметь суммарный допуск  $(N-1)TK$ , равный допуску одного компенсатора из комплекта компенсаторов разной длины.

Схемы компенсации, учитывающие эти особенности, приведены на рис.1 и 2 для уменьшающего и увеличивающего компенсатора, соответственно.

Увязка предельных размеров суммарного составляющего звена с полем допуска замыкающего звена конструкторской цепи производится по следующим уравнениям:

Для уменьшающего компенсатора

$$A_{\Sigma \min} = A_{\Delta cp} - c/2 \quad (1)$$

Для увеличивающего компенсатора

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

Если использовать в качестве основы расчета точности компенсаторов и сборочной оснастки метод максимума-минимума, то условие достижения точности сборки при любом (в пределах  $N-1$ ) числе компенсаторов в наборе примет вид [4]

$$TA_{\Delta} \geq \varepsilon_{pk} + c + (N-1) \cdot TK \quad (3)$$

Максимальное значение погрешности выбора набора компенсаторов равно ступени компенсации  $c$ . С такой погрешностью измеренное значение компенсатора воспроизводится на выбранном наборе прокладок в самом неблагоприятном случае. Для сокращения числа компенсаторов в комплекте следует принять максимально допустимое значение  $c$ , при котором условие (1) превращается в равенство.

Значение допусков составляющих звеньев конструкторской и технологической цепей следует выбирать так, чтобы значение  $N$  получалось целым.

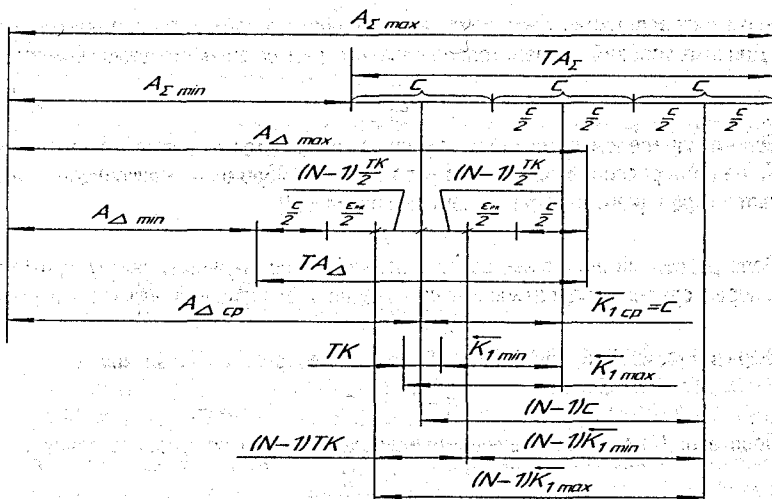


Рисунок 1 – Схема компенсации допусков составляющих звеньев регулированием комплектом одинаковых тонких уменьшающих компенсаторов

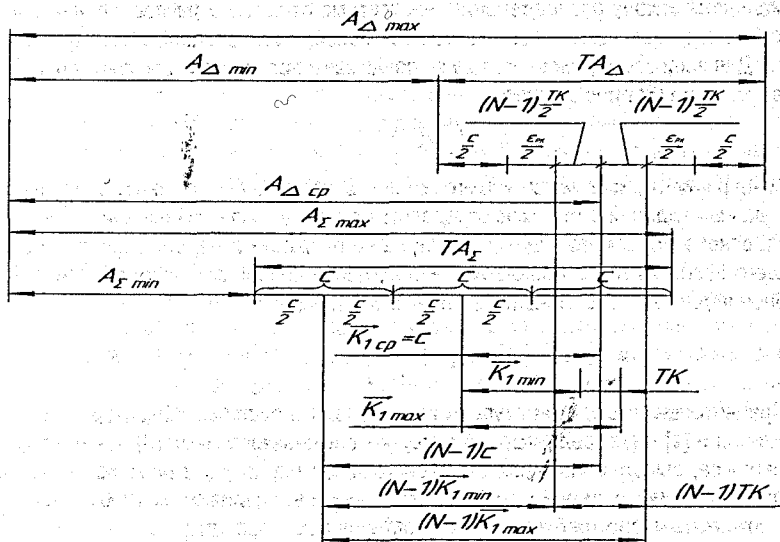


Рисунок 2 – Схема компенсации допусков составляющих звеньев регулированием комплектом одинаковых тонких увеличивающих компенсаторов

Для составления условия достижения точности замыкающего звена на основе теоретико-вероятностного подхода будем считать звенья технологической размерной цепи случайными величинами. Из теории вероятностей известно, что дисперсия суммарной случайной величины равна сумме дисперсий слагаемых случайных величин. При нор-

мальном распределении дисперсия равна квадрату среднего квадратического отклонения. Для этих условий применительно к звеньям размерной цепи можно записать

$$\sigma_{\Delta}^2 = \sum_{j=1}^{n+m} \sigma_j^2 \quad (4)$$

Если распределение случайной величины отличается от нормального, то для сравнения ее поля рассеяния  $\omega$  с полем рассеяния при нормальном распределении  $\omega_n$  применяют коэффициент относительного рассеяния  $K$  [1]

$$K = \omega_n / \omega \quad (5)$$

Поле рассеяния величины, распределенной по нормальному закону, принято выражать через среднее квадратическое отклонение и коэффициент риска  $t$  по формуле [1]

$$\omega_n = 2 \cdot t \cdot \sigma \quad (6)$$

Выразим  $\omega_n$  из (5) и, подставив в (6), после преобразований получим

$$\sigma = \frac{K \cdot \omega}{2 \cdot t} \quad (7)$$

Подставив (7) с соответствующими индексами в (4) после преобразований получим

$$\frac{K_{\Delta}^2}{t_{\Delta}^2} \cdot \omega_{\Delta}^2 = \sum_{j=1}^{n+m} \frac{K_j^2}{t_j^2} \cdot \omega_j^2 \quad (8)$$

Из теории вероятностей известно, что суммарная случайная величина подчиняется нормальному закону распределения независимо от законов распределения слагаемых случайных величин, если число слагаемых больше или равно 4. Поэтому принимаем  $K_{\Delta} = 1$ . Для всех составляющих звеньев принимаем полное поле рассеяния при  $t_j = 3$ . Тогда выражение (8) преобразуется

$$\omega_{\Delta}^2 = t_{\Delta}^2 \cdot \sum_{j=1}^{n+m} \lambda_j^2 \cdot \omega_j^2 \quad (9)$$

Коэффициент риска замыкающего звена  $t_{\Delta}$  в формуле (9) учитывает допустимую долю бракованных изделий. Его можно определить по таблице значений функции Лапласа  $\Phi(t_{\Delta})$ .

На основе (9), заменив  $\omega_{\Delta}$  на  $TA_{\Delta}$ ,  $\omega_j$  на погрешности определяющие точность замыкающего звена из (3), и приняв  $N = TA_{\Delta} / c$ , после преобразований получим кубическое уравнение для расчета значения ступени компенсации  $c$

$$\lambda_c^2 \cdot c^3 + \left[ \lambda_{pk}^2 \cdot \varepsilon_{pk}^2 - \left( \frac{TA_{\Delta}}{t_{\Delta}} \right)^2 - \lambda_x^2 \cdot TK^2 \right] \cdot c + TA_{\Delta} \cdot \lambda_x^2 \cdot TK^2 = 0 \quad (10)$$

Сравнительные расчеты ступени компенсации и числа компенсаторов по методике описанной в [4] и по предлагаемой методике с использованием (10) при помощи пакета Mathematica, выполненные для размерных цепей плунжерных насосов, червячных редукторов и других изделий показали, что, рискуя 3 изделиями из 1000, можно, в среднем, сократить число требуемых компенсаторов в полтора раза.

Таким образом, предлагаемая методика теоретико-вероятностного расчета компенсаторов позволяет избежать необоснованно высоких требований к точности сборочной оснастки, обоснованно сократить число компенсаторов в комплекте на одно изделие и сократить себестоимость сборки.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Палей, М.А. Допуски и посадки: справочник в 2 ч. / М.А. Палей [и др.]. – СПб.: Политехника, 2001. – Ч.2. – 608 с.

2. Проектирование технологических процессов сборки машин: учебник / Под общ. ред. А.А. Жолобова. – Мн.: Новое знание, 2005. – 410 с.

3. Технология машиностроения (специальная часть): учебник для машиностроительных специальностей вузов / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.

4. Выбор технологической оснастки для достижения точности сборки методом регулирования неподвижных компенсаторов / О.А. Медведев, П.Н. Ковальчук // Вестник брестского государственного технического университета. – Брест, 2008. – № 4(52): Машиностроение, автоматизация, ЭВМ. – С. 40-44.

УДК 624.012

*Страпко И.В., Кот Н.Н., Видничук А.Н.*

*Научный руководитель: ассистент Желткович А.Е.*

## **К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОГО ПРОЛЁТА БЕТОННОГО ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ, РАБОТАЮЩЕГО БЕЗ ВЫГИБА, ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОСНОВАНИЕМ, И ПОДВЕРЖЕННОГО ВЫНУЖДЕННЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ РАСШИРЕНИЯ**

### **Влияние положения ограничивающих связей в пределах бетонного сечения**

В теории самонапряженного железобетона на протяжении ряда лет наиболее дискуссионным вопросом являлся вопрос о распределении самонапряжения по сечению конструкции при изменении положения ограничивающей связи относительно центра тяжести бетонного сечения. На основании исследований [2, 3] с позиции энергетической теории расширения, изложенной в [4], принято считать, что независимо от расположения в сечении ограничивающих связей, самонапряжение по сечению распределено равномерно. Исходя из этого, мультипликативная модель для расчета самонапряжения в конструкции, описанная формулой (2.1) [5], построена с использованием гипотезы о равномерном распределении самонапряжения по сечению. Отклонения ограничивающей связи от осевого положения принято учитывать при помощи корректирующего коэффициента  $k_e$  (см. табл. 2.1) [5].

В исследовании [2, 3] наблюдали тенденцию к выравниванию усилий в верхнем и нижнем армировании при несимметричном расположении арматуры в сечении.

Несоответствие опытным данным (см. раздел 2.3.1) [5], наблюдается при оценке деформированного состояния конструкции, в случае одиночного армирования сечения. Экспериментально установлено [6, 7, 8, 9], что в односторонне армированных конструкциях при расширении наблюдаются значительные выгибы и даже появление трещин на неармированной грани (при использовании активных напрягающих бетонов). Такой характер деформирования указывает на явно неравномерное распределение самонапряжения в бетоне (трапецевидную и даже двузначную эпюру).

Как следует из результатов исследований, представленных в работах, гипотеза о равномерном распределении самонапряжения справедлива для элементов с малыми эксцентриситетами и практически полностью неприемлема для элементов с односторонним положением ограничивающей связи, при моделировании работы железобетонных конструкций.

В работе [10] акцентируется внимание на раздельном характере деформирования дорожного полотна относительно основания, причём распределение деформаций по высоте сечения плиты принимается равномерным, вертикальные деформации (выгибы) плиты не рассматриваются.