УДК 621.757

А.В.КУПРИЯНОВ, канд. техн. наук, УИПА, г. Харьков

РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ С ГАРАНТИРОВАННЫМ ЗНАЧЕНИЕМ ГОДНОСТИ ЗАМЫКАЮЩЕГО ЗВЕНА

Запропонований підхід для розрахунку розмірних ланцюгів з гарантованим зменшеним діапазоном значень замикаючої ланки. В рамках підходу деталі розділяються на сорти залежно від близькості дійсного розміру ланки до оптимального її розміру. Вироби збираються з деталей певного сорту. Розглянуті практичні реалізації функції придатності розміру. Приведений приклад розрахунку.

The approach for the computation of size of chains with the assured diminished range of values of close link is offered. The details divide into sorts depending on the closeness of link actual size to optimum one. Goods are assembled from the details of certain sort. Practical realization of fitness size function is considered. The example of computation is suggested.

1. Введение

В машиностроении традиционно используется допусковой контроль размеров звеньев размерной цепи. Он подразумевает, что размеры замыкающего и составляющих звеньев размерной цепи, находящиеся в определенных пределах, называемых допуском, считаются годными, а за этими пределами – негодными. Существующие методы расчета размерных цепей – максимум-минимум и теоретико-вероятностный построены на принципе допускового контроля. При методе максимум-минимум допуск замыкающего звена суммирует допуски составляющих звеньев, при теоретико-вероятностном -он несколько больше, с учетом того, что случаи одновременного попадания в комплект деталей со всеми односторонними предельными значениями размеров маловероятны, и ими можно пренебречь.

При допусковом контроле все сборочные единицы, размер замыкающего звена которых находится в пределах допуска, считаются одинаково годными и их качество не различается. Это плохо по двум причинам. Во-первых, это не соответствует условиям эксплуатации, при которых существует некоторое наилучшее значение размера замыкающего звена, которое будем называть оптимальным размером. Во-вторых, это не стимулирует производителя изготавливать соединения с возможно более узким диапазоном значений замыкающего звена. В существующей системе единственный путь улучшения качества – это уменьшить допуск замыкающего звена размерной цепи, что автоматически ведет к уменьшению допусков на составляющие звенья. Такой кардинальный шаг не всегда оправдан, поскольку систематические и случайные погрешности изготовления не позволяют беспредельно уменьшать допуски.

Предлагается система контроля, в которой размеры имеют не дискретное: 0 или 1, а непрерывное значение показателя годности, увеличивающееся по мере приближения к оптимальному размеру. При этом, в зависимости от диапазона значений размера замыкающего звена, собранные соединения и изделия в целом могут быть разделены на сорта, имеющие разное значение качества и разное значение продажной цены. Оплата труда рабочих может быть также дифференцирована, в зависимости от доли изделий каждого сорта. Это позволит стимулировать производителя непрерывно улучшать качество, а также расширить сбыт продукции за счет дифференцированного подхода к покупателям с разными финансовыми возможностями.

2. Функция годности размеров

С точки зрения эксплуатационных характеристик изделия вид функции изменения цены отклонения действительного размера звена от оптимального значения может быть разным. Для количественной оценки цены отклонения действительного размера от оптимального предлагается использовать функцию годности размеров $K(x)$, требования к которой:

1. Равенство 1 в значениях оптимального размера.
2. Равенство 0 в двух значениях предельно допустимых значений, меньшего ei и большего es соответственно (это могут быть границы стандартного поля допуска).
3. В пределах допустимых значений изменяется в диапазоне [0, 1].
4. Отрицательность за пределами допустимых значений.

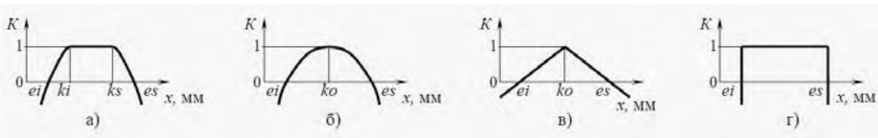

Рис. 1. Семейство функций годности размеров

На рис. 1 изображены примеры функций годности размеров. По горизонтальной оси отложены размеры x в мм, по вертикальной оси безразмерные значения годности размеров $K(x)$. Форма функции годности может быть различной, она может быть выпукла вверх (рис. 1а, 1б), линейной (рис. 1в), и даже выпукла вниз. Форма определяет, насколько желательно получать близкие к оптимальному размеры. Чем меньше ее выпуклость вверх, тем уже диапазон значения размера требуется обеспечить технологически. Функция годности может быть несимметрична, если значение оптимального размера смещено относительно центра допустимых значений. Несимметричная форма целесообразна, если требуется технологически обеспечить размеры, близкие к одному из допустимых значений.

Для классического допускового контроля можно представить функцию годности в виде, изображенном на рис. 1г. В пределах допустимых значений [ei, es] детали имеют годность, равную единице, за пределами [ei, es] детали бракованные.

Общий вид предлагаемой функции годности показан на рис. 1а. Функция характеризует использование технологического запаса точности, при котором диапазон размеров с годностью $K(x) = 1$ сужается от допустимых значений [*ei*, *es*] до желательных [*ki*, *ks*]. При этом значения размеров за пределами [*ki*, *ks*], но в пределах [*ei*, *es*], нежелательны, но допустимы, и имеют $0 < K(x) < 1$. За пределами диапазона [*ei*, *es*] функция годности $K(x) < 0$, это значит, что изготовление изделий с такими значениями размеров штрафуется.

Случай, когда диапазон желательных размеров [*ki*, *ks*] уменьшается до единственного оптимального значения $ko = ki = ks$, изображен на рис. 1б и 1в. При этом только для размера $x = ko$ значение годности $K(x) = 1$, для остальных оно меньше.

Задаваясь диапазоном значений годности, можно определять соответствующий ему диапазон действительных размеров. Таким образом, можно делить детали на сорта. Собирая изделие из деталей определенного сорта, можно говорить, что собранное изделие соответствует определенному сорту.

В качестве примера на рис. 2 показано разделение размеров детали на два сорта. К сорту *I* со значением годности $K > 0{,}7$ относятся детали с размерами от $x_{н1}$ до $x_{в1}$. К сорту *II* со значением годности $0 < K < 0{,}7$ относятся детали с другими размерами в пределах допуска [*ei*, *es*]. При увеличении выбранного граничного значения годности *K* диапазон размеров сорта *I* [$x_{н1}$, $x_{в1}$] сужается, соответственно увеличивая диапазоны размеров деталей сорта *II*. Размеры можно делить и на большее количество сортов, но слишком большое их количество нецелесообразно. По-видимому, для практических случаев достаточно использовать 2 – 3 сорта.

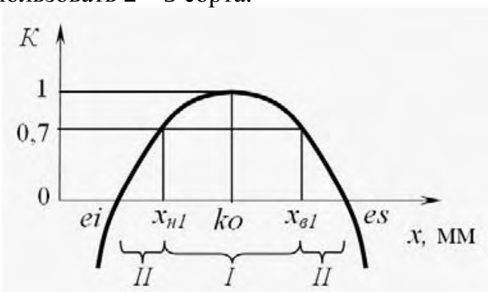

Рис. 2. Разделение размеров детали на два сорта

3. Ограничения, предъявляемые к функциям годности размеров звеньев размерной цепи

На функции годности размеров, принадлежащих одной размерной цепи, накладывается ограничения. Это связано с тем, что для изделий повышенного качества необходимо гарантировать высокое значение годности замыкающего звена размерной цепи. Иными словами, при сборке изделия, замыкающее звено должно получить сорт не ниже, чем сорта составляющих звеньев размерной цепи. Для выполнения этого условия, при использовании как теоретико-вероятностного, так и максимум-минимум методов расчета размерных цепей, функции годности у всех звеньев размерной цепи должны иметь одинаковый вид.

4. Частные случаи функции годности

Использование общего подхода к построению функции годности, показанное на рис. 1а), не всегда оправдано. Часто можно использовать более простые виды функций.

Использование линейной функции годности (рис. 1в) значительно упрощает математическую задачу расчета значения годности действительного размера. В этом случае значение годности размера определяется по формуле:

$$K(x)=\begin{cases}(x-ei)/(ko-ei), & x\le ko,\\ (es-x)/(es-ko), & x\ge ko.\end{cases} \qquad (1)$$

При заданном значении годности K можно определить соответствующие ему предельные значения размеров:

$$x(K)=\begin{cases}ei+K\ (ko-ei), & x\le ko,\\ es-K\ (es-ko), & x\ge ko.\end{cases} \qquad (2)$$

Использование параболы в качестве функции годности дает кривую (рис. 1б), по внешнему виду подобную нормированной кривой стоимости получения деталей с определенным диапазоном размеров. По этой причине, а также из-за математической простоты, парабола в качестве функции годности найдет широкое применение. Парабола симметрична, и недостатком использования ее в качестве функции годности будет невозможность смещать значении оптимального размера относительно центра допустимых размеров. Значение годности действительного размера, по причине симметричности решения для левой и правой половин можно записать одним уравнением:

$$K(x)=1-\frac{(2x-es-ei)^2}{(es-ei)^2}. \qquad (3)$$

Значение двух размеров, соответствующие заданной годности K:

$$x(K)=\frac{es+ei}{2}\pm\frac{es-ei}{2}\sqrt{1-K}. \qquad (4)$$

5. Пример расчета линейной размерной цепи

Выполним проектный расчет размерной цепи для примера, приведенного в [2, рис. 11.4]. Размерная цепь состоит из замыкающего A_Δ и пяти составляющих звеньев и изображена на рис. 3. Звенья A_1 и A_2 являются увеличивающими, звенья A_3, A_4 и A_5 являются уменьшающими.

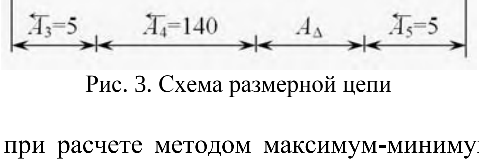

Рис. 3. Схема размерной цепи

Полученные при расчете методом максимум-минимум предельные отклонения звеньев приведены в таблице, столбцы 3 и 4. При этом точность всех звеньев, кроме звена A_4, соответствует 11 квалитету. Полученные при расчете теоретико-вероятностным методом предельные отклонения звеньев приведены в столбцах 7 и 8. При этом точность всех звеньев, кроме звена A_4, соответствует 12 квалитету.

Примем в качестве функции годности параболу, значения которой равны нулю в точках предельных отклонений звеньев. Для изделий *I* сорта зададимся значением годности K > 0,7. Полученные по формуле (4) предельные значения размеров для деталей *I* сорта приведены в столбцах 5 и 6 для метода расчета размерной цепи максимум-минимум, в столбцах 9 и 10 для теоретико-вероятностного. Соответственно изделия, собранные из деталей со значениями годности размеров выше K = 0,7 будем считать изделиями *I* сорта, собранные из оставшихся деталей – изделиями *II* сорта. Проверочные расчеты для размерной цепи из деталей первого сорта как для метода максимум-минимум, так и для теоретико-вероятностного, выполняются.

Таблица. – Предельные отклонения размеров звеньев

№ звена	Номинал. размер, мм	Предел. откл., min-max, мм		Предел. откл., min-max, мм, *I* сорт		Предел. откл., теоретико-вероятн, мм		Предел. откл., теорет-вероят, мм, *I* сорт	
		нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	101	0	0,22	0,05	0,17	0	0,35	0,079	0,271
2	50	0	0,16	0,036	0,124	0	0,25	0,057	0,193
3	5	-0,075	0	-0,058	-0,017	-0,12	0	-0,093	-0,027
4	140	-0,16	0	-0,124	-0,036	-0,18	0	-0,065	0,215
5	5	-0,075	0	-0,058	-0,017	-0,12	0	-0,093	-0,027
Δ	1	0	0,69	0,156	0,534	0	0,69	0,156	0,534

Выводы:

1. Предложен контроль размеров, основанный на непрерывном изменении значения годности, которое увеличивается по мере приближения действительного размера к оптимальному.
2. Подход позволяет разделять детали на сорта, устанавливая предельные отклонение действительного размера от оптимального для каждого сорта.
3. Рассмотрены частные случаи построения функций годности и формулы для расчета предельных значений размеров деталей определенного сорта.
4. Подход может быть использован как для расчета размерных цепей методом максимум-минимум, так и теоретико-вероятностным.
5. Приведен пример расчета размерной цепи с гарантированным значением годности замыкающего звена.

Список литературы: 1. *Якушев А.И.* Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник для втузов / А.И.Якушев, Л.Н.Воронцов, Н.М.Федотов. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. -352с.

Поступила в редколлегию 01.06.10