

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

КОНТРОЛЬ ОПТИМАЛЬНОСТИ РАЗМЕРОВ

Запропоновано систему контролю, що спрямована на отримання деталей з близькими до оптимального розмірами. Гідність розміру має числове значення, що зменшується від максимального - одиниці, у міру віддалення дійсного розміру від оптимального. Запропонований і перевірений математичний апарат для побудови функції оптимальності розмірів. Показано, як розподіл оптимальності характеризує технологію виготовлення з точки зору якості.

The checking system built on the receipt of details with sizes near to optimum is offered. The usability of dimension has the numerical value decreasing from maximal - unity, as far as actual dimension locate from optimum one. A mathematical definition for function of optimum of dimensions is offered and tested. It is shown, as distributing of optimum characterizes quality of technology.

1. Введение

В машиностроении общепринят допусковый контроль размеров. Он подразумевает, что действительный размер детали должен находиться между двумя предельными допустимыми значениями, ограничивающими поле допуска. Если все размеры детали находятся в пределах полей их допусков, она считается годной. При таком контроле для производства не имеет значения, где находится среднеарифметическое значение и велик ли разброс действительных размеров: даже если все размеры будут находиться на одной из границ поля допуска, брака нет.

С конструктивной точки зрения существует оптимальное значение размера, обеспечивающее наилучшие условия эксплуатации. Поэтому использование допускового контроля – уступка конструкторов технологам, вводимая потому, что из-за систематических и случайных погрешностей изготовления нельзя добиться оптимального размера для всех деталей партии.

Хотя на практике невозможно избежать погрешностей изготовления, можно построить систему контроля на принципе максимального приближения действительных размеров к оптимальному. Предлагается назвать такую систему контролем оптимальности размеров.

2. Семейство функций оптимальности размеров

С точки зрения эксплуатационных характеристик изделия цена отклонения действительного размера от оптимального может быть разной, также меняется характер изменения цены по мере удаления от оптимального значения. Для количественной оценки цены отклонения действительного размера от оптимального, предлагается использовать функцию оптимальности размеров $K(x)$, требования к которой:

1. Равенство 1 в значении оптимального размера.
2. Равенство 0 в двух значениях предельно допустимых значений, меньшего e_i и большего e_s оптимального соответственно (в частном случае это могут быть границы стандартного поля допуска).

3. Значение от 0 до 1 в пределах допустимых значений.
4. Отрицательность за пределами допустимых значений.
5. Показатель цены отклонения от оптимального значения размера изменяется в пределах от $\beta = 0$ до $\beta \rightarrow \infty$.

Рассмотрим подробнее влияние показателя цены отклонения от оптимального размера β на функцию оптимальности размеров $K(x)$. С точки зрения технологии изготовления, можно выделить следующие характерные диапазоны β :

1. При $\beta = 0$ цена отклонения от оптимального размера равна 0, и функция упрощается до традиционного допускового контроля (рис. 1а). Значение функции оптимальности размеров равно 1 в пределах поля допуска и стремится к $-\infty$ за его пределами. На границах поля допуска $[ei, es]$ наблюдается скачок функции.
2. При $0 < \beta < 0,5$ функция характеризует использование технологического запаса точности, при котором диапазон размеров с оптимальностью $K(x) = 1$ сужается от допустимых значений $[ei, es]$ до желательных $[ki, ks]$. При этом значения размеров за пределами $[ki, ks]$, но в пределах $[ei, es]$, могут иметь как $K(x) = 0$ (рис. 1б), когда они недопустимы, так и $0 < K(x) < 1$ (рис. 1в), когда они нежелательны.
3. Для $0,5 < \beta < 1$ только значение оптимального размера соответствует $K(x) = 1$ (рис. 1г). При удалении действительного размера от оптимального $K(x)$ уменьшается, в точках границ допустимых значений $K(x) = 0$, за их пределами $K(x) < 0$.
4. В случае $\beta = 1$ левая и правая половины функции оптимальности размеров линейны (рис. 1д). Это упрощает математическую задачу определения оптимальности действительного размера и построение функции распределения оптимальности размеров.
5. Для $\beta > 1$ функция оптимальности размеров имеет выпуклость вниз (рис. 1е). Такая её форма имеет ограниченный интерес для практики, поскольку трудно обеспечивается технологически, цена отклонения от оптимального размера очень велика. В предельном случае, когда $\beta \rightarrow \infty$, $K(x) = 1$ в значении оптимального размера, $K(x) = 0$ в пределах допустимых значений и $K(x) = -\infty$ за их пределами (рис. 1ж).

Таким образом, в предлагаемом контроле действительные размеры будут иметь безразмерное значение оптимальности, находящееся в пределах от 1 для совпадающих с оптимальным значением до отрицательных величин за пределами допустимых значений.

Функция оптимальности размеров с заданным β может использоваться для организации оплаты труда по принципу максимального приближения действительных размеров к оптимальному. В этом случае измеряются действительные размеры, и рабочему полагается оплата за каждую изготовленную деталь, пропорциональная значению функции оптимальности $K(x)$. При $K(x) < 0$ оплата отрицательна, т.е. рабочий штрафуется. Этот подход может быть

признан целесообразным для ответственных деталей, ведь чаще рабочие могут получать размеры не просто в пределах допуска, но и в некотором интервале внутри поля допуска.

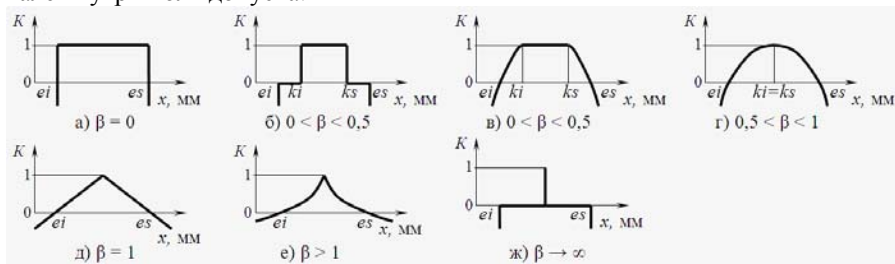


Рис. 1 – Семейство функций оптимальности размеров

3. Функция распределения оптимальности размеров

Для технологов важно оценить технологию изготовления и сделать выводы о её достаточности или недостаточности с точки зрения группирования действительных размеров относительно оптимального. Функция распределения оптимальности размеров P_k характеризует технологию изготовления деталей с точки зрения качества. На графике этой функции детали с размерами, близкими к оптимальному, располагаются в области близких к единице аргументов, положительные значения аргументов свидетельствуют о допустимости таких размеров, а отрицательные – о недопустимости.

Для получения распределения P_k для каждого значения на кривой распределения размеров (рис. 2, точка а), находится ее значение оптимальности (рис. 2, точка б), умножается на вероятность таких значений p и получается значение функции P_k . Близость точки максимума распределения оптимальности к 1 и высокая плотность свидетельствует о том, что полученные действительные размеры группируются вокруг оптимального, что свидетельствует о высоком качестве технологии изготовления. По мере удаления значения максимума распределения оптимальности от 1 и снижения её плотности качество технологии снижается, отрицательные значения свидетельствует о браке.

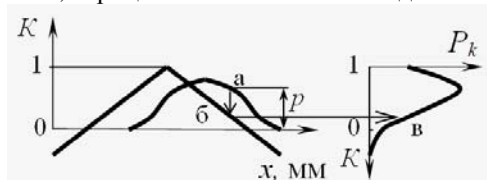


Рис. 2 – Последовательность определения распределения оптимальности размеров

4. Примеры функции распределения оптимальности размеров для различных по качеству технологий

Проиллюстрируем функцию распределение оптимальности P_k на примере размера $\varnothing 90F8^{+0,09}_{+0,036}$. Пусть значение оптимального размера совпадает с

серединой поля допуска и равно 90,063 мм. Функция оптимальности размеров выбрана линейной (рис. 1 д), и пересекающей ось абсцисс в границах поля допуска. Распределение размеров принято нормальным со среднеарифметическим значением a и среднеквадратическим отклонением σ . По оси абсцисс откладываются значения функции оптимальности, по оси ординат – вероятность получения деталей с такими значениями.

Рис. 3 а) иллюстрирует распределение оптимальности размеров для классического случая, когда центр кривой нормального распределения размеров совпадает с оптимальным $a = 90,063$ мм, разброс размеров в пределах 6σ равен полю допуска, при этом среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,009$ мм. Количество деталей с размерами близкими к оптимальному максимально, по мере отклонения от наибольшей оптимальности количество деталей уменьшается, достигая нулевых значений на границах поля допуска. За пределами положительной оптимальности деталей практически нет.

Рис. 3 б) иллюстрирует распределение оптимальности для случая изготовления со значительным технологическим запасом точности. Исходные данные: центр кривой распределения размеров такой, как и для рис. 3 а), среднеквадратическое отклонение уменьшено до $\sigma = 0,005$ мм. Таким образом, получаемые размеры сгруппированы около оптимального, а деталей с размерами, близкими к границам поля допуска, нет. Функция распределения оптимальности достигает нулевых значений при значениях оптимальности 0,5.

Рис. 3 в) и 3 г) построены для исходных данных, характеризующих технологию, при которой имеются детали с отрицательной оптимальностью, т.е. бракованные. На рис. 3 в) центр кривой распределения размеров смещен относительно оптимального значения и равен $a = 90,083$ мм, при этом среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,005$ мм. Подобные параметры распределения размеров деталей характерны для случая неправильной настройки станка, а точность изготовления достаточна. Основная часть деталей имеют значения оптимальности 0 - 0,6. Деталей с оптимальным размером практически нет, с то же время значительная часть деталей имеет отрицательные значения оптимальности, что свидетельствует о браке.

На рис. 3 г) центр кривой распределения размеров совпадает с оптимальным, но разброс размеров слишком велик, среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,012$ мм. Подобные параметры распределения размеров деталей характерны для случая недостаточной точности изготовления, а настройка станка правильная. Функция распределения оптимальности имеет максимум в области значений $K(x) = 1$, часть деталей имеют отрицательную оптимальность.

Значение функции распределения оптимальности размеров P_k в точке максимума отличается, причиной этому есть равенство единице интеграла по числовой оси от функции распределения, поэтому для более широкого графика распределения оптимальности максимум меньше, и наоборот.

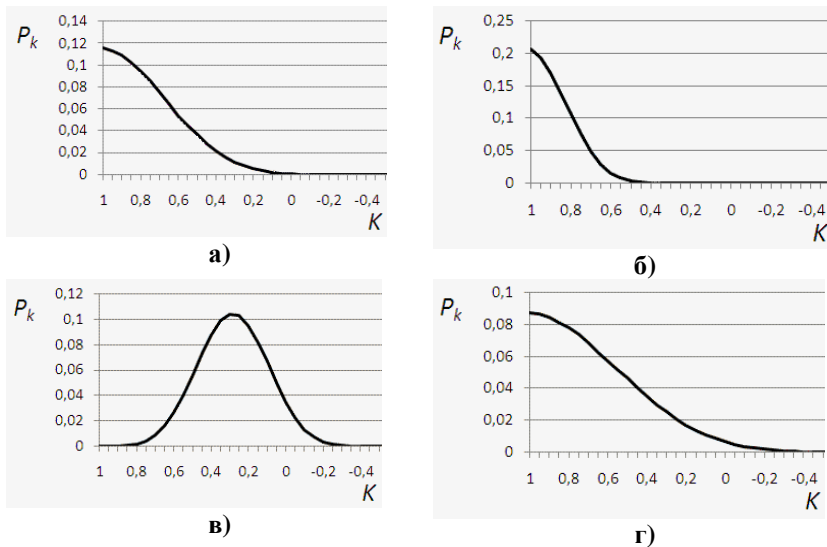


Рис. 3 – Примеры графиков распределения оптимальности

5. Построение функции оптимальности

Построение функции оптимальности не представляет сложности для случаев, когда все её части линейны (рис. 1 а, б, ж). Для случаев, когда её части нелинейны, необходимо установить функции этих частей.

Функция оптимальности может быть представлена системой:

$$K(x) = \begin{cases} K_i(x), & x \leq ki, \\ 1, & ki \leq x \leq ks, \\ K_s(x), & x \geq ks. \end{cases} \quad (1)$$

Используем полиномы второй степени для нелинейных участков на левой $K_i(x)$ и правой $K_s(x)$ частях функции оптимальности:

$$K_i(x) = d_1 x^2 + d_2 x + d_3, \quad (2)$$

$$K_s(x) = c_1 x^2 + c_2 x + c_3. \quad (3)$$

Известно, что первая производная функции задает тангенс угла ее наклона. Цена отклонения от оптимального размера β приобретает физический смысл параметра формы функции оптимальности. Поскольку функция оптимальности может быть несимметрична, введем два значения β_i и β_s , которые задают углы наклона функций $K_i(x)$ и $K_s(x)$ в точках границ желательных размеров ki и ks соответственно. Таким образом, функция оптимальности размеров $K(x)$ может быть построена при выполнении системы ограничений, которые могут быть представлены уравнениями:

$$K_i(x) = \begin{cases} K_i(ei) = d_1(ei)^2 + d_2(ei) + d_3 = 0, \\ K_i(ki) = d_1(ki)^2 + d_2(ki) + d_3 = 1, \\ K'_i(ki) = 2d_1(ki) + d_2 = \beta_i. \end{cases} \quad (4)$$

$$K_s(x) = \begin{cases} K_s(es) = c_1(es)^2 + c_2(es) + c_3 = 0, \\ K_s(ks) = c_1(ks)^2 + c_2(ks) + c_3 = 1, \\ K'_s(ks) = 2c_1(ks) + c_2 = -\beta_s. \end{cases} \quad (5)$$

Решив систему ограничений (4) и (5), получаем коэффициенты в полиномах (2) и (3):

$$d_1 = \frac{-1 - ei \beta_i + ki \beta_i}{(ei - ki)^2}, \quad d_2 = \frac{2ki + ei^2 \beta_i - ki^2 \beta_i}{(ei - ki)^2}, \quad d_3 = \frac{ei(ei - ei ki \beta_i + ki(-2 + ki \beta_i))}{(ei - ki)^2};$$

$$c_1 = \frac{-1 + es \beta_s - ks \beta_s}{(es - ks)^2}, \quad c_2 = \frac{2ks - es^2 \beta_s + ks^2 \beta_s}{(es - ks)^2}, \quad c_3 = \frac{es(es + es ks \beta_s - ks(2 + ks \beta_s))}{(es - ks)^2}.$$

При значении $\beta_i = 1 / (ki - ei)$ полином $K_i(x)$, а при значении $\beta_s = 1 / (es - ks)$ полином $K_s(x)$ упрощаются до прямых линий.

Проиллюстрируем построение функции оптимальности на примере размера $\varnothing 90F8 \begin{smallmatrix} +0,09 \\ +0,036 \end{smallmatrix}$. Диапазон желательных размеров $[ki, ks]$ примем $\varnothing 90 \begin{smallmatrix} +0,076 \\ +0,05 \end{smallmatrix}$. Полученная функция оптимальности для $\beta_l = \beta_r = 0,01$ показана на рис. 4 а), для $\beta_l = \beta_r = 100$ на рис. 4 б).

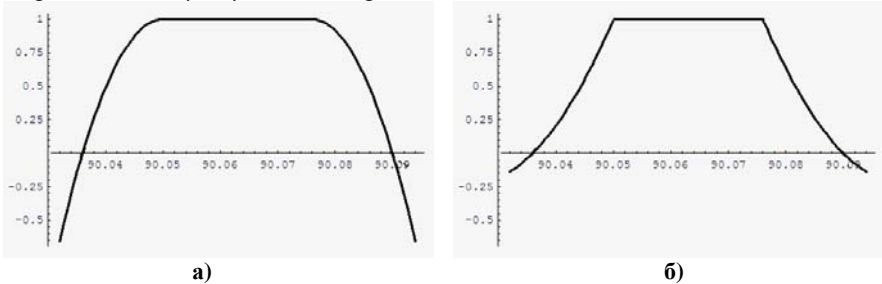


Рис. 4 – Примеры функции оптимальности

Выводы: 1. Предлагается система контроля размеров, в которой годность размера вместо двух дискретных значений «да», «нет» имеет числовое значение годности. 2. Система контроля более общая, чем существующая стандартная система допусков, и включает ее в виде частного случая. 3. Предлагаемая система направлена на изготовление большей доли деталей с близкими к оптимальному с точки зрения эксплуатации размерами, чем ближе действительный размер к оптимальному, тем выше значение годности. 4. Предлагается назвать данный показатель годности «оптимальностью размера». 5.

Числовое значение оптимальности находится в диапазоне от $-\infty$ (хуже) до 1 (лучше). Допустимые с точки зрения годности значения неотрицательны. 6. Предложено семейство функций, позволяющих численно оценить оптимальность размера, и получены формулы для построения этих функций. 7. Функция распределения оптимальности размеров характеризует качество технологии изготовления.

Поступила в редколлегию 11.03.2010

УДК 621.73.65

Е.И. ЯКОВЕНКО, А.А. ПЕРМЯКОВ, д-р тех. наук, (г. Харьков)

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ, ПОСТРОЕННОГО ПО АГРЕГАТИРОВАННОМУ ПРИНЦИПУ С ПОЗИЦИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ

Дана стаття присвячена аналізу тенденцій розвитку виробництва з використанням агрегатованого обладнання щодо питань автоматизації та забезпеченню високої продуктивності виробництва шляхом аналізу життєвого циклу деталі як об'єкта виробництва. Розглянуто декілька прикладів використання втілення ідеї життєвого циклу обладнання у сучасних виробників та через розглядання життєвого циклу обладнання наведені чинники актуальності використання агрегатованого обладнання у сучасній промисловості. Також наведені можливі шляхи розв'язання конфлікту між гнучкістю та продуктивністю обладнання.

This article is an analysis of trends using aggregated production equipment on the issues of automation and high productivity by analyzing the details of the life cycle of a production facility. We consider several examples of embodiment of the life cycle of modern equipment manufacturers and through examination of the life cycle of equipment are the factors of relevance aggregated equipment in modern industry. There are some possible ways to resolve the conflict between flexibility and performance of equipment.

В условиях современной конкурентной ситуации рынка машиностроения понятия эффективности производства напрямую связаны с понятием жизненного цикла изделия. Так, с одной стороны, производитель тяготеет к сокращению (вводя на рынок все более наукоемкие товары) жизненного цикла изделия, что совместно с ускорением внедрения наукоемких технологий, ускоряет процесс «старения» товара, и как следствие, увеличивает спрос на товар; с другой стороны, стремление к уменьшению себестоимости изделий заставляют производителя учитывать не только «маркетинговые» составляющие понятия «жизненного цикла» изделия, но и задумываться о жизненном цикле оборудования, загрузка которого с производством этого изделия связана. Поэтому понятие жизненного цикла изделия становится очень важным при решении вопросов увеличения сбыта продукции и повышения эффективности работы промышленных предприятий.