

УДК 531

И.О. ЧЕРЕДНИКОВ, А.И. ОСМОЛОВСКИЙ, Л.А. БОРКОВСКАЯ

Национальный авиационный университет, Киев, Украина

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРЕЦИЗИОННЫХ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Рассмотрен автоматический контроль прецизионных авиационных деталей цилиндрической формы.

автоматический контроль, цилиндрическая поверхность, оценки отклонений формы, погрешность

Введение

В связи с повышением требований к точности деталей машин промышленность начинает постепенно переходить от контроля точности формы отдельных сечений детали к комплексной проверке ее поверхности.

Высокое качество машин влечет за собой ужесточение допусков. Каждое десятилетие допуски ужесточаются примерно в 1,5 раза. Одновременно повышается и доля трудоемкости операций контроля в технологическом процессе изготовления деталей и изделий, совершенствуются измерительные средства.

Надежность правильно сконструированной машины, функционирование ее узлов в расчетном режиме, а значит, и ресурс в определяющей степени зависят от геометрической точности изготовления деталей по сопрягаемым поверхностям.

В машиностроении контроль занимает около 15% общей трудоемкости продукции, а в капитальных вложениях доля измерительных средств и контрольного оборудования достигает 20% всех средств, расходуемых на технологическое оборудование.

Ниже рассмотрена система прилегающих линий и поверхностей в значительной мере отличающаяся от определений [1]. В основу построения этой системы положены следующие принципы: во-первых,

прилегающая линия или поверхность (база) имеет такую форму, какую имела бы оцениваемая линия или поверхность (объект), если бы она была выполнена идеально, т.е. без каких-либо отклонений; во-вторых, параметры и расположение прилегающей линии или поверхности выбираются таким образом, чтобы мера пространства, заключенного между поверхностью и объектом, была минимальной. Из второго принципа следует, что при построении прилегающей линии минимизируется площадь, а при построении прилегающей поверхности – объем, заключенный между базой и объектом. Поскольку объем, заключенный внутри измеренной поверхности, фиксирован, это равносильно построению внешней прилегающей поверхности ограничивающей тело минимального объема, и внутренней прилегающей поверхности, ограничивающей тело максимального объема.

Разработка системы автоматического контроля является обязательным этапом технической подготовки производства цель которой заключается в обеспечении готовности предприятия к производству деталей заданного качества при минимальных трудовых и материальных затрат в соответствии с заданными сроками (временем) выпуска продукции.

Автоматизированная система технологической подготовки производства решает комплекс задач не только проектирования, но и учетом анализом и

контролем технологических процессов (ГОСТ 14.001, ГОСТ 14.406-025) используя в рамках интегрированного производственного комплекса общую базу данных ГОСТ 14.413-80

Постановка задачи

Для оценки отклонений формы сечений и поверхностей используются три типа баз - прилегающие линии и поверхности, средние линии и поверхности и зоны минимальной ширины. При практической реализации стандартизованных определений и при попытке распространить их на поверхности, непосредственно в стандарте на рассмотренные (конические, тороидальные и др.), возникает ряд существенных трудностей, связанных с отсутствием в [1] единого подхода к определению прилегающих поверхностей.

Решение задачи

Алгоритмы построения прилетающих прямых, окружностей и плоскостей известны. Однако это разнородные частные алгоритмы. Ниже излагается общий метод построения внешних и внутренних прилегающих поверхностей и зоны минимального объема. Этот метод основан на учете фундаментального свойства погрешностей - их малости по сравнению с геометрическими размерами поверхности, что позволяет линеаризовать задачу в стадии ее постановки и использовать при решении аппарат линейного программирования.

Номинальная поверхность может быть задана либо в неявной, либо в параметрической форме. Ограничимся рассмотрением неявного задания, поскольку для параметрически заданной поверхности задача решается аналогично.

Пусть $f(x, y, z, \bar{a}_0) = 0$ - уравнение номинальной поверхности, $f(x, y, z, \bar{a}) = 0$ - уравнение иско-

мой прилегающей поверхности, записанное таким образом, что для всех точек, лежащих внутри нее, $f(x, y, z, \bar{a}) \geq 0$. Тогда для всех внешних точек $f(x, y, z, \bar{a}) < 0$.

Здесь \bar{a}_0 - вектор-столбец номинальных параметров поверхности. Он содержит p_1 чертежных размеров, записанных в произвольном порядке, и p_2 нулевых элементов. Этих элементов столько, сколько может быть элементарных отклонений расположения прилегающей поверхности. Таким образом, размерность вектора \bar{a}_0 $p = p_1 + p_2$. Вектор \bar{a} имеет ту же размерность p . Он содержит p_1 реальных размеров прилегающей поверхности, записанных в таком же порядке, как чертежные размеры \bar{a}_0 и p_2 отклонений расположения поверхности.

Для цилиндра $p = 5$, $p_1 = 1$;

$$\bar{a} = (\Delta x, \Delta y, \alpha, \beta, R)^T;$$

$$\bar{a}_0 = (0, 0, 0, 0, R)^T,$$

где Δx , Δy - проекции на оси $\tilde{O}x$ и $\tilde{O}y$ смещения основания оси цилиндра из номинального положения; α , β - углы поворота оси цилиндра вокруг осей $\tilde{O}x$ и $\tilde{O}y$; R_0 - номинальный радиус цилиндра; R - радиус прилегающего цилиндра.

Объем, заключенный внутри прилегающей поверхности, зависит от значения вектора \bar{a} . В линейном приближении

$$V(\bar{a}) = V(\bar{a}_0) + \sum_{i=1}^p \frac{\partial V(\bar{a}_0)}{\partial a_i} \Delta a_i.$$

Аналогично

$$f(x, y, z, \bar{a}) = f(x, y, z, \bar{a}_0) + \sum_{i=1}^p \frac{\partial f(x, y, z, \bar{a}_0)}{\partial a_i} \Delta a_i,$$

где $\bar{\Delta a} = \bar{a} - \bar{a}_0$ – вектор отклонений параметров прилегающей поверхности от номинальной.

Сформулируем задачу линейного программирования для внешней прилегающей поверхности: найти вектор $\bar{\Delta a}$, обеспечивающий минимум линейной формы

$$\sum_{i=1}^p \frac{\partial V(\bar{a}_0)}{\partial a_i} \Delta a_i \quad (1)$$

при линейных ограничениях

$$f(x_j, y_j, z_j, \bar{a}_0) + \sum_{i=1}^p \frac{\partial f(x_j, y_j, z_j, \bar{a}_0)}{\partial a_i} \Delta a_i \geq 0; \\ (j = 1, 2, \dots, N),$$

где (x_j, y_j, z_j) – координаты j -й точки реальной поверхности;

N – число измеренных точек реальной поверхности.

Для внутренней прилегающей поверхности задача линейного программирования сводится к нахождению вектора $\bar{\Delta a}$, обеспечивающего максимум линейной формы (1) при линейных ограничениях

$$f(x_j, y_j, z_j, \bar{a}_0) + \sum_{i=1}^p \frac{\partial f(x_j, y_j, z_j, \bar{a}_0)}{\partial a_i} \Delta a_i \leq 0; \\ (j = 1, 2, \dots, N).$$

Для зоны минимального объема к реальной поверхности произвольно заданного вида необходимо предварительно ввести определение, поскольку общего определения зоны в [1] нет. Назовем зоной минимального объема пару таких поверхностей заданного вида (элементы зоны), что все точки реальной (поверхности лежат на них или между ними, значения k параметров из p одинаковы для обоих элементов зоны, а объем, заключенный между ними, минимален. Задача линейного программирования для зоны сводится к определению вектора Δa , обеспечивающего минимума линейной формы

$$\sum_{i=k+1}^p \frac{\partial V(\bar{a}_0)}{\partial a_i} (\Delta a_i^{(1)} - \Delta a_i^{(2)})$$

при линейных ограничениях

$$f(x_j, y_j, z_j, \bar{a}_0) + \sum_{i=1}^p \frac{\partial f(x_j, y_j, z_j, \bar{a}_0)}{\partial a_i} \Delta a_i \geq 0; \\ f(x_j, y_j, z_j, \bar{a}_0) + \sum_{i=1}^p \frac{\partial f(x_j, y_j, z_j, \bar{a}_0)}{\partial a_i} \Delta a_i \leq 0; \\ (j = 1, 2, \dots, N).$$

Здесь $\Delta a_i^{(1)}, \Delta a_i^{(2)}$ – векторы отклонений параметров для наружного и внутреннего элементов зоны соответственно;

$$\Delta a_1^{(1)} = \Delta a_1^{(2)}, \dots, \Delta a_k^{(1)} = \Delta a_k^{(2)}.$$

Для тора:

$$\bar{\Delta a}^{(1)} = (\Delta x^{(1)}, \Delta y^{(1)}, \alpha^{(1)}, \beta^{(1)}, \Delta R^{(1)}, \Delta r^{(1)})^T; \\ \bar{\Delta a}^{(2)} = (\Delta x^{(2)}, \Delta y^{(2)}, \alpha^{(2)}, \beta^{(2)}, \Delta R^{(2)}, \Delta r^{(2)})^T.$$

Первые четыре параметра – те же, что у цилиндра: R – радиус направляющей окружности; r – радиус образующей окружности. В этом случае $p = 6$, $k = 5$.

При численной реализации любого из описанных выше алгоритмов можно пользоваться стандартными программами методов линейного программирования, которые имеются в программно-математическом обеспечении.

Для цилиндра:

$$V = \pi R^{(2)} \tilde{H}; \\ f(x_j, y_j, z_j, \bar{a}_0) + \sum_{i=1}^5 \frac{\partial f(x_j, y_j, z_j, \bar{a}_0)}{\partial a_i} \Delta a_i = \\ = x^2 + y^2 - R_0^2 - 2x(\Delta x + \beta z) - \\ - 2y(\Delta y - \alpha z) - 2R_0 \Delta R.$$

Поскольку высота цилиндра H фиксирована, линейная форма (1) имеет вид $2\pi R_0 \tilde{H} \Delta R$, т.е. построение внешнего прилегающего цилиндра сводится к минимизации ΔR при ограничениях

$$\begin{aligned}
 &x_j^2 + y_j^2 - R_0^2 - 2x_j(\Delta x + \beta z_j) - \\
 &- 2y_j(\Delta y - \alpha z_j) - 2R_0\Delta R \leq 0; \\
 &(j = 1, 2, \dots, N).
 \end{aligned}$$

Построение внутреннего прилетающего цилиндра сводится к поиску максимума ΔR при ограничениях

$$\begin{aligned}
 &x_j^2 + y_j^2 - R_0^2 - 2x_j(\Delta x + \beta z_j) - \\
 &- 2y_j(\Delta y - \alpha z_j) - 2R_0\Delta R > 0; \\
 &(j = 1, 2, \dots, N).
 \end{aligned}$$

Для построения зоны надо минимизировать разность $\Delta R^{(1)} - \Delta R^{(2)}$ по ограничениям:

$$\begin{aligned}
 &x_j^2 + y_j^2 - R_0^2 - 2x_j(\Delta x + \beta z_j) - \\
 &- 2y_j(\Delta y - \alpha z_j) - 2R_0\Delta R^{(1)} \leq 0; \\
 &x_j^2 + y_j^2 - R_0^2 - 2x_j(\Delta x + \beta z_j) - \\
 &- 2y_j(\Delta y - \alpha z_j) - 2R_0\Delta R^{(2)} > 0; \\
 &(j = 1, 2, \dots, N).
 \end{aligned}$$

Чтобы воспользоваться стандартной программой решения задач линейного программирования, надо составить расширенную матрицу ограничений и вектор коэффициентов целевой функции для рассматриваемой задачи.

Выводы

Пользуясь предложенным методом, можно построить систему прилегающих баз для произвольной поверхности, заданной в неявной или параметрической форме.

Результаты численных экспериментов подтверждают эффективность предложенной методики при решении задач синтеза поверхностей деталей.

Предложена математическая модель системы оценки точности формы цилиндрических поверхностей деталей и измерения геометрических размеров, которая основывается на использовании высокоэффективных методов и средств решения задач измерения и включает методы траекторного и оптимального управления в процессе измерения.

Литература

1. СТ СЭВ 301-76 «Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения».
2. Дружинский И.А. Сложные поверхности. Математическое описание и технологическое обеспечение. - Л.: Машиностроение, 1985. - 263 с.
3. Абдулов А.Н., Шустер В.Г. Построение системы прилегающих базовых поверхностей для оценки точности формы деталей произвольного вида // Станки и инструмент. - 1983. - № 11. - С. 37-41.

Поступила в редакцию 14.05.2007

Рецензент: д-р техн. наук В.П. Квасников, Национальный авиационный университет, Киев.