

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 принципа 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 у 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 включают 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.