

Удосконалення методів підвищення точності позиціонування координатно-виміральної руки

Розглядається вплив результатів виміру координат положення геометричних елементів на точність встановлення системи координат виміральної деталі, а також шляхи підвищення точності позиціонування координатно-виміральної руки.

Координатно-вимірвальна рука (КВР) в наш час є дуже затребуваним обладнанням у різних галузях народного господарства, яке призначене для вимірювань геометричних розмірів деталей складної форми, відхилення форми та розташування поверхонь елементів деталей. КВР використовує найефективніші конструктивні та технологічні рішення, а також математичний апарат традиційної та булевої алгебри, системи технічного зору, теорію ймовірності та принципи технічного управління.

Контроль на КВР корпусних (коробчастих) деталей – одне з найважливіших завдань, оскільки вартість цих деталей, що становлять у номенклатурі всього 4%, знаходиться в межах 37%, а ручний їх контроль особливо трудомісткий. У цих деталях як база зазвичай приймають ділянки трьох ортогональних площин. Положення об'єкта у просторі визначається шістьма опорними (базовими) точками, які належать всім трьом площинам.

Однією з найважливіших процедур при проведенні метрологічних робіт за допомогою КВР є її базування відносно системи координат об'єкту вимірювань. Оскільки від точності базування залежить достовірність отриманої виміральної інформації, розробка нових та удосконалення існуючих методів підвищення точності проведення цієї операції є досить важливою та актуальною задачею.

За допомогою КВР базування здійснюється математично, а саме КВР вимірює з необхідною точністю положення технологічних баз виміральної деталі щодо настановних баз пристосування-супутника. Отримана інформація про положення деталі передається в систему ЧПУ, де здійснюється перерахунок керуючої програми системи координат деталі в систему координат КВР.

Слід зазначити, що процедура традиційного математичного або цифрового базуванням має ряд недоліків, основні з яких полягають у відсутності перевірки встановлення вимірального об'єкта на стіл КВР. Існує ряд методів вирішення цього завдання. Поширеним методом позиціонування вимірального об'єкта є контроль його площинності від зразкової плити, коли об'єкт встановлюють паралельно зразковій плиті та вимірюють відстані між ними у вузлах заданої сітки, а потім розраховують положення прилеглої до об'єкта поверхні і вже від неї визначають відхилення у вимірвальних значеннях [1].

У загальному випадку система координат для представлення даних і результатів вимірювань об'єкта за допомогою КВР може бути утворена за даними вимірювання або розрахунку положення поверхонь будь-яких обраних для цієї мети геометричних елементів (ГЕ) об'єкта, наприклад, осей отворів або валів, нормалей до площин, прямих перетину площин, прямих, проведених через центри тощо. Параметри базових поверхонь вимірюються і розраховуються наведеними нижче методами. Використання системи координат деталі робить незалежним програму вимірювань від положення деталі у робочому просторі КВР.

Доведено, що робочий простір КВР є деякою фіксованою системою відліку положення просторових точок, координати яких визначаються при торканні об'єкта вимірювальним наконечником. Таким чином, дані вимірювання геометричного елемента, отримані за допомогою КВР, є послідовністю координат точок $p_i (1 \leq i \leq n)$ в деякій системі відліку.

Визначено, що вимірювальна інформація з точки p_i поверхні є координатами положення відлікової точки (зазвичай центру) вимірювального наконечника КВР в момент торкання ним точки t_i вимірюваної поверхні. Для оцінки впливу розмірів наконечника на формування систематичної частини похибки необхідно знати цю константу та напрямок вимірюваної поверхні в зоні точки вимірювання.

Відомо, що вимірювання можуть проводитися в різних системах координат, а саме: в полярній, циліндричній, сферичній та декартовій системах координат. Слід зазначити, що для деталей зі складною геометричною формою найбільш поширеними є вимірювання у декартовій прямокутній системі координат, а точку відліку можна характеризувати радіус-вектором \bar{p}_i , компоненти якого визначаються координатною системою його представлення.

Доведено, що для забезпечення математичного базування поряд з абсолютною системою координат КВР та відносними системами координат калібратора вимірювальних наконечників використовується також система координат вимірювальної деталі, яка визначається по її базовим поверхням. За напрямками координатних осей системи координат вимірювальних наконечників завжди збігаються зі системою координат КВР, а значення її k -ї нульової точки відповідає положенню єдиної відлікової точки калібратора в системі координат КВР, вимірюваної k -м вимірювальним наконечником. Таким чином забезпечується сумісність даних вимірювань, отриманих за допомогою різних наконечників у єдиній системі їх координат[2].

Для визначення j -ї просторової системи координат необхідно визначити положення її нульової точки

$$Q_j = \bar{p}_{aj} = (x_{aj}, y_{aj}, z_{aj}),$$

а також напрями двох її осей і тип системи координат (права або ліва). Цього достатньо для обчислення початку координат та базису \bar{R}_d система координат вимірювальної деталі, тобто вектора нульової точки \bar{p}_d і базових векторів – ортів напрямків координатних осей $\bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{e}_z$

$$\bar{R}_d = (\bar{p}_d, \bar{e}_1, \bar{e}_2, \bar{e}_3)$$

щодо системами координат калібратора чи абсолютної системи координат КВР. Напрямок основної осі визначається нормалізацією її вектора \bar{A}_1 , тобто

$$e_1 = (\bar{A}_1)^0 = \frac{1}{|\bar{A}_1|} \bar{A}_1.$$

Вектор напрямку іншої відомої осі \bar{a}_2 відповідає проекції вектора \bar{A}_2 орієнтації цієї осі на площину перпендикулярну вектору першої осі, тобто.

$$\bar{a}_2 = \bar{A}_2 \uparrow \alpha_1 = \bar{A}_2 - \bar{A}_2 \downarrow \bar{a}_1; \\ \bar{e}_2 = (\bar{a}_2)^0$$

де \bar{e}_2 – орт напрямки другої осі система координат вимірювальної деталі, $\bar{A}_2 \downarrow \bar{a}_1$ – проекції вектора A_2 на вектор \bar{a}_1 .

Орт третьої осі координат вимірювальної деталі \bar{e}_3 отримемо, як векторний добуток відомих ортів; для правої система координат вимірювальної деталі – $\bar{e}_3 = \bar{e}_1 \times \bar{e}_2$, для лівої система координат вимірювальної деталі – $\bar{e}_3 = \bar{e}_2 \times \bar{e}_1$.

Значення координат точки p у різних системах координат КВР (трансформація координат) запропоновано визначати за наступними правилами:

$$\bar{p}_a = \bar{p} - \bar{p}_{ak};$$

$$\bar{p}_d = M(\bar{p}_a - \bar{p}_d),$$

де \bar{p} – радіус-вектор точки в абсолютній системі координат (x, y, z) , \bar{p}_{ak} – радіус-вектор нульової точки системами координат калібратора для k - го наконечника. \bar{p}_d – радіус-вектор нульової точки система координат вимірювальної деталі щодо системами координат калібратора, M – матриця переходу[3].

Матриця переходу має вигляд

$$M = \begin{bmatrix} a_1^1 & a_2^1 & a_3^1 \\ a_1^2 & a_2^2 & a_3^2 \\ a_1^3 & a_2^3 & a_3^3 \end{bmatrix}$$

де a_1^k – компоненти базисів система координат вимірювальної деталі щодо системами координат калібратора.

Зворотна трансформація зі системи координат калібратора у систему координат вимірювальної деталі або у абсолютну систему координат КВР точки p_d виконується аналогічно, згідно з наступним алгоритмом:

$$\bar{p}_a = \bar{p}_a M + \bar{p}_d;$$

$$\bar{p} = \bar{p}_a + \bar{p}_{ak},$$

де \bar{p} – радіус-вектор точки p в абсолютній системі координат КВР; \bar{p}_a – її радіус-вектор у системах координат калібратора і \bar{p}_d – в систему координат вимірювальної деталі[4].

При переміщенні нульової точки системи координат вимірювальної деталі на певну відстань \bar{d} , досить скоригувати нульову точку базису системи на цю величину, тобто.

$$\bar{R}'_a = ((\bar{p}_a + \bar{d}), \bar{e}_1, \bar{e}_2, \bar{e}_3).$$

У разі необхідності повороту система координат вимірювальної деталі на заданий кут φ навколо одного з базисних векторів (наприклад, \bar{e}_1) достатньо перерахувати значення \bar{e}_2 і \bar{e}_3 відповідно до наступних рівнянь:

$$\begin{aligned}\bar{e}_2^1 &= (\bar{e}_2 \uparrow \bar{e}_1) + (\bar{e}_2 \downarrow \bar{e}_1) \cos \varphi + [\bar{e}_1 \times \bar{e}_2] \sin \varphi, \\ \bar{e}_3^1 &= (\bar{e}_3 \uparrow \bar{e}_1) + (\bar{e}_3 \downarrow \bar{e}_1) \cos \varphi + [\bar{e}_1 \times \bar{e}_3] \sin \varphi,\end{aligned}$$

де \uparrow – проекція вектора \bar{e}_2 (\bar{e}_3) на \bar{e}_1 , \downarrow – проекція вектора \bar{e}_2 (\bar{e}_3) на площину, перпендикулярну вектору; \times – векторний добуток \bar{e}_1 і \bar{e}_2 (\bar{e}_3).

Застосування при вимірах поворотного столу викликає необхідність повороту системи координат вимірювальної деталі навколо осі обертання столу[5]. Якщо ця вісь обертання представлена вектором l , а кут повороту дорівнює φ , то компоненти вихідного базису системи координат вимірювальної деталі $(\bar{p}, \bar{e}_1, \bar{e}_2, \bar{e}_3)$ перераховуються за такими правилами:

$$\bar{p}' = r_0 + \pi(\bar{l}, \varphi) (\bar{p} - \bar{r}_0),$$

$$\bar{e}'_1 = \pi(\bar{l}, \varphi) \bar{e}_1,$$

$$\bar{e}'_2 = \pi(\bar{l}, \varphi) \bar{e}_2,$$

$$\bar{e}'_3 = \pi(\bar{l}, \varphi) \bar{e}_3,$$

де π – операція повороту вектора \bar{e}_1 навколо осі \bar{l} на кут φ , \bar{r}_0 – нульова точка осі обертання[6].

При вимірах на площині передбачається, що перша вісь системи координат вимірювальної деталі перпендикулярна площині вимірювань і колінеарна відповідній осі абсолютної системи координат КВР. Положення інших базових поверхонь деталі на площині вимірювання визначається їх кутовим зміщенням щодо координатних осей цієї площини, яке зазвичай

розраховується за даними вимірювання двох точок. Як нульова точка системи координат вимірювальної деталі може використовуватися розрахована або безпосередньо виміряна базова точка вимірюваної деталі. Координати для площини XY при цьому перераховуються за формулами

$$\begin{aligned}x_d &= x \cos \alpha \mp y \sin \alpha + x_0; \\y_d &= x \sin \alpha \mp y \cos \alpha + y_0;\end{aligned}$$

де x, y – координати точки в абсолютній системі координат КВР, x_d, y_d – координати цієї точки у системі координат вимірювальної деталі, α – Кут повороту базової поверхні, x_0, y_0 – координати нульової точки системи координат вимірювальної деталі [7].

Знак суми (різниці) вибирається по куту взаємного розташування осей системи координат вимірювальної деталі і абсолютної системи координат КВР, а саме, якщо системи координат збігаються після повороту на кут α , то береться верхній знак, в іншому випадку – нижній.

Координати точки в декартовій системі координат та інших основних системах пов'язані наступними залежностями:

для полярної системи на площині x, y

$$x = r \cos \varphi, y = r \sin \varphi;$$

для циліндричної системи

$$x = r \cos \varphi, y = r \sin \varphi, z = h;$$

для сферичної системи координат

$$x = r \cos \theta \cos \varphi, y = r \sin \theta \sin \varphi, z = r \sin \theta.$$

Висновки

На точність встановлення системи координат вимірювальної деталі істотно впливає точність результатів виміру координат положення геометричних елементів. Про точність завдання системи координат вимірювальної деталі по деякому набору базових поверхонь найпростіше можна судити за результатами повторних вимірів цих поверхонь; при цьому по визначеній ним компоненті початку координат та базису має спостерігатися мінімальне відхилення відповідних параметрів цієї поверхні від нульових значень. Уточнення положення системи координат вимірювальної деталі здійснюється повторним виміром за іншою схемою або із включенням до розрахунків більшої кількості точок тощо.

Список літератури

1. Пат 4208366/25-28 (22). Координатні вимірювальні машини, керовані від ЕОМ фірми «Оптон», для забезпечення якості в промисловості /

А. Раманаускас, П. И. Шилюнас і А. М. Б. Шукис; опубл.23.07.88, Бюл. № 27 (71).

2. Болотов М. А. Оптимизация методик измерения геометрических параметров деталей ГТД при их контроле на КИМ / М. А. Болотов, А. Н. Жидяев, А. О. Чевелева // Вестник СГАУ. – Самара: СГАУ, 2011. – № 3 (27). – С. 157–165.

3. Пат. SU 1201680 А МПК G 01 В 11/16. Способ контроля непрямолинейности длинномерных объектов / Митрофанова А. А.; опубл. 30.12.1990. Бюл.№48.

4. Пат. SU 1523885 А1 МПК G 01 В 5/20 Способ контроля геометрических параметров турбинной лопатки / Пантелеев С. И., Колесников О. В., Косицкий Ю. Н., Миникес Ю. А., Любчиц Г. А., Рудков Г. Д.; опубл. 23.11.1989. Бюл.№43.

5. Чемборисов Н.А. Повышение эффективности обработки деталей с винтовой поверхностью за счет комплексного моделирования инструмента и технологической операции: Дис. канд. техн. наук / М.: МГТУ "СТАНКИН", 1994.- 330 с.

6. Чемборисов Н.А. Компьютерное моделирование винтовых поверхностей / Н.А. Чемборисов // "Совершенствование процессов финишной обработки в машино- и приборостроении, экология и защита окружающей среды": Тезисы докладов МНТК Минск: Кибер, 1995.- 155 с.