

## АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРЕЦИЗІЙНИХ АВІАЦІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ

*В.П. Квасніков., Л.М. Покидько*

*Національний авіаційний університет, вул Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058,  
тел. (044) 406-74-35, e-mail: nau\_307@ukr.net*

*Запропоновано метод автоматичного контролю якості деталей із складною просторовою геометрією поверхонь. Впровадження методу на виробництві дасть можливість суттєво підвищити економічну ефективність виробництва складних деталей.*

*Ключові слова: позиціонер, робот, фрейм, лазерні вимірювальні прилади, автоматичний контроль, матриця, комплекс, критерій якості.*

*Предложен метод автоматического контроля качества деталей со сложной пространственной геометрией поверхностей. Внедрение метода на производстве даст возможность существенно повысить экономическую эффективность производства сложных деталей.*

*Ключевые слова: позиционер, робот, фрейм, лазерные измерительные приборы, автоматический контроль, матрица, комплекс, критерий качества.*

*The method of automatic control of quality of devices is offered with difficult spatial geometry of surfaces. Introduction of method on a production will enable substantially to promote the economic efficiency of production difficult devices.*

*Keywords: positioner, robot, frame, laser measurings devices, automatic control, matrix, complex, criterion of quality.*

Актуальною задачею для будь-якого підприємства, де здійснюється випуск наукоємної продукції, є оцінка її якості. У сучасному авіабудуванні принципово важливе місце посідають вимірювання просторових параметрів об'єктів. Це в першу чергу стосується таких корпусних деталей: лопаток турбін, валів, поршнів та інших виробів. Існуючі методи і засоби вимірювання конфігурації за допомогою шаблонів і координатно-вимірювальних машин за наявної простоти відрізняються недоліками, пов'язаними з низькою швидкістю одержання інформації, контактністю, складністю просторового позиціонування, що практично виключає можливість їх використання в автоматизованих технологічних процесах.

Прилади, які працюють на інших принципах, наприклад, емнісні, індукційні, оптичні, дуже вимогливі до дії дестабілізуючих факторів і використовуються в більшості випадків у лабораторіях. Переважна кількість приладів, які реалізують координатні вимірювання, дуже вимоглива до шорсткості вимірюваної поверхні. З цієї причини вимірювання конфігурації виробів відбувається вже після заключних стадій технологічного процесу їх виготовлення, тобто після шліфування та полірування [1].

В багатьох випадках процеси кінцевого

шліфування та полірування не вносять змін до конфігурації поверхні об'єкта, наприклад, при формуванні поверхні лопаток турбін. Однак ці операції займають за часом і за вартістю суттєву частину в технологічному процесі [2]. Тому більш раннє виявлення бракованих виробів підвищить якість та ефективність їх виробництва. Через те виникає необхідність створення більш досконалих приладів, що дозволять вимірювати складні конфігурації виробів у цехових умовах. Час обробки вимірювальної інформації має бути таким, щоб вимірювальні прилади могли бути включеними безпосередньо в технологічний процес у якості зворотного зв'язку, створюючи цим самим замкнену систему виготовлення деталей [3].

Одним з перспективних напрямків автоматизації технологічних процесів є застосування лазерних вимірювальних робототехнічних комплексів (РТК). Для забезпечення точності розмірів виготовлених деталей необхідно забезпечити точність керування робототехнічними системами. Реалізація цієї задачі потребує пошуку раціональних алгоритмів формування керуючих дій на керуючу систему робота, який забезпечує найбільшу продуктивність при необхідній точності рухів.

Розділимо РТК на дві складові:

– промисловий робот, який використовується в якості «маніпулятора інструмента», тобто для переміщення лазерного променя вздовж поверхні деталі;

– опозиціонер, який використовується в якості «маніпулятора виробу», тобто для зміни положення деталі в просторі.

Нехай положення робота і позиціонера описують 4x4-матриці однорідних перетворень  $\bar{A}_r$  і  $\bar{A}_p$ , відповідно; кожен ланку робота і позиціонера описують матричні функції  $A_i(q_i)$  та  $A_i(\varphi_i)$  від узагальнюючих координат  $q_i$  і  $\varphi_i$ . Тоді кінематичну модель РТК можна описати матричним рівнянням виду:

$$\bar{A}_t(q) = \bar{A}_p A_1(q_1) A_2(q_2) \dots A_6(q_6) A_7(\varphi_1) A_8(\varphi_2)^f A_t, \quad (1)$$

де  $^f A_t$  – матриця, що описує положення і орієнтацію системи координат лазерного вимірювального пристрою по відношенню до системи координат кріплення фланцю.

Для формалізації задачі необхідно представити траєкторію лазерного променя у вигляді сукупності координатних фреймів. При цьому для кожного сегмента траєкторії накладемо наступні умови:

– вісь  $X$  напрямлена вздовж осі траєкторії руху лазерного променя; вісь  $Z$  показує напрямком нормалі до поверхні деталі;

– вісь  $Y_i$  доповнює осі  $X_i$  і  $Z_i$  до правої трійки векторів.

Тоді відповідний фрейм можна описати матричним рівнянням:

$$\bar{A}_{s_i} = \bar{A}_p {}^P A_w {}^W A_s, \quad (2)$$

де  $\bar{A}$  – однорідна матриця розміщення позиціонера;  ${}^W A_s$ ,  ${}^P A_w$  – матриці розміщення координатного фрейма  $i$ -го сегменту траєкторії відносно деталі і фрейма деталі відносно системи координат позиціонера, відповідно.

Траєкторія лазерного променя розробляється на основі поверхневої або каркасної моделі приладу-еталону і представлена у вигляді вузлових точок  $\omega'_i$  [1], кожна з яких включає вектор  $p_i$  (декартові координати робочої точки головки лазерного вимірювального приладу) і одиничний вектор орієнтації  $n_i$ , який перпендикулярний до поверхні деталі. Для кожної вузлової точки  $\omega'_i$  визначимо систему координат і позначимо як  $N_i$ . Початок координат цієї системи розмістимо в точці  $p'_i$ ,

вісь  $X$  направимо вздовж траєкторії руху лазерного променя, вісь  $Z$  – вздовж лазерного променя, вісь  $Y$  утворює з віссю  $X$  і  $Z$  праву трійку векторів. Відповідну матрицю однорідних перетворень позначимо  $\bar{A}_s$ . Тоді маніпуляційне завдання можна представити у вигляді суміщення координатних осей фреймів  $\bar{A}_s$  і фреймів  $\bar{A}_t(q)$  таким чином, щоб вісь  $X_t$  співпадала з віссю  $Z_s$ .

В результаті, застосувавши відповідний алгоритм розв'язку зворотної задачі кінематики [2], маємо, що

$$Q_i(\gamma, \varphi_1, \varphi_2) = \ln v K_i r_i [\bar{A}_s A_p(\varphi_1, \varphi_2) R_z(\gamma) H^{-1}], \quad (3)$$

де  $\gamma$  – довільний скалярний параметр;  $H = R_x(\pi) R_y(\pi/2)$  – потрійна матриця;  $R_x, R_y, R_z$  – оператори обертання навколо осей  $X, Y, Z$ , відповідно;  $K$  – матриця направляючих косинусів, яка виконує перетворення з локальної системи координат в глобальну;  $r_i$  – матриця жорсткості  $i$ -го вимірювального елемента;  $Q_i(\gamma, \varphi_1, \varphi_2)$  – трипараметричне сімейство узагальнених координат.

Застосовуючи вище описані операції до всіх вузлів траєкторії лазерного променя, отримуємо, що множина допустимих локалізацій «інструмента» і відповідних узагальнених координат представлена у вигляді 4x4-матриці  $\{L_{ijkl}, q_{ijkl}, \varphi_{kl}\}$ , кожний елемент якої є сукупністю фрейма  $L_{ijkl}$ , шестивимірного вектора  $q_{ijkl}$  і вектора орієнтації деталі  $\varphi_{kl}$ .

Таким чином, задача синтезу траєкторії лазерного променя по поверхні деталі зводиться до порівняння її з еталоном.

В ідеалі усі критерії якості повинні прямувати до нуля, але на практиці мінімізація значення одного критерію призводить до збільшення значення іншого. Тому, використовуючи запропонований метод автоматичного контролю якості прецизійних авіаційних деталей, слід віддавати перевагу глобальним критеріям. Впровадження методу на виробництві дасть можливість суттєво підвищити економічну ефективність контролю якості прецизійних авіаційних деталей.

## ВИСНОВКИ

Запропонована технологія із використанням роботехнічних комплексів дозволяє підвищити точність виготовлення складних деталей для

авіаційної техніки.

1. Geiger M., Otto A. *Laser in der Elektronikproduktion & Feinwerktechnik, Tagungsbandes-3. Erlanger seminars LEF 2000.* – Bamberg: Meisenbach, 2000. 2. Wang C. *A new laser non-contact method for the measurement of spindle runout error motion // Proc. Of ASPE.* –

2001. – P.11. 3. Пашикевич А.П. // *Справочник. Инженерный журнал.* – 1997. – №5. – С. 27-33.

**Поступила в редакцію 09.12.2009р.**

**Рекомендував до друку докт. техн. наук,  
проф. Конін В.В.**