

УДК 681.786

Л.М. ПОКИДЬКО

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРЕЦИЗІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Розглянуто один з безконтактних методів вимірювання геометричних параметрів прецизійних деталей з використанням лазерного випромінювання. В лазерних системах контролю лазерний промінь використовується в якості оптичного зонду, що дозволяє здійснювати контроль геометричних параметрів деталі, контролювати її відповідність еталонній моделі, оцінювати якість виготовлення та обробки. Такі системи контролю забезпечують більш високу точність в порівнянні з традиційними методами, що ґрунтуються на механічній взаємодії приладу контролю та об'єкту контролю. Використання даного підходу до оцінки якості авіаційних деталей, що ґрунтується на використанні математичного аналізу скенограм відкриває широкі можливості для розгорнутої діагностики об'єктів зі збільшенням достовірності та стабільності контролю та дозволяє перейти до автоматизації процесу вимірювання та визначення придатності деталі з частковою або повною заміною оператора і оперативним коректуванням процесу виробництва.

Ключові слова: *лазерне випромінювання, оптичний зонд, системи контролю, безконтактні методи контролю, перетворення Фур'є.*

Вступ

Зростаючі вимоги до якості і довговічності виробів, а також збільшення тенденцій до створення нових агрегатів та механізмів призвели до того, що контрольно-вимірювальні операції, які раніше розглядалися як необхідні, але допоміжні роботи, стали сьогодні одними з основних. У деяких областях промисловості вони склали понад 80 % від трудомісткості робіт з виготовлення виробу.

Специфічні властивості лазерного випромінювання відкривають широкі можливості для використання його у вимірювальній техніці. Застосування лазерного випромінювання на цих операціях дозволяє не тільки підвищити точність, достовірність та швидкість вимірювань, а в деяких випадках дає можливість здійснити кількісну оцінку характеристик складних процесів та явищ.

Прилади та пристрої з використанням лазерного випромінювання знайшли широке застосування для лінійно-кутових вимірювань, для вимірювання розмірів та їх відхилень від еталону одночасно декількох деталей, для контролю установки та зношування інструменту, для контролю циліндричності деталей та інше. Сканування лазерним променем успішно використовують для дистанційної оцінки геометричних розмірів великогабаритних об'єктів, що актуально для авіації, ракетобудування, кораблебудування та інше [1].

Постановка проблеми

Основними напрямками розвитку засобів контролю геометричних параметрів є [2]:

- 1) заміна контактних методів вимірювання геометричних параметрів деталей, що зазвичай здійснюються за допомогою скоб, штангенциркулів та мікрометрів, безконтактними методами вимірювань;
- 2) заміна якісних (суб'єктивних) методів кількісними (об'єктивними) методами вимірювань;
- 3) впровадження засобів автоматизації операцій контролю;
- 4) підвищення точності вимірювань;
- 5) механізація і автоматизація представлення результатів вимірювань у формі, необхідній для автоматичної обробки;
- 6) автоматизація остаточної обробки даних і отримання результатів контролю та атестації за допомогою комп'ютера;
- 7) отримання вимірювальної інформації про геометричні характеристики контрольованих деталей в необхідній кількості і в строки, достатні для реалізації автоматичних систем управління технологічними процесами (АСУ ТП).

Ці завдання успішно вирішуються, завдяки більш широкому застосуванню засобів, народжених сучасними науково-технічними досягненнями – лазери, телевізійна техніка, пристрої зв'язку з ЕОМ, засоби комп'ютерних технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженню в розглянутій області присвячені роботи Линника В.М., Кучина А.А., Обрадовича К.А., Beekman P. та ін. Однак їх результати не відображають досягнень сучасного оптичного приладобудування, в якому широко застосовуються лазери, матричні фотоприймачі і цифрові методи обробки зображень. Окремим аспектам ефективності застосування цих інноваційних технологій присвячено ряд досліджень: Дьомкіна В.М., Пугача М.В., Галіуліна Р.М., Кеткович О.О. та ін.

Таким чином, мова йде про поступову заміну існуючих окремих контрольних операцій, що часто дають суб'єктивні і недостатньо повні дані [3], на наскрізний канал контролю за допомогою спеціалізованої оптико-виміральної системи, автоматизованої з більшості стадій отримання та переробки даних [4].

Безконтактний метод вимірювання з використанням лазерного випромінювання широко використовують в машинобудуванні, особливо в прецизій-

ному приладобудуванні, де підвищені вимоги до точності виробів. Перспективним напрямком є використання лазерного випромінювання при розробці засобів вимірювання для контролю авіаційних деталей. До їх геометричних характеристик висувають жорсткі вимоги, особливо площинності, прогину, паралельності сторін, шорсткості робочої поверхні. Забезпечити якісний контроль цих параметрів контактними засобами вимірювання практично неможливо.

Викладення основного матеріалу

В лазерних системах контролю лазерний промінь використовується в якості оптичного зонду, що дозволяє здійснювати контроль геометричних параметрів деталі, контролювати її відповідність еталонній моделі, оцінювати якість виготовлення та обробки. Такі системи контролю забезпечують більшу високу точність в порівнянні з традиційними методами, що ґрунтуються на механічній взаємодії приладу контролю та об'єкту контролю.

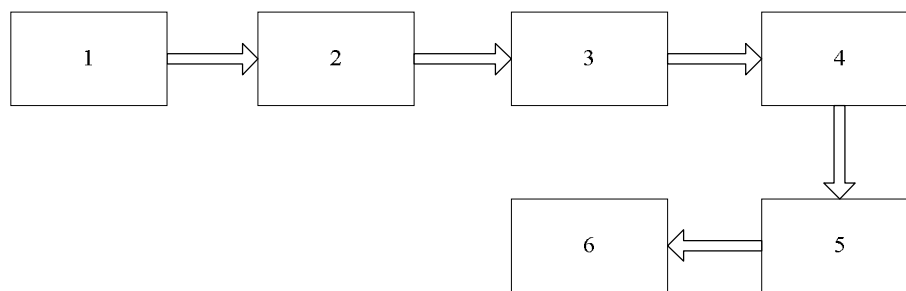


Рис. 1. Блок-схема лазерної виміральної системи.

- 1 – He-Ne-лазер; 2 – оптична система управління лазерним променем; 3 – об'єкт контролю з системою пристроїв, що переміщують його; 4 - бінарний фільтр; 5 – фотоприймач; 6 – електронно-оптичний перетворювач; 7 – комп'ютер з програмним забезпеченням спеціального призначення

На рис. 1 зображена блок-схема лазерної виміральної системи. Промінь гелій-неонового лазера 1 за допомогою оптичної схеми 2 фокусується на поверхні об'єкту контролю 3. Частина відбитого світлового потоку через бінарний фільтр 4 поступає на фотоприймач 5, вихідний сигнал з якого пропорційний до зміни інтенсивності спектр-структури у вибраній зоні спостереження.

Порушення впорядкованості структури може бути представлено у вигляді функцій зміщення, повороту, порушення періодичності, тобто відповідними функціями $f(y, x), f(\alpha, \beta), P(y, x)$ [2].

Для аналізу отриманого результату використовують апарат теорії випадкових процесів. Випадковий процес $z(t) = I[\lambda(x\{y\})]$ може бути описаний n -мірною густиною імовірності

$$P_n(z_1, z_2, \dots, z_n; t_1, t_2, \dots, t_n). \quad (1)$$

Відомо, що довільна неперервна функція може бути розкладена в ряд Фур'є на проміжку $(-T, T)$. Тому якщо випадковий процес $z(t)$ відповідає таким вимогам, то можемо отримати

$$\dot{z}(t) = \sum_{R=0}^{\infty} (U_R \cos \omega_R t + V_R \sin \omega_R t), \quad (2)$$

де $\dot{z}(t)$ – центрована випадкова функція; U_R, V_R – некорельовані випадкові величини з математичним сподіванням, що рівне нулю, та дисперсією

$$D(U_R) = D(V_R) = D_R; D_0 = \frac{1}{T} \int_0^T R_z(\tau) d\tau;$$

$$D_R = \frac{2}{T} \int_0^T R_z(\tau) \cos \omega_R \tau d\tau, \quad (3)$$

де $\tau = t_2 - t_1$, $R_2(t_1, t_2)$ – функція, що залежить

тільки від різниці $\tau = t_2 - t_1$; ω_R – дискретні кутові частоти.

Спектральна густина визначається при переході від дискретного до неперервного розкладання через інтеграл Фур'є. При цьому функція спектральної густини $S_z(\omega)$ стаціонарного ергодичного процесу пов'язана з кореляційною функцією $R_z(\tau)$ цього процесу парою перетворень Фур'є:

$$S_z(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_z(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau;$$

$$R_z(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_z(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega. \quad (4)$$

За допомогою запропонованої блок-схеми можна отримати наступні параметри: математичне сподівання, дисперсію, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт асиметрії, ексцесу, взаємної кореляційної функції та інше. Результати обчислень виводяться на екран комп'ютера в числовому та графічному представленні. Результати вимірювань порівнюють з еталонною моделлю, а також встановлюється відповідність іншим критеріям якості, що легко реалізується запропонованим математичним апаратом.

Для зменшення похибки вимірювання, що виникає внаслідок спотворення лазерного випромінювання при відбиванні від шорсткої поверхні використовуємо рівняння переносу випромінювання

$$I_v = I_v(0) \cdot e^{-\int_0^s \alpha_v(s') ds'} + \int_0^s \varepsilon_v(s') \cdot e^{-\int_{s'}^s \alpha_v(s'') ds''} ds', \quad (5)$$

де I_v – інтенсивність випромінювання; s – відстань переносу випромінювання; α_v – коефіцієнт поглинання; ε_v – коефіцієнт випромінювання. Величину $\int_0^s \alpha_v(s') ds'$ називають оптичною відстанню

між двома точками. При проходженні випромінюванням одиначної оптичної відстані, його інтенсивність випромінювання зменшується в e разів.

Процес відбивання в даному випадку наближено можна вважати подібним до процесу розсіювання випромінювання в результаті проходження його через шар розсіюючої речовини, товщина якого рівна середньому розміру мікронерівностей.

Рівняння, що характеризує спотворення лазерного випромінювання має вигляд [5]

$$\Delta I_v = \frac{6 \frac{\pi}{\Lambda} \left(\sqrt{\frac{1-0,6\Lambda+0,5v^2}{1+v^2}} - \sqrt{\frac{0,5v^2(1+0,3\Lambda)}{1+0,5v^2}} \right)}{\left(6 \frac{\pi}{\Lambda} \sqrt{1-0,6\Lambda} - 1 \right) + e^{-s}} \times$$

$$\times \left(e^{-s \cdot \left(\sqrt{\frac{0,5v^2(1+0,3\Lambda)}{1+0,6\Lambda+0,5v^2}} \right)} + e^{-s} \right),$$

де s – товщина шару розсіювання; Λ – імовірність виживання фотону в цьому шарі; v – просторова частота.

Вимірювальна система, в якій використано розглянуту блок-схему, здатна контролювати контурні розміри, профіль, взаєморозташування деталей, відхилення від площинності, розпізнавати об'єкти.

Висновки

Якісний контроль дозволяє на ранніх стадіях відбракувати потенційно непридатні деталі, забезпечити випуск заданої кількості придатної продукції, що в подальшому підвищить ефективність виробництва, зменшить долю зборки бракованих виробів, що зекономить матеріальні та трудові ресурси.

Традиційні методи контролю геометричних параметрів за допомогою візуальних оптичних приладів є непродуктивним та трудомістким, автоматизація яких складна та неперспективна. Тому створення високопродуктивних методів та засобів контролю геометричних розмірів деталей зі складною просторовою поверхнею, а особливо, статистичних розмірів елементів просторової періодичної структури, є важливою науковою задачею і диктується реальними вимогами виробництва.

Використання даного підходу до оцінки якості авіаційних деталей, що ґрунтується на використанні математичного аналізу скенограм з урахуванням формул (1) – (4) та статистичних характеристик випадкових процесів відкриває широкі можливості для розгорнутої діагностики об'єктів зі збільшенням достовірності та стабільності контролю та дозволяє перейти до автоматизації процесу вимірювання та визначення придатності деталі з частковою або повною заміною оператора і оперативним коректуванням процесу виробництва.

Література

1. Коваленко В.С. *Применение лазеров в машиностроении* / В.С. Коваленко, В.П. Котляров, В.П. Дятел. – К.: Вища школа, 1988. – 162 с.
2. Лопухин В.А. *Автоматизация визуального технологического контроля в электронном приборостроении* / В.А. Лопухин, А.С. Гурьев. – Л.: Машиностроение, 1989. – 287 с.
3. Глеч Л.А. *Контроль качества поверхностей деталей лазерным излучением* / Л.А. Глеч // *Оптимизация производственных процессов*. – 2009. – Вып. 11. – С. 166-168.

4. Кирилловский В.К. Оптические измерения. / В.К. Кирилловский. – СПб.: Изд-во ГУ ИТМО, 2005. – 90 с.

5. Чичигин Б.А. Исследование влияния параметров ПЗС матрицы на точность лазерного про-

филометра / Б.А. Чичигин, Л.А. Чернов // Радиоэлектроника, Электротехника и Энергетика: тезисы докладов двенадцатой международной НТК студентов и аспирантов. – М.: МЭИ, 2006 – Т. 1. – С. 553.

Надійшла до редакції 1.06.2011

Рецензент: канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри Л.О. Борковська, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Л.Н. Покидько

Рассмотрено один из бесконтактных методов измерения геометрических параметров прецизионных деталей с использованием лазерного излучения. В лазерных системах контроля лазерный луч используется в качестве оптического зонда, что позволяет осуществлять контроль геометрических параметров детали, контролировать ее соответствие эталонной модели, оценивать качество изготовления и обработки. Такие системы контроля обеспечивают более высокую точность по сравнению с традиционными методами, основанными на механической взаимодействии прибора контроля и объекта контроля. Использование данного подхода к оценке качества авиационных деталей, основанный на использовании математического анализа скенограм открывает широкие возможности для развернутой диагностики объектов с увеличением достоверности и стабильности контроля и позволяет перейти к автоматизации процесса измерения и определения пригодности детали с частичной или полной заменой оператора и оперативным корректировкой процесса производства.

Ключевые слова: лазерное излучение, оптический зонд, системы контроля, бесконтактные методы контроля, преобразования Фурье.

QUALITY CONTROL PRECISION PARTS BY LASER RADIATION

L.N. Pokid'ko

In laser systems control the laser beam is used as an optical probe that allows you to control the geometric parameters of parts, to monitor its compliance with the standard model, to evaluate the quality of manufacturing and processing. Such monitoring systems can provide higher accuracy than traditional methods based on mechanical interaction between the device monitoring and control object. Using this approach to assessing the quality of aircraft components based on the use of mathematical analysis skenogram opens opportunities for expanded diagnostic facilities to increase the reliability and stability control and you can go to automate the process of measuring and determining the suitability of the details with partial or complete replacement of the operator and prompt adjustment of the production process .

Key words: laser radiation, an optical sensor, control system, proximity control methods, the Fourier transform.

Покидько Людмила Миколаївна – провідний інженер кафедри інформаційних технологій інституту інформаційно-діагностичних систем Національного авіаційного університету, Київ, Україна, e-mail: kvp@nau.edu.ua.