

АНАЛІТИЧНЕ ТА ЕКОЛОГІЧНЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 681.786

3D ВІДЕОВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЮ
ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ

Прокопченко С. В., Воскресенський В. Б.

Український науково-дослідний інститут Сережа, здоровствуйте! спеціальної техніки та
судових експертиз Служби безпеки України, Київ, УкраїнаE-mail: lodrins@gmail.com, vova.komarova@gmail.com

Під час контролю технологічних процесів виготовлення різнопрофільних деталей, до яких висуваються вимоги підвищеної точності обробки, необхідно дотримуватись систематичного вимірювання їх геометричних розмірів, допустимих відхилень, дотримання форм та розташування поверхонь елементів деталей. На сьогоднішній день цей вид неруйнівного контролю проводиться із використанням спеціальних оптичних систем та дозволяє досліджувати різні вироби, незалежно від їх виду, конструктивних особливостей та структури матеріалів, із яких вони виготовлені. Тобто візуально-оптичний метод вимірювань – один із найважливіших методів неруйнівного контролю у виробництві.

В статті автори поділилися практичним досвідом щодо вибору та оптимального застосування 3D відеовимірювальної системи при обмеженому ресурсному забезпеченні. Вибір фірми-виробника та моделі (типу) відеовимірювальної системи здійснювався залежно від складності завдань вимірювань. В першу чергу оцінювалась похибка результатів вимірювань, яка визначалась технічними показниками, та складом функціональних можливостей програмного забезпечення. Для контролю виготовлення механічних деталей підвищеної точності визначені базові вимоги до технічних показників та програмного забезпечення відеовимірювальної системи.

Зроблено акцент на економічному ефекті внаслідок скорочення часу вимірювань лінійних розмірів та кутів на площині контрольованих деталей, з одночасним використанням високоякісних функціональних можливостей обробки відеозображень, що значно зменшує вірогідність виникнення помилки оператора. Обґрунтовано вибір між ручними та автоматизованими системами вимірювань: основними факторами є пропускна спроможність та необхідний обсяг вимірювань. Оцінено як позитивний фактор можливість збереження файлів результатів вимірювань у форматах Exel, Word, а також SPC для статистичної обробки інформації з метою покращення якості виготовлення деталей.

Визначені особливості відеовимірювальних систем щодо: реалізації інноваційних метрологічних рішень – мультисенсорної метрології, а саме – включення у програму вимірювань оптичного, лазерного та контактного дослідження; здійснення зворотного проектування (Reverse Engineering) попередніх версій деталей, для яких уже втрачені кресленики, а CAD-моделі недоступні.

Ключові слова: методи і засоби відео вимірювань; мультисенсорна метрологія; неруйнівний контроль; відеовимірювальні системи; зворотнє проектування; метрологічна інспекція; лінійні і кутові переміщення.

Вступ

Технологічні процеси виготовлення деталей підвищеної точності обробки різного профілю потребують систематичного вимірювання їх геометричних розмірів, що вимагає регулярного проміжного та фінішного контролю при їх виготовленні, а також при виконанні монтажних операцій [1]. Під час здійснення контролю доцільно виконати оцінювання геометричних параметрів деталей, необхідно з'ясувати дотримання форми деталей, зафіксувати можливі відхилення формотворення та розташування поверхонь елементів деталей.

Також слід враховувати, що результати вимірювань таких геометричних величин, як лінійні розміри плоских мініатюрних деталей та площинні

кути, є достовірними за умови оцінки їх параметрів точності.

Тобто, структура вимірювальної задачі має наступні складові: обсяги комплексного аналізування результатів точності вимірювань, опрацювання можливостей різновидів вимірювань, отриманого масиву експериментальних даних, порядку отримання таких даних, граничних вимог до точності вимірювань.

На сьогодні цей вид неруйнівного контролю здійснюється із використанням спеціальних оптичних систем та дозволяє досліджувати різні вироби, незалежно від їх виду, конструктивних особливостей та структури матеріалів, із яких вони виготовлені [2, 3].

Аналіз відомих технічних рішень

Наявні публікації щодо задач практичного ефективного застосування та можливого створення (і комплектації) відеовимірювальних систем (також їх складових частин) в більшості мають інформаційно-реklamний характер [2, 3]. Однак певна кількість дослідників, здебільшого вітчизняних, присвятили свої праці зазначеним питанням та проблемам [1, 4, 5].

Вагомий внесок у розроблення методів та рекомендацій оптимального застосування відеовимірювальних систем зроблено дослідженнями, виконаними зарубіжними фахівцями, зокрема роботи [6, 7, 8, 9]. Широко доступна також досить велика кількість публікацій рекламного характеру, які присвячені означеним проблемам.

Мета роботи полягає у результатах практичного досвіду щодо вибору та оптимального застосування 3D відеовимірювальної системи для контролю виготовлення деталей підвищеної точності обробки.

Результати основного дослідження

Контрольно-вимірювальна система (вимірювальна установка, відео-вимірювальна машина, 3D відеовимірювальна система) – це структурна сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювальної техніки, пристроїв та інших технічних засобів, призначених для дослідження властивостей зразків, метрологічної оцінки (перевірки, калібрування тощо) інших засобів вимірювальної техніки [8]. Об'єктом досліджень у такому разі є наступні засоби вимірювальної техніки: прилади, канали систем, сенсори та міри.

Конструктивно контрольно-вимірювальні системи виготовляють здебільшого, як одне ціле, у вигляді стенда з необхідними пристосуваннями під'єднання зразків для дослідження, регулювання параметрів відеозображення та документування результатів вимірювань.

Найвищим рівнем розвитку контрольно-вимірювальних систем є 3D вимірювальні системи (вимірювання за трьома координатами). Найбільш застосованими можна назвати наступні моделі:

- VISIO 902.2200 SYLVAC VISIO (Швейцарія);
- ABERLINK PROJECT X (Великобританія);
- LVC400 VISION Engineering Ltd (Великобританія);
- Quick Vision, Quick Scope, Quick Image Mitutoyo Corporation (Японія);
- YF-2010T Dongguan Yihui Optoelectronics Technology Co., Ltd (Китай).

Вибір фірми-виробника та моделі (типу) відеовимірювальної системи здійснюється замовником залежно від складності завдань вимірювань та ресурсного забезпечення замовника. У першу чергу він змушений оцінювати похибку результату вимірювання (визначається технічними показниками), та набір функціональних можливостей програмного забезпечення.

Для контролю при виготовленні механічних деталей підвищеної точності автори визначили базові вимоги до технічних показників, з врахуванням рекомендацій [6, 7], та програмне забезпечення відеовимірювальної системи, які наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Базові вимоги до відеовимірювальної системи

Назва показника, функціональна можливість	Значення показника
Технічні показники	
Переміщення (вимірювання)	200 mm x 100 mm x 150 mm
Похибка при вимірюванні довжини в площині X, Y	$\leq \pm (3+L/200) \mu\text{m}$, де L довжина (mm)
Зум-об'єктив (збільшення)	0,7 ~ 4.5X
Загальне збільшення (компенсація)	30-190X
Похибка при оцінці перпендикулярності (3D)	$X \perp Y \leq 5 \mu\text{m}$, $Z \perp X \leq 0.02\text{mm}$, $Z \perp Y \leq 0.02\text{mm}$
Похибка при збільшенні масштабу	X, Y reading error $\leq 0.005 \text{ mm}$
Додаткове освітлення	Наявне
Можливість калібрування системи	Скляний еталон у комплекті для калібрування до 200 мм
Зонд для 3D вимірювань	Оригінальний зонд RENISHAW (Великобританія)
Фіксування зон вимірювання	Наявність лазерного показника
Програмне забезпечення	
2D вимірювання	Вимірювання висоти, ширини, довжини, обох сторін кута, кута конуса, діаметра циліндра, фасок, прямолінійності, кола, циліндричності, перпендикулярності, паралельності тощо.
3D вимірювання за допомогою зонда	Вимірювання глибини отвору, діаметра кулі, циліндричності тощо.

Продовження табл. 1

Назва показника, функціональна можливість	Значення показника
Програмне забезпечення	
Встановлення максимальних та мінімальних меж вимірювання	Попередження щодо виходу фактичних розмірів за межі встановленого діапазону.
Виведення зображення	Збереження результатів вимірювань або спостережень у форматах BMP, Jpg тощо.
Функції векторного моделювання	Підтримка векторного моделювання.
Створення карти вимірювання	Вимірювання безпосередньо на кресленнику (рисунок), формування операційної карти.
Функції автоматичного вимірювання	Автоматичний пошук прямої лінії, багатозонний пошук прямої лінії тощо.
Звітування.	Перетворення результатів вимірювань безпосередньо у формат в EXCEL, WORD, CAD.

Результати аналізу технічних показників вищезазначених оптичних систем за встановленим критерієм «ціна-якість» визначили найоптимальнішою 3D відеовимірювальну систему YF-2010T виробництва компанії Dongguan Yihui Optoelectronics Technology Co., Ltd. (Китай), яка рекомендована для **точного вимірювання геометричних розмірів продукції – похибка не гірше ± 4 мкм при довжині деталей до 200 мм.**

Отже, при застосуванні 3D відеовимірювальної системи в практичній діяльності виробник отримує досить значний економічний ефект внаслідок скорочення часу вимірювань лінійних розмірів та кутів на площині контрольованих деталей. Одночасно використовуються високоякісні функціональні можливості обробки відеозображень, що значно зменшують вірогідність помилки оператором [2, 3]:

- 1) запам'ятовування та збереження зображень в пам'яті з врахуванням 256-рівневої шкали яскравості;
- 2) врахування змін у відеозображенні залежно від порогових рівнів;
- 3) вимірювання розмірів деталей (заготовок) через алгоритм підрахунку числа пікселів;
- 4) визначення граничних розмірів деталі з високою точністю (роздільна здатність досягає близько 1 пікселя);
- 5) вимірювання зображень великогабаритних деталей по частинах;
- 6) застосування комбінованих координат точок;
- 7) забезпечення високої точності фокусування при вимірюванні висоти та оптимальний підбір контрасту зображення.

Зазвичай необхідно визначитись із вибором вимірювань: ручний режим чи автоматизоване вимірювання? У цьому питанні ключову роль відіграє відповідність між виробничими задачами та вибраними засобами контролю.

Вибір, у першу чергу, залежить від наступних факторів та показників: розмір заготовки, використувані матеріали, швидкість досліджень, по-

вторюваність, вимоги до точності вимірювань та багатьох інших факторів. Однак, *найчастіше при виборі між ручними та автоматизованими системами вимірювань критичним фактором є пропускна спроможність.* Для невеликих об'ємів продукції досить ручних вимірювань, у той час, як швидке дослідження великої кількості зразків потребує автоматизації.

Окремо необхідно приділити увагу спрощенню вимірювань висоти або глибини отворів (режим 3D-вимірювання). Вимірювання необхідно проводити в 4-х точках із застосуванням контактного датчика, що дозволяє одночасно оцінити показники плоско-паралельності складної за конфігурацією механічної деталі.

Відеовимірювальна система YF-2010T адаптована для використання контактних датчиків Renishaw TP-20 та Renishaw TP-200, що дозволяє також виконувати контактні-досліджувані вимірювання. Тобто, визначають координати поверхні та границі (граничні розміри) у складних 3D-моделях, де оптичне розпізнавання неможливе.

Спеціалізоване ПЗ відеовимірювальної системи дозволяє створювати карти вимірювань та зберігати результати вимірювань:

- 1) у форматах Exel, Word, а також SPC для статистичної обробки інформації з метою покращення якості виготовлення деталей;
- 2) у графічних форматах Jpg, BMP для візуального аналізу та визначення причин виникнення дефектів механічних деталей під час експлуатації. Окрім того, за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення можливо створити графічні шаблони (макриси) для деталей, що збільшує ефективність вимірювань.

Висновки

Враховуючи результати дослідження, можна зробити наступні висновки:

- візуально-оптичний метод вимірювань – найважливіший із методів неруйнівного контролю у виробництві, який застосовується провідними ком-

паніями при створенні 3D відеовимірювальних систем;

- вибір виробника та моделі відеовимірювальної системи здійснюється замовником залежно від завдань вимірювань та ресурсного забезпечення;
- практичний досвід авторів надає можливість стверджувати щодо необхідності експлуатування засобів вимірювальної техніки, що мають певні високоякісні метрологічні характеристики;
- для реалізації інноваційних метрологічних рішень – мультисенсорної метрології, програма вимірювань може включати оптичне, лазерне та контактне дослідження;
- відеовимірювальна система дозволяє здійснити зворотне проєктування (Reverse Engineering) попередніх версій деталей, для яких уже втрачені кресленики, а САД-моделі недоступні.

У подальших дослідженнях планується дослідити всі можливості зворотного проєктування 3D відеовимірювальної системи моделі YF-2010T, виконати апробацію найбільш цікавих функцій Reverse Engineering та визначити оптимальні напрямки такого проєктування.

Література

- [1] Ю. О. Подчашинський, “Методи і засоби відеовимірювань лінійних і кутових переміщень”, Автореферат дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук., НТУУ «КПІ», Київ, 2002, 27 с.
- [2] Прайс – галерея № 53 UA-2019. MIKROTECH пропонує в Україні найкращий світовий вимірювач. Електронний каталог ПНВП «MIKROTECH». [Електронний ресурс]. Доступно: www.microtech-ua.com.
- [3] ABERLINK Innovative Metrology. Електронний каталог продукції. [Електронний ресурс]. Доступно: www.microtech-ua.com.
- [4] Д. М. Нестерчук, С. О. Квітка, С. В. Галько *Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник*. Мелітопіль, Україна: ВПЦ Люкс, 2017.
- [5] С. В. Мельничук, Ю. О. Подчашинський, О. О. Лугових, І. В. Вітюк, О. С. Повар, “Програмно-апаратний комплекс для визначення параметрів переміщень і оцінки плавності ходу підвіски на основі чотириланкового важільного механізму”, *Вісник ЖДТУ*, № 2 (53), с. 96-104, 2010.
- [6] *Неразрушающий контроль и диагностика*. Справочник. Под ред. В. В. Клюева. 2-е изд., перераб. и доп. Москва, РФ: Машиностроение, 2003.
- [7] *Неразрушающий контроль*. Справочник в 7 томах. Под ред. В. В. Клюева. Том 1. В 2 кн. Книга 1. Визуальный и измерительный контроль. 2008.
- [8] Н. Мамонтова. «Мультисенсорная метрология: новый подход к измерениям», у *Сборник «Производство электроники: технологии, оборудование, материалы»*, № 4, с. 1-4, 2012.
- [9] Н. Мелехова, А. Ивахин, “Видеоизмерительные системы iNEXIV VMA-4540 – эталон качества метрологической инспекции”, *Современная электроника*, № 8, с. 26-28, 2015.

УДК 681.786

С. В. Прокопченко, В. Б. Воскресенский

Украинский научно-исследовательский институт специальной техники и судебных экспертиз Службы безопасности Украины, Киев, Украина

3D ВИДЕОИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Во время контроля технологических процессов изготовления разнопрофильных деталей, к которым выдвигаются требования повышенной точности обработки, необходимо выполнять систематические измерения их геометрических размеров, допустимых отклонений, соблюдения форм и размещения поверхностей элементов деталей. В современной промышленности этот вид неразрушающего контроля производится с использованием специальных оптических систем и позволяет исследовать различные изделия, независимо от их вида, конструктивных особенностей и структуры материалов, из которых они изготовлены. Таким образом, визуально-оптический метод измерений – один из наиболее важных методов неразрушающего контроля в производстве.

В статье авторы поделились практическим опытом по выбору и оптимальному использованию 3D видеоизмерительной системы при ограниченном ресурсном обеспечении. Выбор фирмы-изготовителя и модели (типа) видеоизмерительной системы производился в зависимости от сложности задач измерений. В первую очередь оценивалась погрешность результатов измерений, которая определялась техническими показателями и составом функциональных возможностей программного обеспечения. Для контроля при изготовлении механических деталей повышенной точности определены базовые требования к техническим показателям и программному обеспечению видеоизмерительной системы.

Сделан акцент на экономическом эффекте за счет сокращения времени измерений линейных размеров и углов на плоскости контролируемых деталей, с одновременным использованием высококачественных функциональных возможностей обработки видеоизмерений, что значительно уменьшает вероятность появления

ошибки оператора. Аргументирован выбор между ручными и автоматизированными системами измерений, основными факторами служат: пропускная способность и необходимый объем измерений.

Определены особенности видеоизмерительных систем относительно: реализации инновационных метрологических решений – мультисенсорной метрологии, а именно – включение в программу измерений оптического, лазерного и контактного исследований; выполнения обратного проектирования (Reverse Engineering) предыдущих версий деталей, для которых уже утрачены чертежи, а САД-модели недоступны.

Ключевые слова: методы и устройства видеоизмерений; мультисенсорная метрология; неразрушающий контроль; видеоизмерительные системы; обратное проектирование; метрологическая инспекция; линейные перемещения; угловые перемещения.

Serhii Prokopchenko, Volodymyr Voskresenskyi

The Ukrainian scientific and research Institute of special equipment and forensic expertise of the Security Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine

3D VIDEO MEASURING SYSTEM FOR TESTING OF MANUFACTURE OF PARTS THE HIGH PRECISION PROCESSING

During the control of technological processes of manufacturing various parts, which are required to increase the accuracy of processing, it is necessary to adhere to the systematic measurement of their geometric dimensions, tolerances, compliance with the shape and location of the surfaces of the parts. To date, this type of non-destructive testing is carried out using special optical systems and allows you to study different products, regardless of their type, design features and structure of the materials from which they are made. That is, the visual-optical method of measurement is one of the most important methods of non-destructive testing in production.

In the article the authors shared practical experience in the selection and optimal use of 3D video measuring system with limited resources. The choice of manufacturer and model (type) of video measuring system was made depending on the complexity of the measurement tasks. First of all, the error of measurement results was evaluated, which was determined by technical indicators and the composition of software functionality. For control in the manufacture of high-precision mechanical parts, the basic requirements for technical parameters and software of the video measuring system are defined.

Emphasis is placed on the economic effect by reducing the time of measurement of linear dimensions and angles in the plane of the controlled parts, while using high-quality functionality of video processing, which significantly reduces the likelihood of operator error. The choice between manual and automated measurement systems is justified: the main factors are the capacity and the required amount of measurements. Evaluated as a positive ability to save information files in Exel, Word, and SPC for statistical processing of information to improve the quality of parts.

Features of video measuring systems concerning: implementation of innovative metrological solutions - multisensory metrology, namely - inclusion in the program of measurements of optical, laser and contact research; Reverse Engineering of previous versions of parts for which drawings have already been lost and CAD models are not available.

Keywords: methods and instruments video probing; multisensory metrology; nondestructive testing; video measuring systems; reverse engineering; metrological inspection; linear movements; angle movements.

*Надійшла до редакції
12 квітня 2021 року*

*Рецензовано
24 квітня 2021 року*