МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни
«Контрольно-діагностичні системи верстатів з ЧПУ та в машинобудуванні»

для здобувачів освіти
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти,

спеціальності G11 Машинобудування,
усіх освітніх програм та форм навчання

2025

Конспект лекцій з дисципліни «Контрольно-діагностичні системи верстатів з ЧПУ та в машинобудуванні» для здобувачів освіти за другим (магістерським) рівнем вищої освіти, спеціальності G11 Машинобудування усіх освітніх програм та форм навчання / Укл.: С.В. Танченко, В.В. Солоха – НУ «Запорізька політехніка», 2025. – 84 с.

Укладач: С.В. Танченко, ст. викладач
В.В. Солоха, доцент, к.т.н.

Рецензент: М.В. Фролов, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск: В.П. Загородній зав. лаб.

Затвердженона засіданні кафедри
“Металорізальні верстати та інструмент”
Протокол № 1.
від “21“ __08__ 2025

Рекомендовано
до видання НМК
Машинобудівного факультету
Протокол № 1.
від “26“ __08__ 2025

ЗМІСТ

ТЕМА 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ У МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ МАТЕРІАЛІВ 4

ТЕМА 2. СИСТЕМИ ВІДЛІКУ ТА КОНТРОЛЮ ПЕРЕМІЩЕНЬ У СУЧАСНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК 5

ТЕМА 3. АБСОЛЮТНІ ТА ВІДНОСНІ ОБЕРТОВІ ДАТЧИКИ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ (ЕНКОДЕРИ) У СУЧАСНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК 9

ТЕМА 4. ЛІНІЙНІ ОПТИЧНІ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ ПЕРЕМІЩЕНЬ У СУЧАСНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК 24

ТЕМА 5. ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК 35

ТЕМА 6. КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ МАШИНИ (КВМ).42

ТЕМА 7. ДАТЧИКИ ДЛЯ КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИН 58

ТЕМА 8. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАШИН 74

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 84

ТЕМА 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ У МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ МАТЕРІАЛІВ

У сучасності різноманітні вимірювальні системи широко застосовуються практично у всіх галузях, пов′язаних з використання техніки: промисловості, транспорті, медицині, будівництві і т. д.

У галузі механічної обробки сучасні вимірювальні системи придбали якісно нові можливості. Вони стали невід′ємною складовою системи функціонування сучасного металообробного обладнання з ЧПК, а також систем автоматизованого контролю готової продукції. Це дозволило отримати недосяжні раніше показники точності та продуктивності обробки і контролю деталей. Значно підвищилась стабільність якості кінцевої продукції, отримали розвиток технології зворотнього (реверсного) інженірінга. Завдяки можливості комплексної автоматизації, сучасні вимірювальні системи широко використовуються у складі гнучкого автоматизованого виробництва, де є однією з найважливіших складових.

У машинобудуванні сучасні вимірювальні системи використовуються на усіх етапах виробничого циклу для вирішення задач:

-діагностування стану обладнання

-прив′язки верстатних пристроїв до системи координат верстата

-прив′язки заготовок до робочої системи координат

-прив′язки ріжучого інструмента до робочої системи координат

-відліку та контролю переміщень робочих органів верстатів та інших технологічних машин (3D-прінтерів, 3D-сканерів та інш.)

-відліку та контролю інших параметрів обробки на верстаті (швидкість обертання та лінійних переміщень робочих органів, контроль температури вузлів, навантаження на вузли під час обробки, тощо)

-активного контролю деталей

-контролю стану та визначення величини зносу ріжучого інструменту при обробці

-кінцевого контролю деталей безпосередньо на верстаті

-кінцевого контролю деталей поза верстатом (на координатно-вимірювальних машинах)

-вимірювання виробів для отримання їх геометричних та розмірних параметрів у технологіях реверсного інженірінга

Основними перевагами використання вимірювальних систем є :

1. Підвищення продуктивності обробки та контролю виробів на верстатах
2. Підвищення ступеня автоматизації обробки та контролю
3. Розширення технологічних можливостей обладнання
4. Зменшення виробничих витрат на виготовлені продукції
5. Підвищення стабільності якості продукції, що випускається
6. Зменшення впливу людського фактору на якість вимірювання та контролю деталей і ріжучих інструментів

Сучасними вимірювальними системами оснащують:

- будь-яке металообробне обладнання з ЧПК (токарні ,токарно-фрезерні верстати, токарні та фрезерні багатокоординатні оброблюючі центри, шліфувальні верстати з ЧПК, тощо.);
- металообробне обладнання з ручним керуванням;
-інструментальні мікроскопи, координатно-вимірювальні машини;
- 3D-прінтери, 3D-сканери та інш.

ТЕМА 2. СИСТЕМИ ВІДЛІКУ ТА КОНТРОЛЮ ПЕРЕМІЩЕНЬ У СУЧАСНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Загальні відомості та класифікація

Датчиком робочого положення (датчиком зворотнього зв′язку за шляхом) називається пристрій, у вимірювальному елементі якого величина контрольованого лінійного або кутового переміщення робочого органу верстата викликає зміну певних фізичних параметрів. Далі вимірювальна система перетворює ці параметри у систему первинних сигналів, що містять інформацію заданої точності про контрольовані параметри процесу.

Датчики положення класифікуються за такими ознаками:

а) за видом переміщення, що вимірюється:

1) для лінійних переміщень;
2) для кутових переміщень;

б) за конструкцією:
1) лінійні;
2) обертові (кругові);

в) за способом вимірювання:
1) абсолютні;
2) відносні (циклічні);
3)абсолютно-циклічні;

г) За характером відтворення параметру:
1)дискретні;
2)аналогові;

д) За принципом роботи:
1)оптичні;
2)індуктивні;

ж) За схемою вимірювання:
3) прямої дії;
4) непрямої дії.

Лінійні датчики використовуються для вимірювання лінійних зворотньо-поступальних переміщень робочих органів верстатів. Кругові датчики можуть здійснювати прямі вимірювання кутів повороту робочих органів верстата (шпинделів, поворотних столів та головок, тощо), або непрямі вимірювання лінійних переміщень. В останньому випадку ці датчики встановлюються на обертовій проміжній ланці приводу верстата (вал електродвигуна, ходовий гвинт, тощо)

Аналогові датчики побудовані за принципом електромагнітної індукції і поділяються на обертові трансформатори (резольвери) та індуктосини. Такі датчики використовувались переважно у верстатах з ЧПК попередніх поколінь.

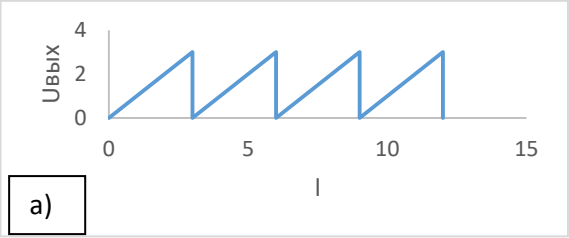
Оптичні датчики у порівнянні з аналоговими забезпечують більш високу точність. Принцип роботи оптичних датчиків заснований на фотоелектричному зчитуванні растрових та кодових зображень.

Абсолютна та відносна (циклічна) системи відліку лінійних та кутових переміщень у верстатах з ЧПК

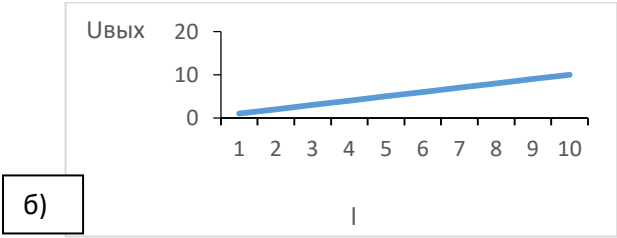
В абсолютних датчиках кожному їх положенню по всій довжині переміщення відповідає чітко визначене і єдине кодове значення, або точно визначена величина вихідного сигнала, що монотонно змінюється.

Системи з абсолютними датчиками зберігають інформацію про положення робочого органа верстата за відповідною координатною віссю після вимкнення електричного живлення. Після включення системи живлення, робочі органи верстата не потребують виходу вихідні (референтні) точки за кожною координатою.

У циклічних датчиках зміна параметрів вихідного сигнала носить циклічний характер, приймаючи одні й ті ж самі значення при різних положення датчика. Такі датчики простіші за конструкцією та дешевші, але після кожного вимикання електромережі потребують проведення процедури «онулення координат» (проведення референції по осям).



для абсолютних датчиків



для циклічних датчиків

Рисунок 2.1.-Зміна величини вихідного сигналу

Для великих довжин переміщень використання абсолютних датчиків ускладнене, зважаючи на надто високі вимоги до точності їх вимірювань (для довжини переміщень 1м з точністю відрахунку 0,01мм похибка вимірювання складає 0,001%).

У таких випадках використовується багатоканальний блок зворотнього зв′язку, де у кожному каналі використовується циклічний датчик з певною зоною однозначності (рис.2.2, 2.3, 2.4). Датчики різних каналів пов′язані між собою шестернями з визначеним передаточним відношенням, яке залежить від кроку циклічності у кожному каналі.

Рисунок 2.2- Принцип роботи абсолютного багатоканального датчика зворотного зв′язку за положенням з грубим каналом

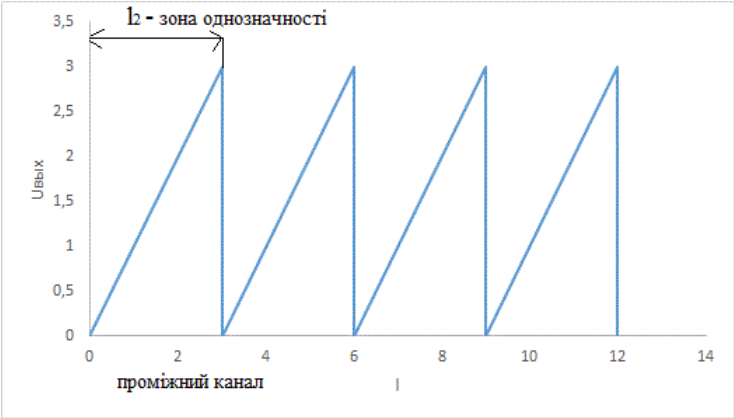


Рисунок 2.3- Принцип роботи абсолютного багатоканального датчика зворотного зв′язку за положенням з проміжним каналом

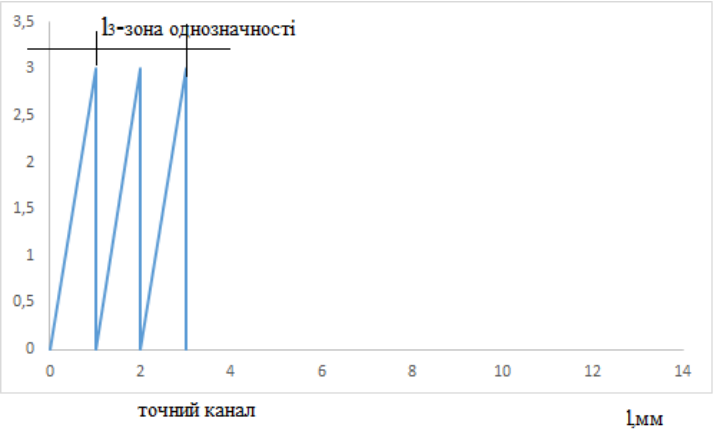


Рисунок 2.4- Принцип роботи абсолютного багатоканального датчика зворотного зв′язку за положенням з точним каналом

ТЕМА 3. АБСОЛЮТНІ ТА ВІДНОСНІ ОБЕРТОВІ ДАТЧИКИ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ (ЕНКОДЕРИ) У СУЧАСНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Енкодери призначені для визначення:

- кута повороту валів (або інших обертових об′єктів) шляхом прямих вимірювань

-лінійних переміщень рухомих елементів промислових машин шляхом непрямих вимірювань

-швидкості обертання валів шляхом прямих вимірювань

-напрямку обертання валів

У металорізальних верстатах енкодери використовуються для:

- визначення швидкості обертання шпинделя

- визначення кута повороту шпинделя у токарних та токарно-фрезерних верстатах з ЧПК (для визначення кутового положення заготовки); у фрезерних та багатоопераційних верстатах з ЧПК цієї групи для визначення кутового положення шпинделя для здійснення автоматичної зміни інструмента

- узгодження обертання шпинделя або поворотного столу з подачею інструмента чи заготовки при нарізанні різі різцем та утворенні інших гвинтових та фасонних поверхонь різцями та фрезами на верстатах з ЧПК токарної та фрезерної груп
- визначення швидкості подачі
- визначення лінійних координат переміщення робочих органів верстата (непрямі вимірювання)
- визначення швидкості та кутового положення поворотних столів.

За принципом дії розрізняють енкодери:

1. Оптичні
2. Магнітні
3. Магніторезисторні

За принципом формування сигналу:

- Абсолютні
- Інкрементні

Конструкція енкодерів

Енкодер складається з наступних основних вузлів (на зображенні наведено зображення на основі оптичного абсолютного енкодера):

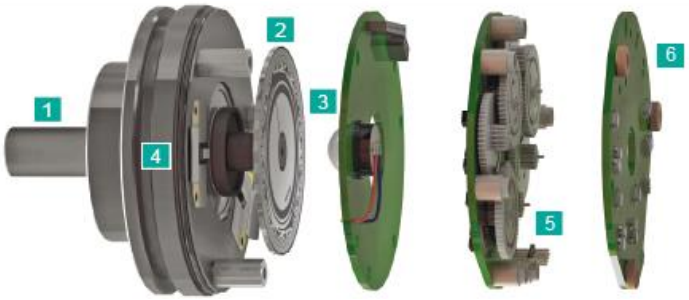


Рисунок 3.1-Конструкція енкодера

1 - вал енкодера;
2 - полноповоротний диск (кодовий диск) з мітками;
3 джерело світла з електронною платою;
4 - приймальний інфрачервоний (ІЧ) фото-датчик;
5 - оптико-механічний блок з шестернями;

6 - електронна плата з процесорами обробки сигналів і перетворювачами цифрового інтерфейсу.

У складі сучасного енкодера присутні 3 основних елементи: джерело світла, диск що обертається з рисками (мітками), і приймач - детектор світлового сигналу.

Світлові сигнали, які генеруються джерелом світла, оброблюються прийомним світловим елементом, далі підраховуються і перетворюються в послідовність електричних імпульсів, за допомогою електронних мікросхем, розташованих усередині корпусу енкодера.

Перетворення механічного кутового переміщення в електричні імпульси - і є основним завданням оптичного енкодера.

Принцип роботи енкодерів

Робота оптичного енкодера - заснована на принципі оптичного сканування світлового потоку і перетворенні його в послідовність аналогових або цифрових сигналів.

Одним з основних елементів екнодера є обертовий, добре відцентрувати диск, з розташованої на ньому сіткою або, так званої, кодової матрицею (кодовим малюнком), що складається з набору міток (рисок).

У інкрементних енкодерів мітки на диску розташовані послідовно, а у абсолютних енкодерів мітки на диску формують кодовані малюнки, які діляться на сектори.

Мітки та ризики на диску утворюють певну послідовність, в якій зашифрований код. Тому диск енкодера ще називають - кодованим диском (або кодованим диском енкодера).

Даний диск встановлений між ІЧ-світлодіодом і прийомним оптичним елементом (ІЧ-датчиком), інфрачервоний світлодіод і ІЧ-приймальня матриця спрямовані один-на-одного.

Отже світловий потік, що випромінюється світловим елементом (ІЧ-світлодіодом), і в деяких випадках сфокусований лінзою, через риски (мітки) диска, що обертається, падає на спеціальну нерухому маску (матрицю) ІЧ-детектора, і, далі, потрапляє на приймальний фотоелемент, який створює сигнал, пропорційний світлосилі.

Обертання диска енкодера з нанесеним на нього малюнком-матрицею у вигляді певної кількості доріжок, що складаються з кодованої послідовності міток (рисок), призводить до циклічних

переривань світлового потоку. Нанесена на диск мітка (риска), не пропускає світло, тому закриває світловий потік і фоторезисторний детектор не отримує світловий потік на приймальну матрицю (оптичний сенсор). Напруга електричного сигналу, що посилається з приймального детектора дорівнює нулю - "0". Після деякого обертання диска енкодера, мітка (риска) переміщається, відкриваючи тим самим щілину, для проходження світлового потоку. Світловий потік потрапляє на світлочутливий елемент фоторезисторного детектора, формуючи напруга. Таким чином ІЧ-датчик формує послідовність сигналів.

Електричні сигнали, в свою чергу, обробляються операційними підсилювачами для видачі у вигляді N-Bit-ного бінарного сигналу.

Зміни інтенсивності джерела світлового потоку реєструються за допомогою додаткового сенсора і компенсуються електронною схемою.

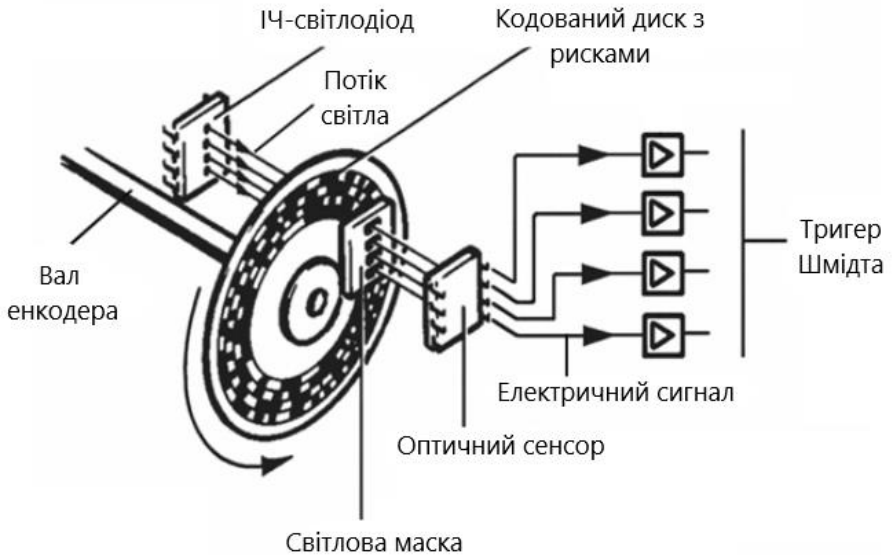


Рисунок 3.2- Принцип роботи оптичного енкодера

Особливості роботи інкрементних енкодерів

Головне завдання інкрементого енкодера - це розрахунок одиничних імпульсів за один цикл для визначення кутового

положення вала енкодера. Один цикл дорівнює - одному обороту диска енкодера.

Імпульси формуються за допомогою світлових переривань при обертанні диска з отворами або мітками. Відлік одного обороту в інкрементних енкодерах визначається наявністю стартових міток (або так званих референтних міток (рис 3.3)).

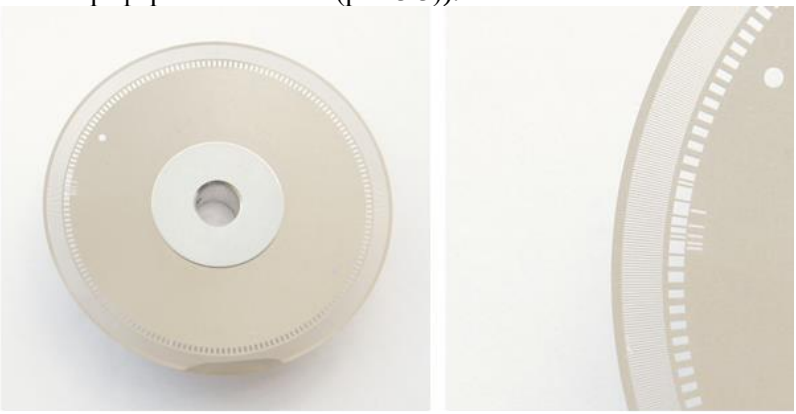


Рисунок 3.3-Кодований диск інкремнтого енкодера

Основні мітки, а також референтні мітки, нанесені на добре відцентрувати, вільно-обертовий диск всередині енкодера. Положення стартових міток визначається першочергово після включення в режим роботи енкодера.

Розподільна здатність інкрементних енкодерів вимірюється в імпульсах за оборот (імп./об.)

У стані зупинки (без обертання валу) інкрементного енкодера, на виході формується логічна одиниця - "1". На початку обертання енкодера в будь-яку сторону, до землі підключається один вихід, а потім, до землі підключається - інший вихід, формуючи, таким чином, логічний нуль - "0".

Далі, при обертанні вала енкодера, дані виходи відключаються від землі по черзі, після чого, на виходах знову формується логічна одиниця - "1". Цикл повторюється поки вал енкодера не перестане обертатися. Описаним методом, формується послідовність нулів і одиниць в інкрементих енкодерах.

Визначення напрямку обертання валу інкрементного енкодера здійснюється в залежності від того, який саме з виходів перший підключився до землі. Підрахунок повних циклів роботи в енкодерах, здійснюється за допомогою підрахунку загальної кількості сигналів обертання диска енкодера за певний час, що задається вбудованим таймером.

У інкрементного енкодера цифрові значення сигналів утворюють чотири логічних стани:

а) Одиниця і одиниця (дві одиниці): "1" і "1"

б) Нуль і одиниця: "0" і "1"

в) Нуль і нуль (два нуля): "0" і "0"

г) Одиниця і нуль: "1" і "0"

Дані логічні стани повторюються (змінюються) строго циклічно під час обертання валу.

Стан з двома логічними одиницями ("1" і "1") є режимом формування сигналу, кількість яких, в результаті враховує лічильник енкодера.

Три інших стану (стан: "0" і "1", стан: "0" і "0", і стан: "1" і "0"), які не рівні одиницям, є проміжними значеннями, в них енкодер має невизначені значення.

Вал енкодера, при цьому, повертатися на відносно великі кутові положення: на один стан формування сигналу ("1" і "1"), приходиться 3 невизначених стани, що формуються логічними значеннями ("0" і "1"; "0" і " 0 ";" 1 "і" 0 "). Тобто виходить співвідношення 1:3. Для формування одного сигналу, вал енкодера, повинен повернутися на трьох-кратно більше кутове положення, щоб сформувати наступний сигнал. Тому розподільна здатність інкрементного енкодера невисока, в силу цієї важливої особливості.

У сучасних моделях мікроконтролерів інкрементних енкодерів реалізована функція розрахунку кутового положення (повороту) вала енкодера за допомогою таймера, у якого є окремі входи.

Таймер енкодера відраховує на апаратному рівні (функція вбудована в мікросхему на платі енкодера), на скільки сигналів і в який бік був повернений диск енкодера, таким чином, енкодер, формує підраховане значення.

Іншими словами, лічильник інкрементує, тобто підраховуючи, складає числа, додаючи дані, отримані під час підрахунку сигналів і

значень таймера за один оборот диска – звідси назва: "інкрементний енкодер".

По зміні даного числа імпульсів можна визначити, на яку кількість сигналів був повернений вал енкодера. За даною кількістю сигналів і визначають кут повороту вала, або так зване: "кутове положення" вала енкодера.

Особливості роботи абсолютних енкодерів

Вся поверхня диска абсолютного енкодера розділена на певну кількість секторів.

Кожному сектору на диску абсолютного енкодера присвоєні певні значення (цифровий код). При обертанні вала абсолютний енкодер зчитує дані сектора, формуючи певний індивідуальний код (або так званий - "абсолютний код"). Тому абсолютні енкодери не втрачають свою позицію при зникненні напруги.

Даний код формують індивідуальні послідовності міток або рисок, нанесені на диску енкодера. Зчитування сигналів відбувається за допомогою фотоелемента (приймальні матриці), що має безліч фотодатчиків (приймальних елементів).

Через формування деякого повного індивідуального значення (коду), даний тип енкодера називається - "абсолютним".

З огляду на ці особливості у абсолютного енкодера завжди можна визначити, на який кут щодо нульового сектора повернутий диск енкодера в кожен конкретний момент, так як, при будь-якому повороті диска абсолютний енкодер видає індивідуальні значення номерів секторів. Досягнувши максимального значення, абсолютний енкодер переходить знову в нуль і процес розрахунку кутового положення повторюється знову.

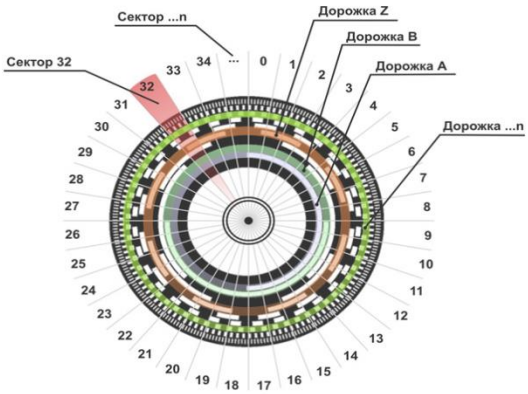


Рисунок 3.4-Кодований диск абсолютного енкодера

Якщо вал абсолютного енкодера обертати в іншу сторону, то він почне формувати значення (коди) в зворотній послідовності, таким чином можна визначити напрямок обертання валу енкодера.

За одиницю обертання диска (цикл) абсолютного енкодера може бути прийнятий як один оборот диска основного диска (для одно-оборотних моделей енкодерів). Існують моделі абсолютних енкодерів в яких цикл зчитування кодів відбувається за два і більше оборотів дисків, в спеціальному механічному вузлі, що представляє їх себе редуктор з низьким механічним опором, що складається з декількох шестерень з нанесеними ризиками / мітками.

Звідси існує два типи абсолютних енкодерів, цикл роботи яких різний: в одному випадку цикл формування кодів відбувається за один оборот обертання диска, в іншому випадку, цикл формування кодів відбувається за кілька оборотів обертання диска. Виходячи з цього принципу: абсолютні датчики вимірювання положень бувають одно-оборотними і багато-оборотними.

Абсолютні одно-оборотні енкодери

Абсолютний одно-оборотний енкодер - це датчик кутового положення, який підраховує кількість унікальних цифрових кодів за один оборот обертання диска.

Абсолютні багато-оборотні енкодери

Абсолютний багато-оборотний енкодер - це датчик кутового положення, який підраховує кількість унікальних цифрових кодів за

більш, ніж один оборот диска за допомогою спеціального механічного вузла і додаткових фотодетекторов (рис 3.5).

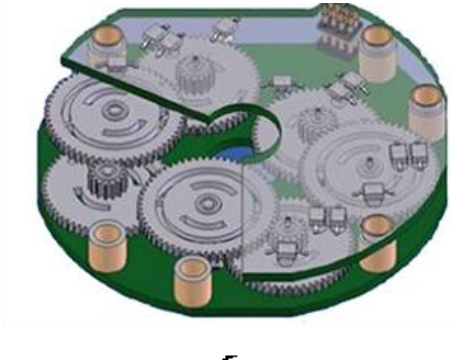


Рисунок 3.5- Абсолютний багато-оборотний енкодер

Магнітні енкодери

Магнітний енкодер - це датчик, що фіксує цикл проходження магнітного полюса обертового магніту, розташованого поблизу від чутливого елемента. Дані магнітного енкодера на виході мають вигляд цифрового коду.

Робота магнітного енкодера заснована на принципі сканування змін магнітного поля. Магнітне поле, створюване обертається постійним магнітом, сканується ASIC-сенсором. Кожне кутове положення відповідає вектору поля, яке перетворюється ASIC-сенсором в інкрементні сигнали.

Рисунок 3.6- Магнітний енкодер

Спеціальний магнітний датчик на відстані до 0,5 - 2 мм зчитує відповідні синусоїди. Магнітний сенсор рухається уздовж магнітної лінійки. Під час переміщення, магнітний сенсор зчитує кількість змін полярності на магнітній лінійці. Далі сигнал інтерполюється, оцифровується і направляється на пристрій управління верхнього рівня. Сучасні магнітні енкодери можуть бути виконані з розподільною здатністю малюнка магнітних полюсів до 0,005 мм. Максимальна довжина магнітної лінійки може бути до 90 м.

Найбільшого поширення поки отримали лінійні магнітні датчики переміщень. Це пов'язано, в першу чергу, з тим, що самі по собі лінійні датчики є приладами прямого, безпосереднього вимірювання переміщень, в порівнянні з датчиками обертання. Це дозволяє автоматично компенсувати люфти трансмісії та іншої механіки. По-друге, магнітні датчики на тлі оптичних, набагато менш чутливі до забруднень зовнішнього середовища. Магнітні енкодери просто встановлюються, їх можна швидко відкалібрувати. Магнітна система не сприйнятлива до вібрації, може витримувати значні удари / биття.

Магнітно-резисторні енкодери

Магнітно-резисторни енкодер - це датчик, що фіксує зміни значень струму, що протікає через котушку, у разі зміни кута повороту вала енкодера.

Фізичний принцип роботи магнітних енкодерів заснований на так званому ефекті Холла (ефект відкритий в 1879 році Е. Холом.). Суть даного ефекту полягає в тому, що різниця потенціалів виникає лише при розміщенні провідника постійного струму в область магнітного поля.

Таким чином конструкція магніто-резисторного енкодера складається з котушки, розміщеній в магнітному полі, котушка закріплюється на обертовому валу.

При обертанні котушки її витки змінюють своє положення щодо магнітного поля: розташування витків котушки стає то паралельно магнітному полю, то - перпендикулярно; відповідно, струм в котушці змінюється щодо кутового положення вала, на якому закріплена дана котушка. Іншими словами, струм що протікає через котушку - змінюється в залежності від кута повороту вала енкодера.

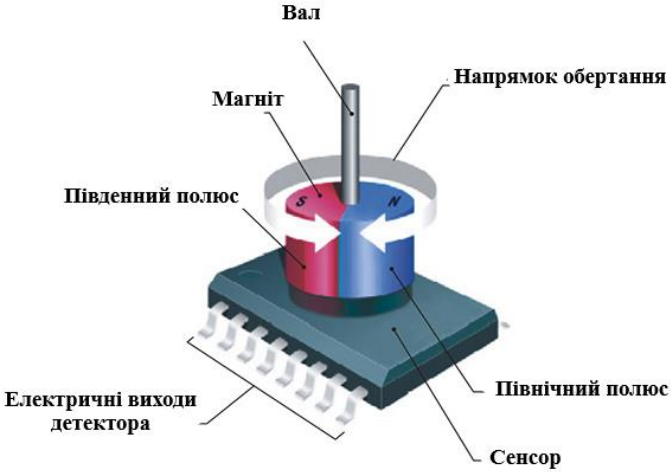


Рисунок 3.6- Магнітно-резисторний енкодер

У верстатах енкодери можуть розміщуватись:

- безпосередньо на шпинделі

-бути зв′язані зі шпинделем проміжною зубчастою або зубчасто-пасовою передачею

- всередені електродвигунів приводів подач

- на кінцевих або проміжних обертових ланках (валах, ходових гвинтах).

Розміщення за останньою схемою у верстатах практично не використовується і у більшій мірі є притаманним для поворотних столів.

Типи валів енкодерів

- з прямим шліцьовим валом (рис. 3.7)
- з порожнистим валом (рис. 3.8)

Рисунок 3.7- Енкодер з прямим шліцьовим валом

Рисунок 3.8- Енкодер з порожнистим валом

Моделі з порожнистим валом мають ряд переваг в порівнянні з моделями з прямим валом:

- Енкодер з порожнистим валом економить до 30% вартості. Економія досягається за рахунок застосування меншої кількості деталей і частин.
- При установці, моделі енкодерів з порожнистим валом, економлять до 50% займаної площі, через меншу глибину фіксації вала енкодера
- енкодер з порожнистим валом більш прості в установці.

Установка і монтаж енкодерів

Типи установки і монтажу енкодерів з прямим валом:

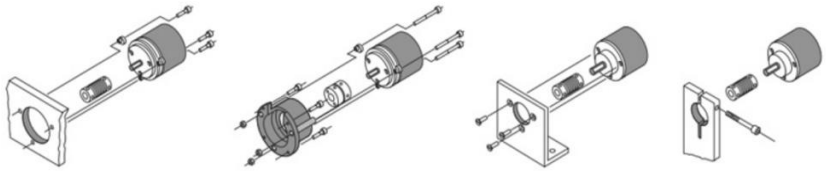


Рисунок 3.9- Монтаж енкодерів з прямим валом

Типи установки і монтажу енкодерів з порожнистим валом:

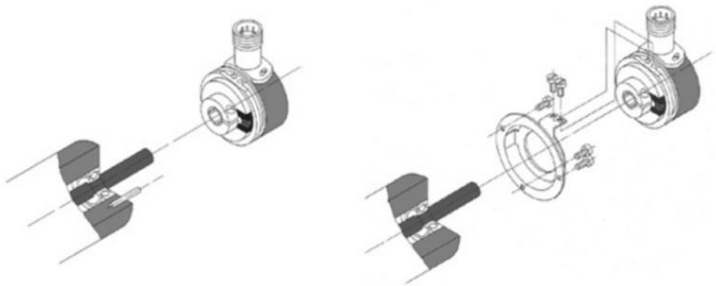


Рисунок 3.10- Монтаж енкодерів з порожнистим валом

Монтування енкодера на вал об′єкта відбувається за допомогою гнучкої або жорсткої муфти.

При використанні гнучкої муфти компенсуються можливі неточності монтажу енкодера (неспіввісність та допустимі биття).

Енкодери з порожнистим валом можуть монтуватись безпосередньо на вал обертового об′єкта і фіксуватись штифтом.

Іноді енкодери розташовують окремо від об′єкта і передають на них рух за допомогою проміжних передач (зубчастих, зубчасто-пасових), ведену ланку яких монтують безпосередньо на вал енкодера.

Переваги використання енкодерів:

- компактність конструкції, габарити якої не залежать від довжини переміщення робочого органа при вимірюванні лінійних переміщень
- відносно невисока вартість

Недолік:

- відносно невисока точність вимірювання лінійних переміщень робочих органів, оскільки вимірюванням не охоплюються проміжні ланки приводу подач і не враховуються температурні деформації базових деталей верстата в процесі його роботи.

Оптичні енкодери складаються зі спеціального оптичного диску, світло-випромінюючого діода та фотодетектора. Диск з нанесеною оптичною шкалою (прозорих і непрозорих ділянок) жорстко закріплюється на валу. При обертанні об′єкта спеціальний датчик зчитує інформацію та перетворює її в імпульси.

Кодування сигналів

Основним кодом для кодування сигналів, що надходять з енкодера є двійковий код. Цей код може безпосередньо оброблятись мікропроцесором і є основним кодом для обробки цифрових сигналів.

Недоліком використання такого кода в енкодерах є можливість неоднозначності зчитування величин при переході від однієї величини до іншої. Це викликано тим, що при зміні значень змінюється декілька біт одночасно. Зважаючи на похибки виготовлення кодового диска (толеранц) зміна інформації від кожної з доріжок диска не здійсниться одночасно. Таким чином при переході від одного диска до іншого короткочасно може бути видана невірна інформація.

Число	Двійковий код			
	2^3	2^2	2^1	2^0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
7	0	1	1	1

Код Грея має перевагу перед двійковим кодом, яка полягає в тому, що він має властивість безперервності бінарної комбінації, тобто зміна кодованого числа на «1» відповідає зміні кодової комбінації тільки в одному розряді:

Число	код Грея
1	0001
2	00①1
3	001⓪
4	0①10
5	011①

Код Грея називається однокроковим кодом, оскільки при переході від одного числа до іншого змінюється лише 1 який-небудь біт.

Але оскільки код Грея не несе реальної числової інформації він повинен бути перетворений у стандартний бінарний код перед обробкою інформації.

Основні параметри енкодерів

1. Число імпульсів на оберт - для інкрементних енкодерів;
   Число біт - для абсолютних енкодерів
2. Спосіб монтажу до обертового об′єкта (тип і діаметр вала)
3. Додаткові вимоги до закріплення (необхідність застосування муфти, монтажного фланця, штанги і т.і.)
4. Тип вихідного сигнала енкодера (виливає на «зняття» сигналу енкодера та подальшу його передачу)

-код Грея
-паралельний код
-інтерфейс Profibus-DP
-інтерфейс CANopen
-інтерфейс Device Net
-інтерфейс SSI
-інтерфейс LWL

5. Напруга живлення
6. Довжина кабелю та тип роз′єму
7. Ступінь захищенності енкодера від потрапляння пилу і вологи IP за IEC60529

Основні виробники енкодерів

Основними виробниками енкодерів є компанії:
- Sick
- Autonics Corporation
- Balluff
- Baumer Hubner
- Datalogic
- Delta Electronics
- Eltra
- IFM electronics
- LENORD+ BAUER
- Omron
- Pepperl+Fuchs
- Pils
- Sony Precision
- Tamaqawa Seiki
- TR Electronic

ТЕМА 4. ЛІНІЙНІ ОПТИЧНІ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ ПЕРЕМІЩЕНЬ У СУЧАСНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Датчики лінійних переміщень призначені для застосування у металообробному обладнанні з ЧПК для відліку лінійних переміщень робочих органів з високою точністю.

Висока точність вимірювання досягається завдяки виключенню зі схеми вимірювання проміжних механічних елементів.

Таким чином, датчиком лінійного переміщення визначається сумарна похибка механічних передач та компенсується у пристрої ЧПК.

Цей спосіб вимірювання дозволяє виключити цілий ряд похибок, що вноситься проміжними ланками приводу подач верстата:

- похибку, викликану наявністю зазорів у проміжних ланках приводу (наприклад шарико-гвинтовій передачі (ШГП)
- похибку, викликану пружними деформаціями елементів приводу від навантажень, що виникають в процесі роботи
- кінематичну похибку, спричинену відхиленнями кроку різі ШГП
- похибку позиціювання, викликану нагрівом ШГП та базових деталей верстата.

Основні вимоги до лінійних датчиків:

1. Висока точність вимірювання
2. Стабільність вихідного сигналу в умовах забруднення та легких пошкоджень(подряпин)
3. Високий ступінь захисту від забруднень
4. Відповідність термічних властивостей датчиків термічним властивостям матеріалів об′єктів вимірювань
5. Висока жорсткість у напрямку вимірювання
6. Збереження високої точності вимірювань при значних швидкостях переміщення робочих органів верстатів
7. Висока надійність
8. Висока довговічність
9. Легкість монтажу на верстаті (у т.ч. в обмеженому просторі)
10. Конструктивна можливість вимірювання великих переміщень та забезпечення при цьому високої точності вимірювань
11. Доступна вартість

Механічна конструкція оптичних лінійних вимірювальних систем

Для верстатів з ЧПК використовують закриті датчики переважно у алюмінієвому корпусі, що захищає шкалу та зчитуючий елемент від пилу, стружки, МОР. Можливе забезпечення додаткового захисту при підключені до лінійки стисненого повітря, яке запобігає потраплянню бруду між корпусом шкали та зчитуючої головки.

Загальна конструкція та складові оптичної лінійки наведені на рисунку 4.1.

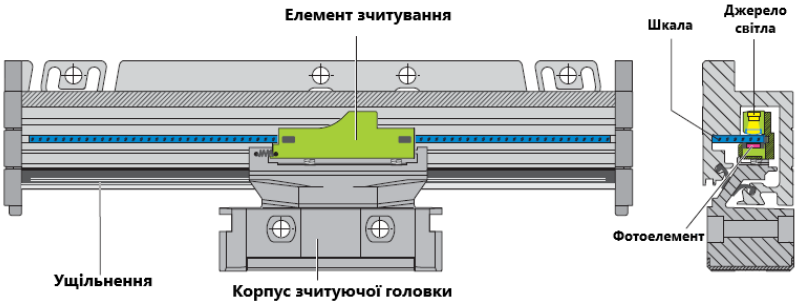


Рисунок 4.1- Конструкція оптичної лінійки

Конструкція оптичних лінійок дозволяє компенсувати неточності монтажу на верстаті і допускає поперечні зазори та зазори по висоті між зчитуючою головкою та шкалою у межах до ±0,2……±0,3мм в залежності від типу датчика.

Динамічні властивості оптичних лінійок визначаються:

1. Максимальною допустимою швидкістю переміщень об′єкту вимірювань (в середньому від 20 до 80м/хв,іноді до 120м/хв.)

2. Високою жорсткістю у напрямку вимірювань

Завдяки безконтактному методу зчитування показань забезпечений нульовий механічний гістерезіс.

Компенсація теплових деформацій робочого органа верстата забезпечується завдяки підбору матеріалів шкали датчиків зі схожими до матеріалу об′єкта вимірювань коефіцієнта теплового лінійного розширення.

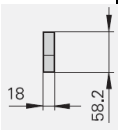
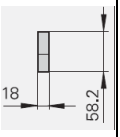
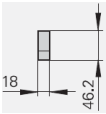
Висока довговічність оптичних лінійок досягається завдяки відсутності контакту між шкалою та зчитуючим елементом (лінійні переміщення робочого органа верстата можуть сягати 10000км за 3 роки).

У випадках, коли монтаж оптичної лінійки відбувається в обмеженому робочому просторі, випускають лінійки з так званим дрібно-профільним корпусом шкали. Але такі лінійки рідко забезпечують довжину вимірювання більше 2м. Їх жорсткість досягається за рахунок використання монтажної шини або кріпильних елементів. Встановлення таких датчиків у верстатах допускається тільки у вертикальному положенні.

Лінійки з крупно-профільним корпусом шкали мають більші довжини вимірювання ,більшу жорсткість і допускають встановлення як у вертикальному так и в горизонтальному положенні.

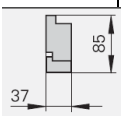
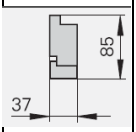
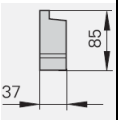
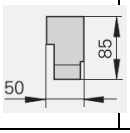
Розміри дрібно та крупно-профільних лінійок на приладі продукції компанії HEIDENHAIN наведені (у таблицях 4.1 та 4.2):

Таблиця 4.1- Розміри дрібно-профільних лінійок

	Переріз	Крок виміру	Клас точності	Довжина виміру
Абсолютний вимір довжини • скляна шкала		до 0,1 мкм	± 5 мкм ± 3 мкм	•від 70 мм до 1240 мм з монтажною шиною •з кріпильним елементом: від 70 мм до 2040 мм
Інкр-ний вимір довжини з високою повторюваністю розмірів вимірювань •сталева шкала •малий. період сигналу		до 0,1 мкм	± 5 мкм ± 3 мкм	від 50 мм до 1220 мм
Інкр-не вимірювання довжини • скляна шкала		до 0,5 мкм	± 5 мкм ± 3 мкм	від 70 мм до 2040 мм

Монтаж тільки у вертикальному положенні!

Таблиця 4.2- Розміри крупно-профільних лінійок

	Переріз	Крок виміру	Клас точності	Довжина виміру
Абсолютний вимір довжини • скляна шкала		до 0,1 мкм	± 5 мкм ± 3 мкм	від 140 мм до 4240 мм
Інкр-ний вимір довжини з найвищою повторюваністю розмірів вимірювань •сталева шкала •малий. період сигналу		до 0,1 мкм	± 3 мкм ± 2 мкм	від 140 мм до 3040 мм
Інкр-не вимірювання довжин • скляна шкала		до 0,5 мкм	± 5 мкм ± 3 мкм	від 140 мм до 3040 мм
Інкр-не вимірювання великих довжин • сталева шкала		до 0,1 мкм	± 5 мкм	від 440 мм до 30040 мм

Монтаж горизонтально або вертикально.

Типи та конструктивні особливості шкал оптичних лінійних вимірювальних систем

Однією з найважливіших складових оптичних лінійних вимірювань систем є прецизійні шкали із поділками у вигляді послідовності штрихів.

Як правило, всі сучасні датчики побудовані на оптичному методі зчитування. При цьому методі на скляний або металевий носій шкали наносяться штрихи або трьохмірні структурні решітки різноманітними фотолітографічними способами.

Основні види шкал оптичних лінійок:

а) зі штрихами з хрому на скляній основі (DIADUR);

б) з витравленими матовими штрихами на позолоченій сталевій стрічці (AURODUR);

в) З тримірними структурними решітками на сталевій основі (METALLUR).

Для великих довжин зчитування використовують самоклейну стрічку, позолочену або сталеву, у рулонах з довжиною стрічки до 70м. Її монтують до основи на місці встановлення оптичної лінійки шляхом приклеювання.

Конструкцією шкали визначається метод вимірювання - абсолютний або інкрементний.

При інкрементному методі вимірювання шкала складається лише з одного ряда рівномірних штрихів. Для визначення нульового положення використовується окремий ряд штрихів, що несе референтну мітку. Для зменшення шляху переміщень робочого органа верстата при виконанні референції, сучасні вимірювальні системи мають кодовані референтні мітки, які нанесені на різній відстані одна від одної. Таким чином система керування визначає абсолютне положення робочого органа верстата вже після перетинання двох референтних міток, що відповідає в середньому 20-80 мм шляху переміщення (рис 4.2).

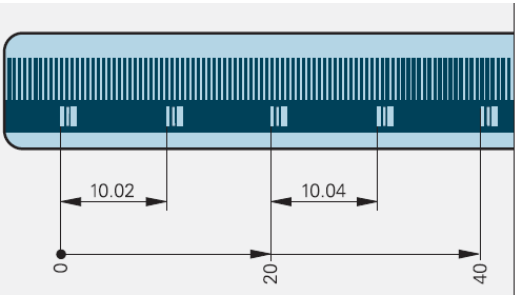


Рисунок 4.2- Схематичне уявлення інкрементної шкали з кодованими референтними мітками

При абсолютному методі вимірювання абсолютне значення положення робочого органа визначається відразу після виключення електричного живлення і проведення референції не потрібне.

Інформація про положення робочого органа зчитується із закодованої спеціальним способом шкали, де для генерації вихідного інкрементного сигнала використовується окрема шкала зі штрихами рис.4.3.

Рисунок 4.3- Схематичне уявлення шкали з додатковою інкрементною доріжкою

Методи зчитування інформації в оптичних лінійних вимірювальних системах

Робота більшості сучасних лінійних вимірювальних систем заснована на фотоелектричному способі зчитування. Фотоелектричне зчитування відбувається безконтактно, тому у системі відсутні зношувані елементи. Але зменшення відстані між штрихами призводить до збільшення впливу дифракції на процес зчитування сигналів.

У зв′язку з цим у лінійних системах використовують два методи зчитування,які є найбільш розповсюдженими:

1. Відображуючий метод зчитування для кроку штрихів 20…40мкм

2. Інтерферентний метод для малого кроку штрихів (наприклад до 8мкм)

Відображуючий метод считування полягає у генеруванні сигналу на основі значень «світло/тінь» в процесі руху шкали відносно шаблона або навпаки. Штрихи шкали та шаблона повинні мати однаковий крок.

Носій штрихів шаблона виготовляється з прозорого матеріалу. Носій штрихів шкали теж може бути прозорим, або мати металеву рефлектуючу поверхню.

При співпаданні штрихів шкали та шаблона утворюється «світло». Ряд фотоелементів перетворює цей світловий сигнал у електричний і передають для обробки у пристрій ЧПК.

Чим менша відстань між штрихами, тим менша і точніша повинна бути відстань між шкалою та зчитуючим елементом.

Принципова схема цього методу зчитування показана на рис. 4.4.

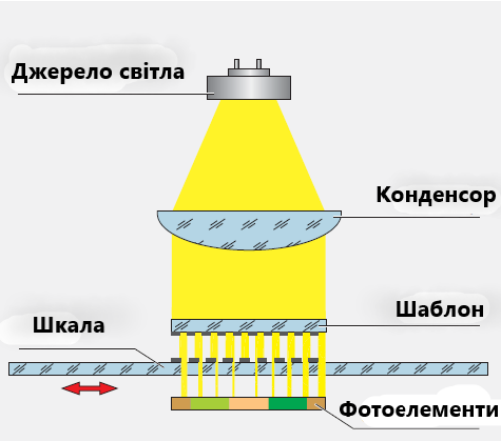


Рисунок 4.4- Відображаючий метод зчитування.

Інтерферентний метод зчитування заснований на дифракції та інтерференції світла при проходженні його крізь прецизійні штрихи шаблона.

У якості шкали використовують дифракційну ступінчасту решітку з рефлектуючими штрихами висотою 0,2мкм. Перед шкалою знаходиться шаблон, що пропускає випромінювання і має такий самий крок штрихів як і шкала.

При потраплянні світлової хвилі на шаблон , утворюються хвилі «– 1», «0» та «1» порядків. Від шкали вони відображаються таким чином, що хвилі «-1» і «1» порядку мають найбільшу інтенсивність.

Ці хвилі утворюють дві групи хвиль, що відбиваються від шаблона під різними кутами. Фотоелементи перетворюють інтенсивність хвиль в електричний сигнал (рис. 4.5). З отриманого сигналу можна вирахувати шлях, що пройдено.

С – період шкали

Ψ – зміщення фази світлової хвилі при проходженні через шаблон

Ω- зміщення фази світлової хвилі при рухаючій шкалі впродовж осі X

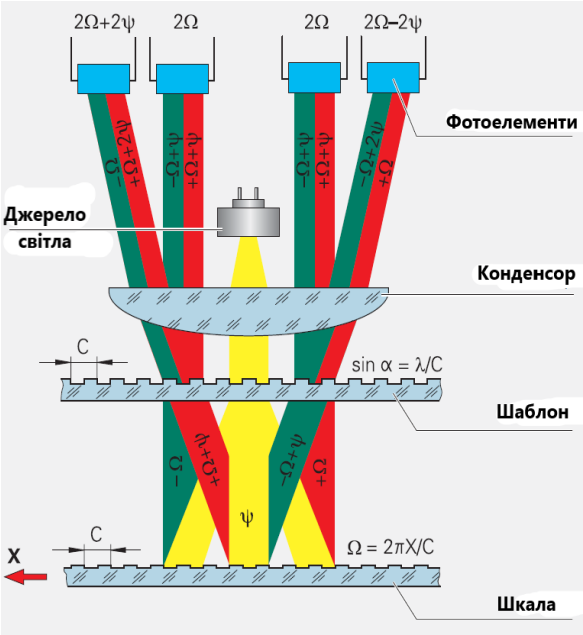


Рисунок 4.5- Інтерферентними метод зчитування (оптична схема)

Одне поле сканування

Сутність метода полягає у використанні одного структурованого фотосенсора, на який нанесена матриця із багатьма фотоелементами. За кожну ділянку інформації відповідає група фотоелементів, що значно збільшує якість сигналу, а також дозволяє отримувати якісний сигнал, навіть при потраплянні на шкалу забруднень (типу легких мастил) та незначних механічних ушкодженнях (подряпинах).

Засоби забезпечення точності вимірювань оптичних лінійних вимірювальних систем

Точність вимірювання в оптичних лінійках залежить від параметрів:

1. Точності штрихів шкали

2. Якості зчитування сигналів

3. Якості електронних приладів , що оброблюють сигнал

4. Похибки взаємного розташування зчитуючої головки та шкали.

В оптичних лінійках розрізнюють похибки вимірювання:

1. Похибка , віднесена до всієї довжини шкали.

Ця величина задається для всієї вимірювальної системи, включаючи зчитувальну головку і називається точністю системи.

Точність системи задається класами. Клас точності визначається значенням похибки ±α. При цьому похибка визначається для величини переміщення , що дорівнює – 1 метру.

Граничні значення ±F повинні знаходитись у межах значень ±α для заданого класу точності і визначення при кінцевому контролі кожного конкретного виробу (лінійки)

2. Похибка віднесена до одного періоду сигналу

Ця похибка не повинна перевищувати значень 2%, а іноді 1% у будь-якій точці вимірювання по всій довжині шкали.

Приклад :

Період сигналу	**Допустима похибка**
20мкм	±0,2мкм
40мкм	±0,8мкм
4мкм	±0,08мкм

Основні параметри оптичних лінійних вимірювальних систем

Основні параметри оптичних лінійних вимірювальних систем наведені у таблиці 4.3.

Окрім цього до основних технічних характеристик оптичних лінійних вимірювальних систем відносяться дані, що наведені у таблиці 4.4.

Дані наведені у таблицях є усередненими за основних виробників оптичних лінійних вимірювальних систем

Таблиця 4.3 - Основні параметри оптичних лінійних вимірювальних систем.

Параметр	**Значення або характеристика**
тип датчика	LID, LIP, LF, LT, LC, LB, LS

тип шкали	AURODUR, DIADUR,METALLUR
метод зчитування	одне поле сканування
тип і період сигналу згідно промислового стандарту	а) аналоговий сигнал ~ 1 Vss період 20мкм б) вихідний сигнал прямокутної форми TTL, період до 1 мкм
інтерфейс передачі даних	- EnDat 2.2 - Fanuk 02 - Mit 02-4 - Mitsu 01
точність, мкм	від ± 0,2 до ± 10
метод вимірювання	- абсолютний - інкрементний
джерело світла	визначається типом діода
детектор	фотоелемент
роздільна датність ,мкм	від 0,1 до 1
вихідний сигнал, мА	від 8 до 50 , іноді до 350
напруга живлення, В	в середньому 58 ± 5 %
максимальна швидкість, за якої реагує датчик	20…60м/хв., іноді до 120 м/хв і навіть 480 м/хв
довжина вимірювання	переважно від 70 до3040 мм

Таблиця 4.4 - Основних технічні характеристики оптичних лінійних вимірювальних систем

Характеристика	**Значення або межі значень**
перетин	нормальний або вузькопрофільний
циклічна поділка	дорівнює періоду сигналу

точність відрахунку	дорівнює точності датчика
коефіцієнт теплового видовження	$(8,8\pm 1)*10^{-6}$ /°C
робоча температура	від 0 до + 50°C
температура зберігання	-30°C до +70°C
допустима вологість	від 30 % до 90 % Не допускається конденсація вологи
клас захисту	нормальний IP 53 у стисненому повітрі IP 64
вібростійкість	100м/с^2 - без монтажної шини 200м/с^2 – з монтажною шиною
опір удару	до 300м/с^2
сила опору ковзання детектора	3Н
довжина кабеля	до 150м

ТЕМА 5. ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

Вимірювальні системи для верстатів з ЧПК використовують для:

1. Привязки заготовок до робочої системи координат
2. Контролю заготовок в процесі обробки
3. Кінцевого контролю оброблених деталей
4. Привязки ріжучого інструмента до робочої системи координат
5. Контролю стану ріжучого інструмента на верстатах з ЧПК
6. Привязки до робочої системи координат та (або) настроєння складових технологічного оснащення механічних операцій

(виставлення ділильних та поворотних столів, установлення центрів повороту ділильно-поворотних столів, визначення базових точок верстатних пристроїв, тощо).

Системи вимірювання та контролю заготовок на верстатах з ЧПК

За допомогою вимірювальних систем для контролю заготовок можна вирішувати задачі:

- ідентифікації деталей з метою вибору відповідної керуючої програми у ПЧПК верстата
- установлення положення базового елемента деталі для задання робочої системи координат
- здійснення проміжного контролю розмірів заготовки під час обробки
- здійснення орієнтування деталі відносно осей координат верстата з метою завдання повороту системи координат
- кінцевого контролю оброблених деталей безпосередньо на верстаті

У якості вимірювальних систем для заготовок на верстатах з ЧПК використовуються тригерні контактні датчики (датчики торкання).

Принцип роботи контактного датчика

У контактних датчиках реалізована система спрацьовування при контакті вимірювального наконечника (щупа) датчика з деталлю при її вимірюванні або установці.

Після реєстрації координат точки торкання датчик переміщується у наступну позицію.

Після реєстрації необхідної кількості точок визначається форма елементів та профіль деталей. Мінімальна кількість точок, необхідна для визначення певного типу елемента визначається відомими ступенями волі даного елемента. Отримані дані порівнюються з вихідною моделлю, що дозволяє встановити відхилення розмірів та профілю реальної деталі.

Контактні датчики класифікують за такими ознаками:

1. За способом передачі сигнала:

- радіочастотний;
- оптичний;

- дротовий;

2. Область застосування:

- токарні оброблюючі центри;

-багатоопераційні верстати свердлильно-фрезернорозточувальної групи;

3. Тип датчика:

- механічний (кінематичний);
- тензометричний;
- модульний.

Конструкція механічного резистивного контактного датчика

Три стрижня, розташовані на однаковій відстані один від одного опираються на шість шариків з карбіду вольфрама, що забезпечує шість точок контакта у системі базування. Цими контактами формується електричний ланцюг. Підпружинений механізм дозволяє щупу датчика відхилятись при торканні поверхні деталі та повертатись у вихідне положення з точністю до 1 мкм.

При навантаженні на шарики, що створюється від пружини, утворюються плями контакту, через які проходить струм. При торканні деталі певні плями контакту зменшуються, що призводить до зростання електричного опору у ланцюгу. При досягненні електричним опором певних граничних значень, датчик подає сигнал (рис. 5.1).

Конструкція тензодатчиків

Тензодатчики розміщуються в окремих елементах, які відокремлені від кінематичного механізму. Вони реєструють всі зусилля на щуп, які потім підсумовуються. При досягненні порогового значення зусиль у будь-якому напрямку генерується сигнал спрацьовування. При цьому потрібні набагато менші зусилля, ніж у резистивних датчиках. Для утримання щупа використовується такий самий механізм, що і у резистивних датчиках.

Завдяки використанню тензоелементів процес вимівювання є незалежним від кінематичного механізму датчика і відрізняється високим ступенем повторюваності і стабільними характеристиками спрацьовування. Окрім цього такі конструкції датчиків дозволяють на 90% знизити вплив похибок, викликаних «пелюстковим ефектом».

«Пелюстковий ефект» виникає внаслідок згину щупа і переміщення механізму датчика до того, як він реєструє контакт з поверхнею.

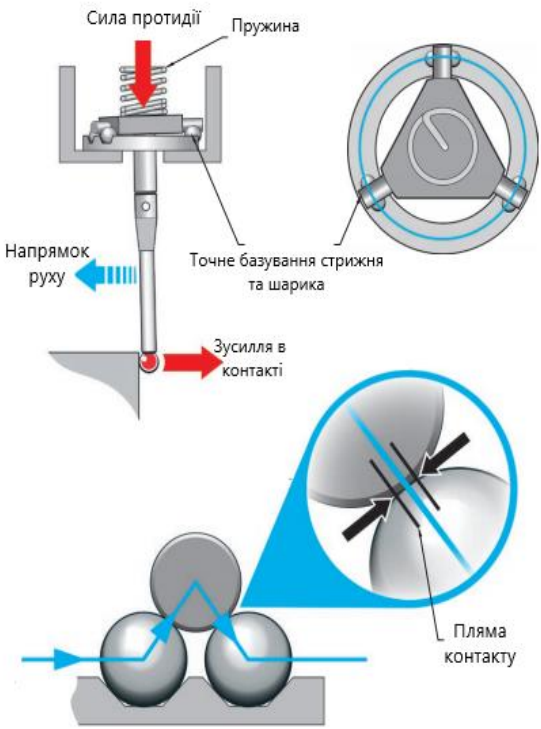


Рисунок 5.1- Конструкція механічного резистивного контактного датчика

Переваги тензодатчиків:

У порівнянні з резистивними датчиками тензодатчики забезпечують високі показники повторюваності (0,25 мкм проти 1 мкм у резистивних датчиків), не мають пелюсткового ефекту та забезпечують до 10 000 000 спрацьовувань (проти 1 000 000 у резистивних датчиків)

Системи передачі сигналів між датчиками та системою ЧПК верстата

Системи передачі сигналів між датчиками та системою ЧПК верстата поділяють на безпровідні та проводні.

До безпровідних відносяться оптичні та радіочастотні системи. У проводних системах датчик напряму підключається до ПЧПК верстата через кабель.

Зв'язок між датчиком та ПЧПК верстата здійснюється в обох напрямках. Від датчика передається сигнал про його спрацьовування, а від ПЧПК верстата надходять сигнали щодо керування роботою датчика.

Датчик має 2 активних режима:

- режим очікування
- робочий режим

У режимі очікування датчик періодично подає і приймає сигнали від ПЧПК верстата, в очікуванні сигнала, що переведе його у робочий режим.

У робочому режимі датчик передає у ПЧПК верстата сигнали про спрацьовування під час вимірювань, а також сигнали про свій стан, у т.ч. сигнал про рівень зарядки батареї.

В оптичних та радіочастотних інтерфейсах передбачені світлові та/або звукові індикатори, за якими оператор може контролювати стан датчика, наявність живлення, рівень зарядки батареї та виконувати діагностування помилок.

Оптичні системи передачі сигналів

Система оптичної передачі сигналів забезпечує передачу сигналів між датчиком та пристроєм ЧПК в інфрачервоному діапазоні. Метод передачі модульованого сигнала дозволяє усунути світлові перешкоди від інших джерел світла та забезпечити надійний зв'язок. У верстатах невеликих габаритів може використовуватись до 3-х датчиків з одним інтерфейсом передачі сигнала.

Для передачі ІЧ сигналу від вимірювального щупа до приймача і назад, на корпусі щупа розташовані спеціальні світлодіоди (LED) і ІЧ - приймачі (рис. 5.2), а в робочій зоні розміщуються приймачі оптичних (ІЧ) сигналів. При виборі датчика і приймача важливо врахувати область поширення сигналу і кут випромінювання.

Такі системи неможливо використовувати у відсутності прямої видимості. Також є певні обмеження у випадку їх використання у крупногабаритних верстатах.

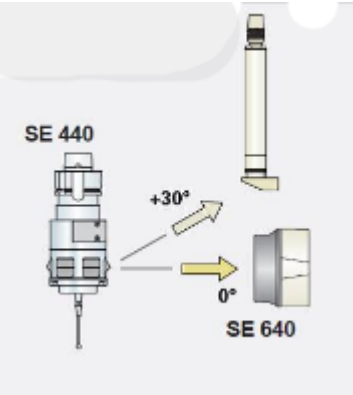


Рисунок 5.2- Оптична система передачі сигналів

Системи передачі сигналів по радіоканалу

Передача сигналів радіоканалом здійснюється завдяки пристрою, що суміщує інтерфейс та передаючу антену (рис 5.3). Він сприймає та передає сигнали від датчика, роблячи їх сумісними із системою ЧПК верстата.

Такі системи у найбільшій мірі підходять для застосування у крупно габаритних верстатах, а також у випадках, коли між датчиком та інтерфейсом відсутня пряма видимість. Реалізація радіопередачі за методом «частотних стрибків» дозволяє «перестрибувати» між каналами, забезпечуючи тим самим надійний зв'язок, стійкий до радіоперешкод, які можуть створюватись іншими пристроями.

Проводна система передачі сигналів

Така система є найпростішою у влаштуванні. Сигнальний кабель з’єднує датчик з інтерфейсним блоком верстата і служить для підводу живлення та передачі сигналів про спрацьовування датчика.

Проводні системи найдоцільніше використовувати у фрезерних верстатах з ЧПК, на яких датчик встановлюється у шпиндель вручну. На верстатах з автоматичною зміною інструмента, коли датчик з накопичувача інструментів потрапляє у шпиндель за допомогою автооператора, такі системи не використовуються.

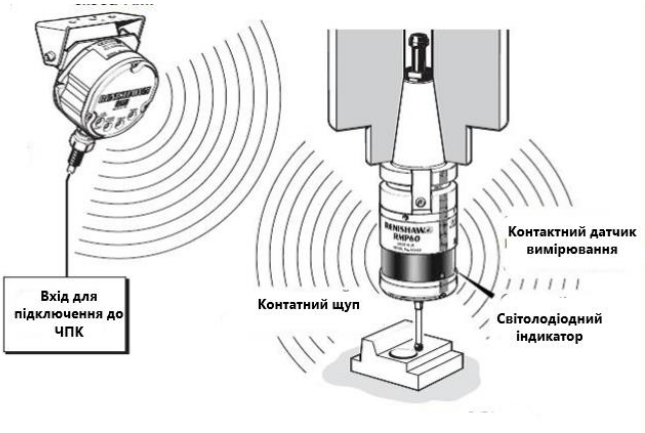


Рисунок 5.3- Системи передачі сигналів по радіоканалу

Системи передачі сигналів з декількома датчиками

Такі системи дозволяють використовувати де-кілька датчиків у різних комбінаціях на одному верстатаі. Це дозволяє:

- використовувати 2 і більше датчиків з різними щупами для вимірювання нестандартних елементів оброблюваних деталей;
- використовувати датчик високої точності для калібрування верстата та датчик звичайної точності для установлення та контролю оброблюваних деталей;
- використовувати датчики для контролю деталей та вимірювальні пристрої для налагодження ріжучих інструментів.

Кількість одночасно використовуваних датчиків може складати до 3-х при використанні оптичних систем, або 4-х при використанні радіосистем передачі сигналів.

Крітерії вибору датчиків для вимірювань і контролю заготовок на верстатах з ЧПК

Основними критеріями вибору датчика є:

1. Тип верстата:

з точки зору вибору датчика розрізняють такі типи верстатів:

- горизонтальні оброблюючі центри свердлильно-фрезерно-розточувальної групи;

- вертикальні оброблюючі центри свердлильно-фрезерно-розточувальної групи;
- портальні оброблюючі центри;
- токарні верстати з ЧПК;
- багатоопераційні токарні верстати;
- шліфувальні верстати з ЧПК;
- верстати з ручним керуванням;

2. Розміри верстата:

з точки зору вибору датчика верстати умовно розрізняють за розмірами:

- малі верстати (довжина столу до 800 мм, або діаметр обробки до 160 мм);
- середні верстати 9 довжина столу до 1200 мм, або діаметр обробки до 400 мм);
- великі верстати (довжина столу більше 1200 мм, або діаметр обробки більше 400 мм);

3. Задачі, що вирішуються при вимірюванні:

- калібрування елементів обладнання;
- точкові вимірювання елементів деталей;
- сканування складних поверхонь деталей;

4. Розміщення датчика та умови передачі сигналу:

- датчик знаходиться у «полі зору» приймача на невеликій відстані;
- датчик віддалений від приймача та/або знаходиться поза межами його «поля зору»;

5. Спосіб установлення датчика у шпиндель:

- вручну;
- автоматично за допомогою автооператора.

ТЕМА 6. КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ МАШИНИ (КВМ)

Координатно-вимірювальна машина (КВМ) - програмно-технічний комплекс, який використовується в багатьох галузях виробництва для контролю геометричні параметри готових виробів, заготовок, інструменту, оснащення і т. д. Робота КВМ заснована на

почерговому вимірі координат певного числа точок поверхні деталі і подальших розрахунках лінійних і кутових розмірів, відхилень розміру, форми і розташування у відповідних системах координат.

Управління координатно-вимірювальною машиною здійснюється в ручному режимі або по керуючій програмі з персонального комп'ютера.

Робочим елементом координатно-вимірювальної машини є вимірювальна головка з датчиком, яка встановлена в пінолі КВМ. Датчики можуть бути контактні, лазерні та оптичні.

За допомогою координатно-вимірювальної машини проводиться контроль параметрів геометричних елементів (точки, прямої, площини, кола, сфери, циліндра, конуса), їх взаємного розташування і відхилення від форми.

Координатно-вимірювальна машина дозволяє проводити аналіз складних криволінійних поверхонь, а спеціалізоване програмне забезпечення дає можливість проводити порівняння результатів вимірювання з математичною моделлю деталі.

Класифікація КВМ

1. За конструкцією:

-КВМ традиційних конструкцій: а) настольні б) портальні;

-машини з паралельною кінематикою;

-портативні КВМ типу «вимірювальна рука»;

-3D-сканери.

2. За призначенням:

-цехові;

-прицезійні (для високоточних вимірювань в лабораторних умовах);

-спеціалізовані.

3. За способом керування переміщеннями вимірювальних пристроїв:

-з ручним керуванням і переміщенням вимірювального пристрою;

-з автоматичним переміщенням вимірювального пристрою та ручним керуванням(наприклад: за допомогою джостиків ручного керування);

-з автоматичним переміщенням та системою ЧПК.

Основні компоновки КВМ

Портальна компоновка - найбільш поширена і представлена рядом різних варіантів. Характерною особливістю цього компонування є П-подібний портал, що переміщається вздовж гранітного столу (вісь Y). По горизонтальній осі (X) переміщається каретка, що несе румову піноль вертикальної осі (Z), на якій встановлена вимірювальна головка (рис. 6.1). КВМ з портальною компоновкою можуть бути двох типів: з рухомим порталом та стаціонарним столом (рис. 6.1). або з нерухомим порталом та рухомим столом (рис. 6.2)..

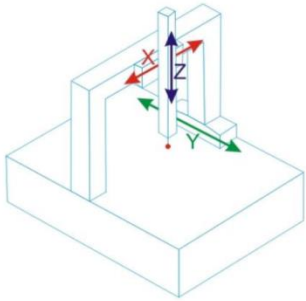


Рисунок 6.1- Портальна компоновка КВМ з рухомим порталом

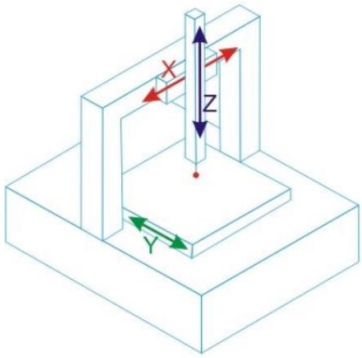


Рисунок 6.2- Портальна компоновка КВМ з рухомим столом

Портальні компонування КВМ мають високу жорсткістю основних вузлів, точність, високу динамічну властивість, відкритий простір для установки деталі і її огляду в процесі вимірювання.

Номенклатура КВМ портального типу за габаритами досить велика: починаючи від малогабаритних ручних і закінчуючи великогабаритними машинами, діапазон переміщення по осях яких перевищує кілька метрів.

Мостова компоновка - даний тип компоновки використовується в великогабаритних КВМ різних класів точності і є для них основним. У КВМ з мостовим компонуванням каретка з пінолью переміщається по рухомій траверсі та обома своїми кінцями базується на горизонтальних нерухомих балках, які на колонах підняті над столом для установки деталі (рис 6.3).

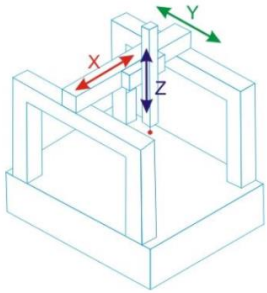


Рисунок 6.3- Мостова компоновка КВМ

Привід і датчики переміщення траверси кріпляться до однієї з балок. КВМ з таким компонування має обмежений доступ для завантаження деталей і контролю вимірювань. Мостова компоновка дозволяє отримати меншу в порівнянні з іншими компонуваннями масу рухомих вузлів при високої жорсткості і стійкості. Дана компоновка є ідеальним рішенням для вимірювання великогабаритних деталей у важкому і транспортному машинобудуванні, суднобудуванні, аерокосмічній промисловості та ін.

Консольна компоновка - такі машини відрізняються наявністю горизонтальної, рухомий по одній або двом горизонтальним осях консолі і кращим в порівнянні з портальної компонуванням доступом для установки деталі (рис 6.4).

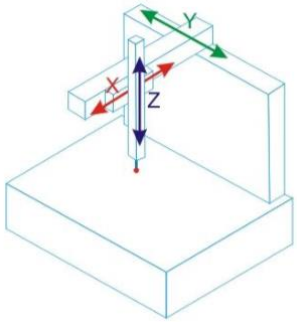


Рисунок 6.4- Консольна компоновка КВМ

Однак такі КВМ дуже чутливі до зміни маси вузлів, що рухаються відносно консолі. Висока точність і динамічність таких машин досягається за рахунок використання інноваційних матеріалів з високою міцністю і малою масою.

Дана компоновка використовуються для КВМ середніх і малих габаритів.

Стійникова компоновка - характеризуються наявністю рухомий, відносно основи, стійки, за якою в горизонтальному і вертикальному напрямку переміщається піноль зі встановленою вимірювальною головкою (рис 6.5).

КВМ даної компоновки мають хороший доступ для установки деталі. КВМ з такою компоновкою використовуються для високошвидкісних вимірювань в автомобільній промисловості, суднобудуванні, аерокосмічної промисловості і ін.

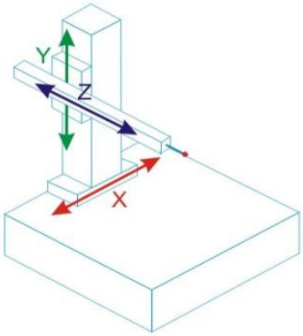


Рисунок 6.5- Стійникова компоновка КВМ

Висока точність вимірювань на КВМ забезпечується:

1. Матеріалами базових деталей (основа, балка портала, повзун) та напрямними, виконаними з синтетичних або природних твердокам′яних порід (синтегран, природний граніт)

2. Конструкцією портала, що виконується у вигляді жорсткої замкненої рами.

3. Конструкцією траверси (поперечини) портала, що несе рухому каретку вимірювальної головки, у вигляді замкненого трикутника.

4. Жорсткою конструкцією предметного столу, що виключає деформації несучої системи КВМ (напрямних портала, станини)

5. Використанням аеростатичних напрямних, або роликових напрямних кочення з автоматичним вибором зазору.

6. Використанням віброізолюючих опор

7. Використанням високоточних вимірювальних датчиків контактного або безконтактного вимірювання

8. Використанням оптичних лінійних вимірювальних систем або кутових енкодерів для відліку координат переміщень рухомих частин КВМ.

Визначення точності вимірювань на КВМ

Точність вимірювань КВМ залежить від довжини вимірювань у межах робочої зони і визначається за формулою:

$$\delta = \pm(a + \frac{L}{B}) \text{ (мкм)},$$

де а – базова похибка вимірювань (залежить від точності КВМ);

L – довжина вимірювань, мм;

B – коефіцієнт

Значення базової похибки вимірювань «а» для більшості КВМ складає (0,5…25). Значення В зазвичай знаходиться у межах (50…350)

Звідси, область допустимої точності вимірювань КВМ представляється у вигляді трапеції:

Типи КВМ за призначенням

Основна область застосування ***цехових КВМ*** – контроль якості кінцевої продукції у виробничих умовах, інструментальних цехах, відділах вхідного контролю.

При конструюванні цехових КВМ враховуються зовнішні умови виробничих приміщень. Компоненти, що визначають точність КВМ виготовляються зі сталі, або матеріалів, що мають аналогічний коефіцієнт теплового розширення. Таким чином температурні деформації КВМ мінімізуються. Панелі керування таких КВМ розташовуються в окремих корпусах, що мінімізує теплоутворення всередині КВМ. Точність вимірювань на цехових КВМ зазвичай складає декілька мікрометрів.

Основна область застосування ***прецизійних КВМ*** – метрологічні лабораторії.

Основним матеріалом базових частин цих КВМ є алюмінієві сплави. Завдяки їх високій теплопровідності перепади температур між зовнішнім середовищем та складовими КВМ швидко усуваються, що мінімізує температурні деформації базових частин машини.

У напрямних прецизійних КВМ створюється попередній натяг за рахунок магнітного поля та механічного попереднього навантаження (наприклад за рахунок сили тяжіння вузлів). Це дозволяє мінімізувати зміни навантажень у напрямних, що викликаються температурними деформаціями.

Для КВМ з діапазоном вимірювань більше 400 мм зазвичай використовують компоновки портального типу з аеростатичними опорами. Попередній натяг системи напрямних у таких КВМ досягається аналогічно. Окрім цього у прецизійних КВМ зазвичай відсутні захисні кожухи та інші покриття корпуса, що викликають тертя.

Застосування ***спеціалізованих КВМ*** є доцільним при швидкому вимірюванні ріжучих інструментів, профілю різі ходових гвинтів, профілю робочої частини лопаток турбін і т.і.

Такі КВМ можливо виготовляти з використанням деталей та вузлів, що виготовляються серійно. Для забезпечення високої продуктивності спеціалізованих КВМ їх оснащують лінійними приводами переміщень по заданим координатам. Застосування сучасних лінійних приводів дозволяє отримати прискорення до 10 м/с^2, зберігаючи при цьому задану точність вимірювань, яка

відповідає точності стандартних КВМ. Це дозволяє скоротити час позиціювання та вимірювання декількох елементів деталі до 1 секунди.

Основні технічні характеристики КВМ

До основних технічних характеристик КВМ відносяться:

- спосіб переміщення вимірювальної головки (ручний/авто);
- діапазон вимірювань (L×B×H);
- швидкість переміщення;
- по осям (установчі переміщення);
- у заданому напрямку за програмою (для КВМ з ЧПК);
- швидкість сканування поверхонь (при наявності функції сканування);
- програмне забезпечення;
- похибка вимірювання довжини (MPE) = $(a + \frac{L}{B})$ (мкм);
-повторюваність розмірів (дорівнює базовій похибці вимірювань «а»);
- похибка сканування (при наявності функції сканування);
- похибка вимірювання форми;
- габаритні розміри;
- вага;
-параметри електричного та пневматичного (за наявності) підключення.

Загальні відомості про механізми з паралельною кінематикою

Більшість механічних рук промислових роботів та інших маніпуляторів у більшій або меншій мірі нагадують руку людини та містять послідовно розташовані двигуни, кожен з яких вбудований у шарнір. Або пов'язаний з шарніром, що має один ступінь волі.

Поєднуючи декілька ланцюгів важелів із шарнірами, які діятимуть паралельно, можна отримати систему, що забезпечує до шести ступенів волі виконавчого органа при його русі.

До таких механізмів, що використовуються у промислових машинах належать:

- гексаподи;
- рото поди;
- дельта-механізми.

Гексапод – паралельний механізм, що забезпечує шість ступенів волі. Він виконаний на базі шести механізмів поступального переміщення, якими можуть бути шарико-гвинтові передачі або лінійні приводи. Для зміни довжини елементів цих механізмів служать регульовані електроприводи. Відлік переміщень здійснюється датчиками положення.

Машина гексапод представлена на рис. 6.6.

Рисунок 6.6 – Машина гексопод, платформа Стюарта (Гью-Стюарта)

Одним кінцем штанга шарнірно з’єднана з основою, а іншим, також шарнірно, з рухомою платформою, на якій установлений робочий орган (вимірювальна головка, мотор-шпиндель, тощо).

Керуючи вильотом штанг за програмою можна керувати положенням робочого органа за шістьма координатами: X, Y, Z, A, B, C.

У машинобудуванні машини-гексаподи використовують у конструкціях:

- промислових роботів;
- оброблюючих верстатів;
- координатно-вимірювальних машин.

В основі таких машин лежить так звана платформа Стюарта (Гью-Стюарта).

Механізм має шість незалежних ніг на шарнірних з´єднаннях. Довжини ніг можна змінювати, змінюючи тим самим орієнтацію платформи.

Зміна довжини ніг може досягатись за рахунок шарико-гвинтових передач, один кінець яких з'єднаний безлюфтовим шарніром з нижньою платформою, а інший – з рухомою верхньою платформою, на якій розташований робочий орган.

Основними перевагами гексаподних машин є:

- висока швидкість переміщень;
- відсутність напрямних;

у якості несучих елементів у гексаподних машинах використовуються приводні механізми, що покращує масогабаритні характеристики та зменшує матеріалоємність;

- високий ступінь уніфікації мехатронних вузлів;
- мала інерційність механізмів.

Недоліки гексаподних машин:

- конструктивна складність;
- висока вартість;
- жорсткість таких машин не у повній мірі задовольняє вимогам до оброблюючих верстатів.

КВМ на базі машин-гексаподів

В основу конструкції КВМ на базі гексаподів покладена платформа Стюарта. Переміщення платформи здійснюється шістьома лінійними приводами, що забезпечує шість ступенів волі (за осями X,Y,Z,A,B,C). На платформі розташовується вимірювальний щуп (рис. 6.7).

Конструктивні елементи КВМ

1. Станини;
2. Столу;
3. Силової рами, яка служить для кріплення приводів каретки;
4. Вимірювальної рами, яка фіксує «нулі» відліку вимірювальної системи;
5. Каретки, яка забезпечує шестиосьове переміщення вимірювального щупа;

6. Вимірювального щупа, що закріплюється на каретці;
7. Трьохосьових та плаваючих шарнірів;
8. Шести висувних штанг, до яких закріплюється каретка;
9. Лазерних інтерферометрів або оптичних лінійок (іноді їх поєднання) для відліку переміщень висувних штанг. Дискретність відліку переміщень при цьому може складати 0,05 мкм
10. Електроприводів зі зворотнім зв'язком за інтерферометрами або/та оптичними лінійками;
11. Дистанційного пульта керування (опція);
12. Обчислювально-керувального комплекса;
13. Автоматизованого робочого місця оператора.

Рисунок 6.7- Координатно-вимірювальна машина на базі гексопода «КИМ-1000»

Переваги КВМ-гексаподів

1. Можливість контролю поверхонь, недоступних для КВМ традиційних компоновок при збереженні високої точності вимірювань;
2. Точність визначення положення вимірювального щупа не залежить від точності напрямних, контролюється лазерними інтерферометрами з похибкою від 0,02 мкм;
3. Продуктивність КВМ-гексаподів перевищує продуктивність КВМ традиційних компоновок до 2-5 разів;

4. Вимірювальна система КВМ-гексаподів віддалена від силової системи, що забезпечує довготривалу стабільність характеристик;

5. КВМ працює тільки від електромережі. Підключення стисненого повітря до таких машин, як правило, не потрібне.

Технологічні можливості КВМ-гексаподів

1. Вимірювання деталей складної форми;
2. Вимірювання дрібноструктурних деталей;
3. Вимірювання різьб;
4. Вимірювання деталей зубчастих передач;
5. Вимірювання крупногабаритних та корпусних деталей.

До ***деталей складної форми*** належать лопатки турбін, ріжучі інструменти, отвори складної форми і т.д. КВМ-гексаподи дозволяють проводити точкові вимірювання, або сканування поверхонь таких виробів без переустановлення з єдиного калібрування щупа. Також зникає необхідність використання поворотних столів. Означені умови дозволяють значно збільшити точність та продуктивність вимірювань у порівнянні з традиційними КВМ.

Результати вимірювань обробляються програмно-математичним забезпеченням КВМ і можуть бути представлені у вигляді графіків, 3D-моделей, таблиць.

До ***дрібноструктурних деталей*** відносяться дрібномодульні шестерні (з модулем від 0,2мм), дрібномодульні зуборізні інструменти, отвори малих діаметрів (від 0,2мм), різьби з малим кроком, різноманітні профілі з внутрішніми радіусами від 0,1 мм і т.і. Причому контроль деталей з внутрішніми радіусами спряжень $r \leq 0{,}1$мм в принципі неможливо виконати на традиційних трьхкоординатних КВМ.

Для контролю таких деталей на КВМ-гексаподах використовуються щупи-голки. Для збільшення точності вимірювань форма кінчика вимірювальної голки записується у паспорт щупа при калібруванні і враховується спеціальною програмою при вимірюваннях.

До ***різьбових з'єднань***, що підлягають контролю на КВМ-гексаподах відносяться профілі різьби різьбових калібрів-кілець та

пробок, а також інших різьбових профілів циліндричних та конічних, кріпильних, відлікових, ходових стандартних та спеціальних.

Контроль стандартизованих різьб здійснюється за методиками ГОСТів та ISO. При контролі оригінальних різьбових з´єднань вимірювання здійснюються за спеціально розробленими параметрами з розрахунком відхилень від математичних моделей.

До ***зубчастих зачеплень***, що контролюються на КВМ-гексаподах відносяться:

- зачеплення зі стандартним та нестандартним вихідним контуром;
- циліндричні прямо- та косозубі колеса зовнішнього та внутрішнього зачеплення;
- конічні прямозубі колеса та колеса з круговими зубцями;
- черв´ячні колеса та черв´яки;
- шліцьові з´єднання;
- зуборізний інструмент;
- інші види зубчатих зачеплень (зачеплення Новікова, торцеві зубці Курвіка та Хірта, і т.і.);
- спеціальні зубчасті зачеплення за оригінальними розробками.

Завдяки використанню гексаподних КВМ зникає необхідність використання поворотних столів при здійсненні контроля профілів зубців коліс. Це дозволяє підвищити точність вимірювань завдяки виключенню додаткових похибок, що вносить стіл. Також відсутність поворотного столу дає можливість «прив’язуватись» безпосередньо до баз контрольованого виробу, збільшуючи тим самим точність та продуктивність вимірювань.

Результати вимірювань обробляються програмно-математичним забезпеченням КВМ і можуть бути представлені у вигляді графіків, 3D-моделей, таблиць.

До ***крупногабаритних деталей***, що контролюються на КВМ-гексаподах відносяться корпусні деталі машино-, авіа-, суднобудування, габарити яких можуть сягати декількох метрів.

Одночасний нахил каретки КВМ навколо осей X, Y, Z дозволяє отримати доступ для вимірювання складних елементів, притаманних корпусним деталям, у будь-яких площинах без перевстановлення останніх. Це значно полегшує процес вимірювання, збільшує їх точність та продуктивність.

Використання КВМ-гексаподів дозволяє виконувати точкові вимірювання та сканування поверхонь закритих пазів та уступів криволінійної форми, включаючи спряжені поверхні, глибоких отворів із внутрішніми розточками, точних отворів, що перетинаються під різними кутами та інших складних елементів.

Вимірювальні маніпулятори (ВМ)

Вимірювальні маніпулятори – це мобільні КВМ, що нагадують за конструкцією руку людини (рис. 6.8).

Ці КВМ мають плечовий, ліктьовий та кистьовий суглоби. Тому цей вид КВМ називається «вимірювальними руками»

На плечовому суглобі розташована кріпильна плита, за допомогою якої машина встановлюється на плоску поверхню. На кистьовому суглобі монтується вимірювальний щуп. У кожному суглобі розташовуються датчики кутових переміщень(енкодери). Вони відраховують відносні кути повороту кожного з суглобів. При відомих довжинах відповідних частин руки можливо розрахувати положення у просторі вимірювального щупа у заданій системі координат. Якщо система координат не задана, вона, як правило, розташована у центрі установчої плити ВМ.

Найдоцільніше використання вимірювальних рук у випадках:

- необхідності контролю виробів у ході техпроцесу, коли їх переміщення до КВМ неможливе або недоцільне

- необхідності контролю великогабаритних або (та) важких виробів, транспортування яких до спеціального місця вимірювання ускладнене або неможливе (металорізальні верстати, великі штампи, пресформи, кузова авто, корпуси маломірних судів, фюзеляжі літаків і т.д.)

Рисунок 6.8- Вимірювальний маніпулятор

Основна область використання вимірювальних маніпуляторів:

- аерокосмічна промисловість(сертифікація шаблонів та моделей, контроль геометрії виробів та деталей і т.д.);
- автомобільна промисловість(вирівнювання зварювальних кондукторів, контроль геометрії виробів);
- механічна обробка (контроль дослідних зразків продукції, контроль виробів, контроль геометричних параметрів обладнання);
- ливарне та штампувальне виробництво (інспекція форм, сканування прототипів виробів, контроль геометричних робочих порожнин штампів, пресформ, ливарних форм і т.д.);

За допомогою вимірювальних маніпуляторів можна контролювати:

- лінійні розміри (діаметри, довжини, міжцентрові відстані);
- кутові розміри (між площинами, ребрами, осями);
- відхилення форми (прямолінійність, циліндричність, круглість, площинність);
- відхілення взаємного розташування поверхонь (паралельність, перпендикулярність і т.і.).

Конструктивні особливості вимірювальних маніпуляторів

1. Для монтажу ВМ використовують вакуумні, магнітні плити, мобільні триноги і т.п. Установлювати ВМ можна практично у будь-якому місці (на столі, підлозі і т.п.);

2. У суглобах ВМ окрім енкодерів установлюють датчики температурної стабілізації. Вони вносять поправки у результат вимірювань з урахуванням зовнішньої температури;

3. Зв'язок ВМ з комп'ютером (частіше ноутбуком) здійснюється через Bluetooth або інший безпровідний інтерфейс. Радіус дії до 10 м і більше. Можливий також провідний зв'язок;

4. Як правило відсутність обмежень обертання суглобів по осям при вимірюваннях;

5. Елементи руки виконують з композитних матеріалів для зменшення ваги (ВМ з діаметром робочої зони 4,5м має вагу до 10 кг).

6. Наявність акумуляторної батареї, що дозволяє працювати ВМ автономно;

7. Наявність наборів швидкоз'ємних (швидкозмінних) щупів. Кожен щуп оснащується чіпом з інформацією про нього. Після приєднання щупа до ВМ він автоматично розпізнається програмним забезпеченням і не потребує калібрування;

8. ВМ оснащуються противагою для більшої зручності користування і, відповідно, збільшення точності вимірювань;

Як правило виміри за допомогою ВМ виконуються контактним методом. Але у деяких ВМ можливе використання лазерних сканерів.

Точність вимірювальних маніпуляторів

Точність вимірювань ВМ залежить від довжини вимірів у межах радіуса робочої зони і визначається за формулою згідно ISO 10360-2:

$$E = \pm(a + \frac{D}{B}) \text{ (мкм)},$$

де а – базова похибка вимірювань (залежить від точності ВМ);

D – діаметр робочої зони вимірювань, мм;

B – коефіцієнт (усереднене значення для ВМ - B=40)

Таким чином для меж діаметрів вимірювання від 1200 до 4500 мм при значеннях а=5 та B=40 точність вимірювань складає від ±0,009 до ±0,08 мм.

Комплектація ВМ

До комплекту входить:

- безпосередньо ВМ;
- ноутбук;

- програмне забезпечення;
- USB кабель (або безпроводний інтерфейс (WIFI));
- вбудована або з’ємна акумуляторна батарея;
- джерело живлення (110-220 В, 50/60 Гц);
- щуп (або набір щупів);
- калібрувальна сфера (іноді і калібрувальна плоска міра довжини);
- транспортувальний кейс;
- пристрої для установлення ВМ (магнітна підставка, пневматична плита, адаптер з різзю, мобільна каретка і т.п.).

Умови експлуатації ВМ:

- робочий діапазон t°C – 0…50 °C;
- вологість 10-90 % без конденсату (max 85% при 30°C, 50% при 40°C);
- температура зберігання t°=(-30… +70)°C;
- електроживлення U=(100…240) В при частоті струму (50/60) Гц;
- електромагнітна сумісність – за інструкцією виробника.

Основні технічні характеристики ВМ:

- розмір (діаметр) сферичної зони вимірювань;
- повторюваність розміру при вимірюванні точки;
- похибка вимірювальної довжини (приблизно у 1,5 рази більша за повторюваність розміру при вимірюванні точки);
- вага.

ТЕМА 7. ДАТЧИКИ ДЛЯ КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИН

Датчики координатно-вимірювальних машин використовуються для збору первинних даних про вимірювані деталі. В їх конструкції застосовуються механічні компоненти, а в деяких випадках оптоелектронні та програмні комплектуючі різної складності.

Вибір типу датчика залежить від:

- тактильної чутливості об'єкта;

- розмірів вимірюваних елементів;
- вимогами плану вимірювань;
- числа вимірюваних точок.

Координатно-вимірювальні машини можна оснащувати контактними або оптичними тригерними і вимірювальними сенсорами (динамічними датчиками або датчиками сканування).

Важливим критерієм класифікації датчиків є фізичний принцип передачі первинного сигналу. В цьому відношенні датчики можна поділити на дві групи:

- оптичні;
- тактильні (датчики торкання).

В оптичних датчиках інформація про розташування вимірюваної точки передається в оптичний сенсор за допомогою світла таким чином, щоб її можна було використовувати для визначення координат цієї точки. Тактильний датчик отримує цю інформацію шляхом дотику до вимірюваної деталі вимірювальним елементом, яким в більшості випадків є наконечник щупа.

Класифікація датчиків для КВМ за різними ознаками

Однією з найважливіших характеристик датчиків є кількість осей, за якими вини можуть здійснювати вимірювання.

Якщо у датчика менше трьох ступенів волі вимірювання, координати що залишилися визначаються з попередньої позиції вимірювання в системі координат КВМ. Такий підхід обмежує можливості застосування системи при вимірюваннях складних тривимірних об'єктів (наприклад, за допомогою одновимірного лазера неможливо виміряти циліндричні отвори, а двохкоординатний контактний датчик не придатний для вимірювання площини по аплікаті).

Сенсори для координатно-вимірювальних машин, згруповані за принципами дії. Їх класифікація наведена на рисунку 7.1

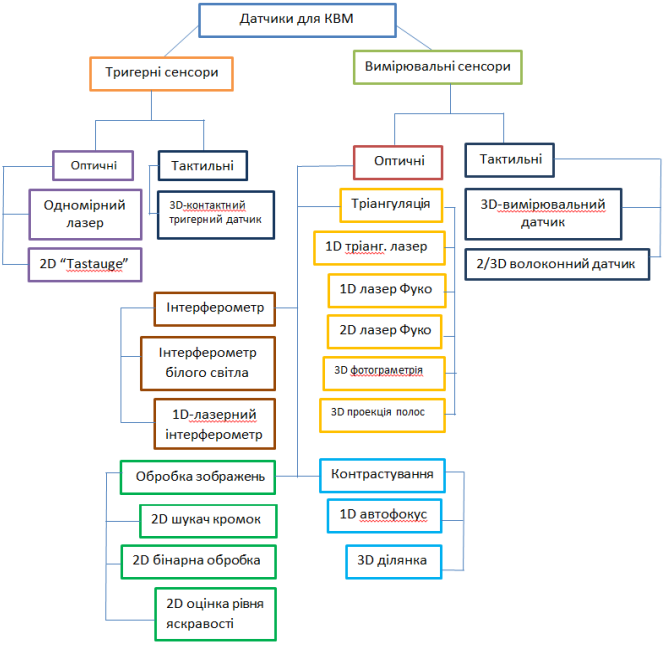
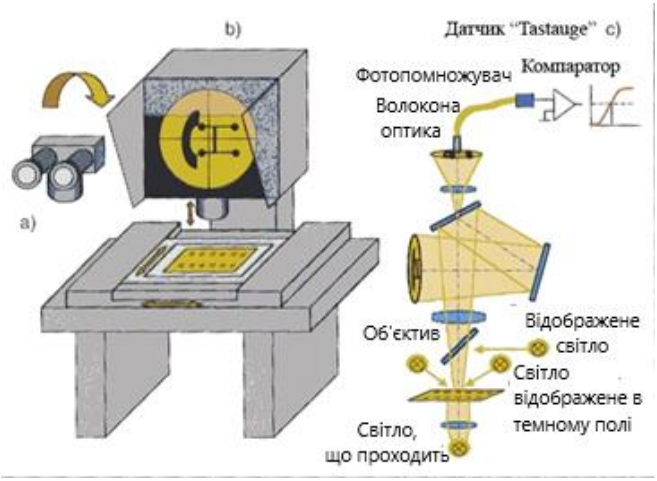


Рисунок 7.1 – Класифікація сенсорів для КВМ за принципом дії.

Оптичний датчик кромки Tastauge

Датчик Tastauge, або «досліджуюче око» - це контактний тригерний сенсор для оптичних вимірювальних проекторів. Тонке скловолокно приймає світловий сигнал в траєкторії променя проектора і передає його в фотозбільшувач (рис. 7.2). Коли об'єкт проходить через траєкторію променя, на кожній кромці відбувається перехід світла в тінь або тіні в світло. Кожен раз при визначенні переходу на кромці методом електронного порогового значення, знімаються координати вимірювальної осі. Тут важливо коректне визначення порогового значення на підставі каліброваних еталонів. В сучасних вимірювальних системах це відбувається автоматично.



a) вимірювальний мікроскоп; b) вимірювальний проектор; c) датчик Werth Tastauge і траєкторія променя проектора

Рисунок 7.2 – Базова конструкція вимірювального мікроскопа і вимірювального проектора з датчиком Werth Tastauge.

Вимірювання за допомогою світла, що проходить

На практиці використання датчика Tastauge обмежено до вимірювань, які виконуються за допомогою світла, що проходить, в 2D або 2½D. 2½D означає можливість регулювання (але не вимірювання) по третій осі. Малоконтрастні значення можуть привести до помилок у вимірах, оскільки точкова форма датчика не дозволяє застосувати будь-які стратегії розрізнення забруднення, перешкод на поверхні і справжніх елементів об'єкта.

Датчик обробки зображень

Датчики обробки зображень використовуються в основному в якості візуальних сенсорів (рис. 7.3). Об'єкт відображається на матриці камери за допомогою об'єктива. Електронне обладнання камери перетворює оптичний сигнал в цифрове зображення, яке використовується для розрахунку вимірюваних точок на комп'ютері, оснащеному відповідним програмним забезпеченням для обробки зображень. Ефективність таких датчиків суттєво залежить від певних чинників - освітлення, об'єктива, мікросхеми датчика, електронного обладнання та обчислювального алгоритму [3].

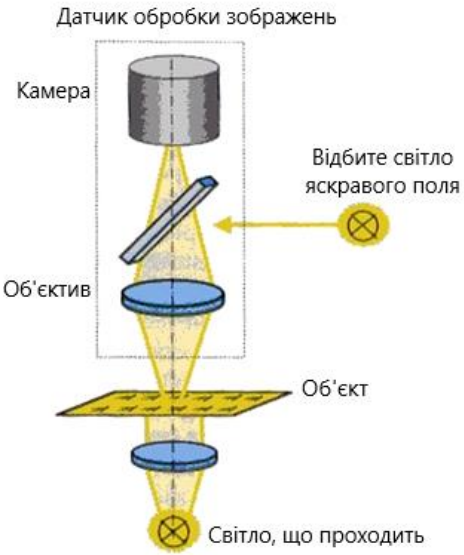


Рисунок 7.3 - Базова конструкція датчика обробки зображень з джерелами відбитого світла і того що проходить

Датчики відстані

За допомогою оптичних датчиків кромки та датчиків обробки зображень вимірювання можна проводити тільки на двовимірних площинах.

Для того, щоб виконувати тривимірні (3D) вимірювання за допомогою оптичних датчиків, необхідна додаткова операція вимірювання третьої координати. Оскільки сенсори, що використовуються з цією метою, визначають відстань до поверхні вимірюваної деталі, вони, як правило, називаються датчиками відстані.

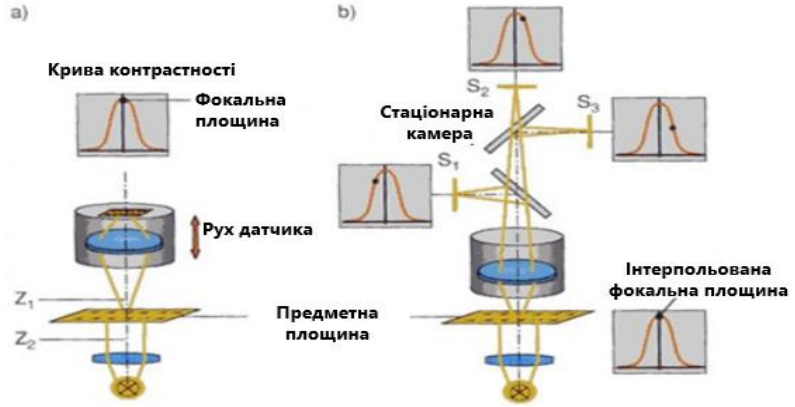
Чутливість такої операції залежить від величини області вздовж оптичної осі, зображення якої в об'єктиві є безсумнівно різким. Ця область називається глибиною поля і прямо залежить від дозволу і числової апертури об'єктива. Чим вище числова апертура, тим менше глибина поля і вище точність вимірювання, здійсненого за допомогою автофокусування.

Основним недоліком описаного методу є необхідність проходження певної області вздовж оптичної осі. Для отримання

точних даних потрібно відвести на вимір кожної точки кілька секунд. Прискорити вимірювання відстані можна шляхом використання методу автофокусування, при якому на траєкторії відтвореного пучка в різних позиціях встановлені три сенсорних чіпа, що утворюють камеру (рис 7.4). На відміну від описаного вище методу автофокусування, в даному випадку три точки кривої контрастності можна визначити одночасно. Розрахунок кривої контрастності виконується за допомогою даних про ці три точки і вже відомих основних параметрів самої кривої. Частота вимірювання при використанні цього методу обмежена частотою зміни зображень влаштування їх обробки (до декількох десятків точок в секунду).

Лазерні датчики поточкового вимірювання

Лазерний датчик поточкового вимірювання функціонує наступним чином: пучок світла, що випускається лазером (як правило, це лазерний діод), проектується на вимірюваний об'єкт. Пляма відбитого променя відображається на оптоелектронному датчику. Позиція вимірюваної точки визначається відповідним для цього способом. Найвідоміші способи належать до однієї з двох категорій: це метод тріангуляції (рис. 7.5) і інтерференційний метод.



a) рух в фокусній діапазоні від Z1 до Z2; b) стаціонарна компоновка трьох датчиків S1, S2 і S3 в різних площинах.

Рисунок 7.4 – Автофокусування з рухомою і стаціонарної системами лінз

Тріангуляційні датчики часто застосовуються з метою автоматизації технології вимірювань відповідно до наступного

принципу: лазерний пучок і вісь відтворюваного оптичного обладнання датчика охоплюють кут вимірювання в кілька десятків градусів. Таким чином лазерний передавач, вимірювана точка і датчик формують трикутник, який потім використовується для визначення відстані через тригонометричні відношення (або тріангуляцію). Результат вимірювання сильно залежить від структури і кута нахилу поверхні, що виражається в відносно високих похибках вимірювання. Внаслідок цього даний метод підходить для застосування тільки на менш точних координатно-вимірювальних машинах.

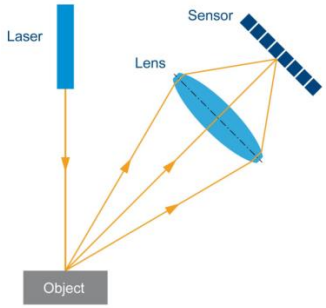


Рисунок 7.5 – Метод тріангуляції

Найбільш поширений в інтерферометрії інструмент - інтерферометр Майкельсона – його винайшов в 1887 році Альберт Абрахам Майкельсон (рис. 7.6).

Основний принцип роботи такий: як правило, одиночний вхідний промінь від джерела когерентного світла за допомогою інтерферометра Майкельсона розщеплюється на два ідентичних променя. Кожен з даних променів проходить різний шлях (траєкторію) і перед попаданням в детектор вони зводяться разом. Різниця в відстані, пройдена кожним променем, створює різницю фаз між ними. Саме введена різниця фаз створює між ідентичними хвилями інтерференційний узор, який визначається на детекторі. Якщо одиночний промінь розділений уздовж двох траєкторій (вимірюваної і опорної), то різниця фаз буде вказувати на який-небудь фактор, який змінює фазу уздовж даних траєкторій. Це може бути фізична зміна довжини самої траєкторії або зміна коефіцієнта заломлення середовища, через яку проходить промінь.

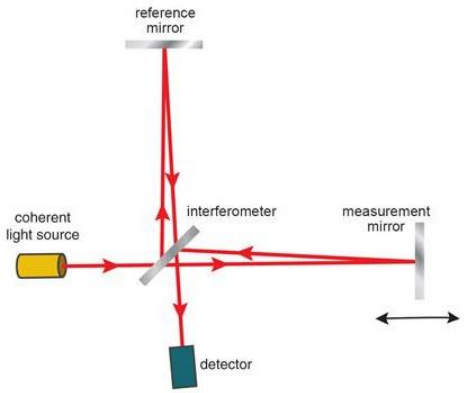


Рисунок 7.5 – Принцип роботи інтерферометра Майкельсона

Кращих результатів можна досягти за допомогою лазерних датчиків, що працюють за принципом Фуко (рис. 7.7). Цей принцип полягає в використанні кута апертури програванням відтворюючого оптичного устаткування датчика в якості тріангуляційного кута. Замість лазерної плями на об'єкті відображається лезо ножа Фуко, розташоване на траєкторії пучка світла. Оцінка характеристик сигналів виконується за допомогою диференційного фотодіода. Відхилення від нульової позиції лазерного датчика, що визначаються таким способом, використовуються для підрегулювання відповідних осей координатно-вимірювальної машини. Результат вимірювання отримують шляхом накладення значень, отриманих лазерним датчиком, на значення, отримані координатно-вимірювальною машиною. Як і в випадку, описаному вище, результат вимірювання, виробленого за допомогою такого датчика, піддається значному впливу властивостей матеріалу і кута нахилу поверхні. Отже, виникає необхідність корекції цих впливаючих змінних. Однак при використанні відповідного програмного забезпечення похибка вимірювання можна знизити до меж, в яких вона буде відповідати вимогам для високоточних координатно-вимірювальних машин. На практиці лазерні датчики Фуко, як правило, вбудовують в траєкторію пучка датчика обробки зображень. Така схема дозволяє перемикатися між двома датчиками, не роблячи при цьому будь-яких механічних рухів

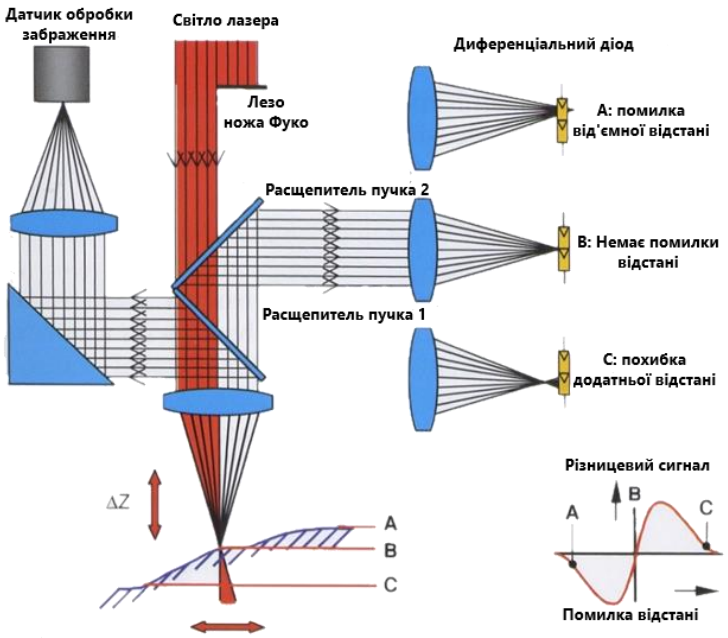


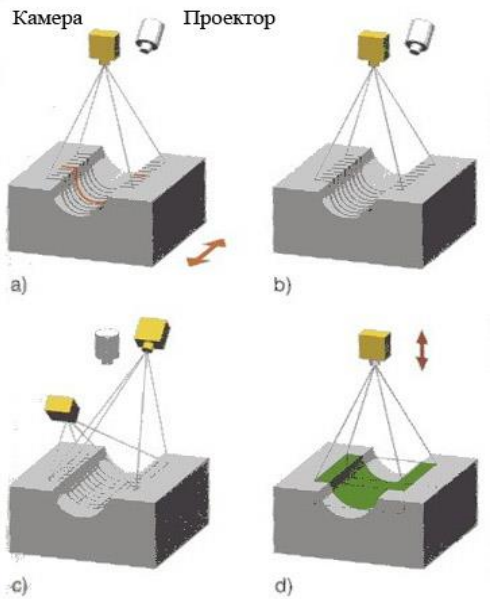
Рисунок 7.7 - Лазерний датчик, що працює за принципом Фуко, з вбудованим датчиком обробки збереження (система освітлення датчика не наводить).

Основною перевагою лазерних датчиків поточкового вимірювання в порівнянні з сенсорами, що використовують метод фокусування, є порівняно висока швидкість вимірювання: від кількох сотень до тисячі точок в секунду. Таким чином, лазерні датчики цього типу ідеальні для сканування профілю поверхні.

Фотограмметрія

Фотограмметричні методи (рис. 7.8с) засновуються на зборі даних про поверхню об'єкта з двох різних напрямків, який виконують два датчика зображень. Згідно з принципом тріангуляції, просторові координати кожного елемента, що розпізнається, обчислюються за допомогою даних про кутові відношення. Оскільки об'єкт вимірювання зазвичай не є достатньо структурованим, на його поверхню проектується двовимірна сітка. Одержану модель «захоплюють» дві камери, а потім вона піддається оцінці. В

протилежній ситуації з смуговими датчиками, в даному випадку точність проекції не впливає на результат вимірювання.



a) перетин лазерного світла; b) проекція смуг; c) фотограмметрія; d) Werth 3D-Patch

Рисунок 7.8 - Приклади багатовимірних датчиків відстані

Метод Werth 3D-Patch (рис. 7.8d) робить можливим виключно зручний і швидкий збір тривимірних даних про поверхню. Датчик виконує вищеописаний процес автофокусування одночасно на всі пікселі, використовуючи рухливу камеру. За один прохід по вимірюваній області вздовж оптичної осі всього за кілька секунд можна «захопити» велику кількість точок. Основна перевага цього методу полягає в тому, що він не вимагає спеціального апаратного забезпечення, за винятком стандартного датчика обробки зображень.

Тактильні датчики

Всі тактильні датчики працюють за принципом механічного контакту з поверхнею. Отримані за допомогою такого контакту сигнали передаються для подальшої обробки.

Розрізняють контактні тригерні датчики і вимірювальні датчики дотику. Результат вимірювання за допомогою тактильного датчика включає геометричні дані (як правило, форму і розмір) вимірювального елемента (або сфери), а також просторове положення і геометричну форму поверхні вимірюваного об'єкта.

На рис. 7.9 наводиться ілюстрація неможливості визначення позиції досліджуваної точки без математичної корекції, заснованої на відомих координатах центральної точки наконечника щупа або сфери. Для здійснення точної корекції необхідно відкалібрувати вимірювальний елемент. Крім того, зазвичай для вимірювання будь-якого геометричного елемента потрібно досліджувати велику кількість точок. Без проведення цієї корекції сумарна похибка буде залежати від діаметра сфери щупа (наприклад, чим менше діаметр, тим менше похибка). Крім цього, сфери великого діаметра можуть також придушити невеликі відхилення структури поверхні. Така «механічна фільтрація» може сприятливо вплинути на результат вимірювання, а може і привести до його спотворення.

На рис. 7.10 показано вплив кількості досліджуваних точок на результат вимірювання. У тих випадках, коли геометричні елементи мають дефекти форми, важливо досліджувати велику кількість точок.

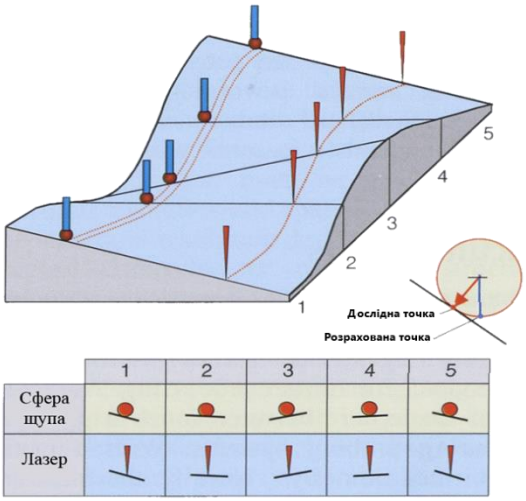


Рисунок 7.9 - Вплив форми накінечника щупа на вимір криволінійних поверхонь.

Корекцію сфери щупа для невідомих поверхонь можна визначити по суміжним траєкторіям. Для лазерних датчиків корекцію траєкторії можна опустити.

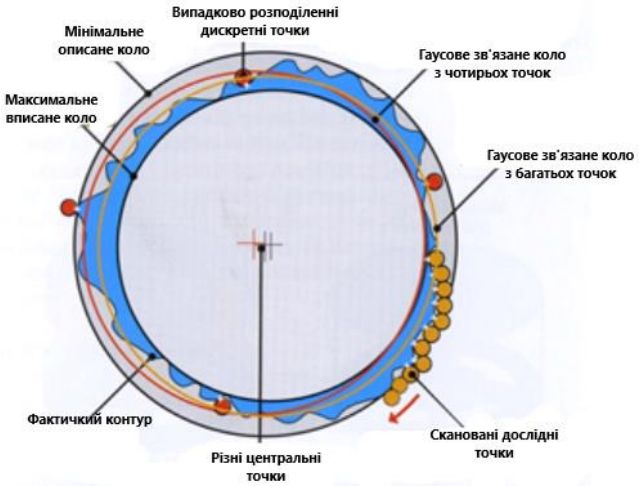


Рисунок 7.10 - Вплив кількості точок вимірювання на його результат.

Мала кількість точок вимірювання призводить до отримання невірної пов'язаної окружності. Велика кількість точок вимірювання призводить до отримання вірної пов'язаної окружності. Мінімальне описане і максимальне вписане кола демонструють нам, що Гауссова пов'язана окружність неточно описує елементи з відхиленнями форми.

Тригерні тактильні датчики

Основні системи контактного тригерного вимірювання функціонують за принципом «трьох стрижнів» (Рис. 7.11а). При зіткненні сфери щупа з вимірюваної деталлю в систему шкал координатно-вимірювальної машини подається тригерний сигнал. Координати виміряної точки - це координати КВМ в центральній точці сфери щупа. За допомогою жорсткого вала сфера щупа з'єднана з триточковим підшипником, оснащеним трьома вимикачами (по одному на кожну точку). При відхиленні щупа від заданого напрямку, щонайменше один з цих вимикачів розімкнеться. Далі слідує обробка

цієї події у вигляді критичного сигналу. Основним недоліком цієї системи є той факт, що зусилля контакту по відношенню до напрямку контакту призводить до пружної деформації щупа. Це, в свою чергу, виражається в тому, що контакт починає залежати від напрямку (властивість трьох кутів), і компенсувати це важко.

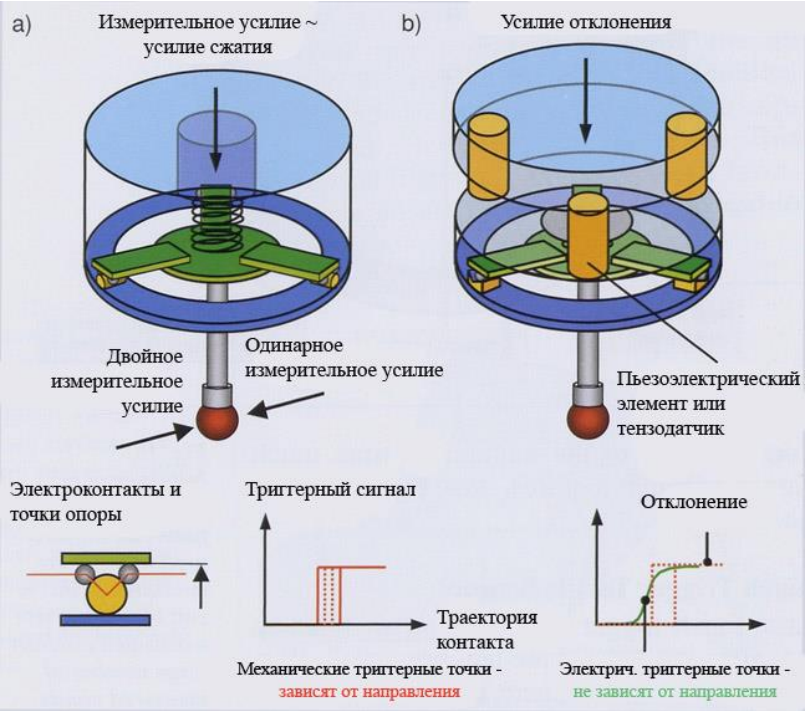
У системах контактного вимірювання високої якості для перетворення механічних сигналів в електричні використовуються різні перетворювачі (наприклад, п’єзоелектричні елементи, тензодатчики). Завдяки їм досягається незалежність контакту від його напряму. Електронне обладнання забезпечує виконання вимірювання при дуже низькому вимірювальному зусиллі. Вплив датчика на похибку вимірювання зведено до мінімуму. Триточковий підшипник відхиляється тільки після визначення вимірюваної точки. Отже, на осях координат тепер допустимі порівняно довгі «гальмівні шляхи».

Загальним недоліком всіх тригерних тактильних сенсорних систем є те, що для вимірювання однієї точки контактний елемент координатно-вимірювальної машини слід ввести у контакт з вимірюваною деталлю, а потім відвести від неї. Таким чином, на вимір кожної точки потрібно кілька секунд.

Вимірювальні тактильні датчики

У контактних вимірювальних системах датчики оснащуються пристроями для траєкторних вимірювань (шкали, індуктивні датчики, оптичні вимірювальні системи і т.д.), як правило, за всіма трьома координатним осях.

Якщо сфера щупа при зіткненні з вимірюваної деталлю буде відхилена в будь-якому напрямку, то значення цього відхилення можна дізнатися за допомогою системи траєкторних вимірів (рис. 7.12). Вимірювана точка створюється шляхом накладання координат датчика на координати вимірювальної машини. Також при цьому слід враховувати пружне відхилення щупа і описану вище корекцію сфери щупа, що відповідає положенню вектора вимірюваної поверхні.



а) електромеханічні контакти (принцип трьох стрижнів); b) електромеханічний перетворювач.

Рисунок 7.11 - Принципи тригерного контактного тривимірного датчика

Для вимірювання кількох різних поверхонь одного і того ж об'єкта прибирати щуп з вимірюваної деталі необов'язково. У поєднанні з відповідним керуючим програмним забезпеченням цей принцип стає основою для автоматичного сканування поверхонь об'єктів (рис. 7.13). Осі координат вимірювальної машини контролюються таким чином, щоб датчик завжди залишався в межах свого діапазону вимірювання, слідуючи за поверхнею вимірюваної деталі при виконанні тангенціальних рухів.

Керуюча програма переміщує датчик у віртуальній системі координат, вихідна точка якої розташовується в точці дотику контактного елемента і вимірюваної деталі. Аналогічним чином можна виконувати тривимірне сканування на заздалегідь заданих

площинах. Однак в разі тривимірних поверхонь необхідно також враховувати проблему корекції сфери щупа на невідомих поверхнях.

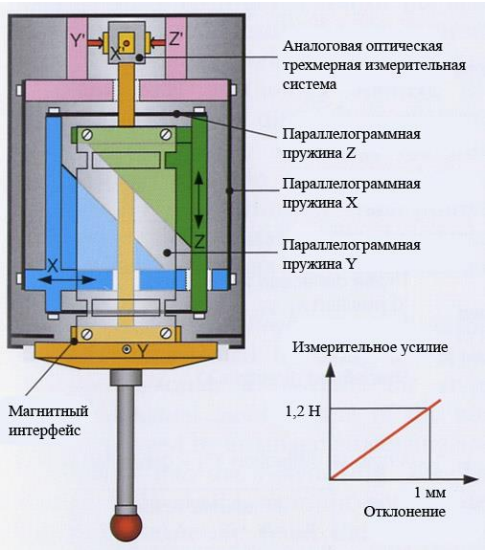
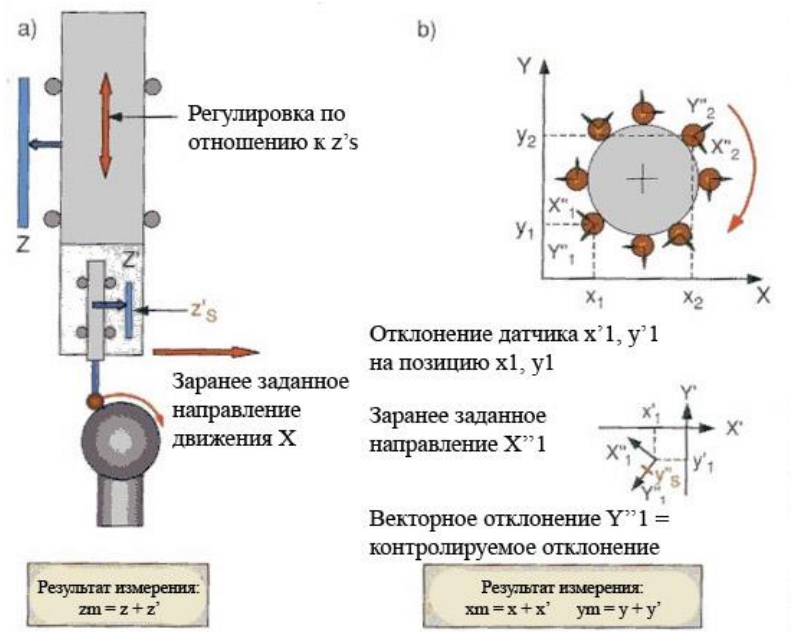


Рисунок 7.12 - Принцип тривимірного датчика сканування: заміна щупів виконується за допомогою магнітного інтерфейсу.

Взаємноз’єднані паралелограмні пружини дозволяють рух по трьох осях. Здійснений рух передається в компактну тривимірну вимірювальну систему. Контактне зусилля залежить від відхилення (згідно з даними компанії Renishaw).



а) 1D: щуп пересувається у напрямку X і регулюється (контролюється) по відношенню до номінального відхилення z'S в напрямку Z; b) 2D: щуп пересувається по напрямку X " і регулюється по відношенню до номінального відхилення y "S в напрямку Y' '.

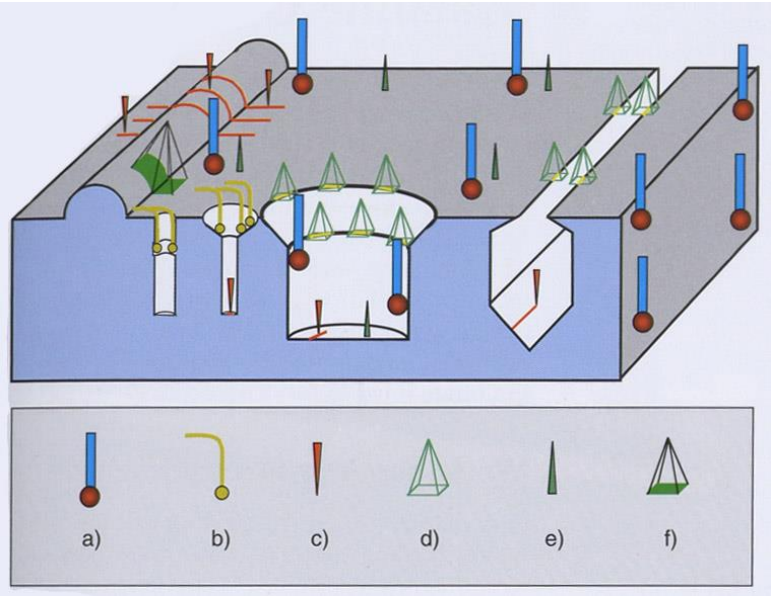
Рисунок 7.13 - Сканування за допомогою контактної вимірюючої системи

Система координат X", Y" для контуру управління повертається разом з траєкторією сканування. Збір даних про вимірювані точки проводиться в системі координат датчика X', Y'; дані додаються до координат машини.

Мультисенсорна технологія

У мультисенсорних координатно-вимірювальних машинах використовуються комбінації з декількох описаних ваше датчиків. Властивості цих датчиків зазвичай залежать від основних цілей їх застосування (рис. 7.14). У число цих властивостей входять розміри досліджуваних елементів, їх типи (край, поверхня) і придатність датчиків для швидкого збору даних про велику кількість точок (сканування). Для виконання складних вимірювальних робіт, як

правило, необхідно використовувати кілька різних датчиків на один вимірювальний цикл.



а) механічний щуп; b) воло-кінний датчик Werth; c) лазер; d) датчик обробки зображень; e) автофокус; f) 3D-Patch .

Рисунок 7.14 - Мультисенсорна технологія: типові способи застосування різних сенсорів

ТЕМА 8. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАШИН

Сучасні мультисенсорні координатно-вимірювальні машини забезпечують виконання широкого спектру вимірювальних завдань різної складності. Вимоги до кваліфікації операторів також різні; на машинах можуть працювати як люди, що пройшли невеликий курс навчання і виконують вимірювання лише час від часу, так і фахівці-метрологи, в повному обсязі які застосовують всі технічні можливості системи і виконують надзвичайно складні вимірювальні завдання.

Програмне забезпечення має модульну структуру, яка дозволяє задовольнити всі вимоги до координатно-вимірювальних машин (див. рис. 8.1).

Необхідні програмні модулі та конфігурації користувальницького інтерфейсу запускаються в роботу за допомогою пароля (в залежності від наявної завдання). Таким чином, для роботи в різних системах - від простого вимірювального проектора до багатоосної координатно-вимірювальної машини, обладнаної великою кількістю датчиків, можна використовувати один стандартний програмний пакет.

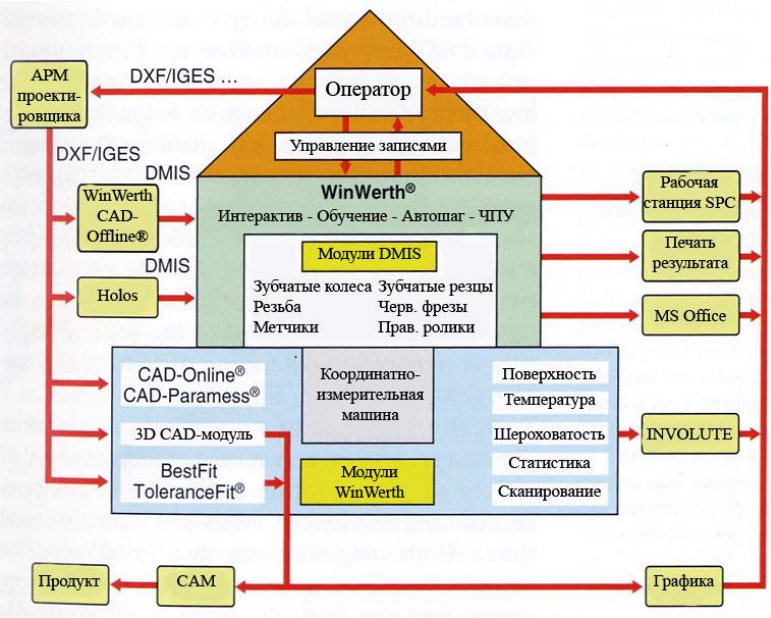


Рисунок 8.1 – Модальна структура програмного забезпечення машини портального типу з рухомим порталом (Werth SCOPE-CHECK® MB 1600)

Найбільший стандартний діапазон виміру дорівнює 2 × 2 × 0,8 м. Машини з великим вимірювальним діапазоном зви-но оснащуються рухомим порталом.

Інтерактивні графічні вимірювання

«Інтелектуальне» програмне забезпечення автоматично виконає завдання, такі як знаходження предметної області, необхідної для

оцінювання (завдання вікна), визначення вимірюваного геометричного елемента (пряма, коло) і логічних алгоритмів для визначення інтервалів і кутів («Autoelement», рис. 8.2).

Для того, щоб виміряти кут за допомогою датчика обробки зображень, оператору потрібно просто позначити приблизну позицію двох розглянутих сторін і натиснути на кнопку «Виміряти». В результаті обидві сторони автоматично постануть у вигляді прямих ліній. Виміряні таким чином геометричні елементи відображаються графічно. Тепер, натиснувши на обидві лінії курсором миші, можна визначити утворений ними кут. Якщо натиснути на кнопку «Виміряти», програма розцінить введені вами дані як вимір кута і видасть результат. Програма має і інші функції, які можна використовувати для визначення інтервалів, радіусів кривих, форм дуги і кутових точок.

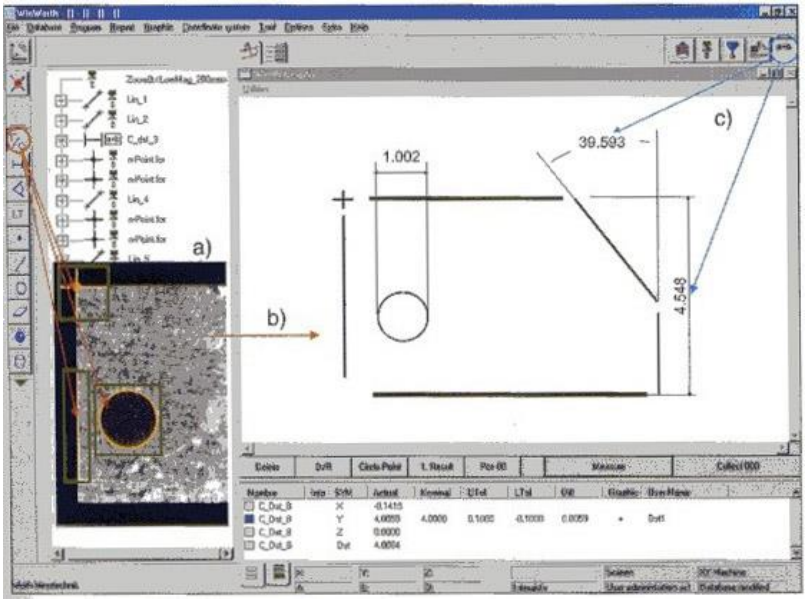


Рисунок 8.2 – Інтерфейс програмного забеспечення.

a) У режимі Autoelement виконується автоматичне визначення на зображенні об'єкта таких геометричних елементів, як точки, прямі лінії і кола. b) Ці елементи відображаються на дисплеї у вигляді

робочого креслення. с) Такі елементи, як кути і інтервали, вимірюються автоматично або створюються одним клацанням миші.

Якщо вимірювальна задача занадто складна у порівнянні з вищеописаною, оператор може виконати окремі її елементи, які є автоматичними процесами (наприклад, завдання вікна або вибір елемента), щоб познайомитися з покрокового управлінням операцією вимірювання. У цьому випадку всі задані вимірювання можна зберігати і при необхідності викладати у вигляді автоматично виконуваних операцій. Більш того, на машині можуть працювати оператори, які не знайомі з подробицями процедури вимірювання. У такій ситуації в програмному забезпечені можна вибрати номер необхідної деталі і запустити відповідну послідовність дій. Також це можна зробити шляхом автоматичного сканування штрих-коду на виробниче замовлення.

Програмування складних послідовностей вимірювання

Вибір датчика здійснюється безпосередньо в користуванні інтерфейсі мультисенсорной координатно-вимірювальної машини. Крім усього іншого програма приймає в розрахунок відстань між датчиками. Це відстань визначається шляхом тарировки каліброваного зразка (сфери). Необхідною умовою для цього є фіксоване положення еталона, в якому він доступний для всіх застосовуваних датчиків. В процесі тарировки датчики використовуються для виконання послідовності вимірювання в різних поєднаннях (наприклад, для «захоплення» місця розташування отвору шляхом оптичного вимірювання, а потім для вимірювання осьового напрямку і форми цього отвору щупом). Крім того, можна виконати контактний вимір просторового положення деталі, а потім вирівняти систему координат деталі та оптично виміряти невеликі складні елементи. Тривалість налаштування в процесі зміни датчиків таким чином зводиться до нуля, і весь процес вимірювання виконується без повторної установки деталі.

Програмування складних послідовностей вимірювання підтримується відповідними інструментами, вбудованими у вимірювальне програмне забезпечення WinWerth®. Особливо корисним є опція Feature Tree («дерево елементів»), що містить плани вимірювань і організуюча програма в якості деревовидної структури

(рис. 8.4). Шляхом простого клацання по конкретному об'єкту оператор може виділити геометричні елементи, з яких він складається. Далі за допомогою таких же клацань здійснюється перехід до операції окремого виміру і відповідних йому технологічних параметрів (щуп і освітлення). Поруч з деревом елементів відображаються відповідні опції, геометричні елементи і результати вимірювання; візуалізація йде в графічному і числовому видах. Логічні операції можна програмувати або в дереві елементів, або в графічному вигляді. Також дерево елементів можна використовувати для управління режимами тестування і редагування покрокових програм і програми навчання.

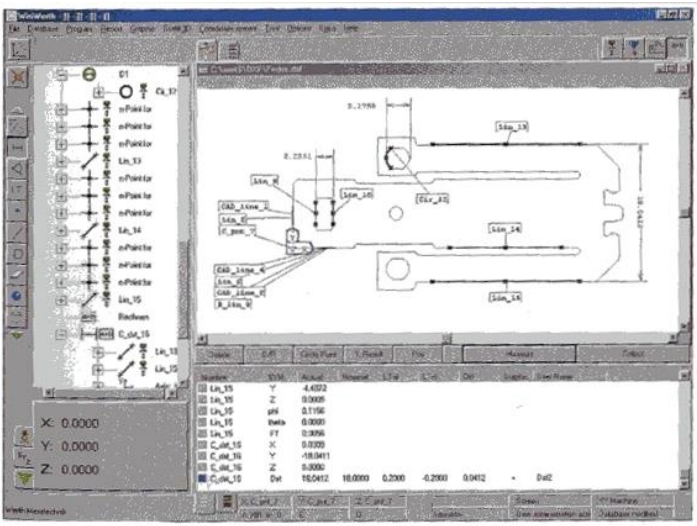


Рисунок 8.4- Інтерфейс для редагування складних послідовностей вимірювання за допомогою дерева елементів (зліва), графічного образу з фактичними розмірами (зверху справа) і журналом вимірювань в числовому вигляді (внизу праворуч).

Для вимірювання відхилень форми і положення деталі необхідна велика кількість вимірюваних точок. Це єдиний спосіб визначення фактичної форми деталі і виконання подальшої її оцінки на підставі результату. Збір даних про вимірювані точки здійснюється шляхом сканування. Це стає можливим тільки завдяки використанню системи контактного вимірювання і лазерного датчика Фуко. Контактні тригерні системи також мають у своєму розпорядженні цю

функцію; проте для її виконання їм потрібно більше часу. При скануванні за допомогою системи обробки зображень виконується автоматичне комбінування декількох зображень для формування єдиного загального контуру, поки цей контур простежується системою контактного вимірювання. Розміри таких контурів обмежуються тільки вимірювальним діапазоном машини, який використовується для сканування. Контури можна оцінювати за розміром, формою і позицією. Визначення допуску на розмір на основі загальноприйнятих пов'язаних елементів Гаусса не дає точного результату. З цієї причини допуск на розмір часто слід розраховувати методами мінімального описаного і максимального вписаного кіл. Такі розрахунки автоматично забезпечуються вимірювальним програмним забезпеченням.

Вимірювання за допомогою даних CAD

Наближене обчислення сканованих контурів або поверхонь в основному обмежується до розрахунку звичайних геометричних елементів - циліндрів, площин, прямих ліній, сфер і кілець. Однак сучасні методи виробництва все більшою мірою дозволяють виготовляти деталі незв'язаних форм, для яких звичайні форми вже не приймаються в розрахунок. Незв'язані форми можуть бути описані тільки у вигляді моделей CAD.

Досліджувані ділянки об'єкта вимірюються шляхом сканування. Потім модулі вимірювальної програми порівнюють значення з моделлю CAD в автономному режимі роботи. Крім цього, можна підключити програмний модуль CAD безпосередньо до вимірювальної машині. В цьому випадку досліджувані ділянки спершу виділяються в моделі CAD, а потім автоматично вимірюються за допомогою обраного механізму датчика. Результати оформляються або у вигляді графічного порівняння, або у вигляді графічного відображення відхилень від моделі CAD (рис. 8.5).

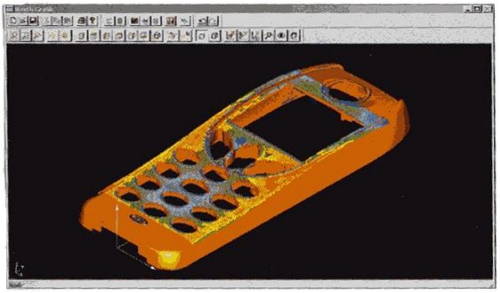


Рисунок 8.5- Вимірювання тривимірних поверхонь за допомогою даних CAD на прикладі відсканованої пластикової деталі.

Кольори вимірюваних точок позначають ступінь відхилення номінальної форми від фактичної. Тут можна виділити чотири класа відхилень: «позитивне в межах допуску», «негативне в межах допуску», «позитивне за межами допуску», «негативне за межами допуску». Можливість зміни датчиків дозволяє вимірювати поверхню деталі цілком навіть в тих випадках, коли вона має складну форму. Вбудовування в вимірювальну систему поворотних осей дозволить включити в вимір різні плани, і деталь можна буде вимірювати з усіх боків. Залежно від вимог до задачі результати вимірювання можна відображати або в системі координат раніше відкаліброваного еталона (наприклад, в системі координат засобу пересування в автомобільній промисловості), або в тій системі координат, яка є оптимальною для обраних ділянок поверхні. Місцезнаходження точок вимірювання оптимізується тут відносно моделі CAD таким чином, щоб відхилення були якомога менше.

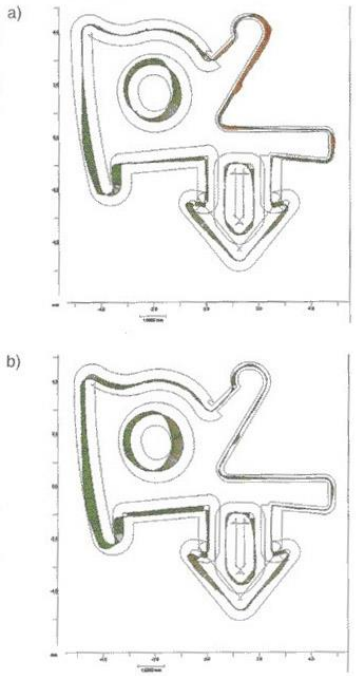
Далі на прикладі двовимірної ділянки будуть представлені дві стратегії оптимізації. У першому випадку розташування точок фактичного вимірювання оптимізується шляхом мінімізації відстаней від номінальних точок (Werth BestFit). Оскільки допуски різних ділянок об'єкта не беруться до уваги, при певних обставинах визначаються значення, які виходять за межі допусків, не дивлячись на те, що допуски можна підтримати шляхом зсуву системи координат.

Цей метод лише побічно підходить для контролю якості. Однак він часто використовується для коригування даних CAD в цілях підвищення якості продукції на наступній стадії виробництва. Критерієм оптимізації по другому методу (Werth ToleranceFit®)

служить підтримання максимальної відстані між точкою вимірювання і межею допуску або, в тому випадку, якщо точка вимірювання вже виходить за межі допуску, збереженню величини відхилення від межі допуску на мінімальному рівні. Точне вимірювання виконується аналогічно вимірюванню за допомогою калібру-пробки. На рис. 8.6 показано, що об'єкт, визнаний дефектним за методом BestFit (присутні червоні ділянки), але в дійсності не є дефектним, може бути визнаний придатним за методом ToleranceFit®.

Ще однією перевагою модулів CAD, вбудованих в через міряльне програмне забезпечення, є те, що інформацію CAD можна використовувати для позиціонування координацію-кімнатній-вимірювальної машини. Послідовністю вимірювання можна управляти шляхом вибору геометричних елементів в моделі CAD. Вимірювальна машина автоматично переміщається на позиції, що створюються таким чином. Цей режим роботи називається режимом CAD-Online®. Такі технологічні параметри, як освітлення для датчика обробки зображень, можна регулювати за допомогою прямого зв'язку вимірювальної машини і вимірюваної деталі.

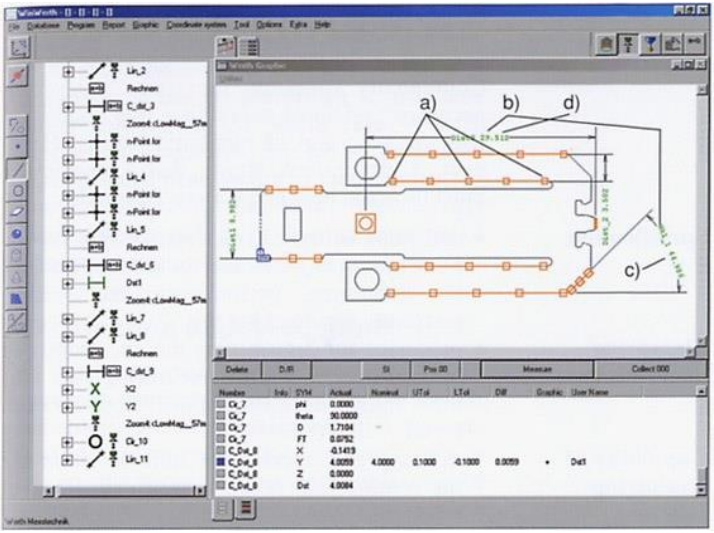
Ту ж конфігурацію програмного забезпечення можна використовувати без вимірювальної машини - на робочої станції CAD-Offline®. В цьому випадку програми вимірювання створюються і тестуються на моделі CAD. Це дозволяє зберегти цінний машинний час і гарантувати своєчасну підготовку планів вимірювання ще до того, як буде проведена перша деталь. Фактори, що впливають на характеристики деталі, можна змінювати під час проведення покрокового тестового вимірювання.



(a) Werth BestFit (b) Werth ToleranceFit

Рисунок 8.6 - Порівняння результатів оптимізації методами Werth BestFit та Werth ToleranceFit для одного і того ж об'єкта

Основною перевагою описуваного рішення є те, що весь процес роботи ґрунтується на універсальній концепції. Послідовне використання одних і тих же програмних пакетів віртуальним чином виключає можливість появи конфліктів. Зворотна картина спостерігається при купівлі програмних робочих станцій не у виробника координатно-вимірювальних машин. На рис. 8.7 показаний план вимірювання, будівлі шляхом програмування даних CAD в двовимірному графічному вікні. Спосіб розподілу точок вимірювання або вікон обробки зображення по моделі CAD очевидний. Таким чином стає можливою графічна симуляція послідовності виміру в автономному режимі роботи.



a) вікно обробки зображення; b) позначення елемента; c) розмір в кутовому висловлюванні; d) величина

Рисунок 8.7 - Werth CAD-Online і Werth CAD-Offline - програмування за допомогою даних CAD: графічне відображення плану вимірювання для двовимірного об'єкта

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. Ловейкін, В. С., Ромасевич, Ю. О., & Крушельницький, В. В. (2020). Мехатроніка: підручник. Київ: 405 с.

2. Михайлов, Є. П. (2024). Комп'ютерне конструювання елементів машин: навчальний посібник. Одеса: Національний університет «Одеська політехніка». 233 с.

3. Семенюк, В. Ф., & Михайлов, Є. П. (2024). Мехатроніка: навчальний посібник для студентів бакалаврів. Одеса: Національний університет «Одеська політехніка». 130 с.

4. Нічога, В. О., & Дуб, П. Б. (2021). Розробка і застосування індукційних сенсорів для інформаційно-діагностичних систем: монографія / за ред. І. Н. Прудиуса. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 723 с.

5.Kief, H. B., Roschiwal, H. A., & Schwarz, K. (2022). The CNC Handbook. New York: Industrial Press. ~900 p.

6. Schmitz, K., & Smith, A. (2020). Mechanical Vibrations: Modeling and Measurement. Cham: Springer. 315 p.

7. Technology of Machine Tools. (2022). Revised edition. New York: McGraw-Hill. 450 p.

8. Handbook of Machine Tool Analysis. (2022). Monograph. Boca Raton: CRC Press. 650 p.

9. Fan, K. C. (Ed.). (2022). Manufacturing Metrology. Basel: MDPI. 410 p.

10. Bleibel, F. (2020). Machine Tool Metrology: Measurement Systems and Sensors. Cham: Springer. 370 p.

11. Weckenmann, A., & Knapp, W. (2021). Coordinate Metrology: Accuracy of Systems and Measurements. Cham: Springer. 280 p.

12. Pfeifer, T., & Schmitt, R. (2021). Quality Management and Manufacturing Metrology. Cham: Springer. 365 p.