

УДК 621.9.08

Денисюк В.Ю.

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2024-24-05

Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНСТРУЮВАННЯ ТА МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИЛАДІВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ

В статті описано основні умови вибору схеми контролю в процесі обробки для забезпечення високої точності вимірювання. Встановлено, що даний час у приладах активного контролю для шліфувальних верстатів найбільше поширення отримав індуктивний принцип перетворення розміру в покази шкального або цифрового індикатора. Описано основні метрологічні характеристики приладу активного контролю, функціональний зв'язок приладу з верстатом, їх компонування та обмін сигналами між верстатом та приладом. Також описано способи контакту вимірювальних наконечників приладів активного контролю з оброблюваною деталлю для визначення точності та надійності вимірювання.

Ключові слова: вимірювання, прилад активного контролю, точність, похибка, оброблення, система, верстат, сигнал, наконечник.

Постановка проблеми. Прилад автоматичного контролю розмірів деталей та інструменту на металорізальних верстатах є органічною та необхідною складовою системи верстат-прилад. Тому при конструюванні приладу та верстата необхідно забезпечити правильний функціональний зв'язок, компонування та обмін сигналами (командами) між верстатом та приладом. Кінцева мета металообробки – отримання деталей заданої точності за розміром, за відхиленнями форми та шорсткості поверхні із заданою продуктивністю. Щоб вирішити це завдання, необхідно правильно вибрати всі елементи конструкції верстата та приладу активного контролю, підібрати цикл та режими обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Точність деталей забезпечується верстатом та технологією обробки, а роль приладу зводиться до автоматизації процесу обробки шляхом видачі в систему керування верстата інформації про величину безперервно змінного припуску деталі або заготовки, інформації про швидкість знімання припуску та інші параметри циклу. Ця інформація використовується для зміни режимів різання і видачі команди закінчення обробки, тобто забезпечує зворотний зв'язок за оброблюваним розміром. Основна вимога до приладів активного контролю полягає в тому, щоб дискретна або безперервна інформація про розмір оброблюваної деталі, що надходить від приладу до системи управління верстата, з мікронною точністю відповідала розміру деталі у контрольованому перерізі. Причому ця інформація не повинна відставати за часом від швидкості знімання припуску [1, 2, 3].

У більшості випадків вимірювання при активному контролі на шліфувальних верстатах проводяться відносним способом шляхом налаштування приладу за атестованим зразком [4].

Мета роботи полягає у підвищенні точності обробки деталей при автоматичному розмірному контролі за рахунок принципів вибору приладів та їх вузлів, а також вимог до верстата та технології обробки.

Викладення основного матеріалу. Основна умова при виборі схеми контролю в процесі обробки – забезпечення високої точності вимірювання. При активному контролі застосовують такі способи та схеми вимірювання:

- пряме вимірювання;
- непряме вимірювання;
- двоконтактне вимірювання;
- одноконтактне вимірювання;
- триконтактне вимірювання;
- координатне вимірювання.

При обробці деталей на круглошліфувальних та внутрішньошліфувальних верстатах з приладами активного контролю найкращий результат отримують при прямому вимірюванні безпосередньо того розміру, значення якого необхідно забезпечити (рис. 1, а). У більшості випадків для отримання заданого значення діаметра D використовують двоконтактне вимірювання.

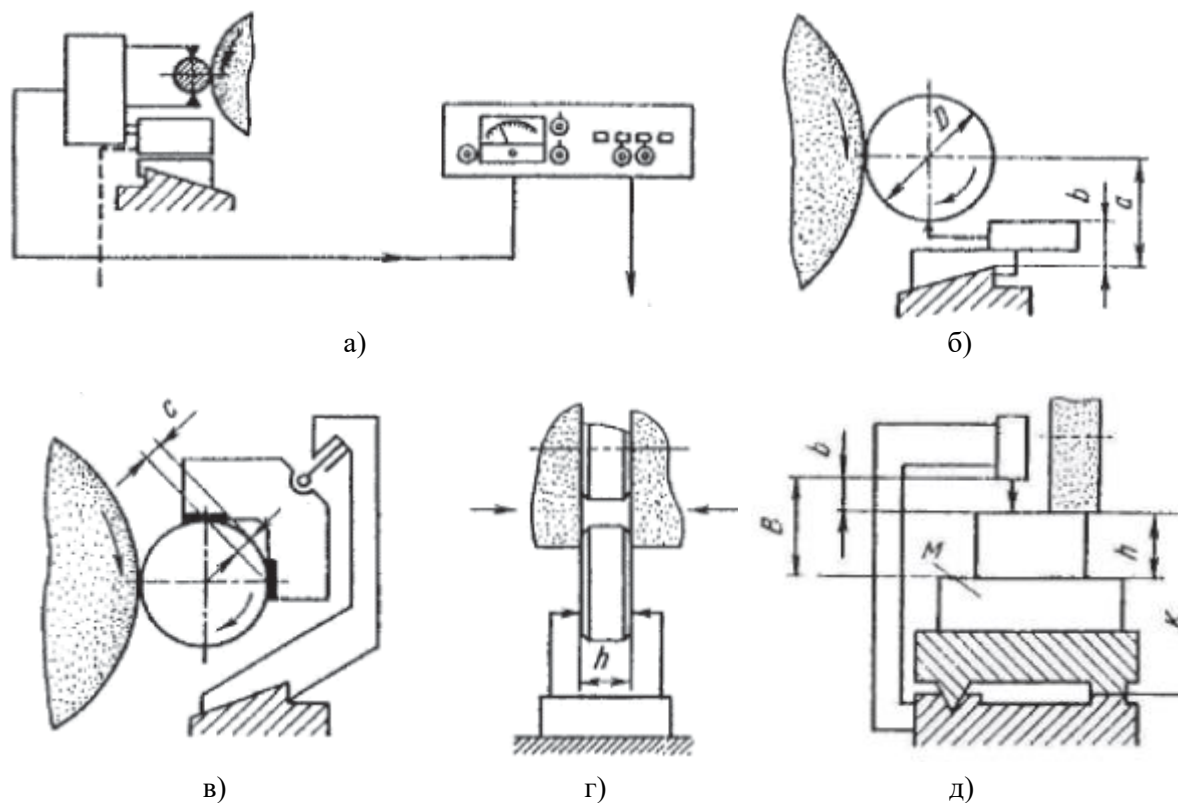


Рисунок 1 – Схеми вимірювання при шліфуванні з приладами активного контролю

В одноконтактній схемі (рис. 1, б) вимірюється відстань b від місця закріплення вимірювального оснащення до оброблюваної поверхні валу. При цьому вимірювання діаметра D з потрібною точністю забезпечується тільки у тому випадку, якщо відстань від місця закріплення пристрою до бази (осі центрів) зберігається постійною в період між підналаштуваннями приладу. Одноконтактну схему вимірювання на круглошліфувальних верстатах застосовують головним чином при осьовій орієнтації (позиціонуванні) оброблюваної деталі відносно торця шліфувального круга.

У схемі контролю за допомогою сідлоподібного пристрою (рис. 1, в) непостійність бази не впливає на результат вимірювання. Однак, оскільки у цьому випадку здійснюється непряме визначення діаметра шляхом вимірювання величини з практично постійною (у момент закінчення обробки) хордою, то на результат вимірювання впливає некруглість поперечного перерізу оброблюваної деталі.

Таким чином, найвищу точність вимірювання діаметра можна забезпечити лише застосуванням двоконтактної схеми прямого вимірювання. Аналогічним чином вибирають схему вимірювання при зовнішньому безцентровому і внутрішньому шліфуванні, хонінгуванні тощо.

При плоскому шліфуванні в основному визначається значення h висоти (або товщини) деталі, але найкраще безпосереднє вимірювання цього значення (рис. 1, г). Однак останнє можливе лише у тих випадках, коли обидва торці деталі відкриті. У більшості випадків плоске шліфування виконується під час базування оброблюваної деталі на магнітній плиті верстата. При цьому відкритим для вимірювання залишається тільки один торець, і прилад може вимірювати тільки відстань від цього торця до станини верстата (рис. 1, д). У цьому випадку на точність вимірювання впливають непостійність зазору напрямних стола верстата, температурні та силові деформації кронштейна приладу, стола верстата та магнітної плити M .

Підвищення точності в даному випадку можна досягнути за рахунок додаткового вимірювання положення базуючої площини магнітної плити (рис. 1, д), де висота h деталі відповідає різниці відстаней B і b від вимірювального пристрою до поверхні магнітної плити і оброблюваної поверхні деталі (рис. 2).

Якщо ж важко розмістити контактні наконечники та компоувати прилад таким чином, щоб вимірювати безпосередньо оброблюваний розмір, наприклад, при контролі великих розмірів, то визначають його непрямим способом, наприклад, методом обкатування.

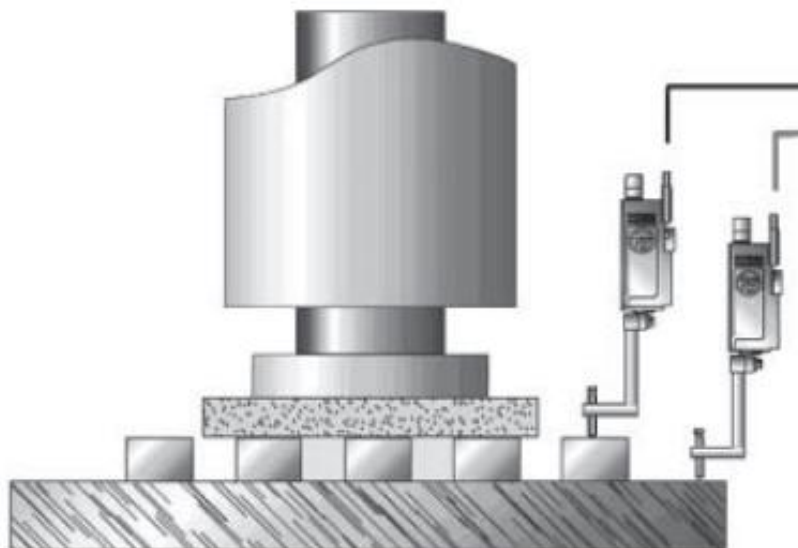


Рисунок 2 – Схема вимірювання при плоскому шліфуванні

В даний час у приладах активного контролю для шліфувальних верстатів найбільше поширення отримав індуктивний принцип перетворення розміру в покази шкального або цифрового індикатора.

Індуктивні прилади, що випускаються мають кілька конструктивних модифікацій, призначених для різного вимірювального оснащення. Застосовують лише диференціальні індуктивні перетворювачі – трансформаторні та напівмостові [1].

Пневматичний принцип перетворення застосовують рідко: лише при хонінгуванні та в підналагоджувачах для контролю діаметрів отворів малого діаметра після обробки. Однак і в цих випадках вимоги до швидкодії приладу змушують застосовувати пневматику у поєднанні з електронікою. Такий прилад зазвичай складається з пневматичної системи з пневматичною пробкою, пневмоіндуктивного або пневмотензометричного перетворювача та мікропроцесорного електронного блоку з цифровим відліком. На одноцільових та багатоцільових верстатах з лезовим інструментом, оснащених системою ЧПК, застосовують лінійні та кутові енкодери та датчики торкання, які служать для позиціонування та вимірювання інструменту та вимірювання розмірів заготовок, оброблюваних та оброблених деталей [5].

Засоби контролю з механічним перетворювачем у вигляді жорстких калібрів застосовують при хонінгуванні отворів. Обмежена точність, труднощі отримання декількох команд, неможливість регулювання розміру та гнучкого управління циклом обробки, відсутність спостереження за ходом обробки за шкалою та швидке зношення калібрів роблять цей метод неперспективним. Застосування його можливе тільки в спеціальних випадках, наприклад, при хонінгуванні, коли весь припуск знімається на одному режимі при дуже малих подачах.

При круглому шліфуванні на універсальних верстатах особливо часто у ремонтному виробництві застосовують механічні триконтактні навісні індикаторні скоби.

Оптоелектронні лінійні енкодери застосовують у приладах активного контролю з великими діапазонами вимірювань на шліфувальних верстатах з ЧПК та при контролі великих діаметрів на вальцешліфувальних верстатах. Головним чином їх застосовують для вимірювання переміщень та позиціонування вузлів на верстатах з лезовим інструментом спільно з датчиками торкання [5].

Діапазон вимірювання приладу активного контролю визначається припуском на обробку. При шліфуванні припуск зазвичай не перевищує 0,5-1,0 мм, тому діапазон вимірювання у більшості приладів, що випускаються, вибирається від -100 до $+500$ або від -100 до $+1000$ мкм. Діапазон вимірювання вимірювального оснащення та індуктивного перетворювача зазвичай не перевищує 1,0 мм. Тим не менш шкальний або цифровий блок керування калібрується зазвичай у діапазоні від -100 до $+500$ мкм або трохи більше з урахуванням необхідності налаштування приладу [4].

Межа вимірювання приладу значно більша, ніж діапазон вимірювання за шкалою. Межа вимірювання – величина, яку можна перебудувати вимірювальне оснащення (скоби, одноконтактні головки). Вимірювальне оснащення забезпечене змінними або перенастроюваними державками і наконечниками, які дозволяють вимірювати вироби різних розмірів. Наприклад, двоконтактні скоби для вимірювання зовнішніх діаметрів на круглошліфувальних верстатах дозволяють вимірювати діаметри в діапазоні від 2,5 до 80 мм. Аналогічно будується все вимірювальне оснащення приладів активного контролю.

Ціна поділки шкали або дискретність цифрової індикації – це зміна вимірюваної величини, що відповідає переміщенню вказівника на одну поділку шкали або кроку дискретності цифрової індикації. В аналогових приладах із шкальним індикатором часто є дві шкали: груба з ціною поділки 10 мкм та точна з ціною поділки 1,0 мкм. У деяких випадках, наприклад, у приладах для спряженого шліфування ціна поділки шкали становить 0,5 мкм.

У приладах із цифровою індикацією крок дискретності становить 0,1 мкм. Зрідка для більш грубих приладів вибирається крок дискретності 0,5 або 1,0 мкм. Діапазон показів цифрового пристрою автоматично виходить рівним $\pm 999,9$ мкм. Хоча для спостереження за перебігом обробки з дискретністю 0,1 мкм такий діапазон явно надмірний, а іноді і незручний, але він корисний, тому що дозволяє дуже точно налаштувати прилад за зразковою деталлю (на нуль) та встановити рівні спрацювання керуючих команд. Прилади з такою індикацією добре лінеаризуються при калібруванні.

Важлива метрологічна характеристика будь-якого вимірювального приладу – його чутливість (або роздільна здатність) – відношення переміщення покажчика шкали або зміна дискрети цифрового індикатора до вимірюваної величини, що викликала її зміну. Чутливість приладу активного контролю є безрозмірною величиною та рівноцінна передатному відношенню. Значення передавального відношення можуть становити 1000, 5000 та 10000. Це значення передавального відношення вибирається залежно від призначення приладу. Реальна чутливість приладу може бути істотно вищою і визначається величиною мінімального переміщення, яке може відчувати вимірювальне оснащення та індуктивний перетворювач і видати відповідний вихідний сигнал.

Прилад активного контролю для шліфувальних верстатів складається з трьох перетворюючих вимірювану величину елементів – механічного вимірювального оснащення (скоба, головка), індуктивного (або іншого) перетворювача та електронного блоку. Передатне відношення вимірювального оснащення намагаються обирати 1:1. Але іноді з конструктивних міркувань роблять менше 1:2 чи 1:3. У індуктивного перетворювача вибирається найбільш чутлива ділянка робочої характеристики, як правило, поблизу електричного нуля. За допомогою підсилювачів електронного блоку встановлюють задану ціну поділки чи дискретність цифрової індикації.

При установці приладу активного контролю на верстат необхідно забезпечити правильну, зручну та безпечну роботу приладу на верстаті, послідовність рухів вузлів приладу та верстата, забезпечити обмін цикловими командами приладу та верстата з метою зміни режимів різання та закінчення обробки, коли розмір деталі досягне заданого рівня.

За допомогою гідравлічної системи шліфувального верстата здійснюється переміщення вимірювального оснащення приладу: введення в положення вимірювання та відведення для встановлення та знімання оброблюваної деталі, а іноді і арретування вимірювальних важелів та контактних наконечників приладу. Часто арретування вимірювальних важелів приладів активного контролю здійснюють від пневматичної системи верстата чи заводської мережі.

Зв'язок приладу з верстатом для керування режимами обробки здійснюється за допомогою електричних команд (інтерфейсу), якими прилад та верстат обмінюються протягом циклу обробки. Використовують кілька видів обміну:

- найчастіше прилади видають на верстат і отримують від верстата релейні команди замикання або розмикання контактів електромагнітних реле. Розривна потужність контактів реле, що застосовуються в приладах, досягає 500 ВА при напрузі 110 або 220 В змінного струму. Такими потужними контактами можна включати безпосередньо силові електромагнітні пристрої (пускатчі, електромагніти) верстата;

- використовують команди у вигляді потенціального вихідного сигналу 24 В постійного струму, який включає малопотужні електромагнітні реле верстата. У вхідних та вихідних ланцюгах приладу застосовують так звані оптоелектронні розв'язки (оптрони), які захищають прилад від мережевих перешкод;

– при встановленні приладів на верстаті з ЧПК вихідна інформація видається у систему управління верстата у вигляді аналогового сигналу постійного струму. Аналоговий вихід індуктивних приладів має лінійну характеристику в діапазоні від -2 до $+10$ В з чутливістю $10-20$ мВ/мкм;

– на верстатах з ЧПК прилади можуть видавати кодові сигнали у вигляді інтерфейсу RS 232 згідно з протоколом обміну.

Крім керуючого інтерфейсу на зміну циклу подачі абразивного круга та його відведення при досягненні заданого розміру сучасні мікропроцесорні прилади видають у систему ЧПК верстата додаткову інформацію у цифровому вигляді про припуск, що залишився, швидкість знімання припуску, відхилення форми контрольованої поверхні та інформацію, необхідну для адаптивного керування.

Спосіб контакту вимірювальних наконечників приладу активного контролю з оброблюваною деталлю має принципове значення, оскільки визначає точність та надійність вимірювання. При контролі розміру у процесі обробки на шліфувальних верстатах вимірювана поверхня швидко переміщається під вимірювальними наконечниками, нагрівається в процесі різання та обливається змащувально-охолоджувальною рідиною, що зумовлює вимоги, що пред'являються способу контакту вимірювального оснащення з контрольованою деталлю. При активному контролі застосовують безконтактне, але частіше контактне вимірювальне оснащення.

Безконтактне оснащення має переваги перед контактним при контролі рухомої поверхні, але воно рідко застосовується для активного контролю. Безконтактне оснащення значно простіше контактного, не має рухомих елементів, не зношується і не залишає сліду на контрольованій поверхні.

Мале поширення безконтактного пневматичного оснащення пояснюється конструктивними міркуваннями. Безконтактне пневматичне оснащення застосовують при хонінгуванні, де сопла жорстко встановлені в хонінгувальній головці і не вимагають налаштування, а також для точних вимірювань у вигляді неперенастроюваних пристроїв (головним чином пневматичних калібр-пробок), виконаних для контролю одного розміру.

Точність безконтактного пневматичного оснащення залежить від шорсткості контрольованої поверхні, оскільки нею обумовлена поява похибки δ_{Ra} на кожне сопло:

$$\delta_{Ra} = 0,5Ra. \quad (1)$$

Тому безконтактне пневматичне вимірювання практично здійснюють при шорсткості поверхні трохи більше $Ra < 1,6$ мкм.

Систематична складова похибки визначається різницею між шорсткістю поверхні деталі, за якою налаштовують прилад, та шорсткістю оброблюваних деталей. Наявність випадкової складової обумовлено різницею шорсткостей деталей, що обробляються.

В даний час почали з'являтися безконтактні лазерні прилади. Поки що такі прилади застосовують для вимірювання інструменту на верстаті та попереднього налаштування інструменту поза верстатом [5].

Контактні вимірювальні пристрої для контролю в процесі обробки на шліфувальних верстатах оснащують лінійними та сферичними контактними наконечниками. З метрологічної точки зору слід віддавати перевагу сферичним наконечникам невеликого радіусу (1-2 мм). Однак при виборі форми наконечників необхідно враховувати можливу нестабільність їхнього положення відносно контрольованої поверхні та її форму. При контролі циліндричних деталей на круглошліфувальних верстатах використовують сферичні, циліндричні та ножеподібні наконечники з лінійним контактом, при контролі отворів на внутрішньошліфувальних верстатах застосовують сферичні наконечники малого радіусу, при плоскому шліфуванні використовують сферичні наконечники великого радіусу та наконечники у формі ролика з лінійним контактом.

Матеріалом для наконечників є твердий сплав і штучні або природні алмази з шорсткістю робочої поверхні $Ra = 0,1-0,2$ мкм. Твердий сплав застосовують у вигляді циліндрів малого діаметра. У більшості випадків застосовують штучні алмази, впаяні у спеціальні оправки. Природні алмази (крихту) застосовують для наконечників невеликих розмірів, наприклад, при контроль отворів малого діаметра.

Висновки. Управляючі прилади активного контролю забезпечують підвищення точності та продуктивності технології виготовлення виробів у машино- та приладобудуванні. Впровадження сучасних систем контролю та управління в металообробне обладнання дозволяє

виробляти деталі з високою точністю, адаптивно пристосовуватися до зовнішніх впливів, що змінюються. Для забезпечення високої точності обробки в сучасне металообробне обладнання впроваджують засоби автоматичного контролю розмірів, позиціонування, а також оснащують різними інтелектуальними датчиками, енкодерами лінійного та кутового переміщення механізмів верстата. Прилади контролю розмірів деталей забезпечують безперервний моніторинг роботи металообробного обладнання, і отримувана інформація використовується для зміни режиму подачі інструменту і припинення роботи при досягненні заданої позиції.

Інформаційні джерела

1. Марчук В. І, Михалевич В. Т. Автоматизоване управління точністю оброблення деталей: монографія. Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2013. 184 с.
2. Денисюк В. Ю., Пташенчук В. В. Аналіз похибок обробки деталей при автоматичному розмірному контролі. «Перспективні технології та прилади»: зб. статей. Луцьк, 2023. Вип. 22. С. 31–37.
3. Денисюк В. Ю. Визначення похибок обробки деталей при використанні засобів активного контролю. «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2023)»: зб. тез доп. XIII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернігів, 25–26 травня 2023 р. Чернігів, 2023. Т. 1. С. 115–116.
4. Денисюк В. Ю., Симонюк В. П., Лапченко Ю. С., Новосад Б. І. Метрологічне забезпечення точності приладів активного контролю в процесі обробки. «Перспективні технології та прилади»: зб. статей. 2020. Вип. 16. С. 38–47.
5. Денисюк В. Ю., Пташенчук В. В. Методика проєктування високоточних оптико-електронних приладів для безконтактного автоматичного вимірювання лінійних переміщень. «Перспективні технології та прилади»: зб. статей. Луцьк, 2023. Вип. 23. С. 22–28.

V. Denysiuk

Lutsk National Technical University

ANALYSIS OF THE FEATURES OF DESIGN AND METROLOGICAL PROVISION OF ACTIVE CONTROL DEVICES

The article describes the main conditions for choosing a control scheme in the processing process to ensure high measurement accuracy. It has been established that currently in active control devices for grinding machines, the inductive principle of converting size into scale or digital indicator readings is the most widely used. The main metrological characteristics of the active control device, the functional connection of the device with the machine, their layout and the exchange of signals between the machine and the device are described. Methods of contact of the measuring tips of the active control devices with the processed part to determine the accuracy and reliability of the measurement are also described.

Key words: *measurement, active control device, accuracy, error, processing, system, machine, signal, tip.*