

УДК 621.9.08-52

Денисюк В.Ю., к.т.н., Симолюк В.П., к.т.н., Лапченко Ю.С., к.т.н., Новосад Б.І.
Луцький національний технічний університет

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРИЛАДІВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ В ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ

В статті розглянуто методи підвищення точності розмірних параметрів деталей шляхом виявлення механізму взаємозв'язків конструктивно-технологічних особливостей деталей, які обробляються, та метрологічної точності приладів автоматичного управління і контролю процесом металообробки. Описано методіку визначення похибки показів та інших характеристик точності приладів для шліфувальних верстатів за допомогою жорсткої стійки, забезпеченої опорним столиком і кронштейном для кріплення вимірювального засобу, який перевіряється та зразкового цифрового індикатора, за яким відзначають переміщення столика. Встановлено, що суттєвим резервом підвищення точності обробки на металообробних верстатах є використання системи автоматичного регулювання за вихідним параметром із застосуванням відповідного приладу активного контролю. При цьому прилад повинен мати аналоговий або дискретний вихід і певні динамічні властивості, які визначають динамічні властивості всієї системи і допустиму похибку.

Ключові слова: активний контроль, налагодження, прилад, система, похибка, вимірювання, перевірка, наконечник, аретування, точність, калібрування.

Постановка проблеми. У машино- та приладобудівному виробництві багато деталей виготовляють з високою розмірною точністю. Висока точність геометричних розмірів і форми деталей забезпечує правильне функціонування, надійність і довговічність роботи механізмів і машин. Точність розмірів деталей визначає можливість їх правильного складання та взаємозамінності, що дозволяє істотно знизити витрати при виготовленні, ремонті та експлуатації механізмів машин і приладів. Підвищені вимоги до точності обробки призводять до зростання трудомісткості обробки і вартості виготовлення даних деталей [1, 2].

Для забезпечення високої точності обробки верстата постачають автоматичними засобами контролю розмірів оброблюваних і оброблених деталей, засобами контролю лінійних і кутових переміщень вузлів і механізмів верстата, позиціонування і настройки інструменту.

Активний контроль і контроль переміщень на верстатах особливо ефективні при малих допусках на виготовлення деталей і при фінішній, прецизійній обробці, головним чином при шліфуванні і хонінгуванні. Крім підвищення точності обробки, активний контроль і контроль переміщень і позиціонування інструменту на верстатах забезпечують повну автоматизацію процесу обробки з замкнутим зворотним зв'язком за розміром оброблюваної деталі [3, 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автоматизовані системи активного контролю призначені для вимірювання геометричних розмірів деталей у процесі їх оброблення і управління технологічним обладнанням за результатами цих вимірювань [5].

Контроль розмірів може виконуватись як у зоні обробки – операційний контроль (рис. 1), так і поза зоною оброблення – виносний контроль.

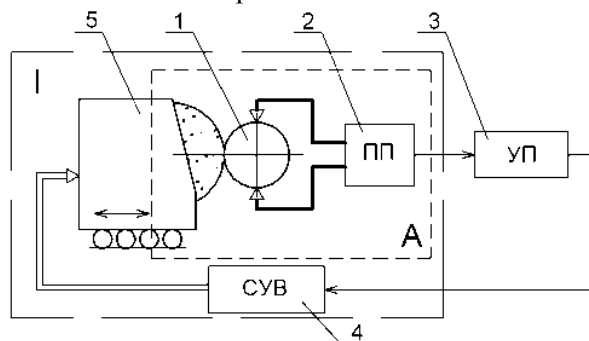


Рис. 1. Схема операційного контролю:

I – верстат. 1 – деталь, що обробляється; 2 – первинний вимірювальний перетворювач; 3 – управляючий прилад; 4 – схема управління верстатом; 5 – виконавчий орган верстата; А – робоча зона оброблення

Первинний вимірювальний перетворювач 2 встановлюється у зоні оброблення деталі і служить для перетворення лінійного розміру деталі (у даному випадку – зовнішнього діаметра) у проміжний сигнал. Сигнал обробляється в управляючому приладі 3, на виході якого формуються команди управління верстатом. Команди управління поступають у схему верстата і реалізуються виконавчими органами верстата, які, у свою чергу, переміщують різальний інструмент.

Основні переваги операційного контролю: а) контролюється динаміка протікання процесу оброблення деталі; б) є можливість формувати команди управління на будь-якій фазі процесу оброблення; в) швидке реагування на дію випадкових сторонніх чинників.

Незалежно від технологічного обладнання засоби активного контролю у загальному вигляді будуються за єдиною структурною схемою (рис. 2), що складається з окремих елементів, призначених для виконання заданих функцій.

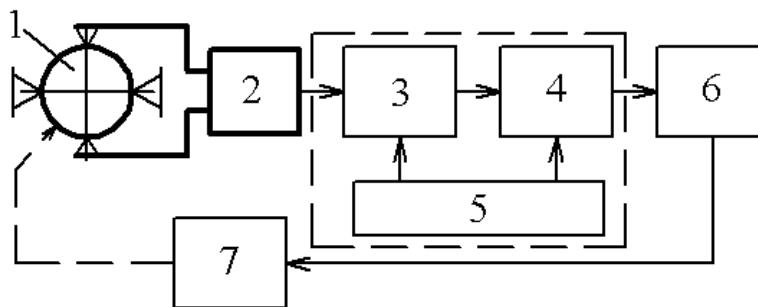


Рис. 2. Структурна схема засобу активного контролю:

1 – деталь, розміри якої контролюються (об’єкт регулювання); 2 – вимірювальний перетворювач; 3 – вимірювальний пристрій; 4 – пристрій формування команд управління; 5 – блок живлення; 6 – схема управління верстатом; 7 – виконавчий орган верстату

Як видно зі схеми, системи активного контролю є різновидом систем автоматичного регулювання – присутній замкнутий контур зі зворотним зв’язком. Об’єктом регулювання служить розмір деталі, яка обробляється. Закон регулювання формується в управляючому приладі.

Якщо система активного контролю застосовується на верстаті з ЧПК, то функцію формування закону автоматичного регулювання доцільно покласти на мікропроцесорні засоби управління верстатом. У цьому випадку появляється можливість гнучкого управління верстатом, залежно від технологічних вимог.

У зв’язку з тим, що система активного контролю створює вирішальний вплив на розмір оброблення деталі, іноді вживається визначення – система управління точністю оброблення.

Прилади активного контролю фіксують не повний розмір контрольованого параметра, а тільки припуск на оброблення. Діапазон відліку відповідно лежить у межах, що перевищує максимальний припуск на 50–100%. Повний розмір задається “жорстким калібром” – механічно фіксованою установкою вимірювальних наконечників первинного перетворювача.

Основним вузлом системи активного контролю, від якого залежить точність вимірювання, є вимірювальний (первинний) перетворювач.

Основною класифікаційною ознакою вимірювального перетворювача є його принцип дії, який зумовлює метрологічні, експлуатаційні характеристики та конструктивну побудову. Використовується резистивний, пневматичний, індуктивний, ємнісний принцип дії, або комбінований, наприклад пневмоелектроконтактний.

У даний час найбільшого поширення набули індуктивні перетворювачі з однією або двома (диференціальні перетворювачі) обмотками. Вони забезпечують високу точність перетворення, достатньо великий діапазон вимірювання (до 1000 мкм), прості у виготовленні, надійні і довговічні в експлуатації.

Система верстат-прилад активного контролю має бути забезпечена точним вимірювальним приладом для вимірювання розмірів оброблених деталей і налаштовувальних зразком.

Вимірювальний прилад або автоматичний засіб повинні забезпечувати отримання показів про значення обробленого розміру з точністю, необхідною для коригування рівня настройки приладу активного контролю, і дозволяти швидко і зручно проводити вимірювання готових виробів.

Настроювальний зразок повинен забезпечувати можливість настройки приладу активного контролю і періодичної її перевірки з потрібною точністю.

Мета роботи. Підвищення точності розмірних параметрів деталей шляхом виявлення механізму взаємозв'язків конструктивно-технологічних особливостей деталей, які обробляються, та метрологічної точності приладів автоматичного управління і контролю процесом металообробки.

Викладення основного матеріалу. Визначення метрологічних характеристик (похибок) приладу є найбільш відповідальною частиною випробувань, що включає перевірку і калібрування приладу. Для кожного приладу визначення похибок прописано в ТУ на прилад, а для приладів масового випуску розроблені Методики і ГОСТ на перевірку приладу. Одні прилади перевіряються за допомогою універсальних засобів, наприклад, кінцевих мір довжини (КМД), для інших розроблені спеціальні стенди та установки. Всі прилади повіряються і калібруються методом порівняння з КМД або точними зразковими атестованими засобами.

Калібрування приладів за допомогою КМД вимагає досвіду і досить трудомістке. В даний час випускають оптоелектронні прилади з дискретністю цифрового відліку 0,1 і 0,01 мкм і діапазоном вимірювання до 100 мм, наприклад, прилади типу METRO (Heidenhain, Швейцарія) за допомогою яких дуже зручно калібрувати деякі прилади, наприклад, індуктивні прилади активного контролю, вимірювальні скоби, головки і індуктивні перетворювачі.

Оптоелектронні прилади і цифрові індикатори, завдяки великому діапазону вимірювання, високій точності (похибка 0,2– 0,3 мкм), установці нуля (скидання на нуль) в будь-якій точці діапазону вимірювань і цифровому відліку надзвичайно зручні для настройки, перевірки і випробування вимірювальних приладів. Однією з умов калібрування за допомогою оптоелектронного зразкового приладу є забезпечення плавних однакових долемікронних одночасних переміщень, що задаються вимірювальним наконечником зразкового приладу і приладу, який калібрується. Це дозволяє порівняти їх покази і визначити похибку в будь-якій точці діапазону вимірювань. Слід відзначити, що цифрова індикація цих приладів ідеально підходить для перевірки і калібрування, так як відлік за нею зручний і не має похибки [4].

Визначення похибки показів та інших характеристик точності приладів для шліфувальних верстатів, проводять за допомогою жорсткої стійки або пристосування (рис. 3), забезпеченого опорним столиком і кронштейном для кріплення вимірювального засобу, який перевіряється та зразкового цифрового індикатора (ємнісного, індуктивного, оптоелектронного), за яким відзначають переміщення столика. Столик має можливість плавних долемікронних зворотно-поступальних безлюфтових переміщень за допомогою вузла мікрометричною подачі. Двоконтактні скоби 2 і 8 або одноконтактну головку 9, які перевіряються за допомогою кронштейнів кріплять у робочому положенні до стійки 7. У стійку встановлюють цифровий індикатор або оптоелектронну головку 6. Під контактні наконечники скоб і головок встановлюють блоки кінцевих мір довжини 3.

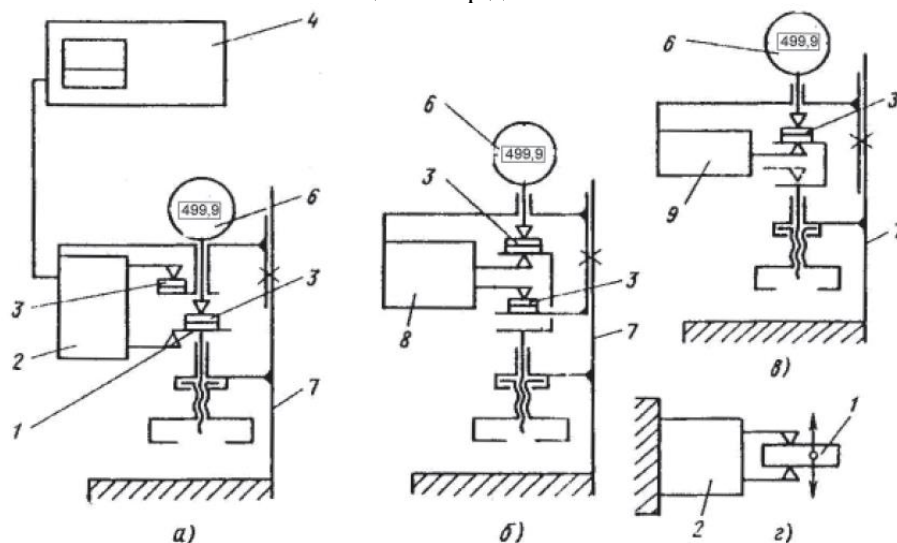


Рис. 3. Схема перевірки приладу:

а, г – з двохконтактною скобою для валів; б – з двохконтактною скобою для отворів; в – з одноконтактною головкою

Прилад 4, який перевіряється і індикатор 6 встановлюють в нульове положення. Плавним переміщенням столика 1 на дисплеї 4 приладу, який перевіряється послідовно встановлюють покази, що відповідають заданим контрольним точкам і порівнюють їх з показами зразкового індикатора 6. Як видно зі схеми рис. 3, при переміщенні столика одна губка скоби переміщається разом зі столиком і наконечником індикатора 6, інша – нерухома. Для усунення зазорів в кінематичному механізмі столика перед установкою в необхідне положення його переміщують в одному напрямку.

Зняття показів в кожній контрольній точці проводять три рази. Похибка показів на заданій ділянці відраховується від нульового показу і визначається найбільшою за абсолютним значенням різницею трьох відліків за цифровим дисплеєм 4 приладу, що перевіряється і зразковому індикатору 6. Отримані значення порівнюють з нормованими межами.

Параметри вихідного аналогового сигналу постійного струму і його похибки визначають за допомогою засобів, показаних на рис. 3, а.

До аналогового виходу блоку управління 4 підключають цифровий вольтметр 5. Відповідно до встановленого для конкретного приладу номінального значення чутливості вихідного аналогового сигналу, вираженого у В/мм (або у мВ/мкм), покази вольтметра приводять до еквівалентних одиниць довжини (мкм).

Похибку вихідного аналогового сигналу в заданих контрольних точках відраховують від нульового рівня. Вона визначається різницею відліків переміщень наконечників скоби за зразковим індикатором 6 і приведеними до одиниць довжини відповідними відліками показів величини напруги за цифровим вольтметром.

Сучасні цифрові блоки управління мають цифровий канал зв'язку (кодовий вихід, як правило, RS232). Для повноцінної перевірки цифрового каналу зв'язку необхідна спеціальна програма і комп'ютер, які дозволяють послати в блок команду зі списку дозволених і отримати та візуалізувати відповідь із блоку. Тому виробник зазвичай докладає носій (флеш-пам'ять) з програмою і протоколом обміну.

При визначенні похибки (розмаху) спрацьовування команд електричне живлення до блоку управління підводять через регулятор напруги, щоб перевірити похибку приладу при заданих ТУ коливаннях напруги. Кінцеву команду приладу налаштовують поблизу нульового показу відлікового пристрою. Попередні команди налаштовують на спрацьовування в точках, які визначаються ТУ на прилад.

Контактний наконечник скоби, яка повіряється або головки приводять в зіткнення зі столиком стійки (рис. 3). Другий контактний наконечник двохконтактної скоби приводять до зіткнення з нерухомою опорою. Плавним переміщенням столика стійки забезпечують одночасне переміщення наконечника скоби 2 і індикатора 6 так, щоб відбувалося послідовне спрацьовування попередніх, а потім кінцевої команди. Столик переміщують в одному напрямку для виключення зазорів в кінематичному механізмі стійки.

За цифровим індикатором 6 відзначають покази, при якому відбувається спрацьовування відповідної команди приладу.

Всього для кожної команди проводять три серії випробувань по десять вимірювань (спрацьовувань команд) при номінальному, найбільшому і найменшому граничних значеннях напруги живлення (110; 121; 99) В або (220; 242; 198) В. Розмах спрацьовування (похибка спрацьовування) кожної команди визначається як найбільша різниця з 30 відліків за зразковим індикатором.

Похибку настройки визначають за допомогою засобів, що застосовуються для визначення похибки спрацьовування команд (рис. 3, а, б, в). До столика 1 стійки 7 підводять контактний наконечник приладу, що перевіряється 2, 8 або 9 таким чином, щоб на дисплеї блоку управління 4 встановився показ, близький до нульового. За допомогою клавіатури блоку управління 4 налаштовують рівень спрацьовування кінцевої команди на значення, що відповідає нулю приладу. Цю настройку вважають початковою (X_n).

Столик 1 стійки 7 плавно переміщують таким чином, щоб покази блоку 4 змістилися в плюсову область. Потім столик 1 переміщують в зворотному напрямку, і за зразковим індикатором 6 фіксують відлік по загорянню світлодіода в момент спрацьовування кінцевої команди. Переміщення столика 1 повторюють три рази. З отриманої серії трьох відліків обчислюють середнє арифметичне значення:

$$X_{01} = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3}. \quad (1)$$

За похибку настройки в першій серії випробувань приймають різницю між початковим показом індикатора δ , при якому проводилася настройка (X_{n1}), і отриманим середнім арифметичним значенням трьох відліків за шкалою індикатора (X_i).

Налаштування команди і визначення похибки настройки повторюють три рази:

$$\begin{aligned}\delta_1 &= X_{n1} - X_{01}; \\ \delta_2 &= X_{n2} - X_{02}; \\ \delta_3 &= X_{n3} - X_{03}.\end{aligned}\quad (2)$$

За похибка настройки δ_n приймають найбільшу за абсолютним значенням похибку, отриману в трьох серіях випробувань.

Зміщення настройки після встановленого числа циклів роботи приладу і спрацьовування всіх команд визначають на обкатному стенді або центровому круглошліфувальному верстаті з застосуванням контрольної і фасонної оправок. Їх номінальний діаметр повинен приблизно відповідати середньому значенню діапазону настройки приладу. Випробування можуть проводитися і на іншому верстаті залежно від призначення приладу [4].

Контрольна оправка має дуже малу похибку форми в поперечному перерізі, а фасонна оправка має невеликі виступи для підйому наконечників скоби.

Скобу або головку, які перевіряються налаштовують за контрольною оправкою, що обертається зі швидкістю 30 – 60 об/хв так, щоб забезпечувався близький до нуля показ за шкалою блоку управління.

Потім замість контрольної оправки в центри стенду або верстату встановлюють фасонну оправку, приводять її в обертання і проводять 200 циклів попередньої обкатки. За кожен цикл повинні послідовно спрацьовувати всі команди і переміщатися контактні наконечники оснащення, що перевіряється відповідно з циклом обробки деталі на верстаті, тобто на весь діапазон вимірювання, наприклад, на 500 мкм.

Після обкатки на стенді встановлюють контрольну оправку, приводять її в обертання і фіксують покази блоку управління при десятикратному підводі контактних наконечників до контрольної оправки.

Початковий рівень настройки перед повірочною обкаткою (X_n) визначається як середнє арифметичне значення серії 10 відліків:

$$X_n = 0,1 \sum X_i. \quad (3)$$

Замість контрольної оправки в центри встановлюють фасонну оправку, що відповідає цільову призначенню приладу. Проводять повірочну обкатку до встановленого числа циклів вимірювання (наприклад 1500 циклів). Для приладів, що працюють з аретуванням контактних наконечників, передбачають їх періодичне аретування в процесі обкатки.

Після закінчення повірочної обкатки замість фасонної оправки встановлюють контрольну оправку і приводять її в обертання. Фіксують покази блоку управління при десятикратному підводі контактних наконечників до контрольної оправки.

При наявності в приладі вихідного аналогового сигналу покази можуть зніматися також з цифрового вольтметра, підключеного до аналогового виходу блоку управління.

Рівень настройки після обкатки (X_k) визначають як середнє арифметичне значення серії з 10 відліків, тобто

$$X_k = 0,1 \sum X_i.$$

За зміщення рівня настройки приладу δ_{zn} приймають різницю між середніми арифметичними значеннями до і після повірочної обкатки приладу:

$$\delta_{zn} = X_n - X_k.$$

Для визначення зміщення настройки приладів-підналагоджувальників, які коригують розмірну настройку верстата за результатами контролю деталей після їх обробки, застосовують таку методику.

Готують деталь-зразок (міру), розмір якої не виходить за межі встановленого для даної операції поля допуску, наприклад, розмір відповідає середині поля допуску. Допуски геометричної форми міри не повинні перевищувати 10-20% нормованої межі зміщення настройки приладу. За потреби можна перевіряти підналагоджувальник за кількома мірами різного розміру.

Для обкатки приладу використовують партію оброблених деталей з полем розсіювання розмірів, що перевищують допуск, контрольований приладом. На підготовчій стадії проводять

попередню настройку рівня спрацьовування керуючої команди «підналагоджування» за встановленою на вимірювальну позицію міру. На початковому етапі проводять попередню обкатку приладу протягом 20 – 30 хв, встановлюючи обкатувальні деталі на вимірювальну позицію вручну або за допомогою механізмів, що забезпечують автоматичне завантаження та орієнтацію деталей. Такт проходження деталей обкатки зазвичай узгоджують з продуктивністю контролю в процесі експлуатації приладу. Разом з обкатними деталями не менше 15 – 20 разів пропускають міру. За цифровим дисплеєм фіксують результати вимірювання міри і проводять коригування рівня настройки команди «підналагоджування» за допомогою клавіатури блоку. Визначають розмах показів і рівень настройки як середнє арифметичне (3).

При незмінній настройці протягом наступних 2 год через вимірювальну позицію пропускають партію обкатних деталей.

Після закінчення циклу обкатки знову виконують 10 циклів вимірювань міри і фіксують результати вимірювань. Визначають рівень настройки після обкатки як середнє арифметичне (3). Різниця значень рівня настройки до і після обкатки не повинна перевищувати нормованого значення зміщення настройки $\delta_{zn} = X_n - X_k$.

При необхідності таку операцію повторюють для кожної команди або вибірково для декількох команд.

Визначення похибки показів при алгебраїчному підсумовуванні переміщень контактних наконечників двохконтактних скоб, що мають два індуктивних перетворювачі, або двох одноконтактних головок визначають шляхом однакових переміщень кожного наконечника в протилежні сторони. Контактні наконечники скоби 2 і цифрового індикатора 6 вводять в зіткнення з КМД, закріпленої на столику 1 (рис. 3, г). Налаштуванням скоби і блоку управління забезпечують нульовий показ приладу. Переміщенням столика верхньому і нижнього наконечникам скоби одночасно надають рівні переміщення в різних напрямках. При цьому відстань між контактними наконечниками залишається незмінною. Переміщення відраховують за цифровим індикатором 6. Покази блоку управління приладу, що перевіряється не повинні змінюватися $A - B = const$. Похибку показів на заданих ділянках переміщень визначають за відхиленням показів блоку управління від початкової (нульової) настройки приладу 4.

Тривалість безперервної роботи приладу перевіряють включенням в мережу електричного живлення на час безперервної роботи, регламентований в стандартах або ТУ. Результати випробувань вважаються позитивними, якщо після закінчення часу безперервної роботи прилад відповідає встановленим вимогам точності.

Розмах спрацьовування команд блоку управління в робочих умовах визначають із застосуванням кліматичної камери наступним чином.

Підключені до блоку управління випробувана скоба, індуктивний перетворювач або одноконтактний пристрій закріплюють в кронштейні стійки 7 (рис. 3) і встановлюють поза кліматичною камерою, в приміщенні, де забезпечуються нормальні умови застосування. Блок управління поміщають в камеру і встановлюють у ній нормальні кліматичні умови. Перевіряють розмах спрацьовування команд приладу в нормальних умовах.

Температуру в камері підвищують до верхнього значення температурних робочих умов застосування і підтримують її протягом 3 год. Визначають розмах спрацьовування команд.

Відносну вологість повітря і температуру в камері підвищують до значення, встановленого в робочих умовах застосування. Витримують прилад в зазначених умовах протягом 3 год. Після цього прилад включають в мережу і визначають розмах спрацьовування команд. Допустимі зміни температури в камері протягом часу визначення параметрів точності не повинні перевищувати 2 °С.

Прилад вимикають, блок витягають з камери і витримують в нормальних умовах протягом 3 год. Потім прилад включають і в цих же умовах визначають розмах спрацьовування команд.

Вважають, що прилад витримав випробування на стійкість до впливу верхніх значень температури і вологості в робочих умовах застосування, якщо розмах спрацьовування команд не перевищує нормовані значення.

Аналогічним чином проводять перевірку приладу на стійкість до впливу нижнього значення температури робочих умов застосування.

Точність обробки, яку забезпечує система шліфувальний верстат-прилад активного контролю, визначають в робочих умовах застосування.

Перед випробуваннями встановлюють правильність функціонування і взаємодії всіх

вузлів приладу і верстата. Дуже важливо, щоб встановлені режими різання забезпечували відхилення геометричної форми оброблених поверхонь не більше (25-50) % допуску розміру.

В процесі випробувань партію деталей обробляють в автоматичному чи напівавтоматичному режимах. Число деталей в партії, режими різання, кількість випробовуваних приладів, умови їх післяопераційного контролю і засоби вимірювання оброблених деталей встановлюються технічною документацією на прилад і верстат.

Зазвичай за розмір обробленої деталі приймають півсуму найбільшого і найменшого розмірів у вимірюваному скобою поперечному перерізі, тобто частково виключають відхилення форми оброблених деталей. Такий прийом краще відображає точність приладу активного контролю, але не визначає точність системи верстат-прилад, так як для визначення точності обробки не слід виключати похибку форми оброблених деталей.

Точність обробки, що забезпечується верстатом, оснащеним приладом активного контролю, визначають полем розсіювання розмірів партії оброблених деталей.

Поле розсіювання розмірів в партії зі 100 і більше деталей рекомендується оцінювати за формулою:

$$\omega = 4S, \quad (4)$$

де ω – поле розсіювання розмірів; S – середньоквадратичне відхилення розмірів партії оброблених деталей, що обчислюється за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X)^2}{n}}, \quad (5)$$

при $n = 100 - 150$.

У разі помітного зміщення рівня настройки Δ_{zn} в партії оброблених деталей слід його враховувати як $\Delta_{zn} = |X_i - X_{max}|$, де X_{max} – найбільше відхилення центру розсіювання миттєвої вибірки в процесі обробки від відповідного значення X_i на початку обробки.

Якщо центри розсіювання розмірів зміщуються в часі за лінійною залежністю, то поле розсіювання ω можна визначити як

$$\omega = \Delta_{zn} + 4S. \quad (6)$$

Середнє відхилення S з достатньою для практики точністю можна визначити методом розмахів або іншими методами за ГОСТ 27.202-83.

Точність обробки вважається задовільною, якщо поле розсіювання розмірів оброблених деталей не виходить за межі, встановлені документацією на прилад.

Випробування приладів на верстаті трудомісткі і займають багато часу. Тому фірми мають багато різних стендів і пристосувань, на яких випробовують прилади та їх вузли. Є й стенди для випробування в динамічному режимі, схожому на режим експлуатації.

При випробуваннях приладів в динамічному режимі бажано повністю імітувати умови їх експлуатації. Відомо, що при роботі приладу на верстаті його наконечники контактують з обертовою або прямолінійною поверхнею контрольованої деталі, яка переміщається, що має відхилення від круглості, циліндричності або прямолінійності.

Швидкість переміщення контрольованої поверхні зазвичай становить від 2 до 50 м/хв. Відхилення форми контрольованої поверхні можуть досягати декількох мікрометрів. В процесі обробки у міру зняття припуску під контактними наконечниками приладу безперервно змінюється розмір зі швидкістю до 100 мкм/с на початку обробки і майже до нульового значення в кінці циклу.

Таким чином, під контактними наконечниками приладу відбуваються одночасно невеликі зміни розміру (відхилення форми) з відносно високою частотою (до 10 Гц) і порівняно повільна безперервна зміна розміру.

При стендових випробуваннях імітацію зазначених впливів здійснюють різними способами: переміщенням контактних наконечників уздовж конічної, овальної, шліцьової оправок, що обертаються.

При випуску приладів широко застосовують описаний вище спосіб визначення похибки від зміщення настройки, що полягає в тому, що проводиться обкатка приладів на поворотній оправці з лисками або овальної оправці і періодична перевірка по нерухомій або обертовій атестованій оправці. Цей спосіб зручний, простий і не вимагає складного випробувального устаткування.

При дослідних та приймальних випробуваннях нових приладів їх перевірку в

динамічному режимі часто здійснюють на стенді з обертовою конусною оправкою.

В сучасних приладах активного контролю для шліфувальних верстатів застосовують мікропроцесорні або комп'ютерні цифрові блоки управління та індуктивні перетворювачі. При випуску і налагодженні приладу і при заміні перетворювача після ремонту необхідно провести його лінеаризацію (калібрування), встановивши задану дискретність цифрової індикації, діапазон вимірювання і, головне, задану лінійність характеристики у всьому діапазоні вимірювання. Мікропроцесорні електронні блоки забезпечені програмою, що дозволяє провести лінеаризацію характеристики перетворювача.

У вимірювальному оснащенні приладів активного контролю застосовують диференціальні і рідше недиференціальні індуктивні перетворювачі. Їх вбудовують безпосередньо у вимірювальну оснащення приладів (скоби, головки), і лінеаризацію перетворювачів проводять в зборі разом з оснащенням, що має каретки, важелі, державки та наконечники. І, головне, вимірювальне оснащення (важелі) не завжди має передавальне відношення 1:1.

Калібрувальні переміщення надають наконечнику вимірювального оснащення (рис. 3), встановленого в робочому положенні. Таким чином, при калібруванні враховують дійсні передавальні відношення кінематичних ланок (важелів, кареток) вимірювального оснащення.

Процедура калібрування і лінеаризації полягає в тому, що в мікропроцесорний блок вводять задані точки, які визначають «ідеальну» характеристику приладу (в даному випадку лінійну), її діапазон і чутливість відповідно до таблиці 1.

Таблиця 1

Калібрувальні точки

Номер калібр. точки	11	22	33	34	55	66	77	78	79	10	11
Розмір, мкм	-100	-50	-10	0	10	50	100	200	300	400	500

Потім переміщують шток індуктивного перетворювача або наконечник вимірювального оснащення на визначені інтервали і, встановлюючи його в задані точки «ідеальної» характеристики, запам'ятовують в блоці вихідні сигнали перетворювача в кожній точці. Таким чином, вихідна характеристика приладу наближається до заданої (лінійної) характеристики.

Лінеаризація індуктивних перетворювачів може проводитися різними методами, наприклад, методом кусочно-лінійної апроксимації. Для лінеаризації кожного перетворювача вимірювального оснащення, в яке вбудований перетворювач, встановлюють на стійку зі столиком (рис. 3) так, щоб вимірювальному наконечнику можна було задати точні калібрувальні переміщення тонкою подачею столика. Для контролю заданих переміщень на стійку встановлюють цифровий індикатор з дискретністю відліку 0,1 мкм з діапазоном показів не менше 2,0 мм (зазвичай 5 – 20 мм) і з похибкою $\pm 0,2$ мкм.

Для лінеаризації індуктивного перетворювача необхідно спочатку зняти його характеристику, тобто визначити залежність його вихідного сигналу від переміщення наконечника вимірювальної оснастки. В цьому режимі вихідний сигнал, що надходить безпосередньо з перетворювача через аналого-цифровий перетворювач (АЦП), відображається на дисплеї в умовних одиницях (не в мкм). За плавністю і пропорційністю зміни цього сигналу залежно від переміщення наконечника приладу, який калібрується можна судити про справність та лінійність перетворювача. Крім того, знята характеристика дозволяє визначити положення електричного нуля перетворювача, від якого проводиться калібрування приладу. Це дуже важлива обставина, що дозволяє перевірити справність перетворювача прямо на верстаті і не допускає відходу настройки з робочої ділянки характеристики.

Таким чином, калібрування приладу починають з установки столика стійки, індуктивного перетворювача і цифрового індикатора в нульове положення електричного нуля індуктивного перетворювача за його вихідним сигналом в умовних одиницях. Число точок калібрування вибирається залежно від конструкції перетворювача або вимірювального оснащення, діапазону вимірювання, необхідної точності лінеаризації і точності видачі команд. При зменшенні інтервалів між точками точність лінеаризації підвищується. Тому на точному діапазоні поблизу нуля (від -10 до +50 мкм) точки калібрування слід задавати через менші інтервали.

При використанні недиференціальних перетворювачів, що мають нелінійну

характеристику, призначають більше число точок лінеаризації. Диференціальні перетворювачі досить лінійні на всій робочій ділянці в діапазоні $\pm 0,5$ мм, і для їх калібрування в більшості випадків достатньо 5 – 7 калібрувальних точок.

Калібрування починається з установки перетворювача за допомогою столика в положення електричного нуля (за вихідним сигналом в умовних одиницях). У цьому положенні встановлюють на нуль зразковий цифровий індикатор 6 (рис. 3). Зазвичай використовується робоча ділянка характеристики приладу активного контролю, що становить 600 – 1000 мкм. Власне діапазон вимірювання приладу коливається від -100 до $+500$ мкм (точний діапазон: від -10 до $+50$ мкм). Слід враховувати також можливість коригування нуля (± 100 мкм) і збільшити діапазон калібрування на цю величину.

Калібрування починають від першої, наприклад, мінусової точки обраної робочої ділянки характеристики індуктивного перетворювача (-100 мкм). Цю точку встановлюють переміщенням столика (рис. 3) за показами зразкового цифрового індикатора.

У цій точці вводять в пам'ять блоку управління сигнал перетворювача, що відповідає точці -100 мкм (натисканням кнопки «Введення»). Потім послідовно за допомогою столика за показаннями зразкового цифрового індикатора переміщують вимірювальний наконечник приладу на задані калібрувальні інтервали (табл. 1), і в кожній точці вводять в пам'ять блоку вихідний сигнал перетворювача.

Після проходження всіх заданих точок робочої характеристики приладу і запам'ятовування в блоці вихідних сигналів перетворювача, що відповідають цим точкам, прилад має лінійну характеристику із заданою чутливістю в заданому діапазоні вимірювання.

Після проведення калібрування пам'ять блоку автоматично блокується. Калібрування запам'ятовується навіть при виключенні живлення блоку і не може бути змінене без введення пароля.

Точність калібрування (лінеаризації) залежить від точності переміщення вимірювального наконечника засобу, який калібрується на задані інтервали за допомогою столика стійки за показами цифрового індикатора.

Висновки. Підвищення точності обробки досягається вдосконаленням технологічних процесів виготовлення деталей і в першу чергу застосуванням прецизійних металорізальних верстатів. Для зменшення похибок вдосконалюють конструкцію верстатів, застосовують кращі за характеристиками матеріали, використовують різні методи компенсації температурних і динамічних похибок. Резервом для підвищення точності металообробних верстатів є і застосування при обробці деталей приладів активного (управляючого) контролю.

В даний час прилади активного контролю не дозволяють в повній мірі здійснити систему автоматичного регулювання (САР) технологічної системи ВПД за вихідним параметром, так як вони передбачають релейне управління шляхом подачі від однієї до шести команд в залежності від величини вимірюваного розміру. Крім того, динамічні властивості стандартних приладів активного контролю не піддаються спеціальним дослідженням.

Таким чином, суттєвим резервом підвищення точності обробки на металообробних верстатах є використання САР за вихідним параметром із застосуванням відповідного приладу активного контролю. При цьому прилад повинен мати аналоговий або дискретний вихід і певні динамічні властивості. Останні визначають динамічні властивості всієї системи ВПД і допустиму похибку. Виконання цих умов вимагає розробок нових приладів активного контролю і дослідження їх динамічних характеристик.

Інформаційні джерела

1. Активный контроль размеров / под ред. С.С. Волосова. – М.: Машиностроение, 1984. – 224 с.
2. Активный контроль в машиностроении: справочник / под ред. Е.И. Педа. – М.: Машиностроение, 1978. – 352 с.
3. Денисюк В.Ю. Автоматизоване управління процесами суперфінішного оброблення кілець підшипників / В.Ю. Денисюк, В.П. Симолюк, В.В. Пташенчук / Матеріали Шістнадцятої міжнародної молодіжної науково-технічної конференції «Машинобудування очима молодих:

прогресивні ідеї-наука-виробництво», м. Суми, 26-29 жовтня 2016 р. – Суми: Сумський державний університет, 2016. – С. 8–11.

4. Этингоф М.И. Автоматический размерный контроль на металлорежущих станках: [текст] / М.И. Этингоф – М.: АПР, 2016. – 336 с.

5. Михалевич В.Т. Автоматичне керування точністю оброблення: монографія. / В.Т. Михалевич, В.І. Марчук– Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2013. – 186 с.

Денисюк В.Ю., к.т.н., Симолюк В.П., к.т.н., Лапченко Ю.С. к.т.н., Новосад Б.И.
Луцкий национальный технический университет

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРИБОРОВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ

В статье рассмотрены методы повышения точности размерных параметров деталей путем выявления механизма взаимосвязей конструктивно-технологических особенностей деталей, которые обрабатываются и метрологической точности приборов автоматического управления и контроля процессом металлообработки. Описана методика определения погрешности показаний и других характеристик точности приборов для шлифовальных станков с помощью жесткой стойки, обеспеченной опорным столиком и кронштейном для крепления измерительного средства, которое проверяется и образцового цифрового индикатора, по которому отмечают перемещения столика. Установлено, что существенным резервом повышения точности обработки на металлообрабатывающих станках является использование системы автоматического регулирования по выходным параметрам с применением соответствующего прибора активного контроля. При этом прибор должен иметь аналоговый или дискретный выход и определенные динамические свойства, которые определяют динамические свойства всей системы и допустимую погрешность.

Ключевые слова: активный контроль, наладка, прибор, система, погрешность, измерения, поверка, наконечник, арретирование, точность, калибровки.

V. Denysiuk, V. Symonyuk, Y. Lapchenko, B. Novosad
Lutsk National Technical University

METROLOGICAL PROVISION OF ACCURACY OF ACTIVE CONTROL DEVICES IN THE PROCESSING PROCESS

The article considers the methods of increasing the accuracy of dimensional parameters of parts by identifying the mechanism of relationships of design and technological features of the parts being processed, and metrological accuracy of automatic control and monitoring of the metalworking process. The method of determining the error of readings and other accuracy characteristics of devices for grinding machines using a rigid rack provided with a support table and a bracket for mounting the measuring instrument under test and an exemplary digital indicator, which indicates the movement of the table. It is established that a significant reserve for improving the accuracy of machining on metalworking machines is the use of an automatic control system for the initial parameter with the use of an appropriate active control device. The device must have an analog or discrete output and certain dynamic properties that determine the dynamic properties of the entire system and the allowable error.

Keywords: active control, debugging, device, system, error, measurement, calibration, tip, locking, accuracy, calibration., abrasive, circulatory motion, trajectory, momentum, load, electromagnet.