

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

В.М. Доля

ДІАГНОСТИКА ТА КОНТРОЛЬ  
ПРОЦЕСІВ МЕТАЛООБРОБКИ

Конспект лекцій

з курсу «Діагностика процесу металообробки»  
для студентів спеціальності 7.090202 «Технологія машинобудування»

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол № 3 від 21.12.2007 р.

Харків НТУ „ХПІ” 2008

ББК 32.96

Д 16

УДК 681.326.75

**Р е ц е н з е н т**    *О.Х. Раб*, канд. техн. наук, проф., Національний  
технічний університет «ХПІ»

**Доля В.М.**

Д16    Діагностика та контроль процесів металообробки: конспект лекцій з курсу «Діагностика процесу металообробки» / В.М.Доля. – Х.: НТУ „ХПІ”, 2008. – 55 с.

Розглянуто питання діагностування процесів металообробки: основні задачі, мета, методи та елементи діагностування. Представлено технічні засоби контролю стану різального інструмента та деталі, що обробляється; наведено опис роботи систем діагностики та контролю.

Призначено для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю 7.090202 «Технологія машинобудування».

Іл. 39. Бібліогр. 7 назв.

**ББК 32.96**

© В.М.Доля, 2008

© НТУ «ХПІ», 2008

## Вступ

При розробці сучасних новітніх технологічних процесів необхідно використовувати як прогресивні прийоми підвищення надійності операцій, так і спеціальні засоби контролю та діагностування стану технологічних систем. У таких умовах зазвичай використовують обладнання, що забезпечує автоматизоване завантаження та високоточну обробку деталей, автоматичну зміну інструмента, переналадку, тісний зв'язок з транспортними системами. Високоєфективне використання вартісного прецизійного автоматизованого обладнання, що застосовується у процесах металообробки, не може бути без застосування якісних діагностичних систем та засобів контролю. Разом з тим висока надійність та точність діагностичних систем визначаються якістю датчиків та електронного обладнання і якістю математичного забезпечення. Сучасні складні інтелектуальні системи керування та діагностики дозволяють вимірювати енергетичні, електромагнітні, теплові, динамічні та інші характеристики процесу металообробки.

Розвинена автоматизація металообробки потребує ретельного контролю процесу, бо високотехнічні контрольні системи виробництва рентабельні лише у тому випадку, якщо вони знаходяться певний час в експлуатації без виходу з ладу. Таке оптимальне використання неможливе без своєчасного виявлення перешкод під час робочого процесу з метою усунення виникнення наступних дефектів та скорочення часу простою верстатного обладнання до мінімуму. Крім того, необхідно і вивільнення обслуговуючого персоналу від здійснення контролю за роботою обладнання.

# 1. ДІАГНОСТИКА ПРОЦЕСІВ МЕТАЛООБРОБКИ

## 1.1. Основні задачі та мета технічної діагностики

Метою технічної діагностики є визначення, у якому з раніш встановлених станів знаходиться процес. Діагностика об'єднує сукупність операцій контролю як усього процесу в цілому, так і його окремих операцій. При цьому необхідно визначити, які з цих операцій потрібно виконувати і в якій послідовності, як обробляти результати цих операцій.

До основних задач технічної діагностики в умовах автоматизованого виробництва належать такі: забезпечення заданих умов виконання технологічного процесу; попередження поломок або своєчасна зупинка обладнання в аварійних ситуаціях; прогнозування дефектів з метою уточнення строків ремонту та попередження аварій; контроль якості регулювання механізмів та видача інформації для забезпечення якісного їх налагодження персоналом; перевірка та пошук локалізації місць дефектів, зміна режимів роботи або повідомлення про місце відмови; визначення критеріїв оцінки якості виконання технологічного процесу; вибір критеріїв оцінки стану процесу обробки; перевірка якості настроювання всіх механізмів та оцінка обладнання; отримання еталонних параметрів та еталонних характеристик для контролю стану і діагностики обладнання.

У технічній діагностиці можна окреслити три групи задач, пов'язаних з побудовою моделей процесу, з розробкою методів діагнозу, які базуються на використанні побудованої моделі, та розробкою принципів і засобів побудови діагностичних пристроїв і систем.

Перша група задач передбачає детальне вивчення властивостей процесів і поєднує в собі наступні задачі: вивчення нормального функціонування технологічного процесу; виділення можливих станів процесу, тобто можливих комбінацій відмов; аналіз технічних можливостей контролю ознак, які характери-

зують стан процесу; збір та відпрацювання статистичних даних про розподіл ймовірностей можливих станів процесу, а також закономірностей прояву відмов окремих його операцій; вибір форм моделі процесу та розробку методів її побудови.

Друга група задач базується на дослідженні математичних моделей процесів, що контролюються, містить розробку методів побудови діагностичних тестів при аналізі технологічного процесу; побудову оптимальних програм та процедур діагностики, які дозволяють визначити стан процесу.

Третя група задач вирішує наступні питання: розробка принципів побудови діагностичних систем та вибір способів їх апаратурної реалізації; оцінка діагностичних пристроїв та систем за швидкодією та надійністю, повнотою інформації, повнотою та достовірністю діагнозу, техніко-економічною ефективністю та іншими показниками; визначення зв'язків діагностичної системи з технологічним процесом.

## ***1.2.Методи та етапи діагностування процесів металообробки***

Для вирішення задач технічної діагностики застосовують наступні методи діагностування станів технологічних процесів.

1. Кореляційний метод застосовують для пошуку відхилень параметрів (взаємна кореляція) або зміни параметрів у часі (автокореляція). Цей метод не потребує складного математичного забезпечення та просто автоматизується за допомогою ЕОМ.

2. Спектральний або спектрально-кореляційний метод базується на виділенні та вимірі складових складних сигналів. Він використовується при віброакустичних методах діагностування, потребує складної апаратури та математичного забезпечення.

3. Тестовий метод діагностування базується на подачі стимулюючих сигналів у зону обробки та реєстрації й аналізу відклику на них. До тестових мето-

дів належить метод перевірки при обробці контрольної заготовки певної форми (за граничною стружкою, похибками обробки).

4. Метод часових інтервалів застосовується для аналізу простоїв, визначення показників надійності, контролю режимів роботи та систем керування, розрахунку кінематичних параметрів, отримання циклограм для окремих модулів. Цей метод дозволяє визначати первинну локалізацію відмов.

5. Метод еталонних (нормованих) модулів базується на порівнянні експериментально визначених та розрахункових (отриманих на математичних модулях) числових значень параметрів та показників якості (потужності, подачі, амплітуд вібрації та ін.) з їх паспортними даними та технічними умовами. Перевагою цього методу є можливість різноманітного використання отриманої інформації. За допомогою еталонних модулів розраховують квазіметричні показники кінематичних та силових параметрів, що використовуються для оцінки якості процесу при його діагностуванні. Реалізація методу еталонних модулів не потребує складної апаратури, програмного забезпечення.

6. Метод еталонних (нормованих) залежностей базується на порівнянні експериментально отриманих функціональних залежностей параметрів з елементами, що отримані розрахунковим або експериментальним шляхом. Цей метод не знайшов поширення, він потребує застосування складної апаратури, але при цьому дозволяє підвищити глибину та достовірність діагностування.

7. Метод еталонних (типових) осцилограм є одним з найбільш простих та ефективних методів діагностування. Він широко застосовується для об'єктів, у яких характерні низькочастотні динамічні процеси. При реалізації цього методу розрахунковим та експериментальним шляхами складається еталонна осцилограма та формується бібліотека осцилограм, що характеризує її дефектний стан.

8. Метод порівняння та накладання осцилограм базується на аналізі одночасно записаних осцилограм різних параметрів або одного й того ж параметра, за різних умов роботи. Він являє собою ускладнений метод еталонних осцило-

грам, за допомогою якого аналізується динамічні циклограми модуля або встановлюється місце та час виникнення дефекту шляхом запису кінематичних та силових параметрів у різних точках.

9. Метод визначення граничних (аварійних) станів базується на пошуку факту виходу технологічного процесу в неприпустимі або такі, що не відповідають умовам заданої програми. Для систем, які використовують цей метод, характерна активна зворотна реакція, вимкнення та зупинка рухомих частин обладнання або окремих механізмів, ввімкнення резервного живлення, світлова та звукова сигналізація верстата, передача інформації в інші підрозділи.

Використання цих методів починається з побудови моделей, методів та пристроїв діагностики. При побудові моделей формуються умови функціонування технологічного процесу та вимоги до його основних характеристик, визначаються ознаки, за якими необхідно розпізнавати певний його стан та встановлюється необхідне для контролю число параметрів.

Моделювання реального технологічного процесу містить етапи побудови та вивчення моделей, а також етап експериментального дослідження. При моделюванні обов'язковою умовою є заміщення дослідного об'єкта "ідеальним" об'єктом, тобто абстрактним описом реального процесу за допомогою формул, графіків, таблиць. Такі математичні моделі дозволяють проводити дослідження за допомогою ЕОМ, і їх найбільш широко використовують при дослідженні складних технологічних процесів.

При розробці окремих діагностичних процедур (тестового діагностування, діагностування за віброакустичними, кінематичними, силовими та іншими параметрами) застосовують наступні етапи технічної діагностики.

Підготовчий етап містить систематизацію ознак дефектних станів технологічних процесів обробки деталі та обладнання на основі узагальнення досвіду експлуатації та випробувань. При цьому розробляють способи виявлення дефектів обладнання за даними аналізу результатів контролю деталей, що обробляються; аналізуються хронографічні записи перебігу технологічного процесу з

метою оцінки показників продуктивності та надійності, виділення основних параметрів, що потребують періодичного контролю в процесі експлуатації обладнання. Основну увагу приділяють апробації інструментальних методів контролю технологічного процесу з проведенням регулювання механізмів за кінематичними, динамічними і точнісними параметрами та з накопичуванням ознак дефектних станів. Таким чином, для підготовчого етапу характерні формалізація органолептичних методів діагностики та первинне впровадження інструментальних методів контролю продуктивності, кінематичних та динамічних параметрів.

Основний етап характеризується широким впровадженням інструментальних методів контролю складного технологічного процесу. Накопичений на підготовчому етапі досвід використовується для оснащення обладнання вмонтованими діагностичними системами. При модернізації обладнання передбачають місця для встановлення датчиків систем зовнішнього періодичного контролю, а в системах керування – можливість діагностування технологічного процесу за часовими інтервалами та найбільш важливими технологічними параметрами.

Для цього етапу характерна розробка рекомендацій щодо інструментальних методів контролю. На обладнанні встановлюють датчики та прилади контролю. У результаті значно покращується якість технологічного процесу, зменшується кількість непередбачених виходів з ладу вузлів, підвищується продуктивність та довговічність обладнання, зменшується відсоток браку.

Заключний етап містить розробку в умовах комплексної автоматизації виробництва багаторівневої системи технічної діагностики. На цьому етапі проводяться комплексні динамічні випробування технологічних процесів, які містять випробування на надійність та відпрацювання комплексних критеріїв якості. Систематизація інформації про динамічні характеристики обладнання покращує не тільки умови його експлуатації, а й дозволяє отримувати дані, необхідні для удосконалення конструкції обладнання. Комплексний підхід до діагностування технологічного процесу дає можливість підвищити ефективність



технічної діагностики на всіх етапах розробки, експлуатації та модернізації цього обладнання. При цьому підвищуються вимоги до надійності та відповідно до глибини діагностування, які дозволяють підвищити точність, достовірність збору вимірювальної інформації, точність та оперативність обробки результатів вимірювань, підвищити ефективність технологічних процесів та знизити витрати на виробництво продукції.

## **2. КОНТРОЛЬ СТАНУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ**

### ***2.1. Попередній, поточний та вихідний контроль***

Необхідні дані для вирішення задачі прогнозування отримують у результаті контролю стану технологічного процесу. Залежно від характеру та конкретних задач, що вирішують при прогнозуванні, розрізняють контроль з прогнозуванням значень показників якості об'єкта у наступні моменти часу або контроль з прогнозуванням часу находження відмови.

Під контролем стану технологічного процесу розуміють перевірку відповідності його характеристик встановленим нормам пошуку відмов та аналізу причин їх появи, отримання необхідної інформації для виявлення відмов, що виникають, або для прогнозування їх появ у майбутньому з метою попередження аварійних ситуацій. Аварійні ситуації виникають внаслідок виникнення таких змін у технологічному процесі, які призводять до часткового або повного зриву виконання системою поставленої задачі.

При контролі стану технологічного процесу виконується велика кількість вимірювальних операцій, за результатами яких видається інформація про стан його параметрів. Носієм інформації про стан процесу є діагностичний сигнал, отриманий шляхом вимірювання параметрів, що контролюють, у фіксований момент часу. Контроль працездатності та діагностика технологічного процесу пов'язані у визначенні його поточного стану шляхом контролю параметрів та характеристик або шляхом перевірки ступеня виконання їм своїх функцій.

У ході технологічного циклу виконують попередній, поточний та вихідний контроль.

Попередній контроль повинен забезпечувати умови для безвідмовного перебігу технологічного процесу. Контролю підлягають заготовки (правильність форми, положення, матеріал та ін.), інструмент (розміри, знос різальної кром-

ки), стан обладнання ( наявність заготовки, інструмента, керуючих програм, робота системи охолодження, змазки і т. д.).

Поточний автоматичний контроль повинен забезпечувати не тільки безперебійну роботу обладнання, але й високу якість роботи. При цьому контролюється форма деталі (початкова, проміжна, заключна), якість обробки, ступінь зносу інструмента та інші параметри, які впливають на заключний продукт.

Вихідний контроль призначений, головним чином, для забезпечення якості продукції. Контролюються параметри (розміри, шорсткість поверхні, допуски і так далі), що визначають якість продукції.

## ***2.2. Контроль моменту врізання різального інструмента у заготовку***

Використання первинних вимірювальних перетворювачів, а також сучасних систем ЧПК при наявності відповідного сервісного програмного забезпечення дозволяє проводити діагностування заготовок, оцінювати стан застосованого різального інструмента та якості оброблюваної деталі. У більшості випадків при знаходженні заготовки у робочому положенні необхідно визначати точку дотику різального інструмента із заготовкою з достатньою технологічністю. Переміщення різального інструмента в точку дотику із заготовкою може бути прискореним. Тому необхідно використовувати вимірювальні перетворювачі, не тільки такі, що фіксують момент врізання інструменту, але й такі, що дозволяють швидко перетворювання інформації з метою прийняття рішень для керування технологічним обладнанням.

Для зв'язку з технологічним процесом обробки деталей та впливу на технологічний процес у засоби діагностики введені первинні вимірювальні перетворювачі (датчики), призначені для створення сигналу вимірювальної інформації у формі, придатній для передачі, подальшого перетворення, обробки та зберігання.

Вимірювальні перетворювачі характеризуються чутливістю, динамічним діапазоном, границями та похибками перетворень. Крім того, до надійності чутливих перетворювачів необхідно ставити високі вимоги, інакше при максимальній швидкості ходу рухомих частин верстата можливе виникнення аварійної ситуації. Так, при механічній обробці може виникнути помилка, спричинена помилковими командами, що призводять до зіткнення вузлів та механізмів верстата. При цьому ушкодження дуже швидко поширюються на інструмент, верстат, деталь, що обробляється. У таких випадках факт поломки інструмента повинен встановлюватися протягом декількох мілісекунд, а подача миттєво вимикатися. Час для перемикання подачі на верстаті залежить від цілого ряду чинників: тормозних характеристик супорта верстата, що залежить від динамічних характеристик приводу подачі, контуру заготовки, конструкції інструмента і т. п.

Для створення технологічних процесів металообробки з гарантованою надійністю виробництва деталей заданої якості необхідно мати надійні датчики, які визначають момент початку різання та надають інформацію, за якою можна здійснювати необхідну корекцію процесу у випадку його відхилення від заданого.

Датчики наближення за своєю конструкцією поділяються на такі:

*Індуктивні* – від величини магнітного зазору між датчиком та деталлю залежить значення електричного сигналу (рис.1). В іншій конструкції (рис.2) система «інструмент-деталь» та верстат утворюють замкнений магнітний контур, змінним параметром у якому є повітряний зазор між інструментом та деталлю.

*Ємнісний* (рис.1) – наближення до деталі призводить до зміни ємності, що входить до електричного коливального контуру.

*Акустичні* – якщо відбита хвильова енергія (рис.3) перевищує порогові значення, то відбувається включення робочої подачі верстата; у іншій конструкції

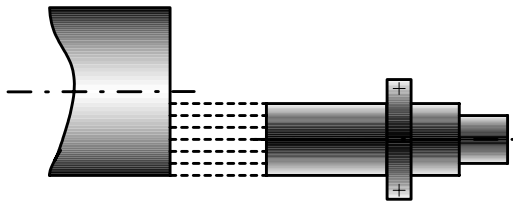


Рис.1. Схема роботи індуктивного та емнісного вмонтованих датчиків

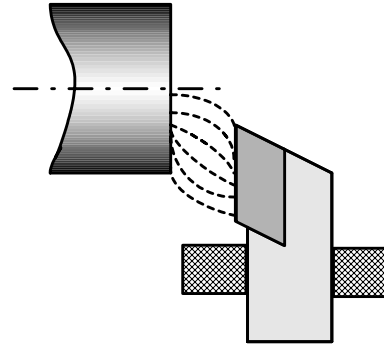


Рис.2. Схема роботи індуктивного контуру

датчиків (рис.4) акустичний шум, що виникає при стиканні інструмента з деталлю, вмикає робочу подачу.

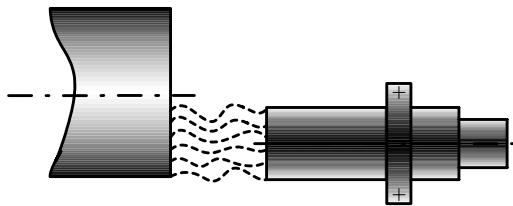


Рис.3. Схема роботи активного акустичного датчика

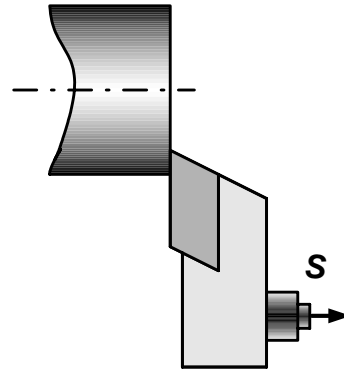


Рис.4. Схема роботи пасивного акустичного датчика

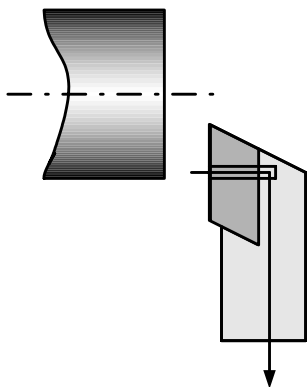


Рис.5. Схема роботи контактеного датчика

Контактний (рис.5) – діагностичний сигнал виникає при стиканні контактеного штифта, який встановлений в інструменті, з деталлю.

Контактні датчики характеризуються простотою застосування, але потребують складних конструктивних рішень проблеми зносу контактних

штифтів, встановлення їх у різальний інструмент, електричного ізолювання від різального інструмента, або інструмента від верстата.

*Світловий* (рис.6) – світловий пучок джерела світла, що переміщається перед різальною кромкою разом з інструментом, переривається деталлю і генерує сигнал на вмикання робочої подачі.

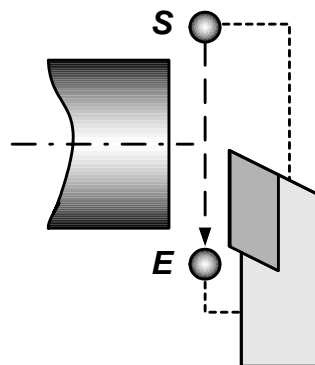


Рис.6. Схема роботи світлового датчика

*Силовий* – сигнал від датчиків сили різання або крутильного моменту

(принципи роботи датчиків надані у п. 2.3) при перевищенні встановленого значення вмикає робочу подачу верстата.

### **2.3.Контроль крутильного моменту та складових сили різання**

Деякі системи діагностики процесу обробки базуються на вимірюванні енергетичних параметрів різання: потужності, що споживається верстатом, крутильного моменту, складових сил різання і так далі. Підвищення енергетичних параметрів вказує на відхилення нормального процесу різання і, в першу чергу, пов'язано з затупленням або зломом різального інструмента. Але підвищення потужності може відбутися через ріст припуску заготовки або твердості її матеріалу. Тому ці системи призначені для діагностики при грубому відхиленні технологічного процесу від заданого. Для реєстрації сил різання, що виникають у процесі обробки, крутильного моменту, потужності різання існують прямі та непрямі методи вимірювання.

Чутливі елементи для вимірювання крутильного моменту та сил різання у більшості випадків встановлюють на окремих частинах верстата. Власна частота чутливого елемента повинна бути вищою, щоб була можливість швидкого реагування на такі чинники, як врізання або різка зміна глибини різання.

Для виміру сили різання датчик повинен розташовуватись якомога ближче до зони різання. Механічний передавальний пристрій, розташований між зоною різання та чутливим елементом, може негативно впливати на процес вимірювання сили різання. У той же час, якщо в опорах шпинделя верстата або на супорті встановлюються датчики, що вимірюють деформації, то відбувається деяке зниження жорсткості верстата.

Більше поширення отримали пружно-силові системи діагностики, що побудовані на використанні пружного та магнітопружного ефекту. Під магнітопружним ефектом розуміють зміну магнітних властивостей твердого феромагнітного тіла внаслідок інших механічних напруг (розтягування, стиснення, зсуву або кручення), що впливають на нього. Якщо магнітопружний активний стрижень котушки навантажується у подовжньому напрямку з певною силою, то довжина його скорочується, і відповідно модулю пружності змінюється його магнітна проникність, а також магнітний гістерезис. Крім того, використовується і трансформаторний ефект для вимірювання сили різання.

На рис.7 та 8 зображені схеми датчиків, що побудовані на основі тензорезисторів, деформація пружних елементів яких призводить до зміни опору наклеєних на них тензодатчиків.

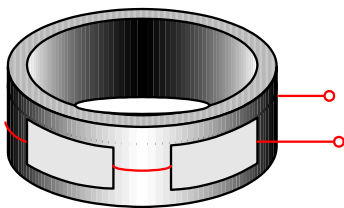


Рис.7. Кільцевий тензодатчик

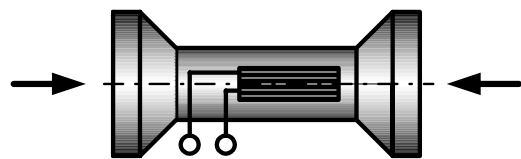


Рис.8. Осьовий тензодатчик

Магнітопружні датчики, встановлені у поворотній револьверній головці або в інших місцях контролю (рис.9, 10, 11), видають сигнал, пропорційний силі різання або крутильному моменту. Навантаження пружного елемента приводить до зміни магнітних властивостей матеріалу, і відповідно індуктивності котушки, а також електричного зв'язку між первинною та вторинною обмотками трансформатора датчика.

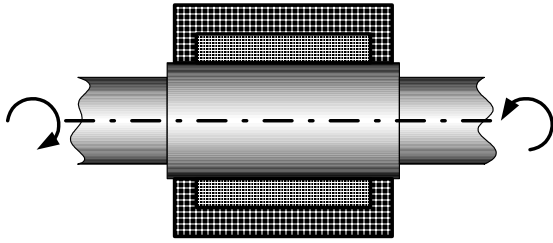


Рис.9. Магнітопружний трансформаторний датчик крутільного моменту

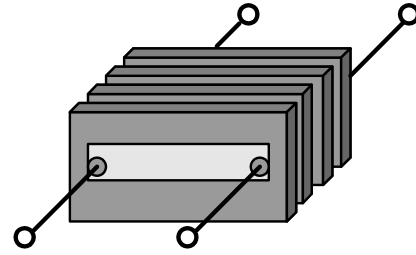


Рис.10. Магнітопружний трансформаторний датчик сили

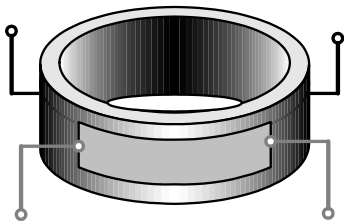


Рис.11. Магнітопружний датчик опору

Побудовані на магнітопружному ефекті силівимірювальні перетворювачі, що використовуються у діагностичних системах, мають просту та надійну конструкцію, високу вихідну потужність і широко використовуються для контролю технологічних процесів.

Для визначення сили різання при металообробці використовують оптичні, ємнісні та індуктивні датчики сили, але через свою нелінійність та конструктивні складності вони не знайшли поширення у системах діагностики технологічних процесів.

При збільшенні сили різання зростає вживана верстатом потужність, тобто збільшується електричний струм у ланцюзі живлення електродвигуна головного приводу. На рис.12 зображена схема дії струменевого датчика. Діагностичний сигнал датчика пропорційний силі струму, яка, в свою чергу, пропорційна силі різання.

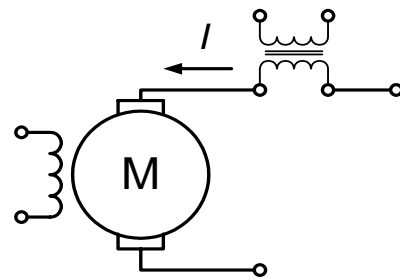


Рис.12. Електрична схема струменевого датчика



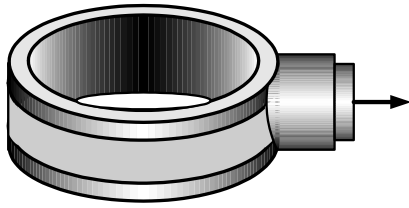


Рис.13. П'єзоелектричний датчик

Для підвищення точності вимірювання сил та коливань різання, а також їх аналізу широко використовують п'єзоелектричні датчики (рис.13), тобто перетворювачі, в яких за чутливий

елемент використовують монокристалічні матеріали, що мають п'єзоелектричні властивості.

Дія п'єзоелектричних вимірювальних перетворювачів базується на використанні прямого п'єзоефекту, тобто властивостей деяких матеріалів (п'єзоелектриків) генерувати заряд під дією прикладеної до них сили. Деформація п'єзоелектричних кристалів призводить до виникнення електричних зарядів, які підсилювачем перетворюються в електричну напругу. При встановленні п'єзоелектричного перетворювача на дослідному об'єкті він сприймає вібрацію об'єкта. Внаслідок прагнення інерційного елемента зберігати стан спокою п'єзоелемент деформується під впливом на нього інерційної сили. Деформація п'єзоелемента і виникаючий при цьому електричний заряд пропорційні прискоренню об'єкта. До основних переваг п'єзоелектричних перетворювачів слід віднести: широкий діапазон робочих частот; великі вібраційну та ударну міцності; простоту конструкції; малу чутливість до магнітних полів; можливість створення високотемпературних перетворювачів з малими розмірами та масою. Основним недоліком п'єзоелектричних вимірювальних перетворювачів є великий вихідний опір, залежність вихідного сигналу від довжини кабелю (при роботі з підсилювачем напруги) та неможливість вимірювання постійної складової динамічного процесу.

Для вимірювання низькочастотних вібрацій малого рівня прискорень необхідні перетворювачі, що мають високий коефіцієнт перетворення. При цьому слід враховувати, що на точність вимірювання впливають наступні чинники: спосіб та якість кріплення перетворювача на об'єкті, можливість вібрації вихідного кабелю, температура, змінні електричні та температурні поля, механічні

деформації, акустичні шуми, перепади тиску, проникнення до струмопровідних елементів вимірювальних перетворювачів вологи або мастила.

Унаслідок того, що п'єзоелектричні вимірювальні перетворювачі малочутливі до перешкод електричного, акустичного та механічного походження, вони широко застосовуються у системах діагностики різального інструмента.

#### ***2.4. Контроль стану різального інструмента***

Методи контролю стану різального інструмента поділяють на методи, що реалізуються поза основним часом роботи обладнання, та методи активного контролю, які дозволяють діагностувати стан різального інструменту у процесі різання. Методи контролю стану різального інструменту, що реалізуються поза основним часом роботи обладнання, базуються на оцінці різних параметрів і властивостей заготовки та оцінці геометричних розмірів різальних елементів інструмента. Оцінка параметрів заготовки або інструмента базується на використанні оптичних датчиків, датчиків дотику, шорсткості, переміщення. У комплекті з цими датчиками часто використовують датчики переміщень виконавчих органів верстата.

Найбільш поширеним критерієм затуплення різального інструмента, який засвідчує про необхідність припинення роботи, є ширина зносу контактної площадки його задньої поверхні. Методика визначення критерію затуплення базується на систематичних вимірах під час роботи розміру зносу задньої поверхні. Замір проводять у момент припинення різання або безпосередньо у процесі різання. Використання у системах автоматичного курування процесом обробки пристроїв, пов'язаних з необхідністю припинення процесу різання для здійснення заміру зносу інструмента, не дає ефекту через значне запізнення формування керуючого сигналу за отриманою у результаті замірів інформацією.

Тому найбільш цінними є пристрої, що вимірюють знос інструмента безпосередньо у процесі різання. До них належать оптичні пристрої (рис.14) з використанням засобів звичайної та волоконної оптики. Вимір відстані між світловим вихідним отвором оптичного волокна і деталлю призводить до зміни інтенсивності відбитого світла.

Для заміру зносу різального інструмента використовують електричні перетворювачі, опір яких змінюється залежно від ширини площадки зносу. При цьому на попередньо заізольованому за допомогою термотривкого шару задню поверхню різального інструмента наносять шар електропровідного матеріалу. Внаслідок зносу різця зменшується довжина цього шару, що приводить до зменшення електричного опору нанесеного матеріалу, який реєструється вимірювальним приладом. Метод можна використовувати при обробці діелектричних матеріалів.

За допомогою радіоактивних перетворювачів (рис.15) вимірюється об'ємний знос різального інструмента. Для цього інструмент опромінюється нейтронами або зарядженими частками. У процесі різання невеликі радіоактивні частки матеріалу інструмента відходять разом зі стружкою.

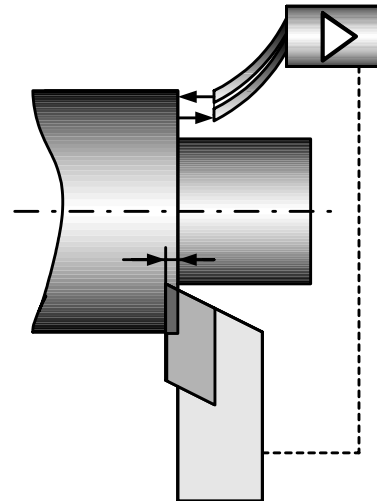


Рис.14. Схема дії оптичного світло-волоконного датчика

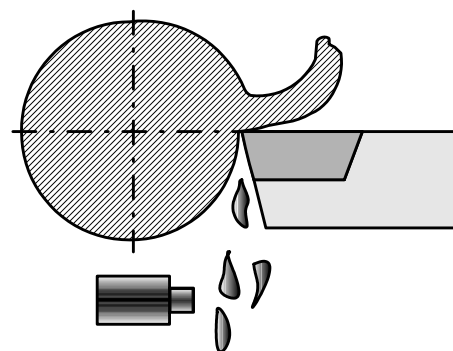


Рис.15. Схема дії радіоактивного перетворювача

Стружка переміщається у потік масла, що проходить крізь вимірювальну головку, де вимірюється рівень її радіоактивності. Проблема захисту від радіоактивності та необхідність збирання стружки не дозволяють широко застосовувати радіоактивні перетворювачі. Недоліком цього методу є невисока точність та необхідність роботи з радіоактивними речовинами, тому, не вважаючи на його відносну простоту, цей метод не знайшов широкого використання.

При прямих методах вимірювання зносу результати вимірювання є більш точні, ніж при визначенні зносу через функціонально пов'язані з ним параметри процесу різання. До прямих методів належать оптичні, телемоніторні та оптико-волоконні датчики.

Схема використання оптичних датчиків полягає в наступному: після закінчення обробки інструмент виводиться на вимірювальну позицію так, щоб його робоча поверхня освітлювалась джерелом світла; відбите від неї світло проєцирується на світлочутливі елементи. За допомогою схеми перетворення забезпечується сигнал, пропорційний зносу інструмента.

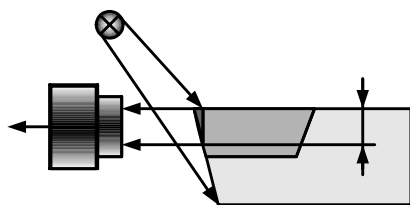


Рис.16. Телемоніторний пристрій виміру зносу різця

За телемоніторною схемою (рис.16) вимір зносу на телемоніторному пристрої реєструють у вигляді світлової смужки з подальшою обробкою телевізійного сигналу за допомогою електронних засобів та комп'ютерних технологій.

У оптико-волоконному датчику (рис.17) знос різця вимірюється світловим променем, що рухається і трансформується цим датчиком в електричний сигнал.

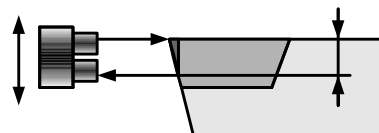


Рис.17. Оптико-волоконний датчик

Загальним недоліком оптичних методів є висока чутливість до зовнішніх умов експлуатації (засміченість повітря, наявність мастильноохолоджувального середовища та стружки у зоні різання).

У процесі безпосереднього контакту різального інструмента з заготовкою вимірювання зносу прямими методами важко реалізувати. Тому найбільше поширення отримали непрямі методи вимірювань, при яких визначають параметри, що відображають фізичну природу зношування та пов'язані зі зносом певними функціональними залежностями.

Відомо, що зі зносом різця збільшуються сили різання, відбувається більш інтенсивне тепловиділення у зоні різання, змінюється характер вібрацій та відбуваються інші явища. Залежність кожного з цих явищ від зносу лежить в основі непрямого методу. У деяких випадках переважний вплив на знос інструмента чинить контактний тиск між задньою поверхнею різця та матеріалом заготовки. Тоді як параметр непрямого вимірювання зносу різця можна використовувати складові сили різання, що залежать від ширини фаски зносу. Для вимірювання складових сили різання використовують тензометричні, п'єзоелектричні та інші перетворювачі.

Сили різання можна вимірювати за допомогою тензодатчиків, закріплених на інструменті вимірювального пристрою, встановленого у пристрої для закріплення інструмента або у шпинделі, датчиків навантаження у приводі подач, п'єзодатчиків, встановлених у напрямку дії сили, що контролюється, та ін.

Одним з цих методів є контроль стану інструмента за допомогою силовимірювальних підшипників, які використовують як чутливі елементи, з'єднані з підсилювачем та мікро ЕОМ. До недоліків методу можна віднести те, що сигнал від сили різання, наприклад при розточуванні, розверстуванні та чистовій обробці невеликими фрезами практично не виділяється на фоні перешкод.

Метод вимірювання сили різання за струмом у якорі двигуна привода подач знайшов широке застосування в автоматизованому виробництві. Основною перевагою цього метода є порівняно просте контролювання діагностичного па-

раметра. Збільшення амплітуди струму є ознакою підвищення зносу інструмента. Недоліком цього методу є віддаленість датчика від зони різання, внаслідок чого з'являються похибки від нерівномірного тертя у направляючих; інерційність приводу, яка спричиняє затримку сигналу, що може призвести до аварійних ситуацій; зниження чутливості при наявності редукції у приводі подачі.

Динамометри для вимірювання сил різання не знайшли використання у промисловості через наступні недоліки: монтування динамометрів у технологічну систему знижує жорсткість верстата; низька універсальність динамометрів як засобів вимірювання; складність експлуатації на верстатах з автоматичним встановленням інструмента та поворотним столом.

Відомо також використання тензодатчиків, встановлених в опорі ходового гвинта приводу подач для контролю працездатності інструмента. Недоліком методу є нестабільність втрат на тертя у направляючих та вплив теплового розширення гвинта на точність вимірювань.

Найбільше поширення отримав метод контролю стану різального інструмента за силою струму у якорі двигуна приводу головного руху, який корелюється з крутильним моментом і відповідно з потужністю на шпинделі. Контроль стану інструмента за навантаженням приводу шпинделя здійснюється порівнянням фактичної сили струму з величиною, введеною в пам'ять у ході навантаження. У системах контролю стану інструмента контроль струму сполучається з контролем часу різання. Передбачено також адаптивне управління для запобігання верстата від перевантажень за рахунок регулювання подачі.

Поширення цього методу пояснюється зручністю вимірювання діагностичного параметра, більш високою точністю оцінки зносу у порівнянні з вимірюванням струму у двигуні приводу подач. До числа недоліків методу можна віднести: низьку швидкодію внаслідок інерційності приводу; низьку чутливість до поломок кінцевого інструмента малого діаметра; значне коливання потужності, використовуваних на холостому ході, та її залежність від частоти обертання шпинделя; низьку чутливість при наявності редукції у приводі.

Підвищення сили різання з ростом зносу різального інструмента (особливо у напрямку подачі) спричиняє його вібрацію, інтенсивність якої залежить від тертя між різальним інструментом та поверхнею заготовки, що обробляється. Встановлено, що потужність сигналу, яка реєструється п'єзоелектричним акселерометром та визначена при аналізі спектра, є лінійною функцією від ширини стрічки зносу, причому співвідношення сигналу для нового та зношеного різців становить приблизно 1:10.

При мікро- та макропластичній деформації або у процесі руйнування у твердому тілі відбуваються збільшення ступеня деформації, ущільнення, обумовлені рухом та гальмуванням дефектів кристалічної будови, яке супроводжується випромінюванням звукових хвиль. Виникаючий при цьому імпульс напруження рухається у матеріалі зі швидкістю звукових хвиль і може бути зафіксований п'єзоелектричним акселерометром у вигляді електричного сигналу з частотою до 50 МГц.

Фізичні явища у зоні різання: процеси тертя та адгезії у фрикційному контакті інструмента зі стружкою та з поверхнею деталі, процеси пружного та пластичного деформування матеріалу, швидкоплинні процеси крихкого руйнування, ударні процеси, що супроводжують перервне різання, та інші є джерелом пружних хвиль різної інтенсивності та частоти. Ці хвилі, розповсюджуючись у пружному середовищі зі швидкістю звуку, відлунюючись від поверхонь, поступово згасають і утворюють хвилю, яка досягає будь-якої точки поверхні та спричиняє її зсув. Прискорення цих зсувів і фіксується п'єзодатчиком.

Широке застосування знаходять акустичні перетворювачі (рис.18), які сприймають сигнали, що виникають при виділенні енергії у результаті процесів пластичної деформації і руйнування при різанні та поширюються у різальному інструменті і заготовці (частоти акустичних імпульсів перевищують частоти шумів від рухомих вузлів верстата та вібрацій).

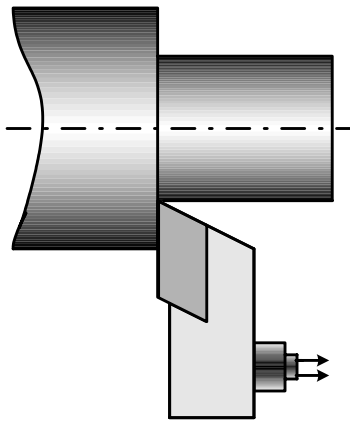


Рис.18. Схема дії акустичного перетворювача

Перевагою перетворювачів є висока частота сигналів, що дає можливість відсікати за допомогою фільтрів звичайні низькочастотні шуми, простота кріплення перетворювача до інструмента, нескладність конструкції та порівняна легкість обробки отриманих сигналів.

Акустичне випромінювання, що виникає при деформації та руйнуванні металів, генерує акустичний сигнал на частотах, які містять звуковий (до 20 кГц) та ультразвуковий ( $2 \cdot 10^4 \dots 10^{13}$  Гц) сигнали.

Проходження процесів, що породжують акустичне випромінювання, визначається великим числом чинників: макро- і мікрогеометрією інструмента, фізико-механічними властивостями матеріалів інструмента і деталі, динамічними характеристиками технологічної системи, зовнішніми умовами навантаження та використання технологічних середовищ. Зміна хоча б одного з цих чинників призводить до зміни характеристик акустичного сигналу, його інтенсивності та частотного спектра. Знос різального інструмента призводить не тільки до зміни його геометрії, але й спричиняє дію на процеси, що впливають на акустичне випромінювання: збільшується пластична деформація стружки, що знімається, та поверхні різання, змінюється геометрія мікронерівностей у фрикційному контакті пари “інструмент-деталь”, зменшується швидкість ковзання стружки по передній поверхні інструменту, змінюються умови утворення наросту на інструменті, більш інтенсивно йдуть процеси зміцнення матеріалу, що обробляється.

Через різнобічність впливу цих чинників на характеристики акустичного випромінювання та випадкового характеру проходження самого процесу зносу параметри акустичного сигналу, що реєструється, є випадковими функціями різального інструмента. Складність алгоритму обробки акустичного сигналу та



віброакустичної системи діагностики стану різального інструмента визначаються задачею, для вирішення якої вона призначена. Наприклад, для знаходження поломки інструмента, при якій розривається контакт “інструмент-деталь”, для певних видів і умов обробки не потрібен складний алгоритм обробки акустичного сигналу. Для визначення ступеня зносу інструмента необхідна, як правило, достатньо складна обробка сигналу, яку можна здійснити за допомогою віброакустичної системи на базі мікропроцесора або з використанням зовнішньої ЕОМ.

Експериментально встановлено, що найбільший розкид амплітуд акустичного сигналу відповідає періоду припрацювання інструмента. Далі розкид змінюється, але інтенсивність сигналів мало змінюється з ростом зносу. Це пояснюється тим, що процеси, які суперечливо впливають на зміну характеристик акустичного випромінювання, на даному етапі компенсують один одного.

При критичному зносі інструмента інтенсивність акустичного сигналу та його дисперсія починають різко зростати.

Незважаючи на суттєвий розкид миттєвих значень акустичного сигналу, встановлено, що за закінченням періоду припрацювання енергія акустичного випромінювання протягом достатньо високого інтервалу часу монотонно зростає з розвитком зносу. Виняток становлять моменти появи стійкого наросту на вершині різця, коли інтенсивність високочастотного сигналу може падати.

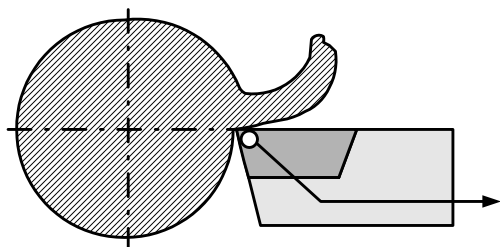


Рис.19. Схема визначення зносу інструмента за допомогою термопар

Серед непрямих методів визначення зносу різального інструмента найбільше поширення отримав метод, що базується на замірах температури різальної кромки різця термоелектричним та термохімічним способами. За першим способом температуру різальної частини інструмента визначають за допомогою штучної, напівштучної та природної термопар (рис.19).

Метод вимірювання температури різання за допомогою природної термопари знайшов найбільше поширення через високу чутливість, практичну безінерційність та надійність.

До недоліків методу можна віднести складність тарювання вихідного сигналу термопари та необхідність перешкодозахисту корисного сигналу.

Метод вимірювання температури різання за допомогою пірометра дозволяє визначити розподіл температури на поверхні інструмента. До недоліків методу належать значна інтерференція теплових випромінювань у контактній зоні, що впливає на отриманий результат, а також похибка пірометра.

Для вимірювання температури різання (наприклад, при токарній обробці) використовують оптичний пірометр, максимальна нестабільність результатів замірів якого при цьому становить не більше  $\pm 3\%$ .

На цей час виконано багато робіт із замірів температури контакту “інструмент-деталь” та використанню отриманого сигналу у системі активного контролю. Виміри температури проводяться методом природної термопари та за допомогою оптичних пірометрів, використання яких обмежувалося лабораторними умовами, і в подальшому важко очікувати їх широкого використання у промисловості через складність їх вбудови в інструментальні вузли. Те ж саме можна сказати про метод штучної термопари.

Гарні результати показали дослідження впливу зносу інструмента на параметри термоелектрорушійної сили (постійну та змінну складові, інтенсивність складових спектра). Основні недоліки методу полягають у необхідності встановлення струмознімача (з його недоліками) та в ізоляції інструменту, що у промислових умовах експлуатації має ряд обмежень.

Термохімічні методи вимірювання температури не отримали поки що великого поширення.

У процесі обробки через розмірний знос різця відстань між різцетримачем та обробленою поверхнею зменшується.

Контроль за зміною вказаної відстані здійснюється за допомогою електричного та пневматичного перетворювачів, а також ультразвукового пристрою.

Електричний перетворювач (рис.20) встановлюють на різцетримач, а його щуп контролює безпосередньо поверхню, яка обробляється.

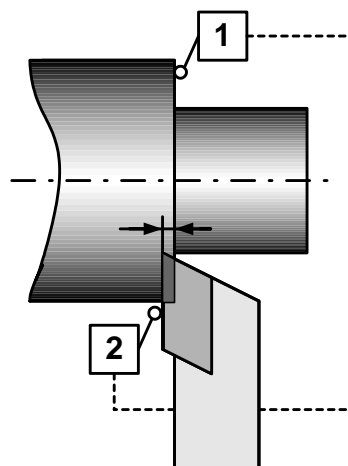


Рис.20. Схема дії електричного контактного перетворювача

Перевагою цього методу вимірювання є те, що фіксується зміщення обробленої поверхні, а не різальної кромки інструмента. Знос щупа через його тертя об деталь, подряпини на обробленій поверхні, вібрації заготовки та інші шкідливі явища ускладнюють вимірювання.

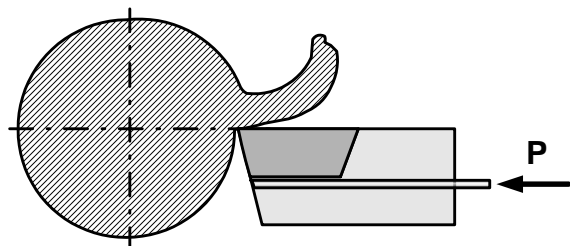


Рис.21. Схема дії пневматичного датчика

Пневматичний перетворювач зносу (рис.21) вимірює відстань між торцевою поверхнею вимірювального сопла та поверхнею деталі, що обробляється і діє як заслінка. У процесі різання по мірі зносу різального інструмента змінюється вказана відстань і тиск у вимірювальній камері, за яким контролюють величину зносу.

Перевагою перетворювача є можливість вимірювання зносу різця у безпосередній близькості від різальної кромки, недоліком – вплив на показники пристрою кривини поверхні деталі, що обробляється, її шорсткість, а також точність виготовлення вимірювальних сопел.

У методах з використанням пневматичних датчиків реалізовано принцип пневматичного сопла–заслінки. Сопло розташовується у різальній пластині інструмента, і через нього подається стисле повітря. Зі збільшенням зносу відбувається зменшення зазору між соплом та поверхнею різання, яка служить заслінкою, що призводить до збільшення опору витіканню повітряного струменя. Замірюючи цей опір, можна оцінити знос інструмента. До недоліків цього способу можна віднести складність реалізації, пов'язану з необхідністю утворення пневмоканалів у реальному елементі інструмента, а також додаткової оснастки для підводу стислого повітря.

Ультразвуковий пристрій (рис.22) базується на використанні ультразвукового генератора, який встановлено на різцетримачі. У процесі різання вимірюється час проходження імпульсів, відбитих від поверхні, що обробляється, який зменшується по мірі збільшення зносу різця. До недоліків пристрою можна віднести складність його конструкції.

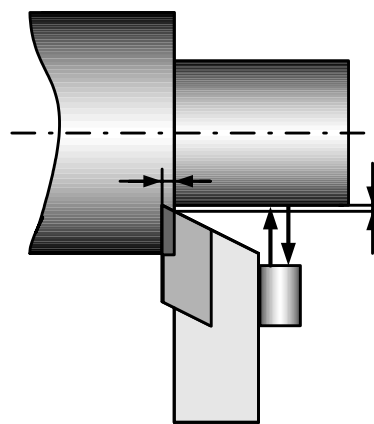


Рис.22. Схема виміру зносу різця за допомогою імпульсного (ультразвукового) датчика

Шорсткість обробленої поверхні суттєво залежить від зносу різального інструмента. Труднощі використання шорсткості та її характеристик як діагностичної ознаки пов'язані з тим, що вони залежать не тільки від ступеня зношеності різального інструмента, але і від характеристик динамічної системи верстака, режимів обробки та ін.

У способі використання датчиків шорсткості у процесі різання шорсткість оброблюваної поверхні, розташованої супроти різця, оцінюється оптичним методом. Ділянка поверхні, що контролюється, освітлюється джерелом світла, відбиті промені якого сприймаються телевізійною камерою. Наявність мастильно-

охолоджувальної рідини та стружки спотворюють надійність цього методу. Складність конструкції і мала перешкодозахищеність ускладнюють широке використання цього методу.

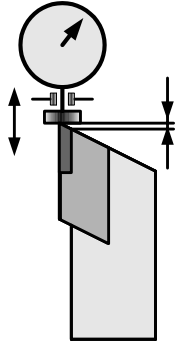


Рис.23. Схема дії датчика дотику

Методи контролю з використанням датчиків дотику отримали поширення завдяки підвищенню точності вимірювальних пристроїв систем програмного керування та появи надійних датчиків дотику. Оцінка зносу проводиться за наступною схемою (рис.23): виконавчий орган верстата підводить інструмент на вимірювальну позицію до моменту дотику з механічною або електричною рухомою системою, і за зміщенням різальної кромки визначається знос інструмента.

У схемі з використанням пневматичної системи (рис.24) зміна швидкості струменя повітря пропорційна зносу різального інструмента.

Перевагою методу дотику є його універсальність, тобто можливість проводити різноманітні контролюючі операції, наприклад контроль наявності інструмента у робочій позиції, а також висока точність вимірювань. Недоліком є необхідність високої точності виходу виконавчого органу на вимірювальну позицію і мала швидкодія вимірювань.

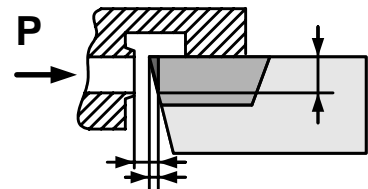


Рис.24. Пневматична система виміру зносу різця

При проведенні вимірювань можливе збільшення швидкості переміщення робочого органу, але збільшення швидкості обмежено динамічними характеристиками датчиків. Наявність наросту та стружки на різальних елементах інструмента також негативно впливає на надійність методу дотику.

## 2.5. Контроль розмірів деталі

Для контролю вихідного параметру процесу різання (розмірів деталі) використовують в основному два типи вимірювальних перетворювачів – з безпосереднім контактом вимірювального наконечника з обробленою поверхнею деталі та безконтактні.

До контактних перетворювачів належать датчики:

*Фрикційний* (рис.25) – фрикційний диск, зв'язаний з імпульсним датчиком, залежно від обходу деталі видає пропорційне периметру деталі число імпульсів.

*Контактний індикаторний* (рис.26) – вимірювання здійснюється індикатором контакту (щупом) з автоматичним керуванням від системи ЧПК.

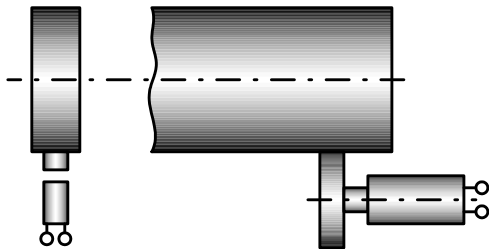


Рис.25. Схема дії фрикційної вимірювальної системи

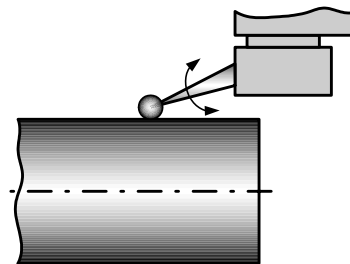


Рис.26. Схема дії контактної індикаторної вимірювальної системи

*Диференційний* (рис.27) – вимірювальна система являє собою вимірювальний пристрій у формі вилки; точне вимірювання деталі забезпечується індуктивними, ємнісними або акустичними датчиками.

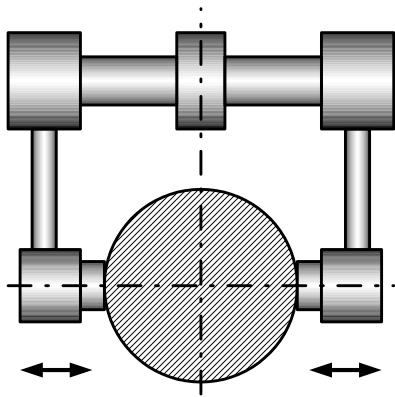


Рис.27. Диференційна система

Найбільша точність контролю розміру та форми деталі, що обертається, може бути забезпечена при дводетекторній схемі вимірювання, у результаті чого вилучається вплив на точність вимірювання теплових та силових деформацій основних елементів технологічної системи, а також вплив геометричної неточності верстата.

Крім того, перевагою дводетекторної схеми вимірювання є те, що похибка вимірювання, викликана неточністю взаємного розміщення перетворювача і шпинделя, може бути зкомпенсована осередненням результатів вимірювань, виконаних у діаметрально протилежних точках деталі.

*Контактний* (рис.28) – пересувна вимірювальна контактна система з сервоприводом. Особливості процесу токарної обробки (наявність стружки, мастильно-охолоджувальної рідини), а також необхідність роботи на підвищених швидкостях різання утруднюють широке застосування контактних методів вимірювання.

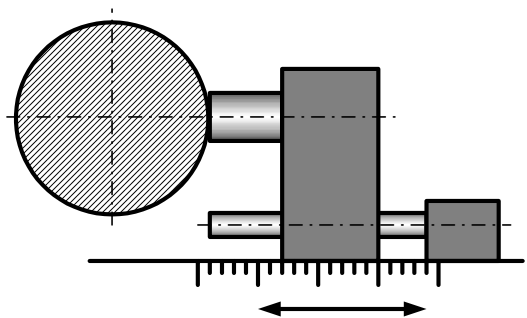


Рис.28. Пересувна контактна вимірювальна система

Це викликано, у першу чергу, швидким зносом вимірювальних наконечників, а також впливом на точність вимірювань форми вимірювальних наконечників та сили їх притискання. Це приводить до необхідності більш широкого використання безконтактних вимірювальних перетворювачів.

До безконтактних перетворювачів належать наступні датчики:

*Ультразвуковий* (рис.29) – імпульс, який випромінює датчик ультразвукових хвиль, обходить деталь та генерує у приймачі при кожному обході сигнал. Час між імпульсами на приймачі пропорційний периметру деталі.

*Фотоелектричний* (рис.30) – тіньовий однобічний метод полягає у тому, що обмежений пучок світла падає на диференціальний фотодіод; переміщення вилки визначає розміри деталі.

*Тіньовий* (рис.31) – тіньовий двобічний метод полягає у тому, що пучок випромінювання лазера ошупує деталь за допомогою дзеркал з двох боків; фотоприймач оцінює відхилення від встановленого значення, за яким визначають розміри деталі.

*Оптичний* (рис.32) – оптична система з'єднана з відеопідсилювачем та телевізійною приймальною трубкою; відстань між рядками дає числове значення вимірювання.

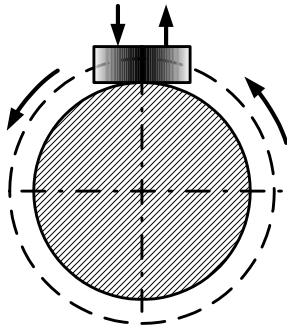


Рис.29. Ультразвуковий імпульсний вимірювальний пристрій

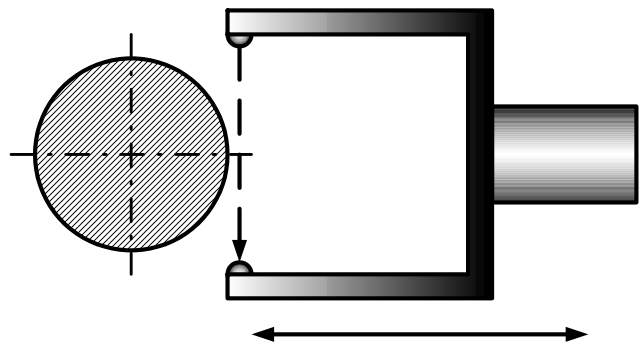


Рис.30. Фотоелектричний однобічний тіньовий вимірювальний пристрій

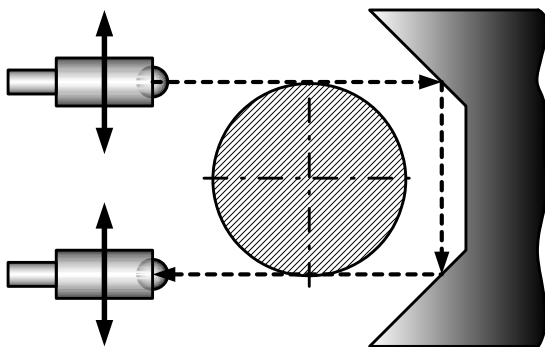


Рис.31. Тіньовий двобічний лазерний вимірювальний пристрій

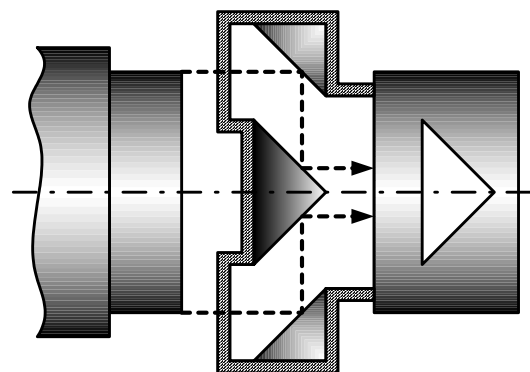


Рис.32. Оптична телевізійна вимірювальна система



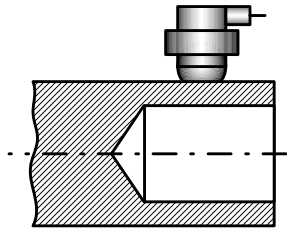


Рис.33. Акустична вимірювальна система

*Акустичний* (рис.33) – вимірювання товщини стінок за допомогою ультразвуку. Вимірюється час розповсюдження імпульсу між зовнішньою та внутрішньою стінками деталі.

Безконтактні пневматичні перетворювачі типу сопло-заслінка мають ряд переваг: надійність у роботі, нечутливість до вібрацій, простота конструкції та технологічність їх використання, самоочищення перетворювачів та ін. При використанні пневматичних перетворювачів для контролю діаметра деталі, що обертається, на показники перетворювачів у значній мірі впливає кривизна поверхні оброблюваної деталі, яку можна зменшити, використовуючи пневматичну вимірювальну скобу.

На відміну від пневматичних безконтактні оптичні перетворювачі мають ряд переваг: можливість здійснення контролю у безпосередній близькості від зони різання та розташування конструктивних елементів перетворювача на значній відстані від об'єкту вимірювання.

## **2.6. Контроль якості поверхні**

Для контролю за станом поверхневого шару деталей існують методи, які дозволяють оцінити якість параметрів в основному тільки після закінчення обробки. До таких методів належать такі:

*Контактний* (рис.34) – коливання голки, що рухається по поверхні, індуктивним або ємнісним способом перетворюється у електричний сигнал.

*Пневматичний* (рис.35) – вимірювальне сопло, встановлене на певній відстані від поверхні деталі, що утворюють систему сопло–заслінка, залежно від швидкості потоку визначається шорсткість поверхні.

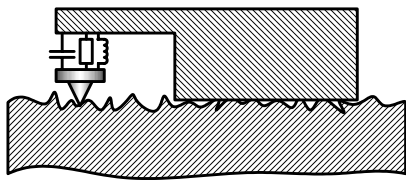


Рис.34. Схема дії контактної датчика з індуктивним або ємнісним перетворювачами

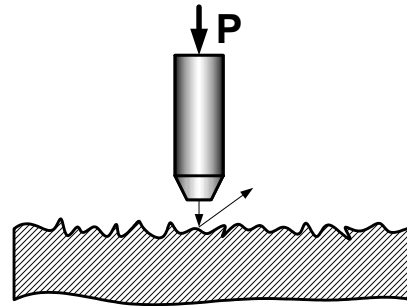


Рис.35. Пневматичний датчик

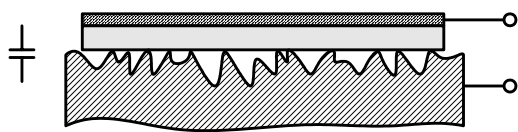


Рис.36. Схема дії ємнісного контактної датчика

*Ємнісний* (рис.36) – поверхня та вимірювальний електрод утворюють конденсатор, ємність якого залежить від виду поверхні. Вимірювання ємності дає можливість оцінити якість поверхні.

Для здійснення автоматичного контролю використовують оброблену поверхню як один з елементів ємнісного датчика, і зробивши виміри ємності між нею та пластиною, можна проконтролювати якість поверхні. Для об'єктивного порівняння необхідно проводити калібрування за еталоном та порівнювати ці виміри у процесі обробки деталі.

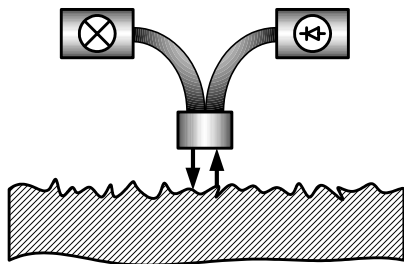


Рис.37. Оптико-волоконний датчик

*Оптико-волоконний світловий* (рис.37) – від джерела світла пучок за допомогою волоконної оптики відбивається від поверхні деталі і потрапляє на фотодіод, де реєструється сигнал, за яким оцінюють шорсткість обробленої поверхні.

*Світловий* (рис.38) – обмежений світловий пучок освітлює поверхню під кутом. Викривлення пучка, яке залежить від мікронерівностей, визначається і оцінюється лінійкою фотодіодів.

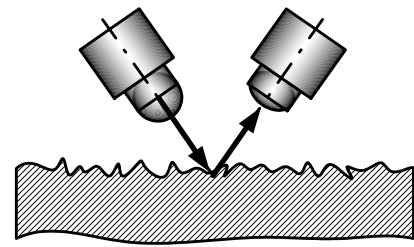


Рис.38. Схема дії світлового, фотометричного, лазерного перетворювачів

*Фотометричний* – світлокерована галогенна лампа через систему лінз освітлює місце вимірювання; відбитий пучок потрапляє на фотодетектор, і залежно від його інтенсивності визначається шорсткість поверхні.

*Лазерний* – відбитий від поверхні промінь лазера сприймається вимірювальним фотоелементом, за величиною сигналу якого визначають шорсткість поверхні.

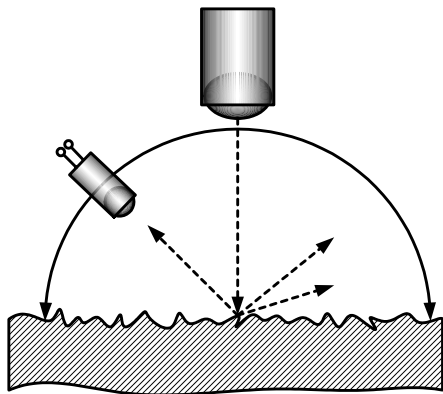


Рис.39. Схема дії лазерного оптичного фоторезисторного перетворювача

*Оптичний* (рис.39) – пучок лазера, встановленого перпендикулярно до деталі, попадає на фоторезистор, що обертається, який оцінює відбите випромінювання і визначає таким чином шорсткість поверхні.

При використанні лазерних джерел та скануючих систем вимірів оптична система вимірювань спрощується і може знайти використання для автоматичного контролю якості поверхні, але при цьому їх використання ускладнено у зв'язку з використанням масляно-охолоджувальних середовищ.

### **3. СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТА КОНТРОЛЮ СТАНУ ПРОЦЕСІВ МЕТАЛООБРОБКИ**

#### ***3.1. Система підтримки працездатності процесів***

Як правило, всі перетворювачі, що використовуються в автоматичних системах процесів металообробки, підключаються до мікропроцесорів або ЕОМ, у яких вимірювальна інформація опрацьовується, і результати вимірювань порівнюються з попередньо заданими.

При цьому принцип роботи засобів контролю та діагностики базується на аналізі будь-якого параметру процесу різання (рівня віброакустичного сигналу), потужності, що використовується, крутильного моменту, складових сили різання, часу різання та врізання, порівняння цих параметрів з допустимими межами їх вимірювання та прийняття рішень про продовження обробки, зупинці верстата, зміні інструмента тощо.

Для надійного функціонування засобів контролю та діагностики необхідно визначити критерії відмови інструментів різних типів в різних місцях обробки, а також допустимі границі вимірювань параметрів, що контролюються.

Тому оперативність діагностики досягається, у першу чергу, за рахунок використання інформації, пов'язаної з фізико-механічними характеристиками вузлів верстатних модулів (вимірюваннями електричних та магнітних властивостей технологічної системи, теплового режиму її роботи), а також контролю граничних параметрів процесу різання (ресурсу інструмента, геометричної точності вузлів технологічного обладнання). Для реєстрації цих джерел інформації перевага віддається датчикам природного зворотного зв'язку, що являють собою модернізовані або удосконалені вузли гнучких виробничих модулів (наприклад, вмонтовані у підшипники шпинделя тензодатчики для реєстрації навантаження на опори, засоби контролю за вимірюванням навантаження приводних електро-

двигунів, різні варіанти динамометричних різцетримачів, базові корпусні деталі верстата, що реєструють теплові деформації). Перевагою цих пристроїв є компактність, надійність у роботі, збереження технологічних спроможностей обладнання.

Безвідмовне функціонування процесів неможливе без використання діагностичних систем для автоматичного контролю працездатності різального інструмента. Його відмови є причиною більш 50 % порушень працездатності верстатів з ЧПК. Система контролю гарантує стабільну роботу різального інструмента при досягненні їм граничного або технологічного зносу.

У відсутності оператора його роль виконують пристрої, які включені у ланцюг зворотного зв'язку. Комплект цих пристроїв – система підтримки працездатності – слідкує за процесом різання, видом утвореної стружки, поданням мастильно-охолоджувальної рідини; перевіряє чистоту встановлених баз, розміри заготовок та деталей, контролює роботу механізмів верстата і т. д.

Алгоритм дії системи підтримки працездатності процесу включає: 1) збирання інформації; 2) її оцінку та виявлення відхилень від норми, встановленої початковими даними; 3) виявлення причини відхилення; 4) прийняття рішення і виробітку кореляційного впливу, який ліквідує виявлене відхилення; 5) введення корегуючих впливів.

На перших двох етапах проводяться операції контролю, на третьому – діагностування і на двох останніх здійснюються операції прийняття та реалізації рішень.

При розгляданні задач систем підтримки працездатності необхідно зауважити, що їх ефективна робота можлива лише тоді, коли на стадіях проектування і виготовлення забезпечена висока надійність усіх елементів, вузлів і механізмів. Система підтримки не спроможна скоротити простої обладнання при систематичних відмовах, пов'язаних з конструктивними недоліками та поганою якістю виготовлення. Вона призначена для підтримки працездатності гнучких

процесів при виникненні раптових відмов або відмов, пов'язаних з поступовим зносом інструмента або елементів обладнання, оснащення і т. д.

Поновлення нормальної роботи обладнання після відмови повинно забезпечити продовження роботи у тих випадках, коли на звичайному обладнанні обробка припиняється. Це є найбільш складною задачею системи підтримки працездатності, яка потребує утворення алгоритмів прийняття рішень, що відтворюють дії оператора в аналогічній ситуації. Ці дії не завжди можуть бути формалізовані, і крім того, обсяг інформації і кількість засобів поновлення, що є у розпорядженні системи, завжди менші тих, які має оператор. Тому система приймає тільки прості рішення типу “Аварійний стоп”, “Зменшити подачу”, “Змінити інструмент” і т. п.

Система підтримки працездатності складається з підсистем контролю, діагностики, прийняття рішень. Сигнал з датчиків контролю надходить у систему контролю, де перетворюється у сигнал результату контролю і надходить у підсистему діагностики та підсистему прийняття рішень. Підсистема контролю формує також сигнал корегуючої дії, який надходить до системи програмного керування обладнанням. Утворений підсистемою діагностики сигнал результату діагностування подається до підсистеми прийняття рішень, яка утворює сигнали корегуючого впливу, що надходять до системи керування, а також програми для діагностування та для контролю. Системою програмного керування формуються сигнали початкових даних для контролю та початкових даних для прийняття рішень.

На вхід системи від датчиків підсистеми контролю надходить інформація про фактичні величини вихідних координат об'єкта керування, за якими ведеться контроль. Підсистема контролю опрацьовує отриману інформацію, розраховує показники працездатності інструмента і порівнює їх з відповідними еталонами, які надходять у підсистему контролю у складі початкової інформації.

На базі порівняння отриманої інформації підсистема контролю формує сигнал про відхилення показників працездатності від норми. Цей сигнал залежно від аварійної ситуації подається в систему програмного керування верстатного модуля або у підсистему прийняття рішень, за вимогою якої передається “замовлення” у підсистему діагностики на з’ясування причин зниження показників працездатності. При проведенні діагностичних перевірок підсистема контролю здійснює додаткове опитування датчиків. Після збирання всієї інформації підсистема прийняття рішень виробляє відповідну корегуючу дію, яка передається у систему програмного керування для реалізації.

Поряд з задачею знаходження відхилень від нормального ходу процесу і фіксації місця відмови або причини збою велика увага приділяється задачі автоматичного відновлення працездатності після різних порушень. При цьому рішення, які приймає система підтримки працездатності, є достатньо “інтелектуальні”: розрахунок корекції, вибір траєкторії відводу поламаного інструмента залежно від його типу та характеру обробки, визначення необхідності закінчення обробки та вибір відповідного інструмента, використання дублерів інструмента замість зношеного базового і т. п. До таких рішень належать, наприклад, автоматичний розрахунок та ввід компенсацій різних силових та теплових деформацій, оптимізація режимів різання з урахуванням отримання дробленої стружки або збільшення ресурсу робочого інструмента.

### ***3.2. Системи діагностування стану різального інструмента***

До параметрів різального інструмента, що контролюються, відносяться: ширина стрічки зносу, відстань від вершини різального інструмента до постійної бази, рівень вібрацій, температура, остатня радіоактивність. Параметрами, які характеризують взаємодію різального інструмента зі стружкою відносно деталі, що обробляється, є наступні: тривалість циклу обробки, сила різання, крутильний момент обертання деталі або інструменту, потужність, яка витрачається

ся на обробку, вібрації та звукові коливання, електрорушійна сила різання та електричний опір контакту “інструмент–деталь”.

Системи автоматичної діагностики процесів металообробки забезпечують вимірювання швидкості зносу та умов роботи інструмента. При автоматичному контролі зносу інструмента продуктивність обробки підвищується на 40 %, а при контролі, який дозволяє попередити руйнування інструмента, – на 30 %. У зв'язку з цим необхідно розробляти моделі зносу інструментів, методи безпосереднього заміру швидкості зносу та критерії їх придатності.

Критерій зносу, який визначає необхідність автоматичної зміни інструмента, залежить від типу обробки, матеріалів інструмента і деталі та ін. До таких критеріїв відносяться різке зростання розмірного зносу, збільшення шорсткості поверхні деталі, сили різання і температури у зоні різання за припустимі межі і т. д. У період експлуатації розмірний знос можна прогнозувати. В той же час різні види поломок різального інструмента частіш за все виникають несподівано, не піддаються прогнозуванню і найбільш небезпечні для роботи металорізальних верстатів та обладнання. Системи автоматичного контролю вирішують задачі діагностики стану різального інструмента. Функції обробки інформації у системі автоматичного контролю реалізуються або на мікро-ЕОМ системи ЧПК, або на додатковій мікро-ЕОМ (варіант локальної підсистеми контролю).

Найбільш поширеним методом контролю стану інструмента у процесі різання є метод безперервного або через короткі проміжки часу (для кожної деталі) вимірювання поточних параметрів приводних електродвигунів. Вимірювальні перетворювачі, встановлені на електродвигунах, реєструють зміну струму навантаження і через аналого-цифровий перетворювач передають інформацію для обробки у мікро-ЕОМ. Інформативність і надійність метода багато в чому залежить від повноти та точності статистичних даних про взаємодію поточних параметрів енергоспоживання приводних електродвигунів з режимами різання усіх інструментів, що застосовуються.



У системах автоматичного контролю процесу застосовують оптичні та оптико-електричні методи, які дозволяють отримати зображення освітленої зони зносу різального інструмента, коли він не знаходиться у контакті з заготовкою.

В оптичній системі з використанням оптико-електричного датчика формується зображення зносу. Тривалість імпульсу фотосигналу залежить від ширини зносу та швидкості переміщення інструмента. Замір тривалості імпульсу фотосигналу здійснюється шляхом перетворення “час-код”, для чого за переднім фактором фотосигналу вмикається лічильник високочастотних імпульсів. При збільшенні швидкості різання зменшується тривалість одного сигналу, при цьому загальна кількість імпульсів за певний період часу при даному номінальному значенні зносу постійна.

Оптичні датчики з використанням світлодіодів забезпечують підведення освітлювального пучка випромінювання безпосередньо у зону різання від джерела та зворотно – до приймача відбитого світла. Точність вимірювань розмірного зносу досягає  $\pm 0,01$  мм у діапазоні 0,1...0,8 мм.

Існує декілька систем на основі використання методів контролю стану різального інструмента за властивостями стружки, що утворюється у процесі різання. Наприклад, контроль за температурою здійснюється за допомогою фотодіодів, що працюють у інфрачервоній області.

Вельми інформативним джерелом для контролю процесу металообробки є контакт різального інструмента з деталлю. Так, електрорушійна сила, яку можна вимірювати у режимі постійного та перемінного струменів, вважають одним з найбільш стабільних сигналів процесу металообробки. Для заміру електрорушійної сили на шпинделі верстата встановлюють струмознімач, який за допомогою електрики з'єднаний з першим входом вимірювального перетворювача, другий вхід якого з'єднується з різальним інструментом, що не потребує електричної ізоляції, оскільки опір шпиндельних підшипників значно більше опору контакту “інструмент–деталь”. Електрорушійну силу різання як діагностичний

сигнал можна використовувати у великому діапазоні режимів різання, оскільки температура заготовки практично не впливає на її розмір.

Знос різального інструмента можна контролювати за абсолютним значенням постійної складової електрорушійної сили різання для нового та затупленого інструмента, за значенням якої можна визначити зсув верхньої швидкісної межі зони наростуутворення.

При контролі процесів металообробки використовують віброакустичні системи діагностики стану різального інструмента. Роботи з реалізації систем діагностики за віброакустичним сигналом можна поділити на два етапи. Перший етап містить встановлення кореляційних зв'язків між станом різального інструмента та параметрами процесу різання; потім розробляють алгоритм обробки електричного сигналу, що реєструється датчиком. Другий етап містить розробку апаратної частини (електронні та обчислювальні блоки і т. д.).

Системи діагностики поділяють за сигналами акустичної емісії: до 150 кГц та більш 50 кГц (такий розподіл спричинено різною природою коливань у вказаних діапазонах).

Зрушення твердих тіл супроводжується явищем акустичної емісії, при якій звільняється енергія. Частина цієї енергії перетворюється у пружні хвилі з частотою більш 100 кГц, які розповсюджуються у матеріалі і виявляються за допомогою п'єзоелектричних високоякісних акселерометрів.

На базі моделі стружкоутворення можна виділити наступні джерела сигналів звукової емісії: процеси пластичної деформації; процеси тертя (тертя між стружкою та інструментом, між заготовкою та інструментом); виникнення та руйнування мікроз'єднань; адгезійні процеси; періодичне утворення та руйнування наросту на різальних кромках інструмента; знос інструмента – поступове вилучення поверхневого шару інструмента, виривання часток та викришування різальної кромки інструмента (зміна геометрії різальної частини впливає на деформацію та стружкоутворення, що приводить до зміни звукового сигналу); формування властивостей поверхневого шару деталі під впливом різних фізико-

хімічних явищ; структурно-фазові перетворювання в оброблюваному та інструментальному матеріалах.

Таким чином, типові причини, що викликають звукову емісію при різанні, діють як сукупність дефектів. При цьому внаслідок взаємної інтенсивності сигналу акустичної емісії зі швидкістю деформації більш сильний сигнал генерують ті зони, які швидко деформуються при різанні.

Реєстрація хвиль акустичної емісії при різанні дозволяє контролювати зародження та розвиток тріщиноутворень у різальному інструменті. Інтенсивність сигналів відповідає величині зносу інструмента. Основною перевагою цього методу є слабка залежність інтенсивності сигналу від умов обробки та характеристик технологічної системи верстата, а недоліком є необхідність встановлення датчика біля зони різання безпосередньо на інструменті.

Потужність ультразвукових хвиль у діапазоні 100кГц – 1МГц недостатня, щоб пройти крізь поверхню розділу “інструмент-заготовка”, а також зону пластичного зсуву, тому пружні хвилі у цих зонах будуть або відбиватися, або згасати. Зі зносом інструмента збільшується кількість імпульсів. Електричні сигнали від п'єзодатчика, встановленого на державці інструмента, знаходять у послідовно з'єднані підсилювач, блок фільтрів та інтенсиметр, у якому визначається число сигналів, що надходять на вхід в одиницю часу. З виходу інтенсиметра електричні сигнали, пропорційні інтенсивності коливань, надходять у блок, у якому проводиться порівняння зареєстрованого значення інтенсивності акустичної емісії та заданого, що характеризує певний знос. Основна складність у використанні методу акустичної емісії – правильна розшифровка складного за своєю структурою сигналу про фізико-механічні явища, що супроводжують процес різання. Правильність розшифровки сигналу забезпечує якість та надійність діагностики. Метод акустичної емісії застосовують для діагностики стану будь-якого різального інструмента. Але у випадку використання багатолезового інструмента, коли у контакті з матеріалом, що оброблюється, знаходиться декілька різальних кромки, розшифровка акустичного сигналу, що

надходить із зони обробки, ще більш ускладнюється. Чутливість методу дозволяє фіксувати окремі мікроруйнування на робочих поверхнях інструмента як результат адгезійного схоплення або втомленого мікрОВикрОшування.

Перспективним методом контролю стану інструменту є контроль у діапазоні частот 20 Гц – 50 кГц. На деяких верстатах застосовують контроль зломів інструменту за допомогою мікрофона, який реєструє різку зміну звуку на частотах 300 – 1000 Гц.

З ростом зносу залежно від головного кута у плані та режимів різання у періодичних коливань сили різання спостерігаються нелінійні викривлення, які відображаються у коливаннях технологічної системи верстата, у тому числі і в коливаннях інструмента. На базі цього явища розроблено пристрій для контролю зносу інструмента, в якому фільтр високих та низьких частот автоматично настроюється на частоти, які мають найбільші амплітуди значення у своїх піддіапазонах, що збільшує точність та перешкодосталість даного пристрою.

Виникнення пружних коливань в певному частотному діапазоні відбувається у результаті взаємодії мікронерівностей контактуючих поверхонь інструмента та заготовки. Мікронерівності інструмента та заготовки співударяються та збуджують пружні коливання у діапазоні 10 кГц та вище.

З ростом зносу інструмента по задній поверхні збільшується зона контакту між ним та заготовкою, що викликає підвищення сили різання. Зі збільшенням сили різання підвищується контактний тиск у їх контакті. Зі збільшенням зони контакту та контактного тиску збільшується інтенсивність взаємодії мікронерівностей, що викликає підвищення амплітуди віброакустичного сигналу у діапазоні 10...30 кГц.

Існує пристрій для контролю стану інструмента за вібраціями при частотах вище 14 кГц, який забезпечує формування трьох сигналів, що свідчать про різні ситуації відмови: злам або відсутність інструмента, що фіксується при перевищенні заданого часу врізання; знос, що фіксується при перевищенні граничного рівня сигналу протягом певного часу; злам, що фіксується при перевищенні

другого граничного рівня сигналу, який видається у систему керування без затримки.

Прикладом використання віброакустичного сигналу при частоті 20 кГц для діагностування відхилення деяких параметрів процесу різання від їх нормального ходу є пристрій “Діагностика – 02” для контролю процесу обробки. Пристрій використовується разом з системами ЧПК типу H22 та “Електроніка – НЦ-31” і контролює три основні групи відхилень від нормального ходу процесу різання.

1. Відсутність заготовки, поломка різального інструмента, коли розривається контакт між інструментом та заготовкою або неправильне закріплення заготовки.

2. Врізання інструмента у заготовку: діагностичною ознакою такого виду відмови є поява сигналу про наявність процесу різання при одночасній наявності сигналу про те, що інструмент рухається хоча б за однією з координат зі швидкістю, що перевищує швидкість, передбачену програмою обробки даної заготовки.

3. Перевищення максимально допустимого значення вібрацій у зоні різання внаслідок різних причин автоколивань, ослаблення кріплення різальної пластини та ін.

### ***3.3. Система активного контролю для багатошпindelьних токарних автоматів***

На виробничу точність багатошпindelьних токарних автоматів в основному впливають наступні чинники: знос різальної кромки інструмента, похибка положення шпинделя, нагрів верстата, точність налаштування інструмента.

Для виготовлення отворів та зовнішніх діаметрів з жорсткими допусками на багатошпindelьних токарних автоматах зазвичай використовується інструмент для розверстування та калібрування. Якщо матеріал та розміри деталі не

допускають цей загальноприйнятий метод виготовлення, то обробку можна виконувати за допомогою системи активного контролю. Це головним чином відноситься до деталей, які повинні оброблятися на багатошпindelних патронних автоматах.

У системі керування за допомогою активного контролю порівняння заданого та фактичного розмірів приводить до нового точного позиціонування різальної кромки різця. Завдяки цьому різальний інструмент може при незмінно високій виробничій точності використовуватись вкрай до меж зносу. Корекція відбувається автоматично протягом машинного часу.

Для виготовлення на багатошпindelних токарних автоматах використовують наступні системи активного контролю.

1. Проста корекція інструмента. При відхиленні необхідно виконавчий елемент відрегулювати вручну на приладі керування.

2. Активний контроль з автоматичним регулюванням діаметра.

Діаметр деталі заміряють автоматично в інструментальному просторі або у завантажувальному пристрої; поза верстатом у вимірювальному пристосуванні.

За допомогою активного контролю можна дотримувати допуск відносно діаметра у розмірі від 25 до 30 мкм. Величина припустимого допуску залежить не тільки від активного контролю, але також і від матеріалу, від форми деталі та від режиму різання. Наприклад, у деталей, в яких внаслідок її форми або недостатньої термічної обробки вивільнюються внутрішні напруги, дотримання цих жорстких допусків неможливе.

За допомогою системи активного контролю SAMSOMATIC для багатошпindelних токарних автоматів GILDEMEISTER (ФРН) можна здійснювати наступне: корекцію шпindelного положення; активний контроль; корекцію інструмента. За допомогою цієї системи різні положення окремих шпindelів вирівнюють відносно робочої позиції. Ця похибка шпindelного положення залишається постійною і встановлюється тільки один раз. Для визначення цих величин на всіх шпинделях виготовляють декілька деталей, при цьому встанов-

лення різального інструмента залишається однаковим. Оброблені деталі вимірюють, і відхилення шпindelного положення зберігається у регульовальному приладі. Потім через кулачкову шайбу та сегментний граничний вимикач для кожного шпінделя, що знаходиться у робочій позиції, вибирається відповідна корегуюча величина і до обробки додається виконавчому елементу. Автоматичне регулювання діаметра виконується через вимірювальний пристрій, регулюючий пристрій з корекцією шпindelного положення та інструментоносій як виконавчий елемент. Ця система виконана у вигляді замкненого контуру регулювання. Кожна деталь автоматично вимірюється під час робочого такту верстата. Встановлена величина виміру вказується на індикаторному приладі регулюючого пристрою та порівнюється з заданим розміром, вивіреним за центром шкали.

На індикаторній шкалі встановлюються у межах допуску справа та зліва від заданого розміру два регулюючих контакти. Якщо відхилення розміру знаходиться між обома регулюючими контактами, то перестановка в інструментотримачі не відбувається. Тільки у тому випадку, якщо відхилення розміру виходить за межі контактів у діапазон подачі, то виконавчий елемент переставляється відповідно до знаку на один крок. Пристрій пам'яті забезпечує подачу регулюючого кроку не в робочому діапазоні, а до наступної обробки. Крок регулювання можна безступінчасто встановлювати від 1 до 10 мкм. За допомогою іншої пари контактів можна встановлювати мітки для межі допуску, які у випадку перевищення допуску (наприклад, брак внаслідок поломки різальної кромки) зупиняють верстат. У результаті відведення різальної кромки, у кінці робочого циклу, відбувається обертання без слідів обробки. За допомогою цього сигналу відведення виконуються також перед наступною обробкою, всі необхідні нові установки, як наприклад, корекція шпindelного положення і крок перевстановлюються. На другому індикаторному приладі показується вимірювання шляху виконавчого елементу. При досягненні межі зносу граничний контакт подає сигнал для необхідної заміни інструменту. За допомогою цього

індикаторного приладу можна точно відрегулювати інструмент також при налагодженні. Налагодження виконується періодичним натисканням кнопок.

Якщо неможливо вимірювати деталь автоматично під час робочого такту, то використовують вимірювальне пристосування для вимірювання поза верстатом. У цьому випадку оператор укладає готову деталь у вимірювальне пристосування і починає виконувати операцію вимірювання натисканням кнопки. Замкнений регулюючий контур і разом з цим порівняння заданого та фактичного розмірів зберігаються. Проміжки, у яких деталі повинні підлягати вимірюванню, залежать від зносу різальної кромки та нагріву верстата.

Для простої корекції інструмента без автоматичного регулювання діаметра використовуються виконавчі елементи з ручним приладом керування. Цей прилад керування оснащено індикаторним інструментом і кнопками для крокового переміщення виконавчого елемента. Кроки перестановки виконавчого механізму можна встановити безступінчасто від 1 до 10 мкм. Різальна кромка інструмента відводиться від поверхні деталі. Якщо, крім того, оператор під час роботи порівнює заданий та фактичний розміри, то у керуючого приладу можна відповідно до відхилення змінювати регулюючу величину без зупинки верстата. Якщо необхідно враховувати постійні похибки окремих шпинделів, то у даному випадку можна виконувати корекцію шпиндельного положення.

Як елементи активного контролю для зовнішньої обробки застосовують вимірювальні цанги (скоби), для внутрішньої обробки – контактні вимірювальні оправки. Вони можуть автоматично переміщатись або в інструментальному просторі, або у завантажуючому пристрої над деталлю чи у середині деталі. Перевагою вимірювальних скоб є можливість їх переналагоджування, якщо потрібно виготовляти деталі різних діаметрів. Для вимірювання вручну поза верстатом використовують вимірювальні столи, на які кладуть деталі, що необхідно обміряти. На цих столах можна одночасно контролювати і інші розміри, наприклад висоту буртів.



Усі елементи вимірювання можуть працювати за допомогою пневматичного або електронного вимірювального щупа. Вибір пневматичного або електронного щупа залежить від вимірювальної деталі та довжини вимірювального дроту до регулюючого приладу.

Для регулювання виконавчих елементів застосовують залежно від обробки необхідні керуючі пристрої. Для простої корекції інструменту використовують ручний прилад керування з перестановкою за допомогою кнопок та відводом різальної кромки; для автоматичного регулювання діаметра – регулюючий прилад з вимірювальним пристроєм та виконавчим елементом. Всі прилади можна додатково виконувати з корекцією шпindelного положення.

Виконавчі елементи перетворюють початковий тиск вузлів регулювання або керування у пропорційний шлях перестановки. Основою для компоновки виконавчих елементів і для принципу перестановки служить еластична деформація паралелограма пружин. У всіх видів виконань пневматичний тиск виконавчого імпульсу перетворюється за допомогою мембрани у силу. Ця сила перетворює інструмент або безпосередньо, або через пневмо-гідролічний перетворювач, з'єднаний з виконавчим блоком. Виконавчі елементи виконуються з різною можливістю використання. Так, наприклад, для зовнішньої обробки – як держак токарного різця; для внутрішньої обробки – у вигляді борштанги, причому борштанга може бути нерухомою або такою, що обертається. У борштанги, що обертається, керуючий тиск підводиться до механізму подачі. У вигляді виконавчого елемента для перестановки комплектних інструментальних полозок використовується компенсаційний циліндр. Він служить як жорсткий упор з мікрометричним регулюванням для поперечних полозок.

### **3.4. Система контролю наїждання, поломки та зносу інструмента**

Модульна система контролю інструменту WIDATRONIC фірми KRUPP WIDIA (ФРН) має три модулі, які залежно від випадків застосування використовуються або в комбінації, або окремо і призначені для контролю наїждання, поломки та зносу різального інструмента на будь якому токарному верстаті з числовим програмним керуванням. Вимірювальний блок цієї системи монтується у місці, де виникає найбільша деформація, зазвичай, на револьверній інструментальній головці. П'єзоелектричний тензометричний елемент реєструє розтягування, що виникають під дією сил різання. У тому випадку, коли вимірювання відхиляються від заздалегідь встановлених граничних значень, аналізуюча електроніка протягом декількох мілісекунд видає команду на зупинку подачі. Ця команда передається інтерфейсом в обхід керування верстатом безпосередньо на двигун подачі.

Причиною біля 72 % усіх наїздів інструментів є неправильне обслуговування обладнання, приблизно 26 % наїздів виникають через перешкоди в електронній системі числового керування. Система WIDATRONIC CCS запобігає наїздам. Деформація, що проявляється у період циклу обробки на револьверній головці, реєструється тензометричним елементом та порівнюється з близьким до процесу граничним значенням. Якщо сигнал перевищує заздалегідь встановлену межу, то протягом 3 мс дається команда на швидке відключення приводу подачі.

У момент поломки різця виникає чітка та специфічна для поломки сила різання, яка потім швидко знову знижується. Принцип контролю системи WIDATRONIC BCS з цифровим керуванням базується саме на цьому факті. Виходячи з нормальної фактичної сили у процесі токарної обробки система постійно визначає верхнє та нижнє граничні значення. Якщо фактична сила через

поломку різця відхиляється від нормальних значень, то система BCS за час менш ніж 2 мс подає команду на зупинку подачі. Таким чином вилучається ризик подальшої обробки деталі пошкодженим інструментом.

Система WIDATRONIC WCS використовується для контролю зносу інструменту. При цьому стратегія контролю базується на вимірюванні зростання сили різання у період експлуатації різця. Для цього використовують різницю між силою різання у заточеного і у затупленого інструмента, яку встановлюють за час стійкості першого різця. Граничні значення для допустимого зносу встановлюють з початкової величини сили різання нового різця і різниці попередніх сил різання. При перевищенні цієї межі сигналізується кінець стійкості інструменту з вимогою його заміни.

Система CCS призначена для контролю наїждання інструменту, система BCS має можливість контролювати наїждання та поломку інструменту, система WCS контролює наїждання та знос інструмента, а поєднання систем BCS та WCS в одному приладі дає можливість контролювати як наїждання, так і поломку та знос інструменту одночасно.

### ***3.5. Дисплейна система діагностування***

Фірмою Siemens (ФРН) розроблена дисплейна система індикації WS400, яка дозволяє проводити контроль та діагностування процесів на поточних, пресових та складальних лініях. Процес контролю відбувається у діалоговому режимі, в якому оператор на екрані дисплея бачить усі дані, що вводяться, а також ті, які необхідні для налаштування і запуску обладнання та контролю його роботи. Таким чином вилучаються поломки при обслуговуванні, значно прискорюється запуск обладнання і не потрібно попереднього навчання програмуванню. Вся інформація виводиться на дисплей у некодованому вигляді. Кожна несправність або невиконана умова перемикається таким чином, що вона є зрозумілою навіть для спеціально не навченого персоналу. Система

не тільки показує, що вийшло з ладу, але і як можна усунути цей збій. Для підвищення оглядності інформації на дисплеї висвітлюється як текстове повідомлення, так і графічне зображення обладнання. Причому місце збою додатково виділяється кольором. Система WS400 дозволяє здійснювати автоматичний контроль за строком роботи всіх інструментів, що знаходяться на поточній лінії. Якщо зміна інструменту своєчасно не призведена вводиться команда на відключення верстата. Завдяки цьому в значній мірі виключаються поломки інструменту та зберігається висока якість виробів. Крім того, система WS400 дозволяє у будь-який час надавати інформацію про час простоїв, завантаження обладнання та інші важливі виробничі чинники. Також можлива роздруківка у вигляді протоколу всіх необхідних даних.

## Список літератури

1. Остафьев В.А. Диагностика процесса металлообработки / В.А. Остафьев, В.С. Антонюк, Г.С. Тымчик. – К.: Техника, 1991. – 152с.
2. Вальков В.М. Контроль в ГАП / В.М.Вальков. – Л.: Машинстроение. Ленингр. отд-ние, 1986. – 232с.
3. Волосов С.С. Активный контроль размеров / С.С.Волосов. – М.: Машиностроение, 1984. – 222с.
4. Диагностирование оборудования комплексно-автоматизированного производства / под ред. Е.Г. Нахапетяна. – М.: Наука, 1984. – 175с.
5. Нахапетян Е.Г. Диагностирование оборудования гибкого автоматизированного производства / Е.Г.Нахапетян. – М.: Наука, 1985. – 225с.
6. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве / В.К.Старков. – М.: Машиностроение, 1989. – 296с.
7. Козочкин М.П. Система диагностики состояния инструмента на станках с ЧПУ / М.П.Козочкин, В.В.Смирнов, И.У Сулейманов // Информационный листок МГЦНТИ №166, 1983.

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1.Діагностика процесів металообробки.....	4
1.1.Основні задачі та мета технічної діагностики.....	4
1.2.Методи та етапи діагностування процесів металообробки.....	5
2.Контроль стану технологічного процесу .....	10
2.1.Попередній, поточний та вихідний контроль.....	10
2.2.Контроль моменту врізання різального інструмента у заготовку.....	11
2.3.Контроль крутильного моменту та складових сили різання.....	14
2.4.Контроль стану різального інструмента.....	18
2.5.Контроль розмірів деталі.....	30
2.6.Контроль якості поверхні.....	33
3.Системи діагностики та контролю стану процесів металообробки.....	36
3.1.Система підтримки працездатності процесів.....	36
3.2.Системи діагностування стану різального інструмента.....	39
3.3.Система активного контролю для багатошпиндельних токарних автоматів.....	45
3.4.Система контролю наїжджання, поломки та зносу інструмента.....	50
3.5.Дисплейна система діагностування .....	51
Список літератури.....	53

Для нотаток

Навчальне видання

**ДОЛЯ** Віктор Миколайович

**ДІАГНОСТИКА ТА КОНТРОЛЬ  
ПРОЦЕСІВ МЕТАЛООБРОБКИ**

Конспект лекцій

Відповідальний за випуск А.І. Грабченко  
Роботу рекомендував до видання О.М. Шелковой

Редактор В.М.Баранов

План 2007, поз.70/

Підп. до друку. . .08. Формат 60x84 1/16. Папір офсет. №2. Друк–ризографія.  
Гарнітура Таймс. Ум.-друк. арк. 2,0. Обл.-вид. арк. 2,7. Наклад 50 прим. Зам. №  
Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ „ХПІ”

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 ВІД 10.07.2000р.

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

---

Друкарня НТУ «ХПІ». 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21