

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«Харківський політехнічний інститут»

**В. М. Доля**

**ДІАГНОСТИКА ТА КОНТРОЛЬ  
РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ**

**Навчальний посібник**

Харків  
2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«Харківський політехнічний інститут»

В. М. Доля

**ДІАГНОСТИКА ТА КОНТРОЛЬ  
РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ**

**Навчальний посібник**

для студентів  
спеціальності «Прикладна механіка»  
денної та дистанційної форм навчання

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол № 2 від 17.05.2019р.

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2019

УДК 621.81(072)

Д 64

Рецензенти:

*М. К. Князєв*, канд. техн. наук, проф., Національний аерокосмічний університет ім. М.Є.Жуковського «Харківський авіаційний інститут»;  
*О. В. Титаренко*, канд. техн. наук, доц., Національна академія Національної гвардії України

У посібнику 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 спеціальності 131 «Прикладна механіка».

**Доля В. М.**

Д64 Діагностика та контроль робочих процесів: навч. посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної та дистанційної форм навчання / В. М. Доля – Харків: НТУ «ХП», 2019. – 129 с.

В пособии рассмотрены вопросы диагностики процессов металлообработки: основные задачи, цели, методы и элементы диагностирования. Представлены технические средства контроля состояния режущего инструмента и обрабатываемой детали; приведено описание работы систем диагностики и контроля.

Предназначено для студентов специальности 131 «Прикладная механика».

Лл. 46. Табл. 7. Бібліогр.: 8 назв.

УДК 621.81(072)  
© Доля В. М. 2019

## 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 РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ

## 1.1 Основні задачі та мета діагностики

Метою 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 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.

Відповідно до розширення обсягу вимог до діагностики взагалі і до оперативної діагностики зокрема змінився склад функцій діагностики. До їх переліку входять не тільки функції оцінки стану механізмів і робочого процесу, уточнення місця і причин відмови (збою), але і функції прийняття рішень, спрямованих на автоматичну ліквідацію наслідків відмов або своєчасне проведення автоматичних регулювань і наладок, спрямованих на підтримку механізмів в працездатному стані.

Розглянемо деякі функції оперативної діагностики, а також приклади рішень, які можуть бути результатом реалізації цих функцій:

1) У число функцій діагностики стану різального інструменту входять: розпізнавання і фіксація поломок і граничного зносу, розпізнавання типорозміру (ідентифікації) інструменту, визначення величини розмірного зносу, облік тривалості роботи кожного інструменту, введення в роботу дублерів інструментів.

Рішення, що приймаються при реалізації цих функцій, у великій мірі залежать від можливостей засобів оперативної діагностики та інформації,

наявної в розпорядженні. Наприклад, після розпізнавання і фіксації поломки інструменту може бути прийнято найпростіше рішення про зупинку обертання шпинделя, припинення подачі і виклик оператора. Для прийняття більш кваліфікованого рішення, що включає формування траєкторії відведення поламаного інструменту та оцінку можливості продовження обробки, формування команди на заміну інструменту і продовження обробки новим інструментом або видачу команди на заміну заготовки, початок роботи за керуючою програмою і заміну зношеного інструменту в наступному циклі роботи, що дозволяє продовжити роботу верстата без втручання оператора, необхідна інформація про вид інструменту, траєкторії його відводу і про критерії можливості продовження обробки.

Різні рішення можуть бути прийняті і при розпізнаванні граничного зносу. Найпростішими є рішення про миттєве припинення обробки або про доопрацювання зношеним інструментом до кінця кадру управляючої програми. Більш кваліфіковане рішення – відведення інструменту після припинення обробки, заміна його новим інструментом і продовження різання. Можливі випадки, коли поверхня задана декількома кадрами керуючої програми і припинення обробки в середині поверхні неприпустимо, так як веде до її псування. Щоб уникнути подібних випадків до прийняття рішення про зупинку подачі бажаний аналіз наступних кадрів керуючої програми. Для такого або подібних кваліфікованих рішень потрібна додаткова інформація, якої зазвичай немає в розпорядженні пристрою числового програмного керування і засобів оперативної діагностики.

Діагностика процесу різання включає в себе виявлення зливної стружки і зміни параметрів процесу для припинення її утворення, виявлення перевантажень і неприпустимих вібрацій та вжиття заходів щодо утримання їх в допустимих межах, регулювання параметрів режиму різання (подачі, швидкості різання, глибини різання) з метою оптимізації процесу обробки за відповідним критерієм. У деяких випадках зміна режимів різання ведеться за найпростішою стратегією, наприклад, або збільшують, або зменшують подачу; в інших випадках, наприклад при одночасній зміні двох параметрів (подачі і швидкості різання), потрібна спеціальна стратегія для якнайшвидшого отримання екстремуму критерію оптимізації.

Це вимагає більш коштовних систем оперативної діагностики, іноді і додаткової інформації. Для ліквідації зливний стружки необхідно включати спеціальний режим різання, характеристики якого залежать від виду інструменту та інших подібних відомостей.

2) Контроль функціонування і діагностика стану механізмів верстата, тобто контроль роботи двопозиційних механізмів (які працюють за кінцевими вимикачами) і діагностика стану основних вузлів верстата, регулювання або знос яких можуть привести до зниження якості оброблюваної деталі або аварії з важкими наслідками. Контроль функціонування слід вести безперервно, а діагностику стану – періодично, в залежності від конструкції і інших даних контрольованого вузла.

3) Для підтримки працездатності обладнання необхідний відповідний матеріальний або програмний резерв. Так, при неможливості правильної фіксації однієї з палет (або деталі) потрібні додаткові програми повернення палети, введення в її ідентифікатор причини повернення, замовлення на нову палету з заготовкою і на її установку на верстаті. Після виконання всіх цих процедур повинно автоматично включитися відпрацювання циклу виготовлення.

В інших випадках можуть знадобитися програми багаторазового повторення тієї дії механізму, яка не була виконана за першою командою, програми примусового переходу з основного інструменту на дублер, якщо основний інструмент не встановлюється в робоче положення.

4) Розмірний контроль здійснюється за допомогою вбудованих засобів; він необхідний для забезпечення заданої точності виготовлення деталей і контролю готових деталей. Точність виготовлення перевіряється при вхідному контролі, тобто контролі розмірів заготовки і уточнення її базування, а також при міжопераційному контролі для уточнення змінних баз, обліку віджимання і зносу інструменту в процесі різання, розрахунку і введення відповідних корекцій. Вихідний контроль проводиться в разі високої вартості вимірювальних засобів, розташованих поза верстатом.

Рішення, які приймаються за результатами розмірного контролю, варіюються в залежності від виду контролю і обсягу необхідної додаткової інформації. Так, при вхідному контролі можливі, наприклад, такі рішення: замовлення на заміну бракованої заготовки; вимога на повторення установки (переустановлення) палети; зміщення початку відліку координат деталі для компенсації похибок базування заготовки; розрахунок числа чорнових проходів в залежності від реального припуску.

За результатами між операційного контролю можуть бути прийняті наступні рішення: розрахунок і введення значень корекції на розмір зношеного інструменту (для доопрацювання або для наступної деталі); зміщення початку відліку координат для обліку реального положення нової

бази; розрахунок і введення значень корекції для компенсації різних деформацій.

При вихідному контролі можуть вводитися значення корекції для обробки наступних деталей, виставлятися вимоги заміни інструменту, здійснюватися сортування придатних деталей, проводиться відбраковування непридатних деталей.

До спеціальних завдань оперативної діагностики можна віднести ідентифікацію заготовок, щоденну перевірку готовності верстата до експлуатації.

При розгляді апаратного складу і функцій кожної конкретної системи оперативної діагностики слід попередньо уточнити умови експлуатації верстата, що оснащується цією системою: в складі автоматизованого виробництва або автономного, поза мережею збору та обліку даних і управління, здійснюваного за допомогою електронно-обчислювальної машини «верхнього рівня».

При автономній експлуатації верстата за його роботою завжди ведеться безперервне або періодичне спостереження. У такій ситуації функції системи оперативної діагностики можуть бути обмежені рішенням двох груп завдань: завдань, які верстатник не може виконувати сам через швидке протікання процесу, і завдань, що вимагають спеціальних розрахунків.

До першої групи належать завдання аварійного захисту (від перевантажень, неприпустимих вібрацій, зіткнень вузлів, наслідків поломок інструментів); до другої групи входять деякі завдання розмірного контролю.

При великій кількості інструментів (наприклад, на обробних центрах) бажано, щоб система оперативної діагностики розпізнавала граничний знос і забезпечувала автоматичне включення в роботу дублерів зношених інструментів.

Інформація про рішення, що приймаються системою оперативної діагностики на автономних верстатах, може бути обмежена діагностичними повідомленнями, виведеними на засоби відображення, наявні в складі системи.

Відповідно, вартість оперативної діагностики для автономних верстатів повинна бути невеликою, встановлюватися на верстаті без переробок його конструкції і стикуватися з системою числового програмного керування без зміни програмного забезпечення.



Засоби аварійного захисту доцільно використовувати не тільки на верстатах з числовим програмним керуванням, а й на інших верстатах, що працюють в автоматичному циклі.

До системи оперативної діагностики верстата, що входить до складу автоматизованого виробництва, слід пред'являти ширші вимоги. Крім повного переліку функцій, наведеного вище, система оперативної діагностики повинна реалізовувати функції адаптивного управління, забезпечувати ідентифікацію заготовок та інструменту, вести таблицю інструментальної наладки, здійснювати тестовий контроль обладнання. Система оперативної діагностики повинна мати зв'язок з системою управління верхнього рівня для передачі повідомлень про порушення роботи верстата та прийому вказівок і додаткової інформації для прийняття кваліфікованих рішень.

Така система може досить дорого коштувати, однак з урахуванням високої ціни обладнання та засобів автоматизації, що входять до складу автоматизованого виробництва, а також підвищення ефективності виробництва завдяки реалізації широкого спектру функцій діагностики, окупність системи може бути досить швидкою.

При проектуванні оснащення системами оперативної діагностики конкретних верстатів після уточнення умов експлуатації та переліку функцій, що реалізуються, слід визначити номенклатуру вимірювальних пристроїв (з датчиками), які повинні встановлюватися на верстаті. Слід зазначити, що кількість параметрів, що підлягають вимірюванню в ході реалізації відповідних функцій оперативної діагностики, не така велика. Найбільш поширено вимір сили різання (або її складових) і рівня вібрацій в широкому діапазоні частот (включаючи діапазон так званої акустичної емісії). Для вирішення завдань ідентифікації та розмірного контролю використовуються вимірювання геометрії заготовок, деталей і інструменту.

Вибір типу датчиків визначається в основному двома чинниками – їх інформативністю, тобто наявністю кореляції між їх показаннями і ситуацією яка розпізнається, і умовами монтування в верстат, тобто необхідним обсягом переробок в конструкції верстата і його вузлів.

Аналіз численних досліджень, проведених в різних країнах, показує, що інформативність датчиків для вимірювання складових сили різання (зазвичай вимірюються осьова сила  $P_z$ , і перпендикулярні до неї складові  $P_x$  і  $P_y$ , а також крутний момент на шпинделі або потужність двигуна головного приводу) приблизно однакова; відрізняються датчики чутливістю і зручністю вбудовування.

В останні роки найбільшого поширення набули п'єзоелектричні датчики, що мають високу жорсткість і чутливість. Для вбудовування в токарні верстати розроблена спеціальна конструкція плити, яка встановлюється під револьверної головкою. На основі п'єзоелектричних датчиків розроблена низка «прибудованих» датчиків, розміщених, наприклад, на стінках шпindelної коробки або в інших місцях. Також застосовуються підшипники з наклеєними на них тензорезисторами. Такі підшипники встановлюються зазвичай в опорі шпинделя і дозволяють вимірювати всі три складові сили, що діє в опорі. Для вимірювання осьових складових розроблені спеціальні тензометричні втулки, що розміщуються в опорах ходових гвинтів. Найбільш просто виміряти крутний момент в двигунах постійного струму, що застосовуються в головному приводі (вимір засновано на пропорційності струму в ланцюзі якоря крутному моменту або потужності двигуна).

Для вимірювання вібрацій або акустичної емісії використовуються звичайні акселерометри; діапазон частот, інформативний для програм розпізнавання зносу і поломок інструментів, за даними різних авторів, від 2 до 300 кГц. При виборі діапазону вимірюваних частот слід враховувати, поперше, можливість монтування датчиків (ослаблення сигналу при збільшенні числа пружних стиків між інструментом і місцем установки акселерометра особливо сильно позначається зі зростанням вимірюваної частоти) і, по-друге, діапазони частот і чутливість серійних акселерометрів. Найбільш часто у вітчизняних пристроях контролю поломок інструменту використовується діапазон до 30 ... 40 кГц. Оптимальне положення акселерометрів на верстаті зазвичай знаходять дослідним шляхом.

Для контролю геометрії деталей і заготовок, а також для розмірної прив'язки інструменту набули поширення індикатори контакту (датчики дотику) і оптоелектронні засоби (в основному пристрої технічного зору на лінійних і матричних приладах зарядового зв'язку).

До складу систем оперативної діагностики крім вимірювальних пристроїв входять також пристрої, що розпізнають порушення нормальної роботи і приймають відповідні рішення. У переважній більшості ці пристрої являють собою автономні прилади, що обмінюються інформацією з системами числового програмного управління по каналах електроавтоматики.

Деякі завдання оперативної діагностики (в першу чергу розмірний контроль) вирішуються за допомогою програмного забезпечення і апаратних

засобів, що входять до складу пристроїв числового програмного керування і програмованих контролерів.

Важлива проблема при створенні систем оперативної діагностики – розробка надійних алгоритмів розпізнавання критичних ситуацій, що вимагають відповідних рішень. Більшість алгоритмів, використовуваних в відомих пристроях діагностики стану інструментів, потребують попереднього навчання пристроїв з метою отримання вихідних даних про роботу нового інструменту. Недоліками цієї процедури є необхідність участі в ній інженера-технолога, а також потреба у великих обсягах незалежної пам'яті для зберігання отриманої інформації, що ускладнює структуру пристроїв і підвищує їх вартість.

До недоліків алгоритмів відноситься і необхідність попереднього задання цілого ряду коефіцієнтів, що визначають межі робочої зони, а також попередні дослідження для підвищення надійності розпізнавання поломок і граничного зносу. Крім того, програма контролю, а особливо при декількох контрольованих параметрах і окремо контролі поломок і зносу досить об'ємна і вимагає як значної роботи програміста-технолога, так і великих обсягів незалежної пам'яті для її зберігання (пам'ять дуже розростається в разі зберігання програм діагностики для декількох деталей).

Цілком очевидно, що подальший розвиток оперативної діагностики в частині діагностики стану інструменту піде по шляху вдосконалення алгоритмів розпізнавання, а також створення системи автоматичної підготовки керуючих програм. Одночасно повинна бути підвищена надійність алгоритмів розпізнавання, яка сьогодні (особливо при діагностуванні граничного зносу) не перевищує 60 ... 70 %.

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 розробці 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 характеризують 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 робочих процесів.

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 електронно-обчислювальних машин.

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.

Тестовий метод діагностування базується на подачі стимулюючих сигналів у зону обробки та реєстрації й аналізу відклику на них. До тестових методів належить метод перевірки при обробці контрольної заготовки певної форми (за граничною стружкою, похибками обробки).

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.

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 розрахову-

ють 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.

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.

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.

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

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 електронно-обчислювальних машин, 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 параметрами та параметрами точності 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.

### **1.3. Значення контролю і діагностики**

Цілеспрямований розвиток систем контролю і діагностики вимагає глибоких знань про дефекти, їх причини та можливі наслідки. З огляду на те, що одним з основних вимог до промислового обладнання є продуктивність, особливо важливі відомості про відмови і їх причини, які призводять до тривалих простоїв, а отже, і до великих фінансових втрат.

Причиною майже половини всіх відмов є відмови електрики і електроніки. Це результат того, що у сучасного обладнання з числовим програмним керуванням вельми складна електрична та електронна системи з дуже великою кількістю елементів.

На механічні системи доводиться 37 % відмов, і це при тому, що обладнання оснащується системами контролю і діагностики. Інші види дефектів складають порівняно невелику величину. З вини обслуговуючого персоналу відбувається 38 % дефектів. Також встановлено, що близько 27 % відмов припадають на системи керування верстатом і маніпулятором.

Процес токарної обробки, як і інші види механічної обробки, характеризується зношуванням робочих поверхонь ріжучого інструменту в результаті його руйнування від дії високих температур і навантажень. Характер і інтенсивність зношування робочих поверхонь різальної частини інструменту слабо прогнозовані, так як в однаковий момент часу на них ді-

ють різні температури і силові напруження. Істотною роллю в їх перерозподілі відіграє нарост, так як в умовах інтенсивного утворення наросту головна задня поверхня інструменту може взагалі не контактувати з поверхнею різання і не піддаватися зношуванню. Однак, у міру збільшення глибини лунки зносу захисна функція наросту падає, напруги і температура в області головної задньої поверхні інструменту зростають, що призводить до її інтенсивного зносу. Коли на контактних поверхнях спостерігається рівномірний розподіл температури і навантажень і відсутній нарост, має місце рівномірне зношування поверхні різця з опусканням головної різальної кромки.

Таким чином, при зносі вершини різця змінюється розмір, що відповідає розмірній настройці різця на обробку деталі, в результаті чого діаметр оброблюваної деталі буде змінюватися.

Завданнями діагностування є визначення технічного стану, в якому знаходиться спостережуваний об'єкт в даний час, а також в якому виявиться через якийсь час. Таким чином, перше завдання пов'язане з контролем, а друге з діагностикою.

Специфіка технічної діагностики полягає в спрямованості її методів на визначення стану об'єкта, що знаходиться в експлуатації, з виявленням необхідності відновлення втраченої працездатності. Відповідно до цього методи і засоби діагностики повинні бути зручні для застосування в умовах експлуатації, мати високу швидкість і високу точність, забезпечувати контроль параметрів, що діагностуються, без порушення роботи механізмів, бути економічно доцільними.

Технологічне обладнання повинно бути пристосоване для потреб діагностики. Воно повинно мати вбудовані елементи і пристрої, що забезпечують контроль основних параметрів або можливість періодичного підключення до спеціальної діагностичної апаратури. Незважаючи на різноманітність технологічного обладнання, процес його діагностування має спільні риси і однаковий характер вирішуваних завдань. Для кожного виду обладнання перш за все визначають діагностичні ознаки (параметри), за результатами вимірювання або реєстрації яких можна судити про технічний стан окремих механізмів або обладнання в цілому. В якості таких ознак можуть бути прийняті вихідні параметри обладнання, контрольовані методами, що використовуються для контролю готового виробу. Це дає відповідь на питання про працездатність обладнання, але не визначає однозначно місце і вид пошкодження, що призводить до відмови.



Контролю можуть піддаватися параметри, зміна яких безпосередньо призводить до відмови механізму і які функціонально пов'язані з вихідними параметрами (величини зносу, деформації, ступінь корозії, різного роду відхилення в електронних системах).

При випадковому характері зміни технічного стану обладнання пошук причин відмов представляє значні труднощі. Сучасне обладнання включає в себе механічні, гідравлічні, пневматичні та електронні механізми і пристрої. Причини відмов цих елементів можуть бути дуже несуттєвими і швидко ліквідовані, а час пошуку несправності часто на порядок більше часу їх усунення навіть для висококваліфікованого фахівця. Тому для оцінки стану обладнання, його працездатності і виявлення причин і елементів, які впливають на зміну вихідних параметрів, застосовують методи технічної діагностики.

Під технічним діагностуванням розуміють оцінку технічного стану об'єкта діагностування з певною точністю. Результатом діагностування є висновок про технічний стан даного об'єкта з зазначенням при необхідності місця, виду і причин дефектів. При діагностуванні технічного стану обладнання проводять реєстрацію фактичних значень параметрів окремих вузлів і механізмів, систем управління блоків і елементів і зіставлення їх із заданими величинами, котрі характеризують нормальний стан контрольованих елементів. Коли безпосереднє вимірювання перерахованих параметрів неможливо або викликає значні труднощі, в якості діагностичних широко використовують так звані непрямі ознаки. Ці ознаки повинні бути функціонально пов'язані з працездатністю обладнання. Непрямими діагностичними ознаками можуть служити: акустичні сигнали, зміна сили і потужності різання, зміна температури вузлів і деталей обладнання, тиск в пневмосистемі або гідросистемі, наявність продуктів зносу в мастилі, частотні характеристики.

Перевагою непрямих ознак є оцінка стану працездатності обладнання в процесі його роботи; недоліком – можливість впливу на непрямі ознаки сторонніх чинників, які спотворюють отриману інформацію. Наприклад, при оцінці працездатності підшипників за температурою масла слід мати на увазі, що температура може збільшуватись не тільки зі зносом підшипника, але і зі збільшенням навантажень через вплив зовнішніх джерел тепла, засмічення гідросистеми та інших явищ. Тому для підвищення достовірності показань у таких випадках використовують кілька ознак. Так, якщо одночасно з вимірюванням температури мастила контролювати точність

обертання підшипника або рівень його вібрацій, то ймовірність правильного діагнозу значно підвищується.

До основних етапів процесу діагностування відносяться і аналіз діагностичного сигналу, за яким судять про значення ознаки. Діагностичні сигнали можуть мати різний характер і несуть неоднакову за обсягом інформацію. Тому в кожному конкретному випадку необхідно оцінювати можливість сигналу і вибрати найбільш доцільну його форму.

Можливий варіант, коли показання датчика мають чисельне вираження параметрів, що діагностуються.

При цьому знаходження значень сигналів в допустимих межах свідчить про працездатність обладнання або про близькість до граничного стану.

Найбільш повну інформацію, ніж чисельні показники датчиків, має сигнал у вигляді функціональної залежності. Такими сигналами є закони зміни сили або крутного моменту за цикл роботи механізму, закони переміщення окремих ланок, вібрації, акустичні характеристики. Аналіз змін, що відбуваються в законах руху, спектральний аналіз процесів вібрацій і інші методи оцінки функцій дозволяють з одного сигналу виділити ряд складових, що характеризують стан різних елементів або вузлів устаткування.

При діагностуванні вибирають ті ознаки і параметри, контроль яких дає більш об'єктивну інформацію про стан обладнання, а витрати на створення системи технічного діагностування економічно доцільні.

Сучасне автоматизоване обладнання має в своєму складі контрольновимірювальні прилади, які можуть використовуватися для вирішення завдань діагностики. Так, наприклад, на шліфувальних верстатах традиційно застосовуються прилади активного контролю розмірів, за допомогою яких може бути отримана інформація не тільки про фактичну величину розміру, але і про швидкість зняття припуску, натяг в пружній системі верстата, конусність виробів, величину зносу шліфувального круга.

Загальні завдання діагностування поділяються на три рівні: збір інформації, порівняння її з еталоном і контроль (рис. 1.1).

На рівні збору виконується прийом вимірюваних величин, показників і параметрів, які визначають стан окремих вузлів і деталей технологічного обладнання. Рівень порівняння полягає в порівнянні виміряних величин з якимось номінальним заданим рівнем, який відповідає нормальному технологічному процесу. Визначення номінального рівня є складною науко-

вою задачею. Справа в тому, що номінальний рівень повинен бути представлений величиною, яка відповідає межі між нормальною роботою машини і роботою машини в умовах, що призводять до браку або відмови. Однак ця межа далеко не однозначна і в свою чергу залежить від багатьох факторів зовнішнього впливу, таких як температура навколишнього середовища, вібрації та інше.

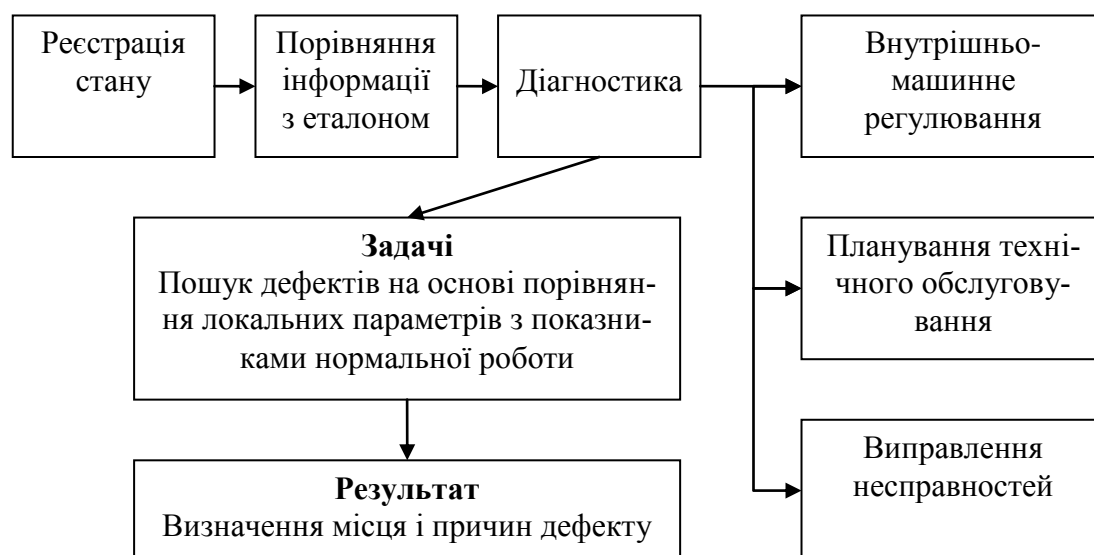


Рисунок 1.1 – Завдання контролю і діагностування

Рівень порівняння переслідуює два завдання: порівняння вимірюваної величини і номінального рівня і визначення зміщення вимірюваної величини щодо раніше виконаних вимірювань, що дозволяє спостерігати за змінами розглянутого параметра в часі. Це дає можливість прогнозувати показники працездатності.

Зазвичай контролюється кілька параметрів, які характеризують роботу обладнання. Такими параметрами можуть бути: траєкторії формотворчих елементів верстата, температура в характерних точках, сили, що виникають між окремими деталями, шлях, час перемикання та ін. Як уже зазначалося, номінальна величина параметра залежить від зовнішніх впливів, але зазвичай розглядають максимальне і мінімальне значення номінального параметра, тобто поле допуску, яке отримало назву допустимих меж номінального параметра. Коли більша частина номінальних параметрів виходить за граничні значення, кажуть про відмову. Остаточне рішення в цьому

питанні зазвичай приймається з використанням систем штучного інтелекту.

При порівнянні вимірних величин і номінального рівня визначаються симптоми, які є основою для проведення діагностики. За результатами порівняння локалізуються місця відмов і виявляються їх причини.

Виявлені причини виникнення дефектів представляють у вигляді класифікації і на її основі розробляють і будують систему, яка отримала назву «дерево відмов». Реалізація цієї системи здійснюється на комп'ютері, «дерево відмов» дозволяє різко знизити витрати на пошук відмов. Дерево відмов є символічним поданням послідовності виникнення умов, що призводять систему до відмови, небажаного (критичного) для об'єкта в цілому. Для застосування методів дерева відмов функціональні взаємозв'язки елементів системи (об'єкта, конструкції) відображають у вигляді логічної схеми, яка враховує взаємну залежність відмов елементів і груп елементів. Методологічне забезпечення даних підходів складається в спільному застосуванні методів теорії графів, математичної логіки і теорії ймовірностей.

Вершиною дерева відмов є кінцева подія – повна відмова системи. Проміжні вершини (вузли графа) представляють собою логічні операції типу «І» та «АБО», відповідні теоретико-множинного опису мови бінарної логіки.

Проміжні вершини, а також вихідні події (відмови елементів) утворюють ієрархічну структуру з пониженням рівнів в напрямку вихідних відмов елементів.

Побудова дерева відмов для складної системи передбачає чітке уявлення про всі функціональні взаємозв'язки елементів, причини і наслідки їх відмов. Функціональні взаємозв'язки елементів отримують шляхом побудови структурно-функціональних схем технологічної системи. Докладніший конструктивний підхід враховує вторинні відмови, ініційовані відмови і таке інше.

Після побудови дерева відмов системи проводять її якісний і кількісний аналіз і обчислюють ймовірність результуючої повної відмови системи з урахуванням відомої інформації про надійність елементів, тобто про можливості і інтенсивності їх відмов, коефіцієнтах готовності і таке інше.

Дерево відмов для несправностей описується матрицею, що має  $n$  рядків і  $m$  стовпців-тестів. У матрицю входять всі дані, необхідні для пошуку несправностей. Програма пошуку потрібного рядка і визначення типу не-

справностей виконується універсально і може бути використана для різного устаткування. Таким чином, завдання зводиться до побудови матриці несправностей для конкретного типу обладнання.

Аналіз можливих несправностей механізмів і складання матриць несправностей полегшується при зображенні процесу діагностування у вигляді графа станів для окремих функціональних груп (приводу головного руху, приводу подач і так далі.). З кожній з таких груп може бути складена окрема матриця станів. Оскільки багато функціональні елементи мають структуру, яка описується аналогічними графами, то для їх діагностики можна використовувати загальну програму різних параметрів і матрицю несправностей. Основна частина програми, таким чином, є інваріантною до різних видів несправностей.

Застосування дерева відмов допомагає на ранній стадії визначити ознаки виникнення відмови. Виявлення таких слабких місць в виробничому обладнанні дозволяє своєчасно запланувати необхідні заходи з технічного обслуговування або поточного ремонту, в результаті чого відмова буде попередженою. Це має дуже важливе значення, тому що у протилежному випадку, тобто при настанні відмови, сталася б аварійна зупинка обладнання, за якою послідували б заходи щодо усунення відмови, що, природно, призвело б до простою обладнання, а отже, і до зниження продуктивності. Якщо виникнення дефекту було виявлено своєчасно, його усувають в неробочий час, і зниження продуктивності обладнання не відбувається.

Таким чином, діагностика повинна бути в першу чергу націлена на передбачення дефекту.

Усунення дефекту можливо також за рахунок внутрішньо-машинного регулювання або шляхом проведення планового технічного обслуговування. Наприклад, в результаті зносу ріжучої кромки різця змінився діаметр обробки деталі. Однак різець ще може продовжувати працювати. В цьому випадку корегують програму і продовжують роботу. Або, наприклад, встановлено, що траєкторія осі шпинделя в результаті зношування підшипників збільшилася в розмірах, тоді при проведенні технічного обслуговування в неробочий час регулюють натяг в передній опорі шпинделя. При передчасному виявленні майбутньої відмови можна усувати дефекти в зручний для ремонтної служби час, а також в майбутньому планувати заходи з технічного обслуговування з урахуванням реального часу розвитку дефектів, що знижує витрати на усунення відмови, так як це дозволяє своєчасно замовляти і отримувати необхідні запчастини.

Створення діагностичних засобів забезпечення технологічного процесу повинно включати наступні етапи.

1. Техніко-економічне обґрунтування вибору виду, призначення і області застосування систем діагностування обладнання.

2. Аналіз процесів, що відбуваються в технологічній системі, яка підлягає діагностуванню з метою виявлення причин виникнення і ознак прояви пошкоджень і дефектів, а також порушення технологічного процесу.

3. Збір і вивчення апріорної інформації про характерні пошкодження і дефекти, що виникають при експлуатації об'єкта, що підлягає діагностуванню, або його прототипу.

4. Вибір номенклатури показників (функціональних і структурних параметрів) працездатності технологічної системи в цілому і її окремих складових вузлів.

5. Вибір періодичності і обсягу діагностування та глибини пошуку дефектів в залежності від специфіки експлуатації об'єкта, що підлягає діагностуванню.

6. Вибір методу діагностування та розробка моделі об'єкта діагностування для кожного діагностичного параметра.

7. Вибір діагностичних параметрів (прямих і непрямих), які характеризують технічний стан обладнання і забезпечують можливість пошуку дефектів.

8. Визначення номінальних, допустимих і граничних величин діагностичних параметрів із зазначенням необхідної точності і достовірності вимірювань.

9. Розробка алгоритмів діагностування з зазначенням режимів роботи обладнання при діагностуванні.

10. Вибір і розробка засобів діагностування. Підбір первинних перетворювачів повинен забезпечувати зняття діагностичних параметрів із заданою точністю в обраному діапазоні частот і відповідати іншим вимогам, викликаними специфікою вимірювань.

11. Розробка пристроїв сполучення діагностичного об'єкта із засобами діагностування, що забезпечують надійне закріплення первинних перетворювачів і виключають спотворення і перешкоди при вимірі діагностичних сигналів.

12. Експлуатаційна документація з проведення діагностування та обробці отриманої діагностичної інформації.

13. Методика порівняння отриманої діагностичної інформації з прийнятими граничними величинами діагностичних параметрів і критерії для прийняття рішення про стан технологічного процесу.

14. Випробування системи діагностування відповідно до вимог нормативно-технічної документації.

#### **1.4. Діагностика як засіб підвищення надійності**

Надійність будь-яких технічних засобів, що працюють в автоматизованому або автоматичному режимі, є одним з основних властивостей, за яким оцінюється доцільність застосування цих засобів у виробництві. Надійність – властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування.

Надійність складається з поєднання властивостей: безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності і стану збереження. Для кількісної характеристики надійності технологічного обладнання в даний час прийнято використовувати середній наробіток на відмову (характеризує безвідмовність) – відношення тривалості роботи відновлюваного обладнання до математичного сподівання числа відмов протягом цього напрацювання, і коефіцієнт технічного використання (комплексний показник, що характеризує всі властивості надійності) – відношення математичного очікування інтервалів часу перебування в працездатному стані за деякий період експлуатації до суми математичних очікувань інтервалів часу перебування в працездатному стані, простоїв, обумовлених технічним обслуговуванням, і ремонтів за той же період експлуатації.

Функціональний контроль застосовують в процесі експлуатації обладнання, а тестовий контроль, як правило, після виготовлення, а також при ремонті. Кінцевою метою діагностування є корекція – усунення дефекту або його наслідків. Стосовно до гнучких виробничих систем корекція означає або виключення з технологічного процесу несправного елемента (зламаних інструментів, що вийшли з ладу, верстата, робота), або в разі параметричної відмови, коли елемент працездатний, але його характеристики змінилися, перебудову технологічного процесу. Наприклад, в разі зафіксованого розмірного зносу ріжучого інструменту повинна бути змінена керуюча програма обробки деталі з урахуванням зміни розмірів.

З метою підвищення працездатності автоматизованого обладнання, забезпечення заданої розмірної точності виготовлених виробів з досить низькою шорсткістю поверхні обробки передбачається введення пристрою діагностування процесу різання.

Розмірна стійкість як параметр при різанні матеріалів може варіюватися в досить великих межах, так як на даний параметр впливають: неоднорідність структури оброблюваного та інструментального матеріалів; зміна фізико-механічних і теплофізичних властивостей оброблюваного та інструментального матеріалів однієї марки, як всередині партії, так і між партіями одного заводу-виготовлювача або різних заводів; неоднорідність пластичної деформації оброблюваного матеріалу; нестійкий характер утворення стружки (формування різних типів стружок, утворення наросту, циклічність утворення стружки); зміна сили різання в часі при різанні матеріалів; наростаючий в часі знос інструменту; коливання технологічної системи. Не всі причини можна явно змінювати в процесі різання матеріалів, так не можна змінювати неоднорідність і пластичну деформацію оброблюваного матеріалу, але можна змінювати силу різання, наростаючий в часі знос інструменту, вібрації за допомогою варіювання режимів різання. Додатково можна проводити оперативний контроль фізико-механічних і теплофізичних властивостей оброблюваного та інструментального матеріалів, безпосередньо перед процесом різання або в процесі різання і вводити корекцію на режим різання.

Введення діагностичних систем у технологічний процес на максимальній кількості об'єктів з економічним обґрунтуванням доцільності використання засобів діагностики дозволяє підвищити надійність роботи обладнання, попередити відмови елементів технологічного устаткування, збільшити працездатність складових технологічного процесу. У той же час сучасні автоматизовані виробництва, з так званою «безлюдною технологією» просто не можуть функціонувати без засобів контролю та діагностики на всіх рівнях технологічного процесу підприємства, починаючи з обладнання з виготовлення деталей виробу і закінчуючи складальним виробництвом та реалізацією готової продукції. Сучасні автоматизовані виробництва потребують надійних діагностичних та технологічних систем, здатних безвідмовно працювати довгий період експлуатації.



### 1.5. Контрольні запитання

1. Перерахуйте основні задачі діагностики робочих процесів.
2. Охарактеризуйте мету діагностики робочих процесів.
3. Назвіть функції оперативної діагностики та результати реалізації цих функцій.
4. Перерахуйте групи завдань оперативної діагностики.
5. Перерахуйте типи датчиків, що застосовуються у діагностиці робочих процесів та основні вимоги до них.
6. Охарактеризуйте три групи задач, пов'язаних з побудовою моделей робочих процесів, з розробкою методів діагнозу та розробці принципів і засобів побудови діагностичних пристроїв і систем.
7. Перерахуйте методи діагностування станів робочих процесів.
8. Перерахуйте етапи діагностичних процедур.
9. Яке значення контролю і діагностики робочих процесів?
- 10.Що розуміють під технічним діагностуванням?
- 11.Які ознаки вибирають при діагностуванням?
- 12.Назвіть рівні і завдання контролю і діагностування.
- 13.Що таке «дерево відмов».
- 14.Назвіть етапи створення діагностичних засобів.
- 15.Дайте визначення терміну «надійність»

## **2. КОНТРОЛЬ СТАНУ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ**

### **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 надходження 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), інструмент (розміри, знос різальної кромки), стан обладнання (наявність заготовки, інструмента, управляючих програм, робота системи охолодження, змазки).

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), що визначають якість продукції.

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

Використання первинних вимірювальних перетворювачів, а також сучасних систем числового програмного керування 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 перетворення 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.

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:

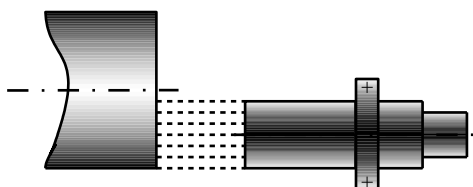


Рисунок 2.1 – Схема роботи індуктивного та ємнісного вмонтованих датчиків

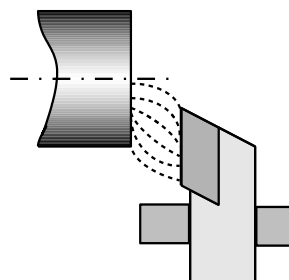


Рисунок 2.2 – Схема роботи індуктивного контуру

*Індуктивні* – від величини магнітного зазору між датчиком та деталлю залежить значення електричного сигналу (рис. 2.1). В іншій конструкції (рис. 2.2) система «інструмент-деталь» та верстат утворюють замкнений магнітний контур, змінним параметром у якому є повітряний зазор між інструментом та деталлю.

*Ємнісний* (рис. 2.1) – наближення до деталі призводить до зміни ємності, що входить до електричного коливального контуру.

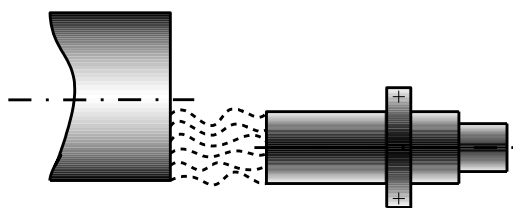


Рисунок 2.3. – Схема роботи активного акустичного датчика

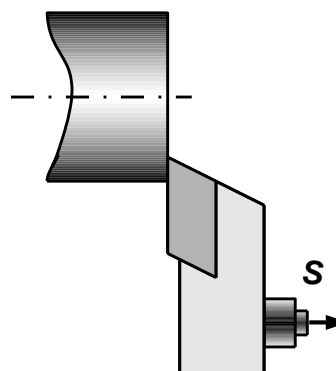


Рисунок 2.4. – Схема роботи пасивного акустичного датчика

*Акустичні* – якщо відбита хвильова енергія (рис. 2.3) перевищує порогові значення, то відбувається включення робочої подачі верстата; у іншій

конструкції датчиків (рис. 2.4) акустичний шум, що виникає при стиканні інструмента з деталлю, вмикає робочу подачу.

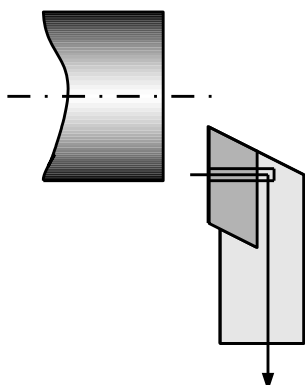


Рисунок 2.5. – Схема роботи контактної датчика

*Світловий* (рис. 2.6) – світловий пучок джерела світла, що переміщається перед різальною кромкою разом з інструментом, переривається деталлю і генерує сигнал на вмикання робочої подачі.

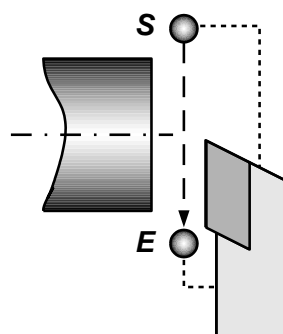


Рисунок 2.6 – Схема роботи світлового датчика

*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 сили 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. 2.7 та рис. 2.8 зображені схеми датчиків, що побудовані на основі тензорезисторів, деформація пружних елементів яких призводить до зміни опору наклеєних на них тензодатчиків.

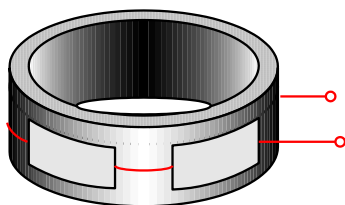


Рисунок 2.7 – Кільцевий тензодатчик

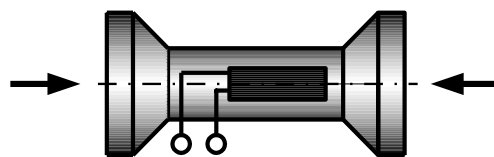


Рисунок 2.8 – Осьовий тензодатчик

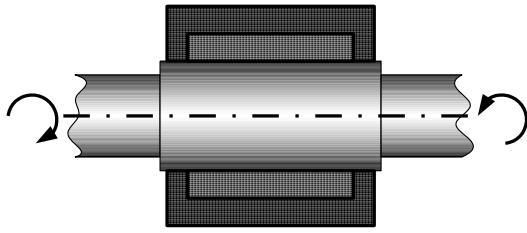


Рисунок 2.9 – Магнітопружний трансформаторний датчик крутильного моменту

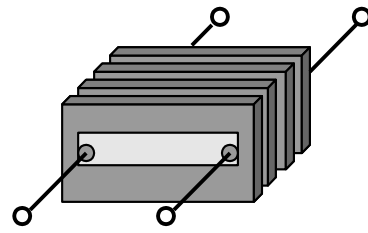


Рисунок 2.10 – Магнітопружний трансформаторний датчик сили

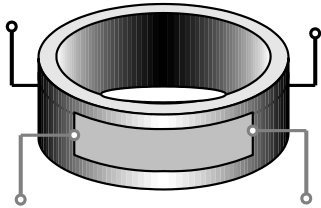


Рисунок 2.11 – Магнітопружний датчик опору

Магнітопружні датчики, (рис. 2.9, рис. 2.10, рис. 2.11), встановлені у поворотній револьверній головці або в інших місцях контролю видають сигнал, пропорційний силі різання або крутильному моменту. Навантаження пружного елемента приводить до зміни магнітних властивостей матеріалу, і відповідно індуктивності

катушки, а також електричного зв'язку між первинною та вторинною обмотками трансформатора датчика.

Побудовані на магнітопружному ефекті силовимірювальні 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. 2.12 зображена схема дії струмового датчика. Діагностичний сигнал датчика пропорційний силі струму, яка, в свою чергу, пропорційна силі різання.

Для підвищення точності вимірювання сил та коливань різання, а також їх аналізу

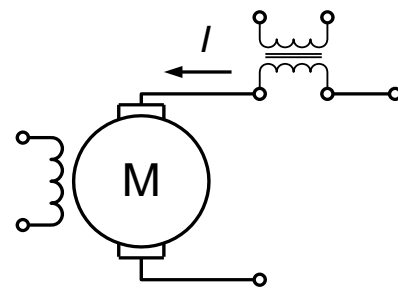


Рисунок 2.12 – Електрична схема струмового датчика

широко використовують п'єзоелектричні датчики (рис. 2.13), тобто перетворювачі, в яких за чутливий елемент використовують монокристалічні матеріали, що мають п'єзоелектричні властивості.

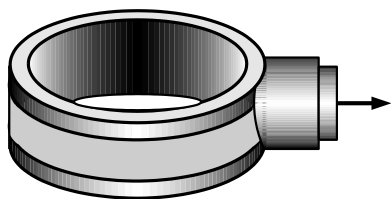


Рисунок 2.13 – П'єзоелектричний датчик

Дія п'єзоелектричних вимірювальних перетворювачів базується на використанні прямого п'єзо ефекту, 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 похо-



дження, вони широко застосовуються у системах діагностики різального інструмента.

## 2.4. Контроль стану ріжучого інструменту

Методи контролю стану ріжучого 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 ріжучого 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 датчиків: оптичних, дотику, шорсткості, переміщення. У комплекті з цими датчиками часто використовують датчики переміщень виконавчих органів верстата.

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.

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 збільшується сила 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 інше.

Одним з цих методів є контроль стану інструмента за допомогою силувимірювальних підшипників, які використовують як чутливі елементи, з'єднані з підсилювачем та електронною обчислювальною машиною. До недоліків методу можна віднести те, що сигнал від сили різання, наприклад при розточуванні, зенкеруванні 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 методу є порівняно просте контролювання діагностичного параметра. 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 привода, яка спричиняє затримку сигналу, що може призвести до аварійних ситуацій; зниження чутливості при наявності редукації 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 привода 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 привода головного руху, який корелюється з крутильним моментом і відповідно з потужністю на шпинделі. Контроль стану інструмента за навантаженням привода шпинделя здійснюється порівнянням фактичної сили струму з величиною, введеною в пам'ять у ході навчання. 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, використовуваний 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 відбувається 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.

Стійкість і наростаюча величина зносу ріжучого інструменту в часі пропорційно залежать один від одного, причому, чим довше в часі інструмент досягає своєї критичної величини зносу, тим вище його стійкість. Між величиною зносу і тривалістю різання існує залежність, при цьому інструмент послідовно проходить стадії: «перехідний процес», «нормальна робота інструменту» і «аварійний режим». Для більшості ріжучого інструменту втрата працездатності (відмова) становить через зношування 47 %, через поломки 21 %, через сколювання 10 %, через викришування 22 %.

Витрати часу на виявлення і ліквідацію відмов різального інструменту складають в середньому 10 % загального часу роботи верстатного обладнання. Інструмент може бути замінений у зв'язку з раптовою відмовою, поступовою відмовою або вичерпанням своєї стійкості, при цьому в якості контрольованого параметра розглядається в основному знос інструменту.

Контролювання величини зносу ріжучого інструменту можна здійснювати різними методами і засобами в процесі різання матеріалів: за допомогою вимірювання сили різання, крутильного моменту на шпинделі, струму або потужності двигуна головного приводу шляхом пробного різання; вібродіагностикою з використанням акселерометрів методом акустичної емісії; шляхом визначення температури різання за допомогою електрорушійної сили і пірометрів, вимірюванням температури стружки; спектральним аналізом сили різання, з використанням механічних, оптичних, індуктивних та інших датчиків.

Широке застосування для контролювання стану ріжучого інструменту знайшли датчики дотику, що дозволяють вимірювати контрольовані розміри після закінчення процесу різання з високою точністю. При цьому датчики дотику розміщуються безпосередньо на верстаті і, в період вимірювального циклу, верстат працює в режимі координатно-вимірювальної машини.

Застосовуються і безконтактні способи контролювання стану ріжучого інструменту після закінчення процесу різання, що базуються на використанні оптоелектронних та пневматичних датчиків замість механічних щупів. Використовуються датчики, за допомогою яких за ступенем шорсткості обробленої поверхні можна судити про знос ріжучої кромки інструменту при точінні.

Зношування ріжучого інструменту є процесом середньої швидкості і в міру його розвитку, як в зоні різання, так і в динамічній системі верстата відбуваються складні процеси, тому великий інтерес представляють методи оцінки величини зносу інструменту, засновані на аналізі вібрацій, що виникають в пружній системі різець-деталь в процесі різання. При цьому слід зазначити два методи: віброакустичний і акустичний. Основною перевагою застосування зазначених методів є простота вбудовування датчиків в верстат практично без зміни його конструкції, інформативність сигналів, робота основних елементів апаратури обробки сигналів.

З різноманіття процесів, що впливають на віброакустичний сигнал, можна виділити один або кілька основних, які визначають характер зміни

його параметрів з ростом зносу інструменту для конкретного виду обробки. Так, наприклад, з ростом зносу ріжучого інструменту при точінні змінюються динамічна характеристика процесу різання і інтенсивність взаємодії мікронерівностей на контактуючих поверхнях різального інструменту і заготовки. Ці два процеси і визначають зміну параметрів віброакустичного сигналу при токарній обробці. При використанні даного методу віброакустичний сигнал аналізується в діапазоні частот від 2 до 45 кГц.

Використання методів контролю величини зносу інструменту за допомогою вібродатчиків в процесі різання матеріалів має низку переваг в порівнянні з методами контролю за допомогою датчиків дотику після закінчення процесу різання. Явні переваги методів контролю величини зносу інструменту за допомогою вібродатчиків в процесі різання: оперативність контролю, зменшення повного циклу обробки деталей, облік випадкових факторів. Однак контроль величини зносу інструменту за допомогою датчиків дотику після закінчення процесу різання має досить високу надійність, при цьому апаратура контролю може бути розміщена таким чином, що на неї не будуть мати шкідливий вплив різні фактори, властиві процесу обробки.

Для контролю стану інструменту можливе використання діагностичних сигналів від різних частин технологічної системи. На підставі цього може бути складена класифікація способів контролю стану ріжучого інструменту (рис. 2.14).

У класифікації, наприклад, токарного інструменту відображені три основних види контролю стану інструменту: до початку обробки; в процесі різання; після обробки. Контроль до початку обробки спрямований перш за все на забезпечення відповідності ріжучого інструменту заданим параметрам і здійснюється зазвичай при зміні інструменту. Контроль в процесі різання призначений для запобігання відмов, які можуть виникнути в процесі обробки. Контроль після обробки забезпечує необхідну якість обробки застосовуваним інструментом на наступних операціях.

Для контролю використовують прямий або непрямий методи визначення параметрів стану інструменту. При контролі після обробки можливе застосування обох методів. Залежно від методу для кожного виду контролю в схемі вказані об'єкти контролю та їх можливі контрольовані параметри.

В класифікації не вказані конкретні засоби контролю, так як для вимірювання зазначених контрольованих параметрів можна застосовувати одні

і ті ж засоби і в той же час за допомогою різних пристроїв можна контролювати однакові параметри.

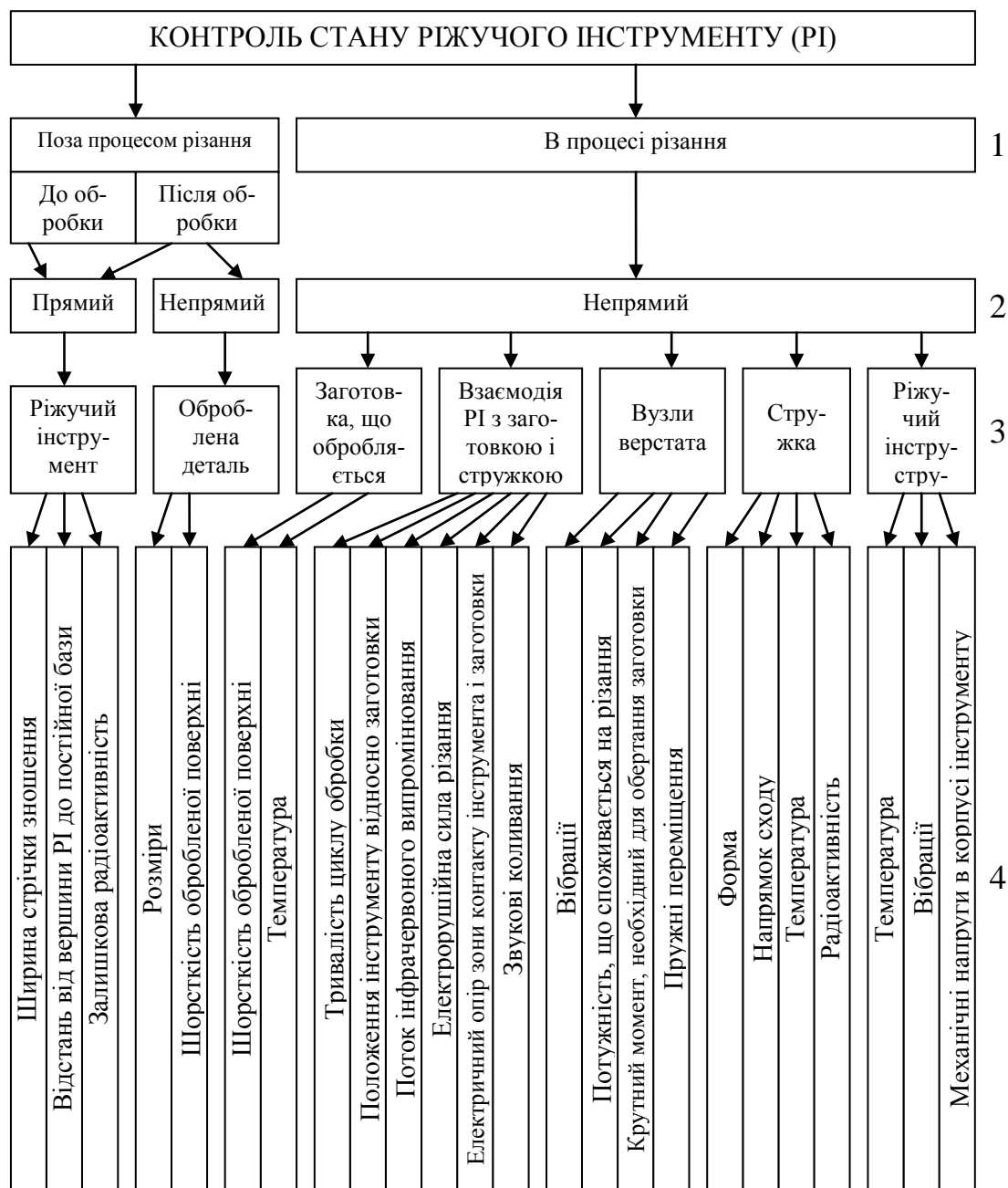


Рисунок 2.14 – Класифікація способів контролю стану токарного інструменту:  
1 - вид контролю; 2 - метод визначення параметрів інструменту;  
3 - об'єкт контролю; 4 - контрольований параметр.

В процесі виробництва внаслідок багаторазового повторення циклу обробки види контролю до і після обробки як би перетікають одне в одного. Так, наприклад, контроль після першого циклу обробки заготовки є одночасно контролем до обробки для наступного циклу. Однак в деяких ви-

падах можна виділити ці види контролю в чистому вигляді. По-перше, це може відбуватися при обробці поверхонь заготовки декількома інструментами. По-друге, контроль до обробки має місце після зміни інструменту, при цьому визначають його характеристики, які служать вихідними для подальшого контролю його стану. Контроль після обробки проводять після завершення обробки останньої заготовки партії або при поломці інструмента. У більшості випадків зазначені види контролю правильніше розглядати не щодо якогось певного циклу обробки, а у відношенні до часу проведення обробки – процесу різання, тобто як контроль поза процесом різання.

При контролі стану інструменту поза процесом різання як об'єкт контролю виступає тільки сам інструмент або оброблена деталь, при цьому використовують як прямий, так і непрямий методи визначення параметрів стану інструменту.

З іншого боку, для скорочення часу контролю використовують технологічно обумовлені проміжки в циклі обробки, наприклад переміщення інструменту в початкове або робоче положення, транспортування оброблюваних деталей. В цьому випадку час на здійснення операцій контролю не розглядається як втрати, так як збільшення часу повного циклу обробки не відбувається.

В даний час лише системи контролю стану інструменту поза процесом різання за допомогою датчиків дотику знайшли широке промислове застосування.

Головний недолік способів контролю стану інструменту поза процесом різання полягає в неможливості швидкого виявлення порушення працездатності інструменту, яке сталося в процесі обробки, що в ряді випадків може спричинити серйозні ускладнення і брак. Внаслідок цього більш ефективний контроль стану інструменту в процесі різання, що дозволяє при необхідності оперативно впливати на хід обробки.

Контроль стану інструменту в процесі різання не збільшує цикл обробки. При цьому існує ймовірність, що відмова інструменту не порушить працездатність інших вузлів технологічного обладнання. Такий вид контролю більш ефективний і дозволяє в разі необхідності втрутитися в хід обробки, хоча в порівнянні з контролем поза процесом різання в ряді випадків контроль в процесі різання важче реалізувати і він дорожче коштує.

З представленої класифікації (див. рис. 2.14) видно, що даний вид контролю стану інструменту включає в себе більшу кількість можливих кон-

трольованих параметрів внаслідок збільшення числа об'єктів контролю в порівнянні з видами контролю поза процесом різання. Як об'єкт контролю для даного виду можна використовувати не тільки сам інструмент або оброблювану заготовку, а й стружку, що утворюється в процесі різання.

Існуючі способи контролю стану інструменту в процесі різання з нерівнозначним ступенем точності визначають параметри стану інструменту. Крім того, ймовірність виявлення порушень працездатності інструменту залежить від розташування вимірювального перетворювача.

Найбільш простими з точки зору реалізації є способи, де в якості об'єкта контролю виступають вузли металорізального обладнання. При цьому вимірюють такі контрольовані параметри, як показники потужності та електричні параметри приводних електродвигунів або пружні переміщення і деформації елементів технологічної системи (не включаючи інструмент), що залежать від силових параметрів процесу різання, а також вібрацій.

При вимірах, що проводяться на приводних електродвигунах, вимірювальні перетворювачі можуть бути легко встановлені на обладнанні, вони не вносять змін в процес обробки і не змінюють технічні характеристики верстата. Однак імовірність виявлення пошкоджень інструменту при даному способі контролю для токарної обробки, наприклад, становить лише 50 ... 60 %.

Споживану електричну потужність можна вважати не досить інформативним сигналом (з точки зору отримання інформації про стан інструменту), так як при нормальному зносі інструмента збільшення потужності мале і важко піддається виміру. Внаслідок значного віддалення від зони обробки показання приладів запізнюються щодо фактичної зміни стану інструменту, що визначається частково інерційністю кінематичного ланцюга від електродвигуна до інструменту.

Для контролю стану інструменту в процесі різання використовують пристрої вимірювання пружного переміщення окремих елементів технологічної системи, що виникають під дією сили різання. Найчастіше вимірювання здійснюють вимірювальні пристрої, встановлені в різцетримачі або на опорах шпинделя верстата, або на опорах гвинта приводу подачі. Вважається, що в багатьох випадках більш ефективна установка вимірювального перетворювача на валу приводу подачі. Теоретично вимірювальний перетворювач повинен монтуватися на лінії дії вимірюваної сили для уникнення впливу побічних сил. Невиконання цієї умови може призвести до значного збільшення похибки вимірювань силових параметрів. Тому для



отримання достовірної інформації про силові параметри процесу різання при вимірюванні сил за допомогою реєстрації пружних переміщень окремих елементів технологічної системи необхідно враховувати вплив на ці елементи різних факторів, властивих процесу металообробки.

Контроль стану інструменту за силовими параметрами процесу різання має широке поширення внаслідок отримання досить достовірної інформації. Можливість використання сили різання для контролю стану інструменту пояснюється тим, що, наприклад, при чистовому точінні з подачею менше 0,1 мм/об розкид сили різання становить лише 10 % і швидко зменшується зі збільшенням подачі. Підвищена міцність оброблюваного матеріалу викликає більш інтенсивний знос інструменту, при цьому збільшується сила різання, що служить ознакою швидкого виходу з ладу інструменту і зміни розміру деталі через більший відтиск інструменту. Тому силові параметри використовують для контролю за ходом обробки.

Однак при установці вимірювальних перетворювачів на вузлах металорізального обладнання дещо скорочується вірогідність виявлення відмов інструменту внаслідок віддалення вимірювальних перетворювачів від зони різання, а також з огляду на те, що вимірювач сприймає не тільки силу різання, але і ряд інших сил, що мають місце при роботі металорізального обладнання. Вплив побічних сил призводить до збільшення похибки вимірювання сили різання, що необхідно враховувати при контролі стану інструменту за силовими параметрами.

При контролі стану інструменту за силовими параметрами практично при всіх відомих способах збільшення значень складових сили різання розглядають як наслідок зростання сил тертя, що діють на задній поверхні інструменту. При цьому не враховують фактичну геометрію ріжучої частини інструменту, вважаючи, що геометричні параметри інструменту залишаються незмінними. Однак зі зростанням зносу інструменту на задній поверхні і затупленням ріжучого леза буде змінюватися фактичний стан головної різальної кромки, що відобразиться на величині кінематичних геометричних параметрів інструменту, що визначаються взаємним розташуванням інструменту і оброблюваної заготовки і їх відносним переміщенням в процесі різання, а отже, і на значеннях силових параметрів.

Дослідження явищ, властивих процесу різання, дозволили розробити низку способів контролю стану інструменту, при яких в якості об'єкту контролю вибраний власне процес різання, тобто взаємодія інструменту з оброблюваною деталлю і стружкою. Для цілей контролю використовуються

електричні явища, що виникають при різанні, акустичне та електромагнітне випромінювання.

Основною перевагою контролю стану інструменту за електричними параметрами із зони різання є відсутність необхідності перетворення вимірюваного параметра. Електричні сигнали, що генеруються при різанні, реєструють безпосередньо вимірювальним приладом, приєднаним одним входом до інструменту, а іншим до оброблюваної заготовки. Електрорушійну силу різання, що виникає в зоні контакту інструменту і заготовки, вимірюють в режимі як постійного, так і змінного струму. При вимірюванні електрорушійної сили різання не потрібна ізоляція інструменту, так як електричний опір шпindelних підшипників значно більше електричного опору ковзного контакту. Електрорушійну силу різання як діагностичний сигнал можна використовувати в великому діапазоні режимів різання внаслідок того, що на величину електрорушійної сили практично не впливає температура заготовки. Контроль стану інструменту здійснюють за абсолютною величиною постійної складової електрорушійної сили різання. При вимірах в режимі змінного струму виділяють спектр частот, на яких виконуються зміни і для контролю використовують або абсолютне значення електрорушійної сили, або деяку змінну складову, яка визначається за заданим алгоритмом. Як контрольований параметр при оцінці стану інструменту застосовують також величину електричного опору контакту інструменту і заготовки.

Основний недолік способів контролю за електричними параметрами зони різання полягає в необхідності зняття електричних сигналів з деталей, що обертаються. Використовувані для цього пристрої є основним джерелом спотворень і перешкод, що генеруються в каналі вимірювання електричних параметрів зони різання, крім того, такий метод можна застосовувати тільки при обробці електропровідних матеріалів.

Низку досліджень було проведено для виявлення можливості контролю стану інструменту за акустичним випромінюванням із зони різання. Вважається, що акустичне випромінювання (емісія) являє собою пружну енергію, що вивільняється в матеріалі при деформації або руйнуванні. Акустичний сигнал реєструють датчиком, який сприймає ударні хвилі, що виникають при вивільненні енергії.

Встановлено, що основні максимуми спектра сигналу акустичної емісії зосереджені в області 100 кГц при нормальному різанні, а при дефекті ріжучого інструменту це відбувається в діапазоні 100 ... 300 кГц. Тому при

контролі стану інструменту за акустичним випромінюванням обмежують межу нормальної роботи смугою в 100 кГц, зону частот вище 100 кГц вважають зоною ушкодження інструменту.

Гостре лезо випромінює в основному енергію високих частот, зношене ж лезо генерує додаткову енергію коливань в низькочастотних і високочастотних областях спектра.

Експериментальні дослідження акустичної спектрометрії при контролі стану інструменту показали, що при 1 мм зносу інструменту на задній поверхні рівні складових коливань в низькочастотній області спектра виростили в 5 ... 8 разів, а в високочастотній області приблизно в 100 разів. Це свідчить про збільшення енергії акустичного сигналу на всьому спектрі внаслідок тертя, викликаного збільшеною загальною площею зносу на передній і задній поверхнях інструменту об стружку і об поверхню деталі. Збільшення енергії в різних частинах спектра неоднакове. Сказане дозволило зробити висновок про те, що між акустичним випромінюванням, що генерується в процесі різання, і станом інструменту існує певна залежність, тобто різного ступеня знос поверхонь інструменту відповідно генерує акустичний сигнал різної інтенсивності.

Однак при обробці різанням генерується не тільки діагностичний акустичний сигнал, але і шуми, що заважають виявленню і розшифруванню контрольованого сигналу. Шуми виникають в результаті ударів стружки, від сторонніх включень в матеріалі заготовки, внаслідок роботи шестерень приводів верстата тощо. Також встановлено, що акустичний сигнал залежить від низки технологічних факторів (глибини і швидкості різання, частоти обертання шпинделя, величини вильоту інструменту або заготовки та інше). Крім того, при обробці різанням різних матеріалів виникають різні звукові коливання в ріжучому інструменті і в оброблюваній деталі. Внаслідок їх накладення ускладнюється виявлення необхідного для аналізу акустичного сигналу.

Розроблено спосіб контролю стану інструменту на основі інформації про зміну потоку інфрачервоного випромінювання зони різання, але в даний час він ще не знайшов широкого промислового впровадження внаслідок низки істотних обмежень.

Для контролю стану інструменту відомі нечисленні способи з використанням його в якості об'єкта, який змінюється при утворенні стружки. Стан інструменту в даному випадку оцінюють за його формою, температурою, радіоактивністю або напрямку сходу стружки. Наприклад, темпера-

туру вимірюють за допомогою фотодіодів. Для зниження похибки вимірювання температури необхідно враховувати шкідливий вплив теплового випромінювання від зони різання, так як вимірювальні перетворювачі розташовують на відстані близько 30 мм від вершини різця.

Оброблювана заготовка також може розглядатися в якості об'єкта контролю стану інструменту в процесі різання. Однак слід зазначити, що використання оброблюваної заготовки в цій якості раціональніше при контролі стану ріжучого інструменту поза процесом різання.

При механічній обробці інструмент в процесі різання знаходиться в постійному контакті з оброблюваною заготовкою, тому використання прямого методу визначення параметрів його стану практично неможливо. Стан інструменту в такій ситуації оцінюють непрямим методом, при цьому реєструються діагностичні сигнали, що формуються внаслідок реакції самого інструменту на зміну умов обробки через зміну стану інструменту.

Розміщення вимірювальних пристроїв на ріжучому інструменті дозволяє отримувати якіснішу інформацію про процес різання і про стан інструменту, але, з іншої сторони, це потребує деякого доопрацювання стандартного ріжучого інструменту, а іноді суттєво. Тому доцільність застосування такого інструменту слід економічно обґрунтовувати.

Тіло інструменту в процесі різання зазнає дії сил, що виникають при різанні, сприймає вібрації, вплив температур та інше. На основі цього визначають параметри, вимірюючи які можна контролювати стан інструменту.

Серед експериментальних методів вимірювання температури і її розподілу на робочих гранях інструменту, що відображають найбільш точно закономірності зміни температури від зносу, слід зазначити фотоелектронні методи. З їх допомогою визначено розподіл тепла між стружкою, заготовкою та різцем, характер розподілу температур на передній і задній поверхнях інструменту, зміну середньої температури і температури на задній поверхні різця в залежності від її зносу та інші закономірності. Однак застосування фотоелектронних методів вимірювання в виробничих умовах досить обмежене, так як фотоелектронні датчики складні у виготовленні, мають високу вартість і важко налагоджуються.

У лабораторних дослідженнях зміну температури інструменту визначають за допомогою вбудованих в тіло інструмента термопар. Для більш точного вимірювання температури гарячий спай термопари повинен бути максимально наближений до ріжучої кромки інструменту, іншими слова-

ми, термопару необхідно вбудувати в ріжучу пластину, а це пов'язано з певними труднощами виготовлення. Крім того, при цьому відбувається значне ослаблення різального леза інструменту, зростає ймовірність його руйнування в процесі різання. При розташуванні гарячого спаю термопари між ріжучою пластиною і державкою внаслідок низької теплопровідності інструментальних матеріалів теплопередача буде відбуватися повільно, що позначається на швидкодії вимірювальних перетворювачів.

Силові параметри, що виникають в процесі різання в першу чергу впливають на ріжучий інструмент і оброблювану заготовку, що викликає їх пружні переміщення і деформації, а потім і всіх інших елементів технологічної системи. Тому існує думка, що найбільш раціональним джерелом інформації про силові параметри в процесі різання є сам інструмент, він безпосередньо сприймає виникаючі навантаження. У той же час вимірювання силових параметрів на самому інструменті пов'язане з низкою труднощів як конструктивного, так і організаційного характеру. По-перше, в апаратній частини. Найбільш часто використовувані для силових вимірювань тензометричні і індуктивні вимірювальні перетворювачі вимагають наявності пружного елемента зниженої жорсткості, що сприймає навантаження, для забезпечення високої чутливості вимірювальних перетворювачів, що практично неприйнятно для реалізації в тілі інструмента. По-друге, при безпосередньому наклеюванні тензометричних датчиків або установці індуктивних датчиків на державці стандартного інструменту значно збільшується вартість останнього. Крім того, в цьому випадку неможливо забезпечити необхідну чутливість вимірювальних перетворювачів внаслідок високої жорсткості стандартного інструменту. По-третє, розміщення вимірювальних перетворювачів на інструменті перешкоджає швидкій зміні ріжучого інструменту. Через це зараз практично відсутні конструкції динамометричних пристроїв, виконаних в тілі ріжучого інструменту.

В даний час у зв'язку з подальшим розвитком вимірювальної техніки і створенням принципово нових конструкцій ріжучих інструментів (наприклад, для блокових інструментальних систем) можливе створення суміщених ріжучих інструментів-датчиків, що забезпечують характеристики міцності та жорсткості. Широкі перспективи для цього відкриває використання магнітопружних вимірювальних перетворювачів силових параметрів. Магнітопружні перетворювачі, на відміну від тензорезисторних пристроїв, які реєструють деформацію, і індуктивних, які фіксують переміщення, дозволяють вимірювати механічні внутрішні напруги в чутливому елементі.

Внаслідок високої чутливості, що визначає основні переваги магнітопружних вимірювальних перетворювачів, діапазон вимірюваних навантажень обмежений тільки властивостями матеріалу чутливого елемента, а не характеристиками перетворювача, тому можливе створення таких вимірювальних пристроїв, які б дозволяли здійснювати вимірювання сил практично без деформацій пружночутливого елемента. Це особливо важливо при отриманні інформації про силові параметри процесу різання.

Хоча магнітопружні датчики для вимірювання сил і тисків розроблені досить давно, а сам магнітопружний ефект був відкритий ще в середині минулого століття, до сих пір не існує достовірних даних про окремі характеристики таких вимірювальних перетворювачів, що і ускладнює їх застосування. Різноманітні дослідження магнітопружних вимірювальних перетворювачів, проводилися з метою виявлення можливості використання перетворювачів даного типу для автоматизації металорізального обладнання шляхом запам'ятовування результатів вимірювань параметрів в процесі різання гострим (новим, тобто незношеним) інструментом.

В даний час для контролю стану різального інструменту існують пристрої контролю – це, як правило, мікроелектронні обчислювальні машини в комплекті з вимірювальними пристроями. Вимірювальні пристрої включають в себе різного роду датчики, що виробляють сигнал, який характеризує процес різання. У якості датчиків найчастіше використовуються тензорезисторні, п'єзоелектричні, індуктивні і рідше інші вимірювальні перетворювачі.

Залежно від математичних та логічних методів обробки даних, отриманих від вимірювальних пристроїв, і подальшого їх аналізу пристрої контролю розрізняються можливостями і ступенем надійності визначення неполадок, що виникають в процесі різання. У табл. 2.1 та табл. 2.2 представлені характеристики пристроїв контролю стану інструменту в процесі різання і їх можливості. У пристроях реалізуються різні способи контролю стану інструменту, розглянуті вище.

У більшості пристроїв в якості діагностичної інформації для контролю використовується інформація про силові параметри процесу різання, одержувана виміром значень складових сили різання або крутного моменту. Це обумовлено достатньою інформативністю контрольованих параметрів, відносною простотою їх вимірювання і обробки результатів.

Важливе значення для отримання достовірної і оперативної діагностичної інформації має місце вбудовування вимірювального перетворювача в технологічну систему.

Таблиця 2.1–Характеристики пристроїв контролю стану ріжучого інструменту (частина 1)

Характеристика пристроїв контролю	Модель пристрою, фірма-виробник, країна					
	Monitor Model A, Fanuc, Японія	Niigata Monitoring System, Niigata, Японія	ССМ-Ш, Osaka kiko, Японія	Tool Control Unit, Mitsui Seiki, Японія	Cutting monitoring device, Hitachi Seiki, Японія	Werk-zeuguber- wachung, Promess, Німеччина
<i>Функціональні можливості:</i>						
контроль зносу інструменту	-	-	+	-	+	+
контроль поломки інструменту	+	+	+	+	+	+
контроль перевантаження верстата	-	-	-	-	-	+
адаптивне регулювання подачі	-	+	+	+	+	-
<i>Параметри що контролюються:</i>						
крутний момент	+	+	+	+	+	-
складові сили різання	-	-	-	+	-	+
рівень вібрацій	-	-	+	-	-	-
час циклу	+	+	-	-	+	-
стійкість інструменту	-	+	+	+	+	-
<i>Вид датчика:</i>						
тензометричний перетворювач	-	-	-	-	-	+
шунт в ланцюзі електродвигуна	+	+	+	+	+	-
акселерометр	-	-	+	-	-	-
п'єзоелектричний перетворювач	-	-	-	-	-	-
<i>Місце монтування датчика:</i>						
опори ходового гвинта	-	-	-	-	-	-
опори шпинделя	-	-	-	-	-	+
шафа електроприводу	+	+	+	+	+	-
робочі органи верстата	-	-	-	-	-	-

Таблиця 2.2–Характеристики пристроїв контролю стану ріжучого інструменту (частина 2)

Характеристика пристроїв контролю	Модель пристрою, фірма-виробник, країна				
	Prometec Tool Monitor System, Prometec, Німеччина	LS 7330, Bosch, Німеччина	Widatronic, Krupp Widia, Німеччина	Tool Monitor, Sandwik Coromant, Швеція	Tool Condition System, Wibra, Швеція
<i>Функціональні можливості:</i>					
контроль зносу інструменту	+	-	+	+	+
контроль поломки інструменту	+	+	+	+	+
контроль перевантаження верстата	+	-	+	+	+
адаптивне регулювання подачі	-	+	-	-	-
<i>Параметри що контролюються:</i>					
крутний момент	-	+	-	-	-
складові сили різання	+	-	+	+	-
рівень вібрацій	-	-	-	-	+
час циклу	-	+	-	-	-
стійкість інструменту	-	+	-	-	-
<i>Вид датчика:</i>					
тензометричний перетворювач	-	-	-	+	-
шунт в ланцюзі електродвигуна	-	+	-	-	-
акселерометр	-	-	-	-	+
п'єзоелектричний перетворювач	+	-	+	-	-
<i>Місце монтування датчика:</i>					
опори ходового гвинта	-	-	-	+	-
опори шпинделя	-	-	-	-	-
шафа електроприводу	-	+	-	-	-
робочі органи верстата	+	-	+	-	+

Слід також відзначити проблеми, що виникають при визначенні граничних значень уставок, які характеризують неможливість подальшого використання контрольованого інструменту. Значення уставок в пристроях контролю задають, як правило, у вигляді відсоткової добавки до даних, отриманих в процесі навчання. Внаслідок цього неможливий контроль поточного стану інструменту з метою внесення коректив в хід процесу обробки наприклад для компенсації розмірного зносу контрольованого інструменту. Диференціювання уставок дозволяє більш раціонально використо-



увати інструмент, підвищити чутливість контролю і зменшити число помилкових спрацьовувань. Завдання уставок має відповідати ділянкам контролю, що характеризуються різними умовами (інструмент, режими різання і так далі). Іншими словами, необхідно мати можливість визначати значення уставок для конкретних (детермінованих) станів інструменту.

Дослідження показують, що силові параметри процесу різання залежать від виду інструменту, його геометрії, тенденцій її зміни при використанні інструменту та інше. Але в існуючій методиці визначення значень силових параметрів враховують їх зміни, зумовлені зносом, шляхом введення уточнюючих коефіцієнтів. Ці коефіцієнти мають орієнтовні значення, обмежені деяким інтервалом, і нерідко для конкретних умов обробки розрахункові значення, що визначають силові параметри можуть сильно відрізнятися від фактичних. Хоча зміна силових параметрів дозволяє судити про зношування інструменту, рекомендації з призначення уставок відповідно до існуючих методик визначення значень силових параметрів носять орієнтовно-приблизний характер, що призводить до необхідності уточнення значень уставок в процесі експлуатації пристроїв контролю за силовими параметрами процесу різання.

При обробці деталей високої складності питання його діагностування особливо актуальні. На сьогоднішній день розроблена відносно велика кількість систем для контролю ступеня зношування і визначення моменту виходу з ладу (поломки) інструменту. Ці системи класифікуються за різними показниками (рис. 2.15), що визначають стратегію діагностування інструментів.

Залежно від часу спостереження за інструментом, системи можна розділити на ті що безперервно отримують інформацію при обробці і ті що отримують інформацію в перервах процесу обробки. В тому, і в іншому випадках потрібен певний час для збору даних про результати вимірювань, наприклад, після обробки деякого числа заготовок. При обробці деталей на верстатах-автоматах або верстатах з числовим програмним керуванням, де оператор практично не бере безпосередньої участі в обробці деталі, системи активного (безперервного) контролю стану різального інструменту є особливо необхідними. Існують чинники, які знижують ефективність роботи системи. Наприклад, при оптичному способі контролю, складно домогтися «гарного бачення» ріжучої кромки при впливі мастильно-охолоджувальної рідини і стружки, пневматичний і радіоактивний методи обмежують використання стандартної оснастки без додаткової її доробки.

Для обертового інструменту проблема контролю встає більш гостро. Розвиток інструментальних матеріалів і покриттів призводить до значного збільшення швидкості обробки, що дуже ускладнює контроль стану кромки інструменту, і практично унеможлиблює процес його безперервного прямого контролю. Переривчасте різання також накладає певні обмеження на вибір принципів діагностування стану ріжучого інструменту.

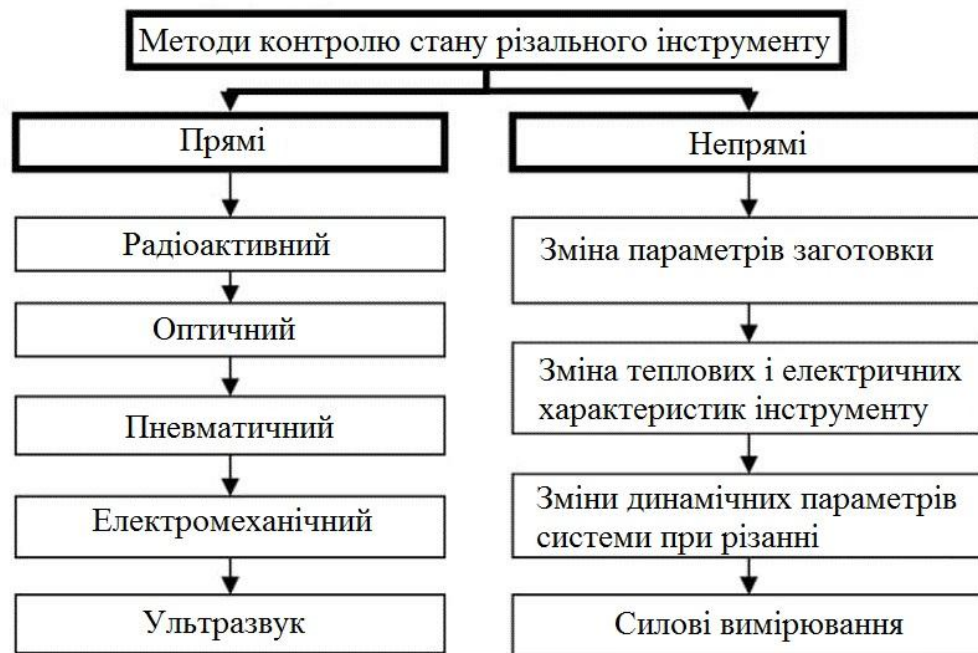


Рисунок 2.15 – Методи контролю стану різального інструменту

Найбільш ефективним напрямом в контролі ріжучих інструментів є моніторинг (безперервний контроль) безпосередньо в процесі обробки. Всі методи діагностики поточної працездатності ріжучих інструментів можна умовно розділити на групи, а їх, у свою чергу, на методи прямого контролю, засновані на безпосередній реєстрації величини зносу інструменту, і непрямого контролю, що використовують фізичні явища, які супроводжують процеси різання і зношування інструменту.

Прямі методи вимірювання передбачають безпосереднє вимірювання параметрів зносу, при цьому контролюється знос за лункою, що утворюється на передній поверхні, відстань від ріжучої кромки до центру лунки, глибина лунки, ширина стрічки зносу на задній поверхні, зменшення об'єму або маси інструменту, розмірний знос ріжучої кромки, розкид розмірів деталей в партії і тому подібне. Зазначені параметри можуть бути визначені радіоактивними, оптико-телевізійними, лазерними, електромеханічними, ультразвуковими або пневматичними методами.

При прямому контролі параметри зносу (характеристики лунок і стрічок зносу) на контактних поверхнях інструменту вимірюються безпосередньо в процесі обробки. Прямі вимірювання зносу інструменту викликають деякі труднощі, що пов'язано в основному зі складністю конструкції датчиків зносу. При виконанні прямих вимірювань використовують, як правило, допоміжні або холості ходи інструменту, вихід інструменту або різальних кромки з процесу обробки. Апаратура для контролю зносу ріжучих інструментів після закінчення процесу різання може бути розміщена таким чином, що на неї не будуть мати шкідливий вплив різні фактори, властиві процесу металообробки. Такі вимірювання мають підвищену надійність. Однак вимірювання здійснюються періодично, що не дає змоги вчасно виявити відмови ріжучого інструменту. Необхідна періодичність контролю може бути визначена на підставі досвіду використання відповідного ріжучого інструменту на даних технологічних операціях і на підставі імовірнісних розрахунків з урахуванням передбачуваного періоду стійкості різального інструменту.



Рисунок 2.16 – Непрямі методи контролю стану різального інструменту

У зв'язку зі складнощами використання в виробничих умовах прямих методів визначення стану ріжучого інструменту проводилися і проводяться численні роботи, спрямовані на використання можливості оцінки стану інструменту за вимірюванням різних параметрів процесів, які супроводжують різання. При використанні непрямих методів (рис. 2.16) датчиками

приймаються сигнали, що надходять від певних ділянок інструменту, машини, заготовки та містять інформацію про розміри і швидкість зносу інструменту. При цих методах контролюються різні характеристики процесу різання, які мають певні кореляційні зв'язки з величиною зносу і інтенсивністю зношування ріжучих кромek інструменту. Принципи і техніка вимірювання при непрямих методах порівняно прості. Вони дозволяють безперервно отримувати в процесі обробки інформацію про знос ріжучої кромки. Придатні вони також для реєстрації різких або стрибкоподібних змін зносу або руйнування різальних кромek інструменту протягом коротких інтервалів часу. Основний недолік непрямих методів полягає в тому, що кореляційний зв'язок між вимірним фактором і зносом інструменту повинні бути визначені експериментальним шляхом для кожного конкретного випадку обробки. Одним із складних, з точки зору діагностики стану різального інструменту, є процес фрезерування, яким на сьогоднішній день займаються багато вчених. Найбільш популярними непрямими методами визначення зносу при фрезеруванні в даний час є методи аналізу сигналів акустичної емісії, вібрацій елементів технологічної системи, а також вимір потужності приводу головного руху різання або зусилля подачі.

Методи вимірювання включають в себе нижчезазначені.

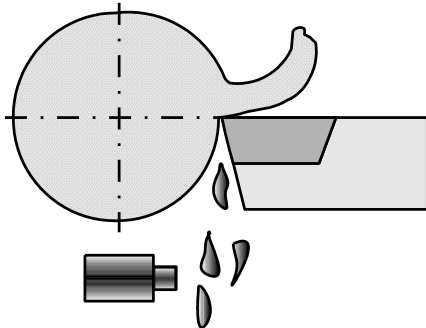


Рисунок 2.17 – Схема дії радіоактивного перетворювача

*Радіоактивний метод* (рис. 2.17) заснований на застосуванні радіоактивних датчиків. Ріжуча пластина опромінюється нейтронами, і в процесі різання невеликі радіоактивні частинки інструменту відходять разом зі стружкою. Радіоактивні частинки розміщують на межі зони зносу або на задній грані на рівні величини критичного зносу. Падіння радіоактивності

означає, що зона зносу поширилася далі місць розташування радіоактивних частинок.

Стружка переміщається у потік масла, що проходить крізь вимірювальну головку, де вимірюється рівень її радіоактивності. Рівень радіоактивності стружки залежить від об'єму який віднесло з інструментального матеріалу  $a$ , отже, від зносу інструменту.

Проблема захисту від радіоактивності та необхідність збирання стружки не дозволяють широко застосовувати радіоактивні перетворювачі.

Недоліками даних методів є низька точність, складна вимірювальна апаратура, неможливість роботи з переточеним ріжучим інструментом, необхідність роботи з радіоактивними речовинами. Тому незважаючи на відносну простоту реалізації даного способу, він практично не набув поширення.

Оптичні і оптико-електронні пристрої вимірювання зносу засновані на тому, що зі зміною зносу змінюється відбивна здатність задньої грані інструменту. З огляду на розвиток сучасної оптоволоконної техніки, що дозволяє спростити процес вимірювання і високу точність одержуваних результатів, слід зазначити перспективність застосування даного методу вимірювання зносу ріжучого інструменту. 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 проектується на світлочутливі елементи. За допомогою схеми перетворення забезпечується сигнал, пропорційний зносу інструмента.

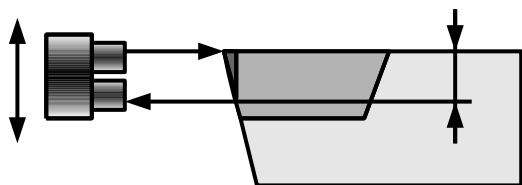


Рисунок 2.18 – Оптико-волоконний датчик

За телемоніторною схемою (рис. 2.19) 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. 2.18) знос різця вимірюється світловим променем, що рухається і трансформується цим датчиком в електричний сигнал.

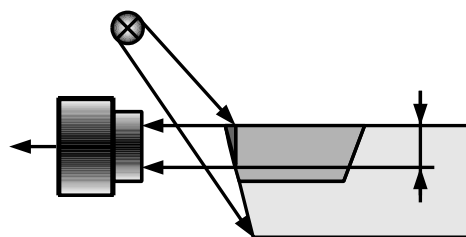


Рисунок 2.19 – Телемоніторний пристрій виміру зносу різця

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 керування процесом обробки пристроїв, пов'язаних з необхідністю припи-

нення процесу різання для здійснення заміру зносу інструмента, не дає ефекту через значне запізнення формування керуючого сигналу за отриманою у результаті замірів інформацією.

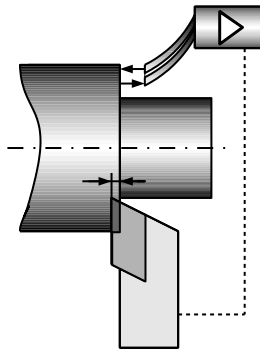


Рисунок 2.20 – Схема дії оптичного світловолоконного датчика

Тому найбільш цінними є пристрої, що вимірюють знос інструмента безпосередньо у процесі різання. До них належать оптичні пристрої (рис. 2.20) з використанням засобів звичайної та волоконної оптики. Вимір відстані між світловим вихідним отвором оптичного волокна і деталлю призводить до зміни інтенсивності відбитого світла.

Загальним недоліком оптичних методів є висока чутливість до зовнішніх умов експлуатації (засміченість повітря, наявність мастильно-охолоджувального середовища та стружки у зоні різання) що є суттєвою перешкодою для їх впровадження в виробничих умовах.

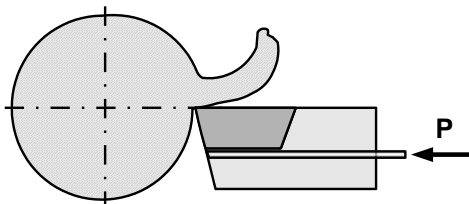


Рисунок 2.21 – Схема дії пневматичного датчика

*Пневматичний метод* заснований на залежності опору повітряного струменя від відстані між соплом датчика і контрольованою поверхнею. В такому методі вимірювання зносу різця в якості вимірювального пристрою використовується пневматичний датчик. Сопло розташовується

в ріжучій пластині інструмента або на державці під ріжучою пластиною. З ростом зносу інструмента скорочується відстань між соплом і поверхнею обробленої деталі. Це призводить до зміни опору повітряного струменя.

Пневматичний перетворювач зносу (рис. 2.21) вимірює відстань між торцевою поверхнею вимірювального сопла та поверхнею деталі, що обробляється і діє як заслінка. У процесі різання за мірою зносу різального інструмента змінюються 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 ряді робіт наведені опис і результати випробувань системи безперервного контролю зносу інструмента при точінні. Система заснована на ви-

користанні диференційного безконтактного пневматичного датчика, сопло якого розташовано на державці різця в безпосередній близькості від ріжучої пластини з боку обробленої поверхні. Перед початком обробки тиск вимірювального ланцюга балансується таким чином, що нульове показання приладу реєстрації відповідає положенню вершини різця, що забезпечує отримання необхідного діаметра деталі.

Даний спосіб не позбавлений істотних недоліків. До них необхідно віднести, по-перше, складність практичної реалізації, пов'язану з необхідністю застосування спеціальних конструкцій інструменту з пневмо-каналами, а також із забезпеченням подачі повітря при автоматичній зміні інструменту; по-друге, залежність результатів вимірювання від точності і шорсткості поверхні «заслінки». Тому даний спосіб доцільно застосовувати тільки на оздоблювальних операціях.

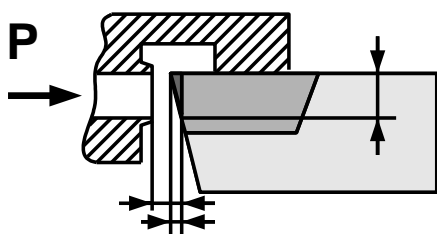


Рисунок 2.22 – Пневматична система виміру зносу різця

Також існують пневматичні системи виміру зносу різального інструменту поза зоною обробки (рис. 2.22). У схемі з використанням пневматичної системи зміна швидкості струменя повітря пропорційна зносу ріжучого інструменту. По мірі зношування інструменту збільшується зазор між соплом і поверхнею, що відпо-

відає позитивній неузгодженості вимірювальної системи. Пропонована система може бути використана на верстатах з адаптивним керуванням і автоматичною зміною інструментів.

*Електромеханічний метод* забезпечує вимір зносу інструменту в робочому просторі верстата за допомогою контактних датчиків при установці супорта в позицію, яка визначається конструктивним розташуванням вимірювального пристрою. У більшості випадків вимірювальні пристрої розміщуються безпосередньо на верстаті і в період вимірювального циклу верстат працює в режимі координатно-вимірювальної машини. При цьому методі датчик розташовують на задній бабці токарного гідрокопіювального верстата або закріплюють на передній стінці коробки швидкостей. У наведених системах вимірювання зносу проводиться при підведенні інструмента до датчика. Датчик перетворює переміщення щупа, що рухається по інструменту, в електричний сигнал, а про величину зносу судять за різницею вимірянних сигналів датчика до і після обробки.

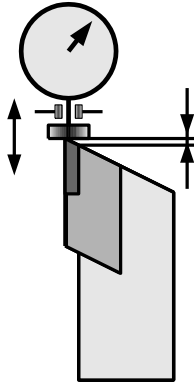


Рисунок 2.23 – Схема дії датчика дотику

Методи контролю з використанням датчиків дотику отримали поширення завдяки підвищенню точності вимірювальних пристроїв систем програмного керування та появі надійних датчиків дотику. Оцінка зносу проводиться за наступною схемою (рис. 2.23): 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.

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.

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

Однак даний спосіб може бути використаний далеко не на всіх верстатах, оскільки наявність в робочому просторі верстата додаткового пристрою знижує універсальність верстата і зменшує його надійність. Стружка, мастило і мастильно-охолоджувальна рідина в ряді випадків роблять цей спосіб не придатним. До того ж необхідно врахувати, що через наявність зайвих переміщень, необхідних для контролю зносу інструменту, знижується продуктивність верстата.

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.



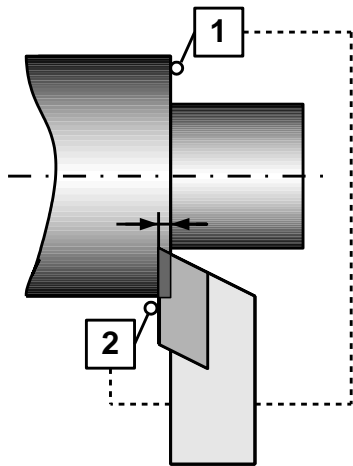


Рисунок 2.24 – Схема дії електричного контактного перетворювача

Електричний перетворювач встановлюють на різцетримач, а його щуп контролює безпосередньо поверхню, яка обробляється (рис. 2.24).

Перевагою цього методу вимірювання є те, що фіксується зміщення оброблюваної 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.

*Ультразвуковий метод* забезпечує діагностування стану ріжучого інструмента, засноване на вимірі довжини ріжучого леза, за рахунок визначення часу проходження ультразвукової хвилею заданої відстані. Знаючи швидкість і час поширення ультразвуку в середовищі, легко визначити відповідний шлях.

Ультразвукові коливання в середовищі у вигляді імпульсу збуджуються п'єзоелектричним джерелом. Якщо ці імпульси наштовхуються на перешкоду, то частина енергії випромінювань хвилі відбивається і повертається до джерела випромінювання у вигляді відлуння-імпульсу. У цей момент часу п'єзоперетворювач переходить з режиму випромінювання в режим прийому.

Час між переднім фронтом переданого імпульсу і переднім фронтом луна-імпульсу є часом проходження імпульсом відстані передавач-відбивач-приймач, яке може бути виміряно з точністю до 1 нс. Встановлено, що методом ультразвукового контролю можна виміряти різницю шляху з точністю  $\pm 2$  мкм.

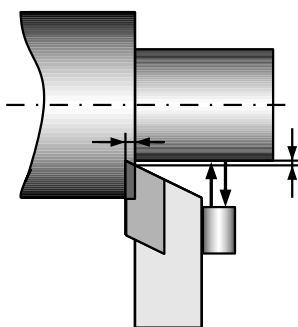


Рисунок 2.25 – Схема виміру зносу різця за допомогою імпульсного (ультразвукового) датчика

Ультразвуковий пристрій (рис. 2.25) базується на використанні ультразвукового генератора, який встановлено на різцетримачі. У процесі різання вимірюється час проходження імпульсів, відбитих від поверхні, що обробляється, який зменшується у мірі збільшення зносу різця. До недоліків пристрою можна віднести складність його конструкції.

*Віброакустичні вимірювання.* Певна кількість досліджень присвячена визна-

ченню залежності між вібраціями верстатів і зносом інструменту. Всі роботи в цьому напрямку можна розділити на 2 групи:

1. Використовують в якості сигналу хвилі акустичної емісії, коливання генеруються в зоні різання, в діапазоні частот більше 100 кГц;

2. Використовують в якості сигналу параметри коливань технологічної системи і коливань, що генеруються в зоні різання в діапазоні від 20 Гц до 60 кГц, що включає звуковий діапазон.

При дослідженні коливань технологічної системи верстата зі зносом інструменту пов'язують і співвідношення між високочастотними і низькочастотними коливаннями технологічної системи. При дослідженні сигналів акустичної емісії використовують спектральний аналіз, інтегральні характеристики, а також амплітудний аналіз сигналів. Пропонований спосіб діагностики заснований на аналізі низькочастотних коливальних процесів пружної системи верстата.

Вібраційний метод, заснований на реєстрації характеристик вібрації інструменту в процесі обробки. Розкладають віброакустичний сигнал на низькочастотні і високочастотні складові, за співвідношенням яких судять про знос інструменту.

Судити про достоїнства і недоліки даного методу складно, так як в різних джерелах наводяться різні дані щодо розподілу спектра вібрацій і, відповідно, пропонується використовувати різні його ділянки для діагностування стану ріжучого інструменту.

Інтенсивність високочастотних хвиль напружень (смуга частот зазвичай 200 ... 1200 кГц) може бути використана в якості діагностичного сигналу про стан інструменту, оброблюваності матеріалу, і для оптимізації швидкості різання і геометрії інструменту. Основним недоліком методу є те, що датчик для реєстрації процесів акустичної емісії необхідно розташувати в безпосередній близькості від зони різання. У всіх публікаціях відмічено, що датчик наклеювався безпосередньо на різець, тому що навіть нерухомий стик послаблює реєстрований сигнал більш, ніж в 10 разів.

Пристрої засновані на контролі рівня коливань. Відомо, що в процесі різання генеруються коливання різних частот і амплітуд, які в значній мірі залежать від стану ріжучих лез.

Коливання в діапазоні звукових і навіколозвукових частот реєструються за допомогою датчиків прискорення (як правило, п'єзоелектричних). Дослідження показують, що в міру затуплення інструменту зростає енергія (амплітуда) високочастотних коливань. Об'єктом контролю в цьому випадку

ку служить співвідношення енергій високо - і низькочастотних коливань, яке визначається шляхом вимірювання інтенсивності коливань або звукового тиску в певному діапазоні частот.

При прийнятті рішення про використання коливань для контролю працездатності інструменту слід враховувати, що в ряді випадків на зміни спектра звукових і інших видів коливань істотний вплив спричиняють безпосередньо зміни режимів різання. В цьому випадку необхідно спочатку виділити складову амплітуди, що генерується в результаті зміни режиму різання, а потім ідентифікувати решту сигналу.

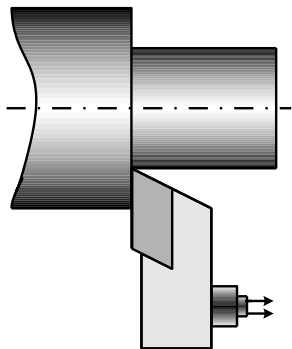


Рисунок 2.26 – Схема дії акустичного перетворювача

Широке застосування знаходять акустичні перетворювачі (рис. 2.26), 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).

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 “інстру-

мент-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 електронної обчислювальної машини.

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.

Практика показує, що більш достовірну інформацію забезпечує вимірювання не безпосередньо амплітуд коливань, а співвідношення амплітуд в тому чи іншому напрямку дії сил у мірі зношування інструменту. Встановлено, що такі співвідношення в значній мірі залежать від напрямку дії сил різання.

Такий метод вимірювання є одним з найбільш простих для контролю стану різального інструменту в процесі різання. До переваг цього способу

контролю слід віднести його простоту, невисоку вартість, доступність інформативного параметра, відсутність суттєвої модернізації обладнання.

За допомогою електронних пристроїв контроль цілісності інструменту може здійснюватися шляхом вимірювання потужності, що розвивається електродвигуном.

Обмеженням для використання таких пристроїв є випадки обробки інструментами малого діаметра, при яких потужність, що розвивається приводним електродвигуном, практично не відрізняється від потужності холостого ходу.

Інший істотний недолік способу полягає в тому, що датчики, що стежать за величиною крутного моменту і потужністю, що розвивається електродвигуном, недостатньо ефективні, так як зміна крутного моменту і потужності відбувається недостатньо швидко.

Пристрій контролю стану інструменту за струмом електродвигуна головного приводу дозволяє зафіксувати знос інструменту. При зносі інструменту і перевищенні рівня струму на 20 %, а також при поломці інструменту і зростанні струму на 50 % видається команда на зупинку верстата.

Вибір засобів (датчиків) для оперативної діагностики процесу різання визначається в основному двома чинниками: інформативністю, а також простотою і надійністю монтування в верстат. За цим критерієм вибір в більшості випадків залишається за контролем згаданих силових параметрів і параметрів вібрацій в широкому частотному діапазоні. Однак високочастотні вібрації швидко згасають зі збільшенням відстані від джерела виникнення. Їх рівень різко падає при проходженні стиків між деталями. При зміні ріжучого інструменту умови контактування поверхонь, що сполучаються змінюються випадковим чином, впливаючи на рівень сигналу емісії. Ці моменти істотно звужують сферу застосування високочастотних вібрацій як джерела інформації.

Вібрації в діапазоні до 30 ... 40 кГц вимірюються акселерометрами, які можуть надійно встановлюватися на пружну систему верстата на значній відстані від зони різання, де датчик надійно захищений від стружки і випадкових пошкоджень. Така установка зазвичай не вимагає модернізації верстата, хоча слід приділити увагу захисту від пошкодження кабелю датчика. Проблеми виникають при наявності рухомих стиків між акселерометром і зоною різання, тобто коли обертається і ріжучий інструмент, і заготовка. Однак при великих швидкостях різання наприклад, на круглошліфуваль-

них верстатах це не викликає ускладнень. Але при наявності обертових столів доводиться верстат оснащати механізмом віджимання і притиску акселерометра в періоди повороту столу. Це робить актуальним оснащення віброакустичного каналу системою бездротової передачі сигналу, що дозволило б безперешкодно встановлювати акселерометри на обертові об'єкти і усунуло б прокладку кабелю до датчика. Іноді можна замінити акселерометр мікрофоном, хоча в цьому випадку значно погіршується співвідношення корисного сигналу і перешкод.

Відомо, що рівень вібрацій монотонно зростає зі збільшенням площі зносу контактуючих поверхонь. Це повинно було б визначати тісний зв'язок сил різання з амплітудою вібрацій. Природа вібрацій при різанні і терті в широкому діапазоні частот має складну структуру, яка не збігається з природою сил при різанні. Наприклад, при збільшенні площі контакту при терті амплітуда коливань на якихось етапах може різко зростати, а на якихось падати або не мінятися зовсім. Складна природа віброакустичного сигналу компенсується його чутливістю до зміни контактних процесів при різанні і терті. Наприклад, чутливість проявляється в тому, що при зближенні ріжучого інструменту з обертовою заготовкою момент їх контакту помітно змінює віброакустичний сигнал ще на стадії пружної взаємодії ріжучого інструменту з мікрорельєфом заготовки. Дальність дії проявляється в тому, що віброакустичний сигнал, що виникає в зоні різання, в діапазоні до 20 ... 30 кГц можна реєструвати в будь-якій точці пружної системи верстата, що не відокремлена від зони різання рухливими стиками.

Складна залежність параметрів віброакустичного сигналу від площі контакту пояснюється тим, що віброакустичний сигнал визначається не усередненими залежностями сили від площі контакту, а динамікою самої контактної взаємодії. Ця взаємодія пояснюється двома протилежними процесами у фрикційному контакті: ударами мікронерівностей взаємодіючих тіл і прагненням цих нерівностей утворювати адгезійні містки, що збільшують міцність контакту. З одного боку, це ускладнює оцінку зносу ріжучого інструменту, з іншого – віброакустичний сигнал відображає характер взаємодії контактуючих тіл при різанні і терті, що в ряді випадків, особливо при фінішних операціях, може стати важливішою оцінкою зносу ріжучого інструмента.

Динамічні явища при різанні визначаються не тільки режимами різання а й станом ріжучого інструмента. Наприклад, обробка в однакових умовах заготовок з різною жорсткістю супроводжується різними віброакусти-

чними сигналами. Якщо мова йде тільки про стан ріжучого інструмента, то ця обставина може розглядатися як перешкода. Але якщо важлива чистота поверхні або стан поверхневого шару деталі, то це інформація, яка потребує прийняття рішення. Параметри динамічної системи верстата визначаються не тільки заготовкою, але і координатами робочого простору. Це пов'язано з непостійною жорсткістю пружної системи верстата, зміною вильотів ріжучих інструментів і таке інше. Розрахунок динамічних характеристик верстатів спрямований на оцінку граничної товщини стружки, яку можна знімати на даному верстаті при допустимому рівні вібрацій. Однак добре відомо, що і при чистових режимах обробки доводиться стикатися з автоколивальними процесами (наприклад, тональний шум при різанні), які не порушують хід обробки, але залишають сліди на поверхні і знижують стійкість ріжучого інструменту. При зупинці подачі навіть гострого ріжучого інструменту можуть виникати автоколивання з амплітудою, що перевищує рівень коливань при різанні.

Знаючи режими різання, поки дуже складно заздалегідь визначити, яким повинен бути граничний рівень будь-якого параметра віброакустичного сигналу при досягненні ріжучим інструментом граничного зносу. Існує методика попереднього навчання, згідно з якою при обробці першої деталі отримують дані про параметри віброакустичного сигналу. Далі, спираючись на ці значення, задають коридор, наприклад  $\pm 10$  дБ, вихід контрольованого параметра за межі якого свідчить про відмову ріжучого інструменту чи іншу невідповідність. В процесі експлуатації межі коридору можуть коригуватися для мінімізації помилкових спрацьовувань системи контролю і зменшення числа пропущених дефектів ріжучого інструменту.

*Вимірювання температури різання і електричних характеристик зони різання.* Метод непрямого вимірювання параметрів зносу інструменту шляхом безперервного або періодичного вимірювання температури різання в процесі обробки ґрунтується на залежності між температурою різання і параметрами зносу інструменту для заданого поєднання матеріалу заготовки та інструменту і для даних умов і режимів обробки.

Як критерій зносу використовується інтенсивність тепловиділення в зоні різання. Вважається, що одним з найбільш простих і надійних методів автоматичного контролю зносу інструментів в умовах малолюдної технології є вимір теплового потоку в інструменті, що визначається перепадом температур в двох точках корпусу інструменту поблизу різальних кромки.

Існує пристрій для безперервного контролю тепловиділення інструменту в процесі обробки різанням. Твердосплавна ріжуча пластина упаюється в мідне оправлення, в тілі якої є наскрізний отвір. Оправлення з пластиною встановлюється за допомогою ізольованої прокладки або покриття на різці. Через отвір в оправці в процесі обробки безперервно протікає вода, яка відіграє роль теплоносія.

У період зношування ріжучої кромки твердосплавної пластини різниця температури вхідного і вихідного потоків води безперервно зростає і досягає свого максимального значення при повному зносі пластини. Різниця температури потоків води вимірюється мостовим методом безперервно в процесі обробки. Недоліками методу є: мала точність, необхідність спеціального інструменту.

Вимірювання термоелектрорушійної сили різання дозволяє отримати інформацію із зони різання про стан ріжучого інструменту безпосередньо шляхом вимірювання термоелектрорушійної сили що генерується в зоні змінного контакту ріжучого інструменту з оброблюваною деталлю. Існують результати при дослідженні впливу технологічних режимів, а також зносу інструменту на параметри термоелектрорушійної сили (постійну і змінну складові), інтенсивність коливань в різних частотних діапазонах, виміряні методом природної термопари. Показано, що знос інструменту, в основному, впливає на змінну складову термоелектрорушійної сили.

Для вимірювання її величини необхідні струмоміряч і ізолювання ріжучого інструменту від верстата, що в реальних умовах експлуатації викликає низку додаткових труднощів. Треба відзначити і той факт, що в літературі немає строгих залежностей між термоелектричними явищами і зносом різального інструменту.

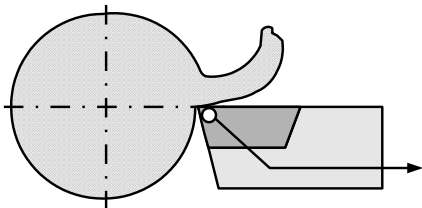


Рисунок 2.27 – Схема визначення зносу інструменту за допомогою термопари

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. 2.27).



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

До недоліків методу можна віднести складність тарування вихідного сигналу термопари та необхідність перешкодозахищеності 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.

Для заміру зносу різального інструмента використовують електричні перетворювачі, опір яких змінюється залежно від ширини площадки зносу. При цьому на попередньо ізольовану 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.

## 2.5. Контроль розмірів заготовки

Існує досить велика кількість способів прямого та непрямого вимірювання параметрів в процесі обробки, заснованих на вимірі заготовки. При механічному непрямому вимірі контроль розмірів здійснюється за допомогою щупів. Існують різні методи вимірювання деталей безпосередньо на верстаті. Деталь може вимірюватися за допомогою щупа, закріпленого в інструментальній головці, яка за допомогою числового програмного керування переміщається щодо деталі. Цей метод вимагає значних додаткових витрат, а також високої точності верстата і його вимірювальної системи. Розглядаються питання застосування контактних датчиків, оснащених щупами, на верстатах із числовим програмним керуванням типу CNC. Контактні датчики використовуються в циклі обробки, але не під час процесу різання. Використання такого способу на операціях налаштування інструменту дає економію часу до 95 %.

Крім механічного способу вимірювання існує ряд інших способів (пневматичних, оптичних, індуктивних, ємнісних, фотоелектричних, електронних) для визначення розмірних характеристик заготовки, які можуть використовуватися і для непрямих вимірювань параметрів зносу інструменту. Але точність виміряних параметрів зносу невисока, так як вона залежить від помилок при виготовленні елементів системи обробки, помилок, викликаних пружними деформаціями в системі обробки, похибок внаслідок температурних деформацій і таке інше. Можливе використання і лазерних датчиків для непрямого вимірювання зносу або довжини інструменту, так як вони відносяться до класу датчиків вищої якості, точності і надійності виміряних параметрів заготовки.

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. 2.28) – фрикційний диск, зв'язаний з імпульсним датчиком, залежно від обходу деталі видає пропорційне периметру деталі число імпульсів.

*Контактний індикаторний* (рис. 2.29) – вимірювання здійснюється індикатором контакту (щупом) з автоматичним керуванням від системи числового програмного керування.

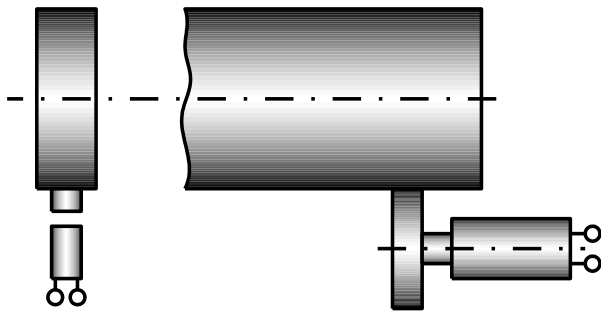


Рисунок 2.28 – Схема дії фрикційної вимірювальної системи

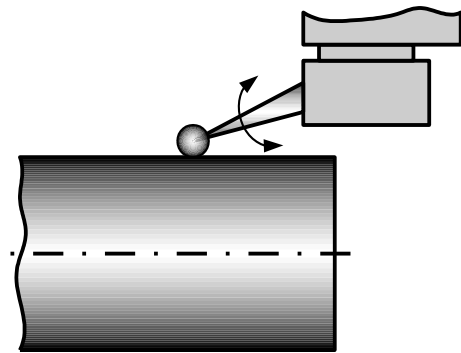


Рисунок 2.29 – Схема дії контактної індикаторної вимірювальної системи

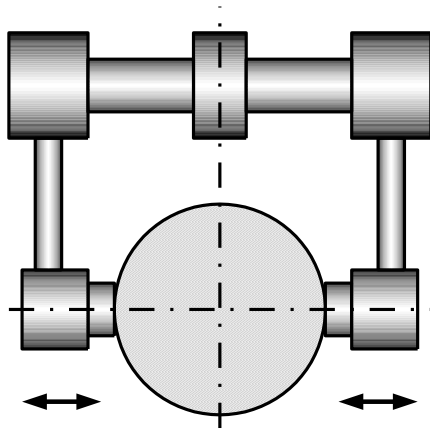


Рисунок 2.30 – Диференційна система

*Диференційний* (рис. 2.30) – вимірювальна система являє собою вимірювальний пристрій у формі вилки; точне вимірювання деталі забезпечується індуктивними, ємнісними або акустичними датчиками.

Найбільша точність контролю розміру та форми деталі, що обертається, може бути забезпечена при диференційній 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 диференційної схеми вимірювання є те, що похибка вимірювання, викликана неточністю взаємного розміщення перетворювача і шпинделя, може бути компенсована осередненням результатів вимірювань, виконаних у діаметрально протилежних точках деталі.

*Контактний* (рис. 2.31) – пересувна вимірювальна контактна система. Особливості процесу токарної обробки (наявність стружки, мастильно-охолоджувальної рідини), а також

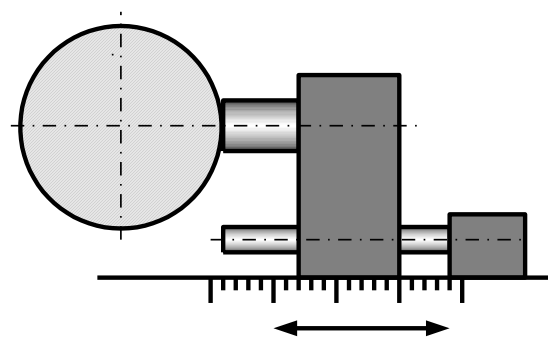


Рисунок 2.31 – Пересувна контактна вимірювальна система

необхідність роботи на підвищених швидкостях різання ускладнюють широке застосування контактних методів вимірювання.

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:

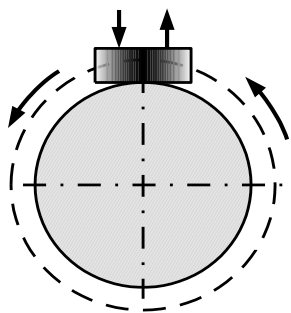


Рисунок 2.32 – Ультразвуковий імпульсний вимірювальний пристрій

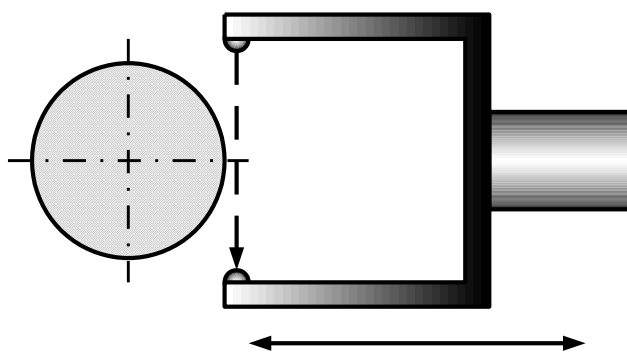


Рисунок 2.33 – Фотоелектричний однобічний тіньовий вимірювальний пристрій

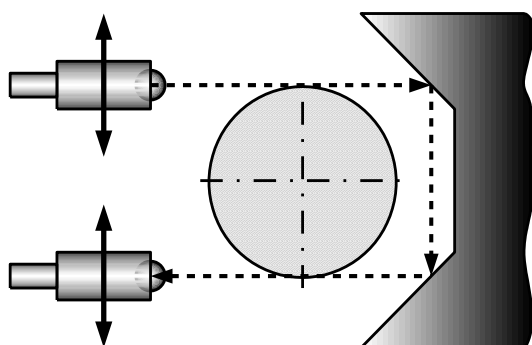


Рисунок 2.34 – Тіньовий двобічний лазерний вимірювальний пристрій

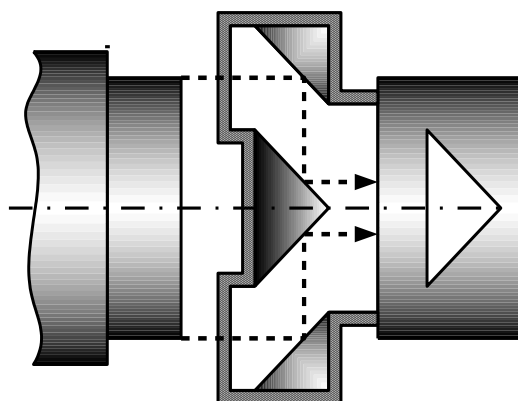


Рисунок 2.35 – Оптична телевізійна вимірювальна система

*Ультразвуковий* (рис. 2.32) – 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. 2.33) – тіньовий однобічний метод полягає у тому, що обмежений пучок світла падає на диференціальний фотодіод; переміщення вилки визначає розміри деталі.

*Тіньовий* (рис. 2.34) – 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. 2.35) – оптична система з'єднана з відеопідсилювачем та телевізійною приймальною трубкою; відстань між рядками дає числове значення вимірювання.

*Акустичний* (рис. 2.36) – вимірювання товщини стінок за допомогою ультразвуку. Вимірюється час розповсюдження імпульсу між зовнішньою та внутрішньою стінками деталі.

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.

*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.

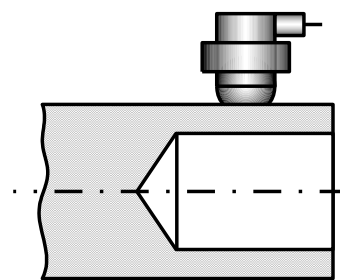


Рисунок 2.36 – Акустична вимірювальна система

## 2.6. Контроль шорсткості обробленої поверхні

Шорсткість обробленої поверхні залежить від геометричних характеристик ріжучої частини інструменту. Однією з таких характеристик є знос інструменту. Аналіз показує, що шорсткість важко використовувати в якості контрольованого параметра в силу його нестабільності, тобто робота такої системи буде мало надійною. У той же час вимірювання шорсткості характеризується великою складністю, що вимагає застосування точного обладнання.

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. 2.37) – коливання голки, що рухається по поверхні, індуктивним або ємнісним способом перетворюється у електричний сигнал.

*Пневматичний* (рис. 2.38) – вимірювальне сопло, встановлене на певній відстані від поверхні деталі, що утворюють систему сопло-заслінка, залежно від швидкості потоку визначається шорсткість поверхні.

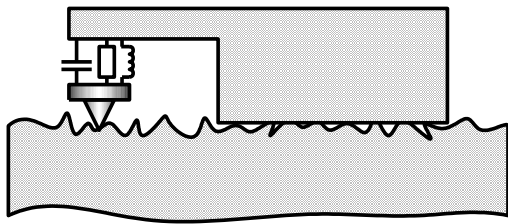


Рисунок 2.37 – Схема дії контактної голки з індуктивним або ємнісним перетворювачами

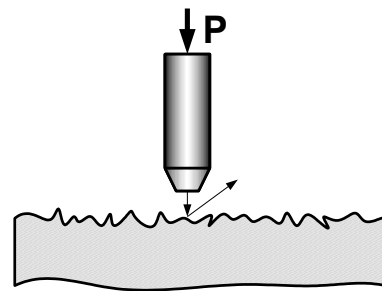


Рисунок 2.38 – Пневматичний датчик

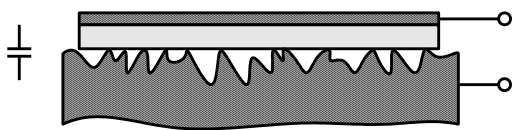


Рисунок 2.39 – Схема дії ємнісного контактної голки

*Ємнісний* (рис. 2.39) – 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

*Оптико-волоконний світловий* (рис. 2.40) – 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. 2.41) – обмежений світловий пучок освітлює поверхню під кутом. Викривлення пучка, яке залежить від мікронерівностей, визначається і оцінюється лінійкою фотодіодів.

*Фотометричний* – світлокерувана 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.

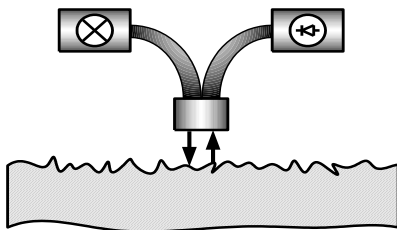


Рисунок 2.40 – Оптико-волоконний датчик

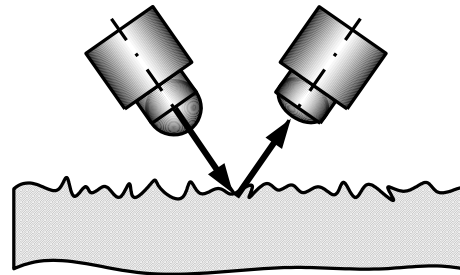


Рисунок 2.41 – Схема дії світлового, фотометричного, лазерного перетворювачів

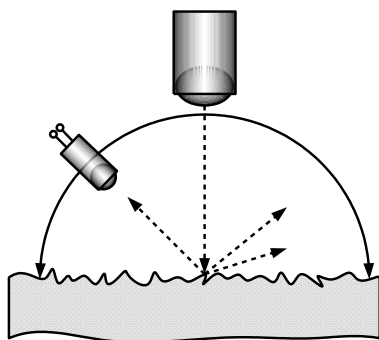


Рисунок 2.42 – Схема дії лазерного оптичного фоторезисторного перетворювача

Їх використання ускладнено у зв'язку з використанням мастильно-охолоджувальних середовищ.

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 верстата, режимів обробки та інше.

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 проміні якого сприймаються телевізійною камерою.

Наявність мастильно-охолоджувальної рідини та стружки спотворюють надійність цього методу.

Складність конструкції і мала перешкодозахищеність ускладнюють широке використання цього методу.

## **2.7. Технологічні алгоритми контролю стану інструменту**

В якості одного з методів визначення стану інструменту використовуються спостереження і аналіз змін різних силових параметрів різання в процесі обробки. Застосовувані для цього засоби побудовані на базі мікропроцесорів і працюють за спеціальними програмами, заснованими на функціональних алгоритмах. Створені для заміни на деякий період оператора біля верстата, ці засоби не повинні значно збільшувати його зайнятість спеціальним налаштуванням і введенням вихідних даних, так як інакше втрачається сенс їх використання.

До силових параметрів різання відносяться крутний момент на валу шпинделя і складові сили різання. Численними дослідженнями встановлено залежності складових сили різання і стану зносу інструменту, їх загальна функціональна тенденція, можливі відхилення від загальної функції і умови виникнення. На підставі цих досліджень сформульовані вимоги до складу та структури функцій, які повинні виконуватися при контролі за силовими параметрами.

Основний принцип розпізнавання стану інструменту полягає в порівнянні вимірюваних поточних значень силових параметрів різання з деякими еталонними значеннями, що характеризують процес нормального різання, тобто різання справним інструментом, що гарантує отримання оброблюваної поверхні відповідно до заданих умов. Еталонні значення параметрів визначають межі робочої зони – зони допустимих змін вимірюваного параметра, при яких різання може розцінюватися як нормальне. Еталонні значення отримують в результаті логічної обробки сигналів в процесі різання справним інструментом. Цей процес як «навчання» є майже завжди у функціях контролю стану інструменту.

Функціональні технологічні алгоритми являють собою формальну послідовність логічних дій і процедур, які виконуються з даними, які надходять від датчиків, в результаті фіксується фактичний стан інструменту (придатний або непридатний до подальшого використання).



Як правило, функціональні технологічні алгоритми пристроїв, розроблені різними фірмами, не розкриваються і не наводяться ні в проспектах, ні в описах і інструкціях для користувача, хоча можливості того або іншого пристрою контролю в частині надійності розпізнавання несправності, обсягу процедур автоматичного контролю та фактичної участі оператора визначаються саме ними.

Функціональні технологічні алгоритми контролю стану інструменту розподіляються за трьома групами: визначення еталонних значень нормального різання; діагностика стану інструменту; контроль і прийняття рішень.

Алгоритми визначення еталонних значень нормального різання передбачають пошук найбільш ефективних критеріїв, які дозволяють визначити стан нормального різання і різних порушень.

Для значень вимірюваного параметра встановлюють обмеження, за межами яких сигнал, що надходить від вимірювального пристрою, може свідчити про будь-яке порушення. Диференціація цих обмежень допомагає ідентифікувати вид порушення з тим або іншим ступенем достовірності. При розробці алгоритмів ведеться пошук обмежень в системі координат: величина вимірюваного параметра – час обробки, які дозволяють зафіксувати відхилення від умов нормального різання, ідентифікувати це відхилення з видом порушення і створити передумови для прийняття рішень в кожному конкретному випадку.

Чим більше інформації отримано від вимірювального пристрою в процесі обробки, тим вище надійність розпізнавання стану цього процесу як в умовах нормального різання, так і при порушеннях. Підвищенню надійності сприяє збільшення кількості контрольованих параметрів, що характеризують складові сили різання, так як в процесі різання інформативність кожної складової про стан інструменту постійно змінюється (особливо це відноситься до обробки на багатоцільових верстатах).

При використанні мікропроцесора для обробки даних вимірювань, збільшення частоти опитування датчиків і перетворення аналогового сигналу в цифровий вигляд підвищує надійність розпізнавання стану інструменту, що має велике значення для запобігання аварійної ситуації, наприклад, в разі поломки інструменту. Однак збільшення частоти опитування датчиків обмежується тривалістю обробки вимірюваного сигналу, яка виконується за інтервал часу між вимірами.

Дані нормального різання зберігаються в пам'яті пристрою контролю. Зберігання всіх вимірних показників датчиків (при високій частоті опитування) вимагає дуже великого обсягу пам'яті, тому зазвичай результати вимірювань попередньо обробляють за встановленими правилами. В одному випадку вибирають максимальне значення з усіх отриманих при вимірюванні, в іншому – визначають і запам'ятовують максимальне значення за деякий встановлений проміжок часу. У ряді випадків може виконуватися розрахунок середніх значень параметра з встановленого числа вимірів з наступним виділенням з них середнього максимального або мінімального значення за весь час різання або за період різання на окремих ділянках.

Можливі й інші, більш складні, але разом з тим ефективні методи обробки інформації. Слід враховувати, що обробка інформації в період навчання і тим більше під час подальшого контролю повинна відбуватися в реальному часі паралельно з процесом різання. Від швидкості фіксації порушення залежить корисність даного методу контролю.

Знос інструменту відбувається постійно і тільки починаючи з деякого моменту досягає граничної величини, при якій не забезпечується отримання якісної деталі через збільшення шорсткості поверхні, появи зливний стружки і таке інше. Обробка інформації може привести до помилкових спрацьовувань при значній зміні величини припуску по довжині проходу (наприклад, при обробці кулачка або чистовій обробці по контуру). Так, обмеження, встановлене за максимальним навантаженням, відповідає максимальному припуску, і практично контроль буде виконуватися тільки на цих ділянках. На ділянках з малим припуском і малим навантаженням навіть при граничному зносі інструменту критична величина за максимумом може бути не досягнута. Навпаки, обмеження, встановлене за мінімальним навантаженням, видасть помилковий сигнал про порушення на ділянках з великим припуском. Щоб підвищити надійність контролю, необхідно розділяти весь шлях, пройдений інструментом, на ділянки з постійним або мало зміненим припуском.

Таким чином, виникає задача алгоритмізації обробки, виділення інтервалів обумовлених різним характером зміни і контролю навантаження. Так, на ділянці проходу без різання необхідний контроль можливих зіткнень. Реальні показники можуть відрізнитися і повинні бути виключені із сфери контролю. Ділянки, на яких відбувається активне зростання або падіння навантаження, пов'язане з врізанням або виходом інструменту, можуть контролюватися тільки за максимальними граничними навантажен-

нями, що характеризують поломку; ділянки з різко перемінним припуском також повинні бути розділені.

При розробці керуючої програми існує можливість використання стандартних циклів, які дозволяють програмувати багатопрохідну обробку. У цих умовах команди на включення контролю можуть бути лише загальними для всього циклу, хоча протягом циклу виконується безліч елементарних переміщень як на робочій, так і на швидкій подачі, з різанням і без нього. Очевидно, прийняття спільних для всього циклу критеріїв з навантаження не буде відповідати конкретним умовам, і ефективність контролю буде незначна. Встановлення тимчасових інтервалів для різних ділянок циклу обробки дозволяє диференціювати контроль і пов'язані з ним критерії.

Самі тимчасові інтервали часто також можуть бути використані для процедур контролю. Так, час, за який інструмент переміщається на робочій подачі від її включення до контакту з деталлю («час врізання»), може служити для контролю поломки інструменту, якщо він більше величини, зафіксованої при навчанні, або контролю неправильної установки інструменту, якщо він менше.

Аналогічно можна фіксувати і контролювати час різання, тобто час, протягом якого інструмент знаходиться в контакті з деталлю. У нормальних умовах ці величини повинні бути однаковими (в межах деякого допуску) при різанні на одній і тій же ділянці.

При переміщенні на робочій подачі без різання величина вимірюваного навантаження, яке залежить від конструкції і умов змащення рухомих ділянок верстата, часто значно перевищує навантаження різання. На фоні цього зміна навантаження від зміни сили різання, що супроводжує затуплення інструменту, може бути не помічена. Тому до складу алгоритму визначення еталонних значень нормального різання зазвичай входить визначення корисного навантаження, яке розраховується як різниця вимірюваного поточного навантаження при різанні і навантаженні, умовно названого навантаженням холостого ходу. Навантаження холостого ходу вимірюють при переміщенні інструменту на робочій подачі без різання безпосередньо перед різанням. Алгоритми визначення еталонних значень нормального різання можуть видозмінюватися залежно від вихідних умов контролю. Наприклад, при різних типах інструментів і видах обробок доцільно використовувати ті датчики, які сприймають навантаження, характерні для даної обробки. Адаптивне регулювання слід використовувати тільки тоді,

коли можлива і результативна зміна подачі. Контроль тимчасових інтервалів врізання і різання можливий тільки там, де ведеться силове різання, при якому чітко фіксуються контрольовані інтервали. Граничні значення навантаження розраховують за допомогою поправочного коефіцієнта, який визначається в залежності від типорозміру інструменту. Такого роду умови контролю задаються у вихідних даних.

Обсяг, спосіб і трудомісткість завдання вихідних даних і алгоритми обробки вимірювань і підготовки даних нормального різання взаємопов'язані. При розробці алгоритмів слід враховувати, що чим більше залишиться процедур ручного втручання оператора, тим складніше забезпечити контроль в виробничих умовах. Формалізація багатьох функцій, що реалізують виконання контролю і отримання вихідних даних, пов'язана з виявленням багатьох і складних залежностей, умов отримання та обробки інформації, тимчасові інтервали, що відповідають різним ділянкам різання, і склад самих інтервалів ідентичні описаним вище. Оскільки деякі тимчасові інтервали також є об'єктами спостереження, то при їх визначенні одночасно проводиться порівняння з еталонними.

Алгоритми діагностики стану інструменту за результатами порівняння фіксують порушення еталонних значень параметрів нормального різання. При цьому порушення можуть бути виявлені як за одним, так і за кількома параметрами одночасно або з незначним зрушенням за часом. При контролі надійність і точність діагностування значно зростають, якщо алгоритми контролюють відразу декілька параметрів. Необхідно зафіксувати всі визначені порушення, щоб потім провести їх аналіз та більш точно встановити причину порушень.

Найбільш важливо з точки зору швидкості і надійності діагностики розпізнавання поломки інструменту. Поширений алгоритм розпізнавання поломок інструменту – контроль за верхньою межею одиничного значення навантаження. Однак при поломці характер навантаження може змінюватися; наприклад, навантаження падає нижче граничного значення, відзначається послідовний перепад значень зверху вниз або знизу вгору, чергування стрибкоподібних великих і нормальних значень. Щоб запобігти аварійній ситуації, час між моментом поломки і зупинкою робочих органів верстата, що беруть участь в різанні, повинен бути мінімальним. Фіксування миттєвої зміни навантаження не можна однозначно ідентифікувати з поломкою інструменту. Причина може полягати в зіткненні з непередбаче-

ним предметом що також викликає аварію. У цьому випадку необхідно, як і при поломці, швидке виявлення несправності.

Знос більш повільний процес. Тому для його розпізнавання може бути використана і більш складна обробка інформації, що надходить від датчиків. Однак і в цьому випадку занадто тривала обробка інформації і запізнювання виявлення зносу може привести до його розвитку з такими наслідками, як викришування та поломка.

Через великі перешкоди при спостереженні за параметрами різання може виникнути помилковий сигнал, для виключення якого зазвичай дають деяку витримку часу. При цьому відлік часу ведеться від моменту першого сигналу порушення. Якщо протягом деякого часу продовжує фіксуватися порушення, то це порушення вважається доведеним і виробляється відповідний сигнал.

Відлік витримки часу при поломці суперечить меті найбільшої швидкодії. Тому при призначенні величини витримки слід оцінити можливу тривалість випадкових сигналів, перешкод і вибрати таку малу величину, яка виключить видачу помилкового сигналу. Зазвичай при поломці ця величина має порядок 10 ... 100 мс. Для фіксації величини зносу витримка часу повинна бути більше, оскільки рівень граничних значень більш наближений до значень параметрів нормального різання, і виникнення помилкових сигналів порушення ймовірніше. Величина витримки при визначенні зносу становить 100 ... 500 мс.

Алгоритми контролю і прийняття рішень відіграють велику роль в експлуатаційних характеристиках пристроїв контролю. До останнього часу багато пристроїв контролю здійснювали зупинку роботи верстата при фіксації порушення. Диференціювання рішень полягало в наступному: при поломці – миттєве зупинення; у разі спрацювання – зупинка в кінці відпрацювання даним інструментом; у разі спрацювання і можливості адаптивного регулювання – вироблення команди зміни подачі. При вдосконаленні зв'язків ЧПУ й пристроїв контролю з'явилися інші можливості, зокрема заміна зношеного інструменту дублером.

Як правило, пристрій контролю діагностує вид порушення не зі стовідсотковою надійністю. Важко розрізнити поломку і зіткнення, встановити, в якому стані після поломки знаходяться інструмент і деталь. При поганому затиску інструменту також можна тільки припускати, але не затверджувати цей факт. Коли фіксується знос, це може бути пов'язано з раптовою зміною твердості оброблюваного матеріалу або геометрії ріжучого інстру-

менту (при введенні дублера) в межах, допустимих стандартом. Складність встановлення точного діагнозу привела до прийняття спрощених на перших порах рішень.

Подальший розвиток прийняття рішень вимагає розширення складу інформації. Наприклад, якщо після фіксації порушення необхідно відвести інструмент від деталі для його заміни, то в системі числового програмного керування і пристрої контролю в даний час відсутні дані про оброблювані поверхні, типи інструменту та інші дані, які дозволили б це зробити.

Інтеграція функцій процесу контролю з системами проектування технологічних процесів, впровадження цих функцій в системах комп'ютерного автоматизованого моделювання забезпечують використання різноманітних потоків інформації для розвитку мережі рішень. Можна ввести додаткові виміри інструменту, деталі, вирішити питання про зміну технологічної операції, маршруту, потоку інструментів і таке інше. Таким чином, інтеграція функцій процесу контролю і системи управління гнучкими виробничими модулями і гнучкими виробничими системами забезпечить експлуатацію обладнання за обмеженої участі оператора.

Один з варіантів функціональних технологічних алгоритмів контролю стану інструментів реалізовано в пристрої «Контроль. Діагностування. Прийняття рішень». Випробування алгоритмів розділені на два етапи: на спеціальному стенді і в умовах реального різання.

На стенді різні процеси різання моделювалися за допомогою електронно-обчислювальної машини. Показання датчиків імітувались в цифровому виді. Складені таблиці за параметрами: час – силовий параметр. Характер зміни і діапазон значень силових параметрів відстежували на підставі даних досліджень, проведених на токарному і свердлильно-фрезерному верстатах.

Моделювання виконувалося в два етапи. Спочатку підготовлені дані в цифровому вигляді вводилися до електронно-обчислювальної машини і передавалися на вхід контрольної системи. Потім ці ж дані в цифровому вигляді вводилися до контрольної системи за ланцюжком перетворень: електронно-обчислювальна машина – аналоговий перетворювач (в якому дані перетворюються в вид, аналогічний отриманим від вимірювальних пристроїв) – цифровий перетворювач (в якому дані переробляються в цифровий вигляд, відповідний реальним умовам) – контрольна система (дані обробляються за функціональними алгоритмами).

Результати обробки інформації зводилися в таблиці проміжних робочих параметрів, що змінюються в часі за тактами опитування-зчитування. Ці дані виводилися на дисплей електронно-обчислювальної машини і на друк. Правильність реагування на ту чи іншу ситуацію за функціями контролю перевіряли аналізом проміжних даних. Моделювання виконували за завданнями імітації наступних процесів. Імітували: нормальне різання в режимі контролю, еталонні значення контрольованих параметрів, які повинні визначатися в режимі навчання, задавалися вручну; імітувалося різання на одній-двох-трьох ділянках різання з різними видами контролю; імітували функції визначення навантаження при подачі без різання, без навантаження; аналізувався характер зміни навантаження з тим, щоб розрахунок виконувався на ділянці зі сталим рухом (виключаючи пусковий період); імітували процес в режимі навчання при різанні з одним-двома-трьома ділянками різання для різних видів контролю; імітували порушення, характерні для поломки за силовим і тимчасовим критеріям; імітували порушення, характерні для зносу за силовими і тимчасовими критеріям; імітували процес адаптивного регулювання.

Відпрацювання кожного завдання закінчувалася виробленням рішень, які реалізуються в пристроях числового програмного управління.

Всі дії, що включають виявлення пошкоджень в інструменті, визначення їх місця і ознак пошкоджень, повинні бути відображені в алгоритмі діагностування. Ці дії є підготовкою до завершального етапу діагностування – до перевірки відповідності критерію стану інструменту певному заданому значенню або перевірці відповідності діагностичної ознаки заданому значенню («уставки»). Цим етапом алгоритму діагностування є контроль технічного стану інструменту, тобто визначення виду його стану: справний, несправний, працездатний, непрацездатний. За результатами контролю приймається рішення з управління процесом обробки інструментом. Таким чином, контроль в цьому випадку слід розглядати як складову і завершальну частину технічного діагностування. Етап розпізнавання стану інструменту і прийняття рішення про його експлуатацію може бути описаний алгоритмом контролю, виділеним в загальному алгоритмі діагностування.

1. На базі теоретичних і експериментальних досліджень виявляють можливі в процесі експлуатації зміни в стані інструменту; визначають критерії його стану і відмови. Як критерій стану приймають параметр інструменту, що однозначно і повно при даних умовах характеризує поточний

стан інструменту і здатний відображатися за допомогою прийнятих діагностичних ознак. Це може бути величина, яка визначає осередок зносу, викришування, наріст та інше. Граничне допустиме значення цієї величини є критерій відмови. При попередній обробці деталі відмова інструменту вважається функціональною, а при остаточному параметричною.

2. Основною дією при визначенні стану інструменту є вимірювання розмірів осередку пошкодження ріжучого леза як критерію стану інструменту. Вимірювання можуть виконуватися періодично після завершення технологічної операції і безпосередньо на протязі процесу обробки. Періодичні вимірювання часто не вирішують завдання виявлення значних пошкоджень, що призводить до відмови, так як швидкодіючі процеси, що викликають пошкодження, можуть привести до відмови за час менше, ніж машинний час. Переважні безперервні вимірювання, однак їх неможливо здійснити прямими методами через те, що доступ до інструменту під час його роботи закритий. Тому застосовують непрямі вимірювання, для чого експериментально з числа функціональних параметрів процесу різання або параметрів фізичних явищ, супутніх різанню, виявляють непрямі діагностичні ознаки можливих змін в стані інструменту – критерії стану і критерії відмови.

3. Описують зв'язок між станом інструменту і діагностичними ознаками стану на основі дослідження відображення змін критерію стану в діагностичних сигналах датчиків процесів. Виявляють в результаті аналізу найбільш інформативну діагностичну ознаку. Створюють діагностичну модель, що встановлює зв'язок між станом інструменту і його відображенням в діагностичних сигналах. З цієї залежності визначають уставку – значення діагностичної ознаки, відповідне встановленому значенню критерію відмови. Всі описані дії і введення в пам'ять електронно-обчислювальної машини отриманих значень називають навчанням системи діагностування.

4. Розробляють алгоритм і програмне забезпечення контролю стану інструменту.

5. Розробляють технічне забезпечення системи контролю стану інструменту.

6. Виконують дії з визначення стану інструменту відповідно до алгоритму контролю. Цей алгоритм є технологічним алгоритмом діагностування.

Якщо інструмент працює в умовах, коли результати дії на всіх етапах алгоритму, що передують контролю, залишаються незмінними, то значен-



ня, наприклад, допустимого зносу інструменту і уставки, один раз отримані експериментально, залишаються постійними при виконанні операцій контролю. Зміна факторів, що визначають умови експлуатації інструменту, таких як режими різання, матеріал, що обробляється і його властивості та інші може змінити не тільки причини відмови, а й розташування середовищ пошкоджень на ріжучому лезі. Це призведе до зміни значень допустимих пошкоджень, інформативних діагностичних ознак і уставок. Тоді для кожного можливого варіанту умов експлуатації необхідно виконати роботи відповідно до алгоритму, а отримані значення помістити в базу даних для контролю. Змінні умови повинні враховуватися при розробці технічного забезпечення, зокрема при визначенні числа вимірювальних каналів.

Простий алгоритм контролю (як частина алгоритму діагностування), містить наступні дії: вимір поточного значення діагностичної ознаки; порівняння поточного значення з уставкою; прийняття рішення.

Для підвищення надійності контролю алгоритм контролю за уставками може бути доповнений прийняттям рішення про стан інструменту, наприклад, за результатами порівнянь за двома діагностичними ознаками. При цьому діагностичні технології в відповідальних випадках можуть бути «надлишковими», які передбачають застосування декількох різних за фізичною природою методів контролю і відповідних їм контрольно-вимірювальних засобів.

З розглянутого алгоритму випливає, що діагностування інструменту є процесом визначення стану інструменту, що включає в себе два періоди: період до експлуатаційний, що передує контролю і період експлуатаційний – контроль.

Інформація, отримана в результаті контролю, використовується (автоматично або оператором) для вироблення керуючих (регулюючих) впливів на процес обробки. Контроль – управління, як будь-який контроль активний. В кожній системі управління функція контролю є основною.

Алгоритм діагностування, відноситься до випадків, коли стан інструменту визначається шляхом непрямих вимірювань пошкоджень інструменту з різними діагностичними ознаками. При прямих методах вимірювань ушкоджень, відпадає необхідність виконання ряду дій, зазначених в загальному алгоритмі. Тоді визначення стану інструменту зводиться тільки до контролю сколювання або поломки ріжучої частини інструменту.

## 2.8. Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте задачі, що вирішуються у попередньому, поточному та вихідному контролі.
2. Якими засобами діагностики здійснюється контроль моменту врізання різального інструменту у заготовку?
3. Які основні характеристики повинні мати засоби діагностики, що використовуються для контролю моменту врізання ріжучого інструмента у заготовку?
4. Перерахуйте основні конструкції датчиків наближення.
5. Назвіть особливості щодо розміщення датчиків контролю крутильного моменту та складових сили різання.
6. Які основні принципи роботи датчиків контролю крутильного моменту та складових сили різання?
7. Які основні методи контролю стану ріжучого інструмента?
8. Назвіть особливості і доцільність використання прямих і непрямих методів контролю стану ріжучого інструмента.
9. Як класифікуються способи контролю стану токарного інструменту?
10. Перерахуйте основні конструкції датчиків контролю стану ріжучого інструмента.
11. Наведіть основні характеристики пристроїв контролю стану ріжучого інструменту.
12. Назвіть методи контролю стану різального інструменту.
13. Що передбачають прямі методи вимірювання?
14. Які існують непрямі методи контролю стану різального інструменту?
15. Охарактеризуйте існуючі методи вимірювання зносу ріжучого інструменту.
16. Які критерії вибору засобів для оперативної діагностики процесу різання?
17. Опишіть основні принципи роботи контактних перетворювачів, що використовуються для контролю розмірів заготовки.
18. Назвіть основні методи контролю шорсткості обробленої поверхні деталі.
19. Опишіть метод визначення стану інструменту за силовими параметрами та алгоритм його дії.

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

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

Працездатність процесу визначає такий стан об'єкта, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної документації.

Призначення металообробного верстата – обробка деталей із заданими продуктивністю і якістю. Тому при оцінці якості верстата головну роль грають показники, пов'язані саме з цими вихідними параметрами. Причому показники точності є основними, що визначають можливості і області застосування верстата. Ці показники повинні підтримуватися в певних межах протягом усього періоду експлуатації.

При експлуатації верстат піддається численним зовнішнім і внутрішнім впливам. Всі види енергії, в першу чергу механічна і теплова, діючи на верстат і його механізми, викликають в ньому цілий ряд небажаних процесів, створюють умови для погіршення його технічних характеристик. Частина процесів, що відбуваються в верстаті і впливають на його технічні характеристики, оборотні, так як вони змінюють параметри деталей, вузлів і всієї системи в певних межах, без тенденції прогресивного погіршення. Найбільш характерний приклад оборотних процесів – деформації вузлів і деталей верстатів, що відбуваються під дією зовнішніх і внутрішніх сил або теплових полів. Необоротні процеси, наприклад зношування, корозія, призводять до поступового погіршення з часом технічних характеристик верстата. Всі процеси що впливають на характеристики верстата, викликають похибки в його функціонуванні і знижують якість заданого технічного процесу.

На зміну показників якості верстата впливає швидкість процесів, що діють на його вузли і механізми. За швидкістю протікання всі процеси можна розділити на три категорії.

Швидкодіючі процеси мають періодичність, вимірювану зазвичай частками секунди. Ці процеси закінчуються в межах циклу роботи верстата і знову виникають при обробці наступної деталі. До них відносяться: вібрація вузлів, зміни сил тертя в рухомих з'єднаннях, коливання робочих нава-

нтажень і інші процеси, що впливають на взаємне положення інструменту і заготовки в кожний даний момент часу і знижують точність обробки.

Процеси середньої швидкості протікають за час безперервної роботи верстата, і їх тривалість вимірюється зазвичай в хвилинах або годинах. Вони призводять до зміни початкових параметрів верстата. До цієї категорії відносяться як оборотні процеси, наприклад процеси зміни температурних полів верстата і температури навколишнього середовища, так і необоротні, наприклад процес зношування ріжучого інструменту, який протікає у багато разів інтенсивніше, ніж процес зношування деталей і вузлів верстата.

Повільні процеси протікають протягом усього періоду експлуатації верстата і проявляються, як правило, між його періодичними ремонтами. Вони тривають дні і місяці. До таких процесів відносяться: зношування основних механізмів верстата, перерозподіл внутрішніх напружень в деталях, повзучість металів, забруднення поверхонь тертя, корозія, сезонні зміни температури. Ці процеси впливають на точність, а також на коефіцієнт корисної дії та інші характеристики верстата.

Таким чином, при тривалому використанні в результаті впливу багатьох чинників відбувається втрата працездатності металообробних верстатів.

Порушення технологічного процесу і, як наслідок цього, зниження якості виготовлених деталей відбувається через несправності (дефекти), які виникають в окремих вузлах і деталях технологічної системи.

Дефекти в самому верстаті можуть бути дефектами в системі управління верстата, дефектами, що виникають в окремих вузлах верстата, таких як привід, передачі, а також при взаємодії окремих вузлів один з одним. Крім того, дефекти можуть з'являтися внаслідок неякісної роботи вимірювальної системи.

До найбільш частих дефектів системи управління відносяться: вихід з ладу вузла або деталі системи управління, помилки програмування, помилки пам'яті. При вимірюванні температури можливі помилки, які є результатом того, що холодний спай термопари знаходиться в зоні змінних температур.

В електроприводі найчастіше спостерігаються такі дефекти: загальні електричні дефекти як порушення контакту в з'єднаннях, пошкодження ізоляції і, як наслідок, пробій на корпус. Крім того, при неправильно обраних режимах обробки може виникнути перевантаження або зміна оптимальних параметрів роботи.

Вимірювальні системи часто дають невірні показання через те, що мають забруднення шкал відліку або в результаті порушення юстирування, які виникають при некваліфікованому проведенні технічного обслуговування або після аварійних ситуацій. Також можливе спотворення показань вимірювальною системою при порушеннях температурного режиму вимірювальної системи.

До найбільш частих дефектів коробок передач відносяться загальні кінематичні дефекти, такі як: ослаблення посадки зубчастих коліс і муфт зчеплення, знос шпонкових і шліцьових з'єднань, порушення центрування з'єднання валів, втомний знос зубів зубчастих коліс, залишкові деформації валів, знос підшипників кочення.

Порушення взаємного розташування вузлів один щодо одного відбувається в результаті деформації їх при зміні температури, яка завжди є змінною величиною, і залежить від тривалості роботи верстата під навантаженням. Порушується взаємне розташування при зносі деталей. Особливо це проявляється при зносі напрямних верстата. Ще одна причина порушення взаємного розташування недостатня жорсткість, що особливо проявляється при обробці деталей з великою глибиною різання і великою подачею.

Дефектами, що виникають з вини оператора, є помилки, яких припускаються при наборі вихідних даних перед обробкою деталі, або помилки при вимірюванні розмірів деталі. Також відмови можливі при поганому догляді за обладнанням, наприклад при забрудненні верстата або попаданні стружки в зону різання.

Найбільш частими дефектами є дефекти пов'язані з ріжучим інструментом. Вони, як правило, призводять до браку деталі, що виготовляється. Інструмент виходить з ладу в результаті зносу і руйнування ріжучої кромки або спотворення її форми при обробці фігурних поверхонь.

Тертя є основною причиною зносу лез інструментів, Візуальними спостереженнями встановлено, що перші ознаки зношування різальних кромок інструментів, як правило, виявляються вже на самому початку різання. Найбільш помітні ранні ознаки зношування у твердосплавних інструментів. У початковий момент різання у них відбувається знос в місцях кутових переходів, якими є місця сполучення головних і допоміжних ріжучих кромок, а також самі ріжучі кромки лез.

Зі збільшенням подач зростають значення всіх складових  $P_x$ ,  $P_y$  і  $P_z$  сили різання, але в більшій мірі зростає складова  $P_z$ . Відповідно збільшу-

ється тиск на контактні площадки леза і діюча на них сила тертя, причому особливо сильно на передню поверхню. Встановлюються умови, коли зношуванню одночасно піддаються і задня, і передня поверхні леза, але інтенсивність зношування передньої поверхні більше, ніж задньої. При цьому спостерігаються ознаки зносу як на задній, так і на передній поверхнях леза. Знос на передній поверхні прийнято вимірювати як глибину і ширину зношеного поглиблення, званого лункою зносу.

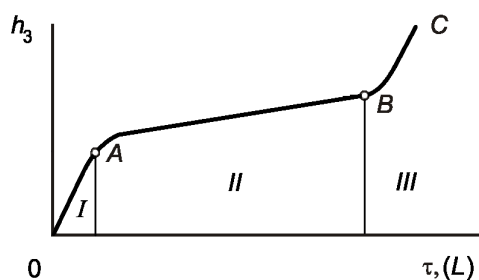


Рисунок 3.1 – Крива лінійного  $h_3$  зносу задньої поверхні різця

Протягом роботи різця знос його різальних кромek збільшується, що відображається на кривих зносу. Криві зносу відображають функціональну залежність зносу задньої і передньої поверхонь леза від тривалості різання або довжини шляху різання в напрямку результуючого руху різання.

Криві зносу будують в лінійних координатах за результатами безпосередніх вимірювань. Розмір максимального лінійного зносу  $h_3$  на задній поверхні інструменту вимірюють через довільні відрізки часу. Типова крива лінійного зносу  $h_3$ , показана на рис. 3.1. У початковий період різання на відріжку 0-A кривої  $h_3$  крива зносу опукла. На наступному відріжку A-B вона практично є похилою прямою. На кінцевому відріжку B-C крива увігнута. Такий вигляд кривої зносу  $h_3$ , дає формальну підставу вважати, що при роботі різця існує три періоди з різною інтенсивністю зношування. Знову заточений різець спочатку зношується з дуже великою інтенсивністю, яка потім швидко зменшується. Цей період називається періодом припрацювання. В цей час зношуванню підвергається поверхневий шар інструменту, який отримав структурні пошкодження під час заточування. Ділянка A-B відповідає установленому процесу зношування. На кінцевій ділянці B-C інтенсивність зношування знову зростає. Це викликано збільшенням роботи сил тертя на зношених контактних поверхнях леза, підвищенням температури на них і пов'язаними з цим структурними змінами в приграничних шарах інструменту, що контактують з оброблюваним матеріалом.

До дефектів, що виникають в результаті обробки заготовки, яка не відповідає висунутим до неї вимогам, відносяться: недотримання вимог до припуску, неоднорідність структури, пошкодження та невідповідність матеріалу. Якщо припуск не відповідає вимогам технічної документації, відбувається обробка деталей на режимах, які не відповідають закладеним у

програмі. Особливо це проявляється, коли припуск неоднорідний по поверхні заготовки. Зміна глибини різання через нерівномірний припуск обумовлює і зміну траєкторії осі деталі і величини сили різання. Це призводить до того, що деформація деталі при обробці буде весь час змінюватися, що буде копіюватися на поверхні деталі. Неоднорідність структури заготовки викликає локальну зміну сили різання, а отже, також спотворення поверхні. В процесі виготовлення заготовки і особливо при її транспортуванні можуть виникнути її пошкодження внаслідок зіткнень, що обумовлює деформацію поверхні заготовки. При обробці деформації, так само як і неоднорідність структури, будуть приводити до локальних змін на обробленій поверхні деталі. Використання матеріалу заготовки, який не відповідає матеріалу, закладеному в технологічному процесі, також може привести до порушення режиму обробки.

Несправності системи збирання відходів в основному впливають на продуктивність верстата. Несправності можуть статися через зношування каналів переміщення стружки, відключення струму та інших причин.

Навколишнє середовище також впливає на працездатність верстата. Основними діючими факторами будуть температура, електричні перешкоди і коливання фундаменту. Температура навколишнього середовища в значній мірі визначає тепловий стан корпусу шпindelної бабки, а воно визначає теплові деформації, що призводять до зміщення осі заготовки щодо станини. Вібрації фундаменту в основному впливають на коливання вершини різця, а вони можуть бути неоднозначними, так як складання двох вібрацій може викликати як посилення вібраційного процесу, так і до його згасання.

Як правило, всі перетворювачі, що використовуються в автоматичних системах процесів металообробки, підключаються до мікропроцесорів або електронно-обчислювальних машин, 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 електродвигунів, 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 числовим програмним керуванням. 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.

Алгоритм дії системи підтримки працездатності процесу включає: збирання інформації; її оцінку та виявлення відхилень від норми, встановленої початковими даними; виявлення причини відхилення; прийняття рішення і виробітку кореляційного впливу, який ліквідує виявлене відхилення; введення корегувальних 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 таке інше.

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”.

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 корегувальної дії, який надходить до системи програмного керування обладнанням. Утворений підсистемою діагностики сигнал результату діагностування подається до підсистеми прийняття рішень, яка утворює сигнали корегувального 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 корегувальну 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 так далі. 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 ріжучого 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 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 інші. До таких критеріїв відносяться: різке зростання розмірного зносу; збільшення шорсткості поверхні деталі, сили різання і температури у зоні різання за припустимі межі. 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 мікроелектронній обчислювальній машині системи числового програмного керування, або на додатковій мікроелектронній обчислювальній машині (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 мікроелектронній обчислювальній машині. 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 наростування.

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 так далі).

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 перетворення 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 100 кГц – 1 МГц 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, надходять 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 є 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 мікроруйнування.

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 налаштовується 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 на 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 числового програмного керування типу N22 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 інше.

### **3.3. Особливості розробки систем діагностування стану інструменту в процесі високошвидкісної обробки матеріалів**

Продукція сучасного машинобудування характеризується використанням високоміцних і важкооброблюваних матеріалів, різким підвищенням вимог до точності і якості виробів і значним ускладненням конструктивних форм деталей машин, одержуваних обробкою різанням. Тому процес механічної обробки вимагає постійного вдосконалення. В даний час одним із сучасних напрямків такого вдосконалення є високошвидкісна обробка. Дослідження в цьому напрямку ведуться вже давно, але лише успіхи останніх років в області створення нових інструментальних матеріалів і

високоєфективних конструкцій металорізальних верстатів і оснащення дозволили досягти значних практичних результатів .

Високошвидкісна механічна обробка (ВШО) – це одна з сучасних технологій, яка в порівнянні зі звичайним різанням дозволяє підвищити ефективність, точність і якість механічної обробки. Її відмінна риса – висока швидкість різання (висока продуктивність), в 3 – 5 і більше разів перевищує швидкість звичайної обробки (табл. 3.1), при якій значно збільшується температура в зоні утворення стружки, а сили різання зменшуються.

Таблиця 3.1–Швидкості різання при звичайній та високошвидкісній обробці

Оброблюваний матеріал	Стандартні твердосплавні інструменти (кінцеві фрези та свердла)		Спеціальні інструменти (профільні та торцеві фрези)	
	Швидкість різання, м/хв			
	Звичайна	ВШО	Звичайна	ВШО
Алюмінієві сплави	>305	>3050	>610	>3658
Чавун:				
м'який	152	366	366	1219
звичайний	107	244	244	914
Сталь:				
конструкційна	107	366	366	610
легована	76	244	213	366
корозійностійка	107	152	152	274
загартована (< 65 HRC)	24	122	30	136
Титанові сплави	38	61	46	91

Незважаючи на високі вимоги до ріжучого інструменту та обладнання, ВШО володіє численними перевагами: високою продуктивністю; високою точністю і низькою шорсткістю обробленої поверхні; можливістю обробки тонкостінних заготовок через малі сили різання, так як знімається тонка стружка; хорошими показниками стружкодрібнення і стружковідводу; відсутністю теплових деформацій заготовок.

Таким чином, ВШО дозволяє скоротити час циклу виробництва і робить зайвими деякі з видів обробки (наприклад, фінішне доведення) при



одночасному забезпеченні необхідної точності. Ці переваги є вирішальними аргументами на користь ВШО.

ВШО застосовується головним чином в трьох галузях промисловості.

1 При механічній обробці штампів і прес-форм для виробництва автомобілів, а також корпусів для приладів або медичних пристроїв необхідні високопродуктивні процеси видалення великих обсягів металу зі скороченням багатьох операцій механічної обробки, включаючи остаточні чистові операції.

2. При механічній обробці великогабаритних деталей з алюмінієвих сплавів (часто з тонкими стінками) авіаційно-космічної промисловості економічно вигідно виконати всі операції обробки за одну установку.

3. При чистовій обробці твердих матеріалів в інструментальній промисловості важливо обробити деталі з високою швидкістю і зберегти при цьому високу точність. Використовуючи ВШО, можна перепланувати процес виробництва за рахунок скорочення стадій фрезерування електродів для об'ємної електроерозійної обробки.

Зростання швидкостей робочих рухів і вартості технологічного обладнання обумовлюють підвищені вимоги до його надійності. Для забезпечення надійного функціонування автоматизованого обладнання необхідний контроль і діагностування стану верстата і ріжучого інструменту в реальному масштабі часу протягом усього технологічного циклу. Практика показує, що більше половини всіх відмов технологічної системи є наслідком різних відмов різального інструменту. Тому саме діагностика стану ріжучого інструменту в процесі обробки сьогодні відноситься до найбільш ефективних способів забезпечення надійної роботи автоматизованого верстатного устаткування і отримання якісної продукції.

У загальному випадку методичний підхід до розробки систем діагностування повинен складатися з почергового виконання наступних п'яти процедур.

1. На базі теоретичних і експериментальних досліджень виявляють можливі зміни в стані інструменту при експлуатації; визначають критерій стану інструменту і критерій відмови. Як критерій стану повинен прийматися параметр інструменту, що однозначно і повно при даних умовах характеризує його поточний стан і здатний відобразитися за допомогою прийнятих діагностичних ознак. Це може бути величина, яка визначає осередок зносу або викришування, нарід та інше. Граничне значення цієї величини є критерієм відмови.

2. Експериментально з числа параметрів процесу різання виявляють непрямі діагностичні ознаки можливих змін у стані інструменту і критерію відмови. З них вибирають найбільш інформативну діагностичну ознаку.

3. Описують зв'язки між критерієм стану інструменту і діагностичними ознаками стану на основі досліджень відображення зміни критерію стану в діагностичних сигналах із зони різання. Розробляють діагностичні моделі, які можуть мати детермінований або стохастичний характер. Діагностична модель встановлює зв'язок між станами об'єкта і їх відображеннями в діагностичних сигналах.

4. Розробляють алгоритм і програмне забезпечення системи діагностування.

5. Розробляють технічне забезпечення алгоритму діагностування.

При організації діагностики технологічних систем, що реалізують ВШО і сухе різання (обробка без застосування охолоджувального середовища), а також обробку твердих матеріалів, слід враховувати ряд особливостей, обумовлених цими прогресивними технологіями. Часто це чистова, остаточна обробка з малими подачами і глибинами різання. Вона повинна забезпечувати високі вимоги до якості поверхні, поверхневого шару і точності розмірів оброблених деталей, а в ряді випадків замінити операцію шліфування точінням або фрезеруванням.

Для кожної групи оброблюваних матеріалів діапазон швидкостей різання, при якому механічна обробка вважається високошвидкісною, різний. При розробці систем діагностування стану інструменту при ВШО та призначенні критерію стану і критерію відмови інструменту слід враховувати складну структуру його відмов.

1. Інструмент, оснащений пластинами з ріжучої кераміки, поряд з переважачим в залежності від умов різання зносом на задній або передній поверхнях, має значну частку відмов через крихке руйнування у вигляді викришування, яке може відбуватися як на передній поверхні, так і на ріжучій кромці після поглиблення лунки на передній поверхні. При обробці високотвердих металів іноді спостерігається пластична деформація леза, а при високих швидкостях різання знос різців часто розвивається у вигляді «вусів» на головній або допоміжній задній поверхні. В останньому випадку гранично допустимий розмір «вуса» приймають за критерій відмови. При переривчастій роботі інструменту часто спостерігаються викришування ріжучого леза. Це пов'язано з тим, що ріжуча частина інструменту знаходиться під впливом періодичних нагрівань під час робочого ходу і охо-

лоджень під час холостого ходу. На передній поверхні виявляються кратери і виїмки, а на задній поверхні і ріжучій кромці з'являються щербини. Ця картина руйнування посилюється при швидкісному фрезеруванні, так як за рахунок зменшення поверхні контакту високі змінні температури і викликані ними змінні напруги концентруються поблизу ріжучої кромки.

2. Підвищується ймовірність крихкого руйнування інструментального матеріалу при фрезеруванні з використанням охолоджуючих рідин. Інтенсивність термоциклічних процесів і утворення тріщин в цьому випадку залежить від швидкості стоку тепла з контактної зони ріжучого леза і, отже, від теплофізичних властивостей інструментального та оброблюваного матеріалів, а в період холостого ходу – від охолоджуючого середовища. При охолодженні фрези рідиною, що має високі теплофізичні властивості, в поверхневих нагрітих шарах ріжучих лез виникають небезпечні для інструментальних матеріалів напруги розтягнення. В результаті циклічної зміни напружень стиску в період робочого ходу і розтягування в період холостого ходу утворюються мікротріщини, розвиток яких призводить до викришування.

3. Розташування осередків зносу і викришування на інструменті із надтвердих матеріалів на основі полікристалічного алмазу і кубічного нітриду бору часто залежить від властивостей оброблюваного металу.

4. При сухій обробці титанових сплавів різцями, оснащеними кубічним нітридом бору, осередки зносу, що розвиваються на передній і задній поверхнях, призводять до викришування різальної кромки. А при швидкісній обробці зміцненого чавуну превалює абразивний знос на передній поверхні, і тому критерієм стану є глибина лунки.

5. Швидкісне сухе різання і обробка твердих матеріалів визначають роботу інструменту при температурах, близьких до критичних, після досягнення яких починається зміцнення ріжучого леза або підвищується інтенсивність утворення тріщин в ньому. Випадковий характер фізичних параметрів початкового стану інструментального матеріалу підвищує ймовірність раптових відмов через інтенсивне зношування або крихке руйнування.

Відомо, що зростання швидкості різання істотно зменшує величину допустимого зносу інструменту. Температура в ріжучому лезі, зростає як з ростом швидкості, так і з ростом зносу через збільшення потужності джерел тепла.

Отже, для технології високошвидкісної обробки характерні невеликі величини допустимих зносів інструменту.

Технологія високошвидкісної обробки вимагає забезпечення надійного функціонування технологічної системи. Надійними повинні бути і системи їх діагностування. Для кожного випадку розвитку осередку затуплення повинні бути виявлені інформативні діагностичні ознаки, що надійно відображають стан інструменту в сигналах із зони різання. Це можливо тільки в результаті досліджень. Але й попередня їх оцінка вже дозволяє зробити деякі висновки.

1. Сила різання найбільш широко застосовується як діагностична ознака при остаточній обробці на чистових режимах і досягає невеликих величин. Мало змінюються силові параметри при зносі або викрашуванні на передній поверхні. У цих випадках сила не може інформативно відображати пошкодження інструменту. Значне збільшення отримує сила при викрашуванні ріжучої кромки.

2. Можна очікувати значного зростання температури в зоні різання в зв'язку зі зносом інструменту. Однак її складно виміряти в виробничих умовах.

3. Дослідження і виробничий досвід показують надійність діагностування стану інструменту з використанням сигналу акустичної емісії з зони різання при чистовій обробці з малими перерізами зрізу.

4. Попередній аналіз непрямих ознак стану інструменту дозволяє усвідомлено підходити до виявлення найбільш інформативних з них для кожного випадку розвитку осередків пошкоджень. Однак для остаточного вибору необхідний експеримент, який встановлює зв'язок між критерієм стану інструменту і його ознакою, тобто потрібно експериментально отримати діагностичну модель і уставку а потім закласти їх в алгоритм діагностування.

Для підвищення надійності діагностування будують алгоритми, що передбачають багатопараметричну діагностику. Це пов'язано з тим, що діагностування за одним параметром в ряді випадків може не забезпечувати високу надійність розпізнавання стану інструменту через появу хибних сигналів про відмову, викликаних випадковими викидами значень діагностичної ознаки за межі допустимих значень. Надійність розпізнавання може бути підвищена, якщо рішення про відмову інструменту буде прийнято за умови, що значення кількох діагностичних ознак перевищать встановлені для них на етапі навчання граничні величини. Крім викладеного, доціль-

ність отримання із зони різання одночасно або послідовно сигналів від ряду датчиків обґрунтована неоднозначністю варіантів розвитку пошкоджень ріжучого леза в прогресивних технологічних процесах різання.

На рис. 3.2 представлений технологічний алгоритм для діагностування стану інструменту з кераміки за двома непрямими ознаками – акустично-емісійного (АЕ) сигналу та складової сили різання  $P_y$ . Сигнал акустичної емісії дозволяє діагностувати процеси тріщини утворення в інструментальному матеріалі, що призводять до його крихкого руйнування у вигляді сколів і викришування. Складова сили різання, є інформативною ознакою зростання зносу керамічного інструменту на задній поверхні при обробці загартованої сталі.

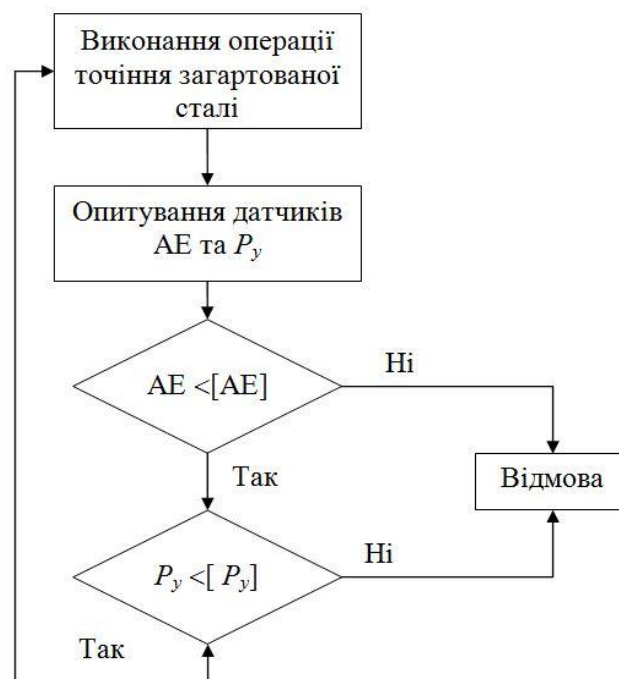


Рисунок 3.2 – Технологічний алгоритм діагностування стану інструмента з кераміки при обробці загартованої сталі

У технічному забезпеченні алгоритму діагностування головним є вибір датчиків, оптимальних для конкретних умов експлуатації інструменту. Особливі умови в розглянутих технологіях визначаються: високими швидкостями різання і високими швидкостями подач; малими перетинами зрізу; застосуванням інструментального матеріалу; особливостями затуплення і структурою відмов інструменту.

Датчики, що задовольняють цим умовам, повинні мати високу чутливість, а пристрої передачі сигналу і прийняття рішень високу швидкодію.

Для цього діагностичний сигнал повинен формуватися як можна ближче до зони різання і відразу оброблятися.

### **3.4. Система активного контролю для багатошпindelних токарних автоматів**

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

Для виготовлення отворів та зовнішніх діаметрів з жорсткими допусками на багатошпindelних токарних автоматах зазвичай використовується інструмент для розгортання 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 багатшпindelних 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 встановлення різального інструмента залишається однаковим. Оброблені деталі виміряють, і відхилення шпindelного положення зберігається у регульовальному приладі. Потім через кулачкову шайбу та сегментний граничний вимикач для кожного шпинделя, що знаходиться у робочій позиції, вибирається відповідна корегувальна величина і до обробки додається виконавчому елементу. Автоматичне регулювання діаметра виконується через вимірювальний пристрій, регулюючий пристрій з корекцією шпindelного положення та тримач інструменту, як виконавчий елемент. Ця система виконана у вигляді замкнутого 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, вивіренним 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 тримачі інструменту не відбувається. Тільки у тому випадку, якщо відхилення розміру виходить за межі контактів у діапазоні 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 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 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 завантажувальному 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 вико-



ристовують 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 переставляє 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.

### **3.5. Система контролю найждання, 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 найждання, 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, електроніка, що аналізує, 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 видається 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 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.

### **3.6. Дисплейна система діагностування**

Фірмою Simens (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 обла-

днання 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 перемикання відображається 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.

### **3.7. Розробка моніторингу для діагностування процесів різання**

Основна мета діагностування процесу різання та інструменту полягає в своєчасному визначенні граничного стану або відмови інструменту для його заміни і тим самим відновлення працездатності автоматизованих верстатів і верстатних комплексів, а також у визначенні поточного стану інструменту з метою управління процесом різання: корекції траєкторії руху інструменту, зміни режимів різання та інше.

Системи діагностування повинні виконувати наступні процедури: вимірювання параметрів діагностичних ознак стану та відмови інструменту; розпізнавання поточного стану інструменту та його відмови; прийняття рішень з заміни інструменту або управління технологічним процесом.

Послідовність виконання цих процедур описують за допомогою технологічних алгоритмів. Блок-схема алгоритму є основою для програмного забезпечення та визначення складу технічного забезпечення системи діагностування.

Технологічний алгоритм містить три частини: перша частина – алгоритм вимірювання діагностичної ознаки пошкодження та підготовка даних

для другої частини – розпізнавання стану об'єкта за результатами зіставлення поточного значення діагностичної ознаки з встановленим критичним значенням. У третій частині на підставі зіставлення приймається рішення або про припинення обробки деталі, або про управління технологічним процесом.

Частина алгоритму, що керує діями розпізнавання, визначає вимоги до першої частини алгоритму. Від надійності розпізнавання залежить також і третя частина – рівень кваліфікації прийнятих рішень. У зв'язку з цим при розробці системи діагностування спочатку встановлюється принцип розпізнавання пошкодження заснований на виявленні інформативної діагностичної ознаки, а потім будуються перша і третя частини алгоритму.

Прийняті рішення істотно впливають на ефективність системи діагностування. Якщо рішення зводяться тільки до припинення обробки, до вимикання верстата, то це дозволить уникнути аварійної ситуації, запобігти пошкодженню деталі, поломку верстата, але не забезпечить вирішення завдання – підтримання працездатного стану технологічної системи без участі оператора. Алгоритм повинен містити команди, що призводять при необхідності до зменшення пошкоджень, що негативно впливають на вихідні параметри і показники надійності.

Розпізнавання стану інструменту за отриманими із зони різання сигналами здійснюється за допомогою електронно-обчислювальної машини. При цьому прийом і обробка інформації відбуваються одночасно з процесом різання. Висока частота опитування датчиків дозволяє реєструвати зміну діагностичних ознак як зі зносом інструменту, так і при несподіваній його відмові через поломки і викришування.

Розпізнавання стану інструменту може здійснюватися за двома принципово різними алгоритмами.

Поточний стан – величину зносу можна визначити за попередньо закладеної в пам'ять електронно-обчислювальної машини залежності діагностичної ознаки від критерію стану інструменту (величини зносу).

За отриманим від датчика поточним значенням діагностичної ознаки програмно розраховується величина зносу. При величині зносу, рівній прийнятій гранично допустимій величині, настає відмова інструменту через зношування. Важливо правильно визначити критерій стану – міру осередку зносу, що однозначно характеризує стан інструменту. Для цього звертаються до систематизованих результатів досліджень причин відмов.

Доцільно використовувати залежність що враховує вплив на діагностичну ознаку не тільки величини зносу, а й режимів різання, а також механічних властивостей оброблюваного матеріалу (наприклад, твердості), від яких залежать і критерій стану, і критерій відмови (величина допустимого зносу). Процедуру визначення залежностей, а також граничного значення величини зносу і введення їх в пам'ять електронно-обчислювальної машини називають навчанням системи діагностики.

У діючих системах діагностики частіше використовують інший алгоритм для розпізнавання відмов інструменту. Поточний діагностичний сигнал зіставляється з попередньо закладеним в пам'ять електронно-обчислювальної машини значенням діагностичного сигналу, відповідним за рівнем граничного значення величини зносу при відмові через зношування або за рівнем в формі сигналу, що виникає при поломці або викрашування. Отже, алгоритм, що описує процедуру розпізнавання, базується на результатах досліджень, а навчання системи діагностики полягає у встановленні граничних меж зміни контрольованого сигналу, а також швидкості його зміни. Все це виконується до експлуатаційного періоду на спеціальних стендах. Діагностування зносу інструменту ведеться з діагностичною ознакою, що зростає з плином часу роботи інструменту, у міру його зносу. Граничне значення діагностичної ознаки можна встановити або в результаті спеціальних досліджень, або в ході обробки конкретної деталі. У першому випадку дослідження виконують за традиційною методикою теорії різання з урахуванням випадкового характеру параметрів процесу. Робота ця трудомістка. У другому випадку значення розраховують множенням поточної діагностичної ознаки, зафіксованої при роботі не зношеним інструментом, на коефіцієнт запасу. Коефіцієнт запасу як постійний або той, що залежить від умов обробки повинен вибрати технолог.

Навчання системи діагностування проводиться при тих же умовах, при яких інструмент буде виконувати технологічний процес, оскільки від факторів процесу різання (наприклад, від глибини різання та подачі) істотно залежать параметри діагностичних сигналів. У зв'язку з цим навчання повинно бути пов'язане з переходами технологічного маршруту обробки деталі.

Дослідження показали, що певний характер розвитку осередків зносу може призвести не до зростання, а до зниження характеристик деяких діагностичних параметрів процесу різання. Так, при значному зносі передньої поверхні інструменту сила різання падає. Може знижуватися амплітуда

низькочастотних коливань до певної величини зносу задній поверхні. У цих випадках для розпізнавання граничного стану інструменту необхідно встановлювати не верхню, а нижню межу діагностичної ознаки. У технічній літературі верхню і нижню межу діагностичної ознаки часто називають уставками, а описану процедуру діагностування – діагностуванням за уставками.

При діагностуванні за методом уставок системі діагностики необхідно пам'ятати про всі значення уставок, що відповідають виконуваним переходам при обробці деталі. При розпізнаванні зносу часто потрібно використовувати в якості діагностичної ознаки не тільки його середнє значення, а й інші статистичні характеристики, а також математичні перетворення сигналів, які виконуються на електронно-обчислювальній машині.

Алгоритм обчислення необхідно вводити також для того, щоб виділити із загальної сили, яка вимірюється датчиком, інформативну складову. Така необхідність виникає тоді, коли силові датчики віддалені від зони різання і встановлені, наприклад, в опорах ходових гвинтів. Сила, що вимірюється ними складається з власне сили різання і сили, необхідної для подолання тертя при переміщенні робочих органів механізму подачі верстата. Для підвищення надійності діагностування бажано виключити другу складову.

Особливості розпізнавання зносу за параметрами коливань складаються в необхідності обробки сигналів, що надходять від акселерометрів, у вигляді дуже коротких імпульсів. Це вимагає застосування аналізаторів високої швидкодії. Як і в алгоритмах, заснованих на вимірі сил, діагноз стану ставиться за мінімальним і максимальним рівнями прийнятого параметра коливань. Ускладнення алгоритму пов'язано з необхідністю використання великої кількості паразитних сигналів, які деформують справжню картину зміни корисного сигналу. Паразитні сигнали можуть бути викликані переміщенням будь-якого механізму верстата, включенням насоса охолодження та інше. Тому алгоритм діагностування повинен не тільки порівнювати амплітуди коливань, а й вибирати момент в циклі обробки деталі, коли ця процедура дає найбільш достовірний результат.

Рекомендованими способами діагностування стану інструменту є способи, засновані на використанні електричних явищ, які природно виникають в процесі різання. Для діагностування можуть прийматися сигнали як постійної, так і змінної складових електрорушійної сили різання.

При використанні постійної складової електрорушійної сили різання судити про знос інструменту можна за графіками залежності електрорушійної сили від зносу ріжучого інструменту. При цьому графіки дозволяють визначити не тільки величину зносу, але і місце розташування переважачого осередку зносу: на передній поверхні або на задній. Перевагою цього методу діагностування є простота його реалізації: не потрібно складного технічного забезпечення.

Використання сили, температури і електрорушійної сили різання в якості діагностичних ознак параметрів коливань в різних діапазонах частот принципово не змінює процедуру вивчення і алгоритм діагностики зносу інструменту. У разі обробки партії деталі поточні сигнали порівнюються з уставками. При досягненні поточним сигналом уставки формується керуюча команда в числовому програмному керуванні верстата на відключення верстата і зміну інструменту.

З великими труднощами доводиться стикатися при створенні алгоритму діагностування поломок (сколювання) інструменту. Це пов'язано, поперше, з тим, що можливі різні причини поломок, що визначають різну поведінку діагностичних ознак в момент, що передує поломки. Основами причинами поломок є: несподіване, випадкове зростання сили різання; поступове зростання сили до граничного значення, викликане зносом інструменту або тепловими деформаціями (поломкам з цієї причини передує зростання не тільки крутильного моменту, але й інтенсивності коливань); втомні процеси в інструментальному матеріалі механічного та термоциклічного походження (руйнуванню інструменту може в цьому випадку передувати підвищення амплітуди і частоти коливань, в той час як сила різання не збільшується).

Складність діагностування поломок визначається також можливим розмаїттям взаємодії відокремленої при сколюванні частини ріжучої пластинки з оброблюваною заготовкою. Це визначає поведінку діагностичних параметрів в наступний за поломкою момент часу. Наприклад, ріжуча пластинка різця може відразу вийти з контакту з заготовкою чи відокремлена частина пластинки буде розташовуватись на опорній поверхні корпусу різця, здійснюючи різання, але з іншими подачею і глибиною. Ця частина пластинки на якийсь момент часу може заклинитися між заготовкою і корпусом різця. Звідси впливає неоднозначність сигналів із зони різання, що виникають слідом за поломкою інструменту.

Поломка є в основному результатом сил, що діють на ріжучу частину інструменту і змінюються в процесі руйнування. У зв'язку з цим сила повинна бути інформативною діагностичною ознакою поломки. Тому більшість алгоритмів діагностування поломок, що застосовуються на практиці, засновані на використанні сили різання як діагностичної ознаки відмов інструменту. Дослідження показали, що в найбільшій мірі особливості процесу поломки відображає складова сили різання  $P_z$ . Після короткочасного перевищення силою верхнього значення  $P_{z\ max}$  відбувається її падіння. Загальна тривалість перебування сигналу за межами  $P_z$  становить близько 0,1 мс. Це час, характерний для процесу поломки, який більше часу зростання сили за рахунок, наприклад, випадкових сплесків сигналу. Це дозволяє відрізнити поломку від інших випадків, що викликають зростання сили, але не призводять до поломки.

Алгоритм діагностування поломок за верхнім рівнем сили наведено на рис. 3.3. У ньому для виключення дії короткочасних перешкод вводиться затримка часу  $T$  між початком перевищення  $P_{z\ max}$  і формуванням інформації про поломку. Інформація фіксується тоді, коли нерівність  $P_z > P_{z\ max}$  триває протягом часу  $T > \Delta T_1$  встановленого експериментально. Далі подається команда на відключення руху подачі і обертання шпинделя.

Однак алгоритм, показаний на рис. 3.3, не забезпечує достатньої надійності розпізнавання поломки (сколювання) інструменту. Це пов'язано з тим, що не є однозначним співвідношення між часом  $T$ , характерним для процесу поломки, і часом перебування  $P_z$  за межею  $P_{z\ max}$  через зовнішні електричні перешкоди або, наприклад, локального підвищення твердості оброблюваної заготовки. Всі ці тимчасові параметри носять випадковий характер. В результаті важко відрізнити випадкові сплески сили від зростання її, що викликані руйнуванням інструменту і можливими помилковими командами.

Для підвищення надійності розпізнавання поломок токарних різців вибирають дещо інший підхід до формування алгоритму. Експериментально встановлено, що при поломці ріжучої пластини різця сила різання на малий час перевищує  $P_{z\ max}$ , після чого швидко знижується до величини менше  $P_{z\ min}$ . Фіксуються моменти переходу поточним значенням  $P_z$  через кордони  $P_{z\ max}$  і  $P_{z\ min}$  і відраховується час  $\Delta T_1$  – тривалості перевищення  $P_{z\ max}$  і  $\Delta T_2$  – час від моменту зворотного переходу до моменту переходу через  $P_{z\ min}$ . Рішення про поломку приймається, якщо  $\Delta T_1 \geq \Delta T_1 E$ , і  $\Delta T_2 \leq \Delta T_2 E$  де:  $\Delta T_1 E$  і  $\Delta T_2 E$  – встановлені експериментально періоди часу. Цей алго-



ритм має велику перешкодозахищеність, так як при випадкових сплесках навантаження данні не знижуються до величини менше  $P_{z\ min}$ .

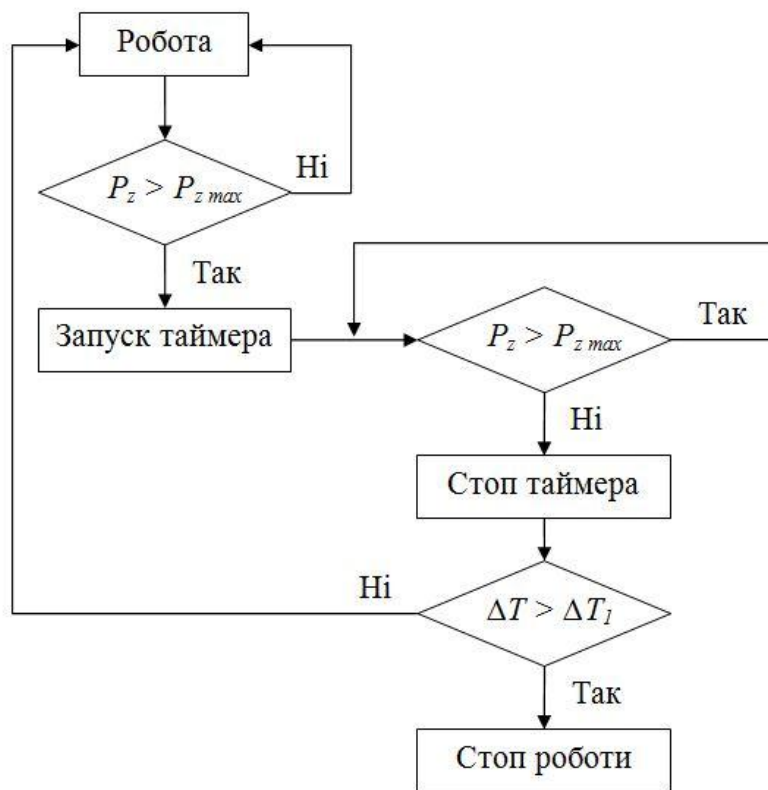


Рисунок 3.3 – Алгоритм розпізнавання поломки інструменту за верхньому рівню сили

Коли руйнування інструменту носить втомний характер, сила різання, що передує поломці, не збільшується. Після поломки в залежності від того, як ламка частина пластинки видаляється із зони різання, сила різко падає або поступово зменшується до значення нижче  $P_{z\ min}$ . Стосовно до алгоритму розпізнавання це означає, що сигнал про поломку повинен формуватися, як тільки  $P_z < P_{z\ min}$ . Для виключення помилкових команд, викликаних виконанням цієї нерівності через випадкове падіння сили, вводиться затримка часу  $T$ , протягом якого, а не менше його має зберігатися нерівність поточної і мінімальної сили різання.

Поряд з силою різання в якості діагностичних ознак поломки використовують сигнал електрорушійної сили різання, сигнал параметрів віброакустичної емісії та інші.

Так, при поломці ріжучої пластини при поздовжньому точінні без порушення і з порушенням контакту з оброблюваною заготовкою електрорушійна сила різання різко змінюється. Амплітуда сигналу коливань в великій мірі залежить від характеру деформацій і руйнувань в зоні контакту ін-

струменту з деталлю. При поломці ріжучої пластини і утворенні мікротріщин амплітуда коливань значно зростає. Це використовується в діагностиці поломок. Складність застосування методу полягає в необхідності визначення інформативного діапазону частот для всіх умов різання і виділення корисного сигналу, що вимірюється в умовах дії безлічі перешкод.

Використовується непрямий контроль поломок за визначенням моментів контакту інструменту з деталлю і виходу з нього. Перевищення встановленого часу врізання (від моменту включення робочої подачі до торкання деталі) або часу різання дозволяє судити про поломку інструменту. Надійну фіксацію моментів дотику і кінця різання забезпечують акселерометри.

У простих технологічних алгоритмах діагностування відображається лише виконання дій розпізнавання ушкоджень і відмов інструменту. У більшості випадків вони засновані на порівнянні поточних значень діагностичних ознак з уставками. У зв'язку з цим вважається, що технологічні алгоритми діагностування прості і організація процедур контролю не становить труднощів. Насправді необхідність врахування різних особливостей експлуатації системи діагностування призводить до ускладнення алгоритмів.

Розробка алгоритмів стану інструменту і процесу різання, керуючих програм і програм обробки діагностичних сигналів виконується для кожного найменування деталі, що обробляється, з урахуванням технології обробки, режимів різання, параметрів ріжучого інструменту. Підготовкою всіх вихідних даних для роботи системи займається технолог з металообробки.

Програми роботи систем діагностування повинні бути синхронізовані з керуючою програмою верстата з числовим програмним керуванням. В керуючих програмах передбачають ділянки обробки деталі, в яких діє конкретний кадр програми діагностування. При розпізнаванні відмови інструменту з пристрою діагностики подається команда на припинення подачі і обертання шпинделя, а також відведення інструменту із зони різання. При чистовій обробці припинення різання після розпізнавання граничного зносу може бути неприпустимо, так як це позначиться на якості обробки деталі. В цьому випадку можлива затримка видачі команди на припинення різання до повної обробки поверхні деталі, при цьому можуть бути автоматично знижені режими різання для виключення катастрофічного розвитку зносу.

Технологічні алгоритми однопараметричного діагностування за уставками мають однаковий склад незалежно від того, яка діагностична ознака використовується для розпізнавання стану інструменту. І всі вони мають істотний недолік, пов'язаний з тим, що уставки, що визначаються в ході навчання, так само, як і відповідні їм значення пошкоджень, носять випадковий характер. При експлуатації технологічної системи це призводить або до пропуску відмови, або до помилкового спрацьовування системи діагностування.

При діагностуванні за уставками функції діагностування і прийняття рішень виконуються спеціально доданим до верстату автономним пристроєм, так званим монітором.

У моніторах використовують принцип порівняння фактичного значення вимірюваного датчиком параметра процесу різання (діагностичної ознаки) з деяким заданим граничним його рівнем (уставкою), відповідним граничному зносу або полумці інструменту. Навчання монітора полягає в тому, що автоматично і вручну в нього вводяться відповідні технологічним переходам обробки деталі уставки, отримані експериментально. Алгоритми діагностування за допомогою монітора відповідають найпростішим алгоритмам, наведеним вище.

За допомогою монітора можна визначати стан інструменту шляхом порівняння фактичного часу різання інструментом (накопиченим напрацюванням) з його стійкістю, розрахованою, наприклад, за формулами або з гамма-відсотковим напрацюванням. Стійкість або напрацювання вводиться в монітор як уставка, а накопичене напрацювання визначається монітором. Цей метод діагностування називають таймерним.

Прийняті за допомогою монітора рішення за результатами визначення стану інструменту передаються для реалізації в числове програмне керування верстата. На світовому ринку представлені монітори, виготовлені різними фірмами.

### **3.8. Системи розпізнавання образів**

Найчастіше при проведенні контролю технологічного процесу не вистачає прямих ознак для достовірного контролю. В цьому випадку можуть бути використані різні фізичні величини, сигнали або співвідношення величин один щодо одного. За допомогою цього методу проводиться розпізнавання стану відповідальних вузлів верстата, таких як підшипники, при-

води, коробки передач, а також процеси і стан інструменту. В основі системи закладено дві фази: навчання та автоматичної класифікації.

На етапі навчання системи виконують вибірку ознак векторів стану і встановлюють кореляційний зв'язок між технологічним процесом і станом верстата. Вхідними величинами можуть бути сигнали сил, моментів, швидкостей, прискорень і таке інше. Фаза навчання проводиться до типової відмови, наприклад руйнування ріжучої кромки, виникнення високих вібрацій або температур. Протягом усього випробування з датчиків, встановлених на верстаті, знімають сигнали. Ця інформація зберігається в пам'яті комп'ютера. Керуючі сигнали передаються в фазу автоматичної класифікації, яка включає в себе: збір сигналів, попередню обробку, розрахунок ознак, прийняття рішення і діагностику. На етапі збору сигналів в пам'ять комп'ютера закладаються виміряні сигнали, що надходять від датчиків, встановлених на верстаті. Зазвичай це аналогові сигнали. На етапі попередньої обробки сигнал переводять в двійковий код, фільтрують і обробляють.

На етапі розрахунку ознак проводиться пошук ознак, якими можуть бути: абсолютні та відносні величини; граничні величини; зміщення; статистичні параметри, такі як дисперсія, розкид, повторюваність, кривизна кривої розподілу; параметри спектра.

При вимірі корпусного шуму ознаками можуть бути: повна спектральна потужність сигналу; потужність в окремих смугах частот; амплітуда пікового сигналу в спектрі; частота найбільшого (пікового) сигналу в спектрі.

Розрахунок ознак зазвичай починається вручну, при цьому порівнюють технічний стан до виникнення відмови, з наміченими ознаками. Набув поширення спосіб, коли ознаки утворюють компоненти так званих векторів ознак. Ці вектори показують певні точки в « $n$ -вимірному просторі», де  $n$  – число ознак. Якщо ознаки добре підібрані, вони утворюють безліч точок на площині станів. На основі розрахунок ознак приймається рішення про можливість технологічного процесу, а також проводиться діагностика відмови.

За результатами діагностики виконуються наступні дії.

1. Передається повідомлення на центральний обчислювальний центр, якщо виникають труднощі щодо прийняття рішення і діагностування.
2. Дається завдання на проведення технічного обслуговування.
3. Дається завдання на зміну параметрів обробки.

4. Дається команда на зміну інструменту.

5. Дається команда зупинити верстат.

Це дозволяє з високою точністю відстежувати перебіг технологічного процесу, з 99 % вірогідністю виявляти зношений інструмент і уникати його поломки.

### **3.9. Загальний тест на початку роботи верстата**

На початку зміни верстат повинен бути підданий функціональному тесту. Крім зовнішнього огляду верстата оператором проводяться такі перевірки: геометричної точності; динамічні випробування приводу; мастильної системи; мертвого ходу; кінцевих вимикачів.

При перевірці геометричної точності інструмент знімається з верстата, а на його місце встановлюється вимірювальна головка. Переміщаючи її, виконують ощупування точок початку відліку за допомогою спеціальної програми. Ощупування повторюють в різних положеннях верстата. Воно дає інформацію з точності позиціонування, виключення зіткнень і геометричної точності верстата.

Динамічні випробування приводу включають в себе: випробування на максимальних обертах; вимірювання потужності і сили струму.

Динамічні випробування проводяться без навантаження і дозволяють зробити висновки про стан динаміки приводу.

Верстати з числовим програмним керуванням здебільшого мають в своїх програмах так звані самоперевірки, які представляють собою: тест на пам'ять; тест на читання; тест на крок переміщення.

Перевірка мастильної системи містить: перевірку подачі мастила до всіх вузлів верстата на холостому ході; перевірку подачі мастила до всіх вузлів верстата при знятті пробної стружки; вимірювання тиску масла в системі змащення. У процесі перевірки мастильної системи контролюють величину тертя всіх напрямних. Випробування проводяться без навантаження з вимірюванням потужності і сили струму, споживаного електродвигунами. Особливо важливо визначити чисельні значення цих параметрів в початковий момент руху частин супорта.

Випробування кінцевих вимикачів складається в перевірці їх спрацьовування і перевірці точності зупинки. У процесі випробування кінцевих вимикачів визначають час спрацьовування кінцевих вимикачів і силу наскоку при позиціонуванні.

Крім загальних тестів на початку зміни можуть проводитися і інші тести, які залежать від особливостей конструкції верстата.

Після проведення загальних тестів приступають до роботи. Перед обробкою деталі необхідно визначити її геометрію і припуск.

На механізмі автоматичної зміни інструменту закріплюється камера. Освітлювальний прилад встановлений на санчатах верстата висвітлює деталь, яка відкидає тінь, що потрапляє в камеру. Камера видає сигнал, пропорційний розміру деталі. Сигнал надходить в лічильник, який визначає розмір деталі і подає ці дані на управління верстатом. У цій системі при розрахунку зіткнень потрібна корекція на необхідний зазор між деталлю і рухомими вузлами верстата.

Крім того, подаються сигнали включення і виключення основних електричних апаратів, таких як кінцеві вимикачі, апарати захисту та інші.

Вся інформація відображається на моніторі в реальному часі, тому можна в будь-який час проконтролювати технологічний процес і технічний стан верстата.

### **3.10. Контроль і діагностика на відстані**

В даний час найбільш передові фірми-виробники металообробного обладнання надають новий вид сервісу, який отримав назву «дистанційна діагностика». Принцип її полягає в тому, що діагностика проводиться на підприємстві-виробнику обладнання. Підприємство, яке експлуатує обладнання, може знаходитись в іншому місті або навіть країні. Зв'язок між цими підприємствами здійснюється за допомогою інформаційних мереж. Так, приклад, може здійснюватися діагностика за допомогою мобільного телефону. Датчики, встановлені на обробному центрі підприємства-споживача, фіксують технологічні параметри і параметри вузлів верстата. При виникненні у споживача параметричної відмови верстата сигнал надходить до фірми-виробника з мобільного телефону у вигляді цифрової інформації з комп'ютера на комп'ютер фірми-виробника. Фірма-виробник має потужну діагностичну систему, яка не тільки обслуговує споживачів, але і працює в напрямку вдосконалення устаткування, що випускається, зокрема дослідних зразків нового обладнання.

Фірма-виробник також має в своєму розпорядженні великий пакет діагностичних програм, базу даних і пакет розрахункових моделей. Передана за допомогою телефону інформація у вигляді протоколу вимірювань над-

ходить в базу даних і служить вихідною інформацією для реалізації розрахункових моделей. Виконання розрахунків і аналіз інформації, наявної в базі даних, дозволяють визначити причини дефекту. Якщо цього зробити не вдається, вдаються до допомоги діагностичних програм, розроблених для окремих вузлів верстата, наприклад: приводу, шпинделя, пристрою зчитування, мастильної системи, інструмента і так далі.

Підібрана діагностична програма, знову ж за допомогою телефону, передається споживачеві, який тестує верстат за отриманою програмою. Результати тестування за допомогою телефону передаються фірмі-виробнику, де остаточно аналізуються результати і ставиться діагноз. Системи телефонної діагностики є швидким і високоефективним способом вирішення питань діагностики. Поки ця система не отримала широкого поширення в основному через високу вартість пропонованих послуг, але слід зазначити, що це якісно новий етап у відносинах виробника і споживача.

### **3.11. Діагностування пошкоджень гнучких виробничих модулів для забезпечення їх надійності**

Цілями забезпечення надійності гнучких виробничих модулів є: зведення до мінімуму часу і вартості технічного обслуговування і ремонту; забезпечення безперервної безвідмовної роботи протягом певного часу без участі людини.

Дослідження надійності гнучких виробничих модулів показують, що гнучкі виробничі модулі за часом технічного обслуговування і ремонту в значній мірі відповідають заданим вимогам, але за показниками безвідмовності робота в безлюдному режимі поки не забезпечується. Одна з основних причин незадовільного рівня безвідмовності гнучких виробничих модулів є відсутність в їх складі розвинених систем діагностування несправностей. Аналіз надійності гнучких виробничих модулів показує, що більший час їх ремонту доводиться на функціональні відмови, тобто відмови через поломки. За даними експлуатаційних спостережень, напрацювання на функціональну відмову складає кілька десятків годин, а час усунення несправностей займає 8 ... 12 % номінального фонду робочого часу. Значне число зупинок гнучких виробничих модулів відноситься до так званих параметричних відмов, тобто зупинок технологічного обладнання, виконуваних обслуговуючим персоналом для підтримки параметрів технологічного процесу в заданих межах. Таким чином, в разі параметричних відмов гнуч-

кі виробничі модулі знаходяться в працездатному стані, але при подальшій роботі без обслуговуючого персоналу можливий брак оброблюваної деталі або функціональна відмова. Напрацювання на параметричну відмову складає кілька годин, а час усунення таких відмов не перевищує 0,5 ... 1,0 % номінального фонду робочого часу.

Для гнучких виробничих модулів, які одну-дві зміни працюють без участі людини, першочерговим є завдання забезпечення безвідмовної роботи. Вказану задачу повинна вирішувати система оперативної діагностики гнучких виробничих модулів. Аналіз причин параметричних відмов, періодичності та тривалості їх усунення дозволяє уточнити спрямованість різних підсистем оперативної системи діагностики. У табл. 3.2 наведені характеристики періодичності і тривалості зупинок гнучких виробничих модулів мод. РОК. (Японія) з різних причин. Дані отримані за результатами експлуатаційних досліджень гнучкою виробничою системою, що складається з шести зазначених гнучких виробничих модулів, обладнаних роботами фірми Panіc (Японія). Подача заготовок до робота і відведення готових деталей здійснюються тактовими столами. Отримані дані показують, що більша частина параметричних відмов (49,3 % параметричних відмов) і часу усунення несправностей (34,3 % часу усунення причин параметричних відмов) припадає на вимір оброблюваних деталей.

Таблиця 3.2–Характеристики періодичності і тривалості зупинок гнучких виробничих модулів мод. РОК.

Найменування зупинень (параметричних відмов верстатів)	Параметричні відмови		Періодичність зупинень, год.	Середня тривалість зупинень, хв.
	Кількість	%		
Вимірювання деталей	94	49,3	1,2	0,5
Ввід корекції	21	11,0	5,4	1,9
Контроль керуючої програми	10	5,2	11,4	2,7
Огляд інструменту	2	1,0	57,2	1,0
Заміна інструменту	4	2,1	28,6	1,8
Установ та зняття заготовок вручну	51	26,7	2,2	0,1
Очищення від стружки інструменту та деталі	9	4,7	12,7	1,1
Усього:	191	100	0,6	0,7



Для поліпшення роботи устаткування гнучких виробничих систем в безлюдному режимі в складі системи діагностування несправностей гнучких виробничих модулів необхідно вводити підсистему автоматичного вимірювання оброблюваних деталей і корекції, за допомогою якої можна усунути 60,3 % параметричних відмов, що дозволяє на 62,9 % скоротити простої верстатів через параметричні відмови. Від загального числа зафіксованих параметричних відмов 4,7 % відмов і 7,1 % часу їх усунення пов'язані з відсутністю в складі системи діагностування несправностей гнучких виробничих модулів підсистеми дроблення стружки. Такий пристрій потрібен для забезпечення роботи токарних модулів. Також для усунення параметричних відмов, пов'язаних із зносом і поломкою інструментів (3,1 % зафіксованих параметричних відмов і 6,4 % часу їх усунення), необхідне введення до складу системи оперативної діагностики підсистеми автоматичного контролю і заміни інструменту.

Експлуатаційні дослідження устаткування гнучких виробничих систем показали, що крім усунення функціональних і параметричних відмов персоналу доводиться виконувати операції з обслуговування технологічного процесу для забезпечення нормальної роботи обладнання. Хоча такого роду обслуговування обладнання є короткочасним і не вимагає зупинки гнучких виробничих модулів, воно перешкоджає організації роботи устаткування гнучких виробничих систем у безлюдному режимі. В табл. 3.3 представлені характеристики періодичності і тривалості обслуговування гнучких виробничих модулів без зупинки. Отримані дані показують, що найбільш часто оператор займається контролем процесу обробки (75,4 % обслуговування обладнання), який виконується перемиканням режиму індикації дисплея пристроїв числового програмного керування верстатів і роботів. При цьому зазначені функції контролю технологічного процесу займають 3,0 % всього часу обслуговування гнучких виробничих модулів (див. табл. 3.3). Але необхідність зазначених робіт з обслуговування повністю виключається при включенні до складу системи оперативного діагностування несправностей гнучких виробничих модулів підсистеми автоматичного контролю параметрів різання (захист від надмірних прискорень, сил, вібрацій і так далі).

Функціональні відмови гнучких виробничих модулів слід розглядати з позиції виявлення тих вузлів і пристроїв гнучких виробничих модулів, відмови яких в найменшій мірі ідентифікуються в системі оперативної діагностики гнучких виробничих модулів. До таких пристроїв відносяться ме-

ханічні вузли, на частку яких припадає до 45 % відмов гнучких виробничих модулів і до 60 % часу їх ремонту.

Таблиця 3.3–Характеристики періодичності і тривалості обслуговування гнучких виробничих модулів без зупинки

Види обслуговування обладнання	Статистика обслуговувань		Періодичність обслуговування, год.	Середня тривалість обслуговування, хв.
	Кількість	%		
Регулювання витрат та напряму подачі мастильно-охолоджувальної рідини	2	0,7	57,3	1,0
Додавання мастильно-охолоджувальної рідини	2	0,7	57,3	1,5
Обслуговування тактового столу	17	7,9	6,73	3,4
Підготовка деталей та відправка в відділ технічного контролю	7	2,5	16,4	3,9
Робота з терміналом транспортно-накопичувальної системи	11	3,9	10,4	2,5
Наладка верстата	21	7,4	5,45	48,9
Спостереження за процесом обробки	10	3,5	11,45	1,2
Натискання кнопок пристрою числового програмного керування верстата (в цілях перемикання режимів індикації, для виконання операцій перегляду управляючих програм, отримання інформації про режими різання і тому подібне)	215	75	0,53	0,16
Усього в середньому:	285	100	0,4	4,17

Співвідношення кількості відмов і часу їх усунення в різних вузлах і механізмах гнучких виробничих модулів надано в табл. 3.4.

Аналіз причин відмов дозволяє визначити завдання діагностичних пристроїв, що створюються для контролю стану механічних вузлів. Дані експлуатаційних досліджень верстатів показують, що значна частка відмов механічної частини верстатів відбувається через порушення регулювання вузлів. Як приклад в табл. 3.5 представлені причини відмов механічних вузлів токарних гнучких виробничих модулів. Наведені дані свідчать про те, що на регулюючі відмови доводиться до 60 % відмов механічної частини

гнучких виробничих модулів, а для таких пристроїв, як механізми приводу подач, механізми приводу огорожі робочої зони, вузли кріплення датчиків положення виконавчих органів, різного виду порушень регулювання є причиною до 80 ... 90 % всіх функціональних відмов. При цьому, якщо періодичність виникнення відмов через конструктивні або технологічні недоробки становить близько 100 ... 150 годин, що відповідає економічно обґрунтованим нормам надійності, то відмови через порушення регулювань відбуваються в середньому через 30 ... 40 годин, що абсолютно неприпустимо з позицій як ефективності експлуатації гнучких виробничих модулів, так і відповідності умов експлуатації режиму безлюдній технології.

Таблиця 3.4–Співвідношення кількості відмов і часу їх усунення в різних вузлах і механізмах гнучких виробничих модулів

Найменування вузла	Кількість відмов, % (чисельник умовного дробу), і середній час відновлення, години (знаменник), для гнучких виробничих модулів на базі верстата:		
	1720ПФ30	1740РФ3	16К20Ф3С32
Механізм подач	6,7/6,7	9,1/14,5	8,3/10
Механізм зміни інструменту	35,6/5,2	11,7/9,4	54,2/16,1
Механізм базування і закріплення деталі	9,1/3,2	50/3,3	12,5/3,8
Механізм приводу головного руху, коробки швидкостей	26,7/12	9,5/5,5	–
Механізм приводу огороження робочої зони	13,3/4,5	4,5/7	4,2/0,6
Вузли кріплення датчиків положення виконавчих органів	4,4/2,7	8/2,3	20,8/0,9
Інші вузли	4,2/3,1	7,2/4,5	–

У зв'язку з цим актуальна розробка пристроїв контролю працездатності основних механічних вузлів в складі системи тестового діагностування несправностей верстатів. Відповідно до режиму експлуатації гнучких виробничих модулів в період профілактичного обслуговування тестова система діагностики повинна оцінювати стан основних вузлів на основі зіставлення фактичних параметрів, що характеризують працездатність вузла, з заданими (еталонними) значеннями. За результатами контролю визначається необхідність заміни, ремонту та регулювання деталей або елементів механічних вузлів.

Таблиця 3.5–Причини відмов механічних вузлів токарних гнучких виробничих модулів

Причини відмов	Кількість відмов, % (чисельник умовного дробу), і середній час відновлення, години (знаменник), для гнучких виробничих модулів на базі верстата:		
	1720ПФ30	1740РФ3	16К20Ф3С32
Порушення регулювання вузлів:	46,5/5,6	68,2/4,2	62,6/2,9
механізмів привода подач,	6,7/6,7	9,1/8	4,2/4
механізму зміни інструменту,	17,8/5,2	–	25/0,3
механізму базування і закріплення деталі,	–	45,5/3,48	8,4/1,6
механізму приводу головного руху,	4,4/7,5	–	–
механізму приводу огороження робочої зони,	13,3/4,5	4,5/7	4,2/0,6
вузлів кріплення датчиків положення виконавчих органів	1,4/2,7	9,1/5,5	20,8/0,9
Конструктивні або технологічні недоробки	31,3/5,3	13,6/4,3	20,8/3,5
Інші причини	22,2/7	18,2/2,7	16,6/3

Розглянемо деякі типові несправності, що викликають розрегульовані відмови механічних вузлів, а також склад регламентних робіт і періодичність їх проведення, що забезпечують відсутність порушень регулювальних відмов до наступного профілактичного обслуговування.

Механізм автоматичної зміни інструменту (револьверна головка) для розглянутих типів гнучких виробничих модулів повинен піддаватися профілактичному обслуговуванню через 35 ... 40 годин роботи за керуючою програмою. При цьому необхідно контролювати величину робочих зазорів в датчиках положення револьверної головки, перевіряти роботу фіксаторів і прочищати посадочні поверхні.

Для механізму приводу подач профілактичне обслуговування проводять через 80 ... 90 годин роботи гнучкого виробничого модулю. В процесі обслуговування виконують контроль кінематичного ланцюга двигун – редуктор – ходовий гвинт кульково-гвинтової передачі: виявляють і видаляють зазори в зачепленні редуктора, перевіряють з'єднання муфти і кріплення датчика зворотного зв'язку, контролюють зазори передачі гвинт-

гайка кочення, підшипникові вузли і в разі необхідності проводять регулювальні роботи.

Профілактичне обслуговування вузлів кріплення датчиків положення виконавчих органів та інших пристроїв контролю здійснюють з періодичністю 100 ... 110 годин. Порушення регулювання кріпильних елементів виникає від вібрації або ударних навантажень в процесі роботи гнучкого виробничого модулю. В ході профілактичних заходів контролюють виконання технологічних команд, а при необхідності проводять і регулювання вузлів кріплення датчиків і затискних елементів.

Механізм базування і закріплення заготовок повинен обслуговуватися через 250 ... 260 годин роботи гнучкого виробничого модулю. В процесі профілактичних робіт контролюють величини робочих ходів тяг і важелів в пристроях приводу затискання патрона, перевіряють правильність установки датчиків виконання технологічних команд і контакти реле в ланцюгах управління.

В даний час всі перераховані операції контролю стану механічних вузлів виконуються вручну. У токарних гнучких виробничих модулів практично відсутні пристрої тестової діагностики, які автоматизували б перераховані функції контролю стану основних механічних вузлів. За результатами контролю система тестової діагностики повинна видавати команду на проведення регулювальних робіт, ремонту або заміни елемента (деталі) контрольованого вузла. Без подібних пристроїв тестової діагностики неможливо забезпечити роботу гнучкого виробничого модулю в безлюдному режимі, оскільки навіть в разі гарантованої безвідмовної роботи гнучкого виробничого модулю між профілактичними обслуговуваннями контроль стану основних механічних вузлів є дуже трудомістким процесом, що є несумісним з принципами безлюдної технології.

### **3.12. Інтелектуальні системи діагностики гнучких виробничих систем**

Інтелектуальні системи діагностики як допомога для служби контролю роботи гнучких виробничих систем дозволяють швидко виявити і діагностувати виниклі дефекти, а також видавати рекомендації щодо усунення дефекту. Гнучкі виробничі системи в силу своєї складності є комплексним завданням як в сенсі їх технологічного обслуговування, так і в сенсі того, що обслуговуючий персонал повинен мати дуже великі знання в області

виникнення відмов обладнання. Тому часті випадки, коли обслуговуючий персонал не в змозі розпізнати причини дефектів, забуває важливі подробиці роботи окремих вузлів або не звертає уваги на дефект в початковій стадії його розвитку.

При виникненні дефекту в гнучкому виробничому модулі робота інтелектуальної системи діагностики відбувається в наступному порядку. Весь процес пошуку, виявлення і діагностики дефекту складається з чотирьох фаз.

На першій фазі контролю система визначає, в якій частині гнучкого виробничого циклу відбулася відмова. Це може бути верстат, транспортно-накопичувальний пристрій або робот. Далі визначається, на якій фазі робочого циклу проявляється несправність: при обробці деталі, при заміні інструмента або при заміні деталі. Далі проводиться пошук несправності, причому спочатку визначають, чи стосується дефект вузлів верстата або порушений процес обробки. Потім збираються дані про несправні елементи: несправний магазин інструменту або несправний пристрій заміни інструменту. На цьому перша фаза закінчується, при цьому за допомогою експертної системи звужується зона підозр до пристрою заміни інструменту.

Далі настає друга фаза, яка проводиться з використанням персоналу контролю, так як пристрій заміни інструменту не має діагностичних датчиків. Система дає цілеспрямовані вказівки персоналу контролю з пошуку дефекту. Перше завдання – це визначення несправності пристрою заміни інструменту (відповідь «Так»). Потім проводиться перевірка можливих несправностей, зокрема, чи спрацьовує стопор пристрою заміни інструменту (відповідь «Так»).

Третя фаза діагностування несправності настає після того, як у другій фазі виявлений несправний елемент (стопор пристрою заміни інструменту), потім приступають до вивчення несправності. Причинами несправності можуть бути: стопор заклинило в магазині або недостатньо тиску повітря («Недостатній тиск повітря»). Далі визначають можливі причини несправності: недостатній тиск в мережі або погане технічне обслуговування (відповідь «Погане технічне обслуговування»).

У четвертій фазі здійснюється видача рекомендацій щодо усунення несправності. Виявляється несправність повітряного шлангу: дефект шлангу, шланг перехилився, вентиль засмітився. Залежно від дефекту формується рекомендація щодо усунення дефекту. Це можуть бути: заміна шлан-

гу, герметизація його, зміна його положення з метою усунення перегину або прочищення вентиля. Таким чином, система спрямовує дії і допомагає персоналу контролю.

При цьому регламентується, які треба вжити заходи і як знайти несправність. Таким чином, інтелектуальні системи діагностики мають значні переваги в порівнянні з іншими видами діагностики. Вони мають більшу гнучкість і широкі можливості при діагностуванні обладнання.

### 3.13. Контрольні запитання

1. Які зовнішні і внутрішні процеси впливають на працездатність обладнання.
2. На якій інформації базується оперативність діагностики?
3. За яким алгоритмом працює система підтримки працездатності процесів?
4. Які методи контролю застосовуються у системах діагностування стану ріжучого інструменту?
5. Які особливості процесу високошвидкісної механічної обробки? В яких галузях промисловості вона використовується?
6. Перерахуйте процедури розробки систем діагностування процесу високошвидкісної механічної обробки.
7. Назвіть особливості роботи ріжучого інструменту в умовах високошвидкісної механічної обробки.
8. Опишіть алгоритм діагностування стану інструмента в умовах високошвидкісної механічної обробки.
9. Які задачі вирішує система активного контролю для багатошпиндельних автоматів? Як вона працює?
10. Які особливості зміни вихідних характеристик процесу різання при наїжджанні, поломці та зносі ріжучого інструменту?
11. З яких блоків складається система WIDATRONIC, та як вони працюють?
12. Що таке моніторинг процесу різання?
13. Опишіть алгоритм розпізнавання поломки інструменту.
14. У чому полягає процедура навчання діагностичної системи?

## 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.
8. Маслов А.Р. Диагностирование и контроль технологических систем в машиностроении: сб. материалов / сост. и ред. А.Р. Маслов. М.: Издательство «ИТО», 2008. 240с.:ил.



## ЗМІСТ

Вступ .....	3
1. Діагностика робочих процесів .....	4
1.1. Основні задачі та мета діагностики .....	4
1.2. Методи та етапи діагностування процесів металообробки.....	11
1.3. Значення контролю і діагностики .....	14
1.4. Діагностика як засіб підвищення надійності .....	22
1.5. Контрольні запитання.....	24
2. Контроль стану робочих процесів .....	25
2.1. Попередній, поточний та вихідний контроль .....	25
2.2. Контроль моменту врізання різального інструмента у заготовку	26
2.3. Контроль крутильного моменту та складових сили різання .....	28
2.4. Контроль стану ріжучого інструменту .....	32
2.5. Контроль розмірів заготовки.....	65
2.6. Контроль шорсткості обробленої поверхні.....	68
2.7. Технологічні алгоритми контролю стану інструменту.....	71
2.8. Контрольні запитання.....	81
3. Системи діагностики та контролю стану робочих процесів .....	82
3.1. Система підтримки працездатності процесів .....	82
3.2. Системи діагностування стану ріжучого інструмента .....	89
3.3. Особливості розробки систем діагностування стану інструмен- ту в процесі високошвидкісної обробки матеріалів .....	94
3.4. Система активного контролю для багатошпindelних токарних автоматів .....	101
3.5. Система контролю найжджання, поломки та зносу інструмента .	104
3.6. Дисплейна система діагностування .....	105
3.7. Розробка моніторингу для діагностування процесів різання .....	106
3.8. Системи розпізнавання образів .....	114
3.9. Загальний тест на початку роботи верстата .....	116
3.10. Контроль і діагностика на відстані .....	117
3.11. Діагностування пошкоджень гнучких виробничих модулів для забезпечення їх надійності .....	118
3.12. Інтелектуальні системи діагностики гнучких виробничих систем .....	124
3.13. Контрольні запитання.....	126
Список літератури .....	127

Навчальне видання

ДОЛЯ Віктор Миколайович

ДІАГНОСТИКА ТА КОНТРОЛЬ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ

Навчальний посібник

для студентів спеціальності «Прикладна механіка»  
денної та дистанційної форм навчання

Відповідальний за випуск Л. І. Пупань

Роботу до видання рекомендував О. М. Шелковий

В авторській редакції

План 2019 р., поз. 74

Підп. до друку 30.05 .2019 р. Гарнітура Таймс.

Видавничий центр НТУ «ХП», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002  
Свідоцтво про державну реєстрацію № 5478 від 21.08.2017 р.

---

Самостійне електронне видання