

УДК 681.2.008

В. В. Шевченко, І. В. Капінос, Д. О. Грабовський  
Національний технічний університет України «Київський  
політехнічний інститут»

## **СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ В УМОВАХ «БЕЗЛЮДНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ»**

*Описані дослідження різального інструменту в процесі його діагностики та контролю методом електрорушійної сили різання та інфрачервоного випромінювання. Розроблений пристрій для вимірювання ЕРС різання без застосування струмознімача, ізоляції інструмента й деталі від маси верстата. Метод, заснований на вимірюванні й аналізі ІЧ випромінювань зони різання дає широкі можливості по запобіганню виходу з ладу різального інструменту.*

### **Вступ**

Задача автоматичного управління точності та продуктивності обробки деталей приладів на верстатах з ЧПК шляхом використання адаптивних систем управління набуває особливу важливість. Адаптивні системи забезпечують оптимізацію шляхом управління точністю та продуктивністю безпосередньо у процесі обробки деталей приладів на металорізальних верстатах. Процес адаптивного керування можна розглядати як рішення двох задач: своєчасного отримання з точністю, яка вимагається, інформації про відхилення різноманітних параметрів, які впливають на хід робочого процесу та своєчасного внесення відповідної поправки до величин, які функціонально пов'язані з величиною, яка керується.

Найбільшу ефективність управління процесом різання слід очікувати тоді, коли адаптація буде обґрунтована на інформації, яка тісно пов'язана з фізико-хімічними

явищами в зоні тертя та стружкоутворенням, які визначають швидкість зношування інструменту. До таких інформаційних сигналів відносяться електричні явища та електромагнітне випромінювання.

### **Постановка завдання**

Процес різання є складним комплексом фізико-хімічних явищ, таких як механічні, теплові, електричні, дифузійні, адгезійні й ін., що виникають у результаті взаємодії інструмента із заготовкою. Причому перераховані явища проявляються в таких граничних умовах, які звичайно не зустрічаються ні при випробуваннях матеріалів, ні в інших технологічних процесах.

Тому контроль процесу обробки повинен бути заснований на випромінюванні природно виникаючих при різанні сигналів. До таких сигналів відносяться електричні сигнали й електромагнітне випромінювання.

Розглянемо основні причини генерування електричних сигналів і взаємозв'язок їх з видами зношування інструмента.

У загальному вигляді енергія електрона визначається як сума "нульовий" і "тепловий" енергій. "Нульова" енергія має чисто квантову природу й залежить від концентрації вільних електронів і ефективної маси щільності станів електронів. Виникнення в процесі різання матеріалів пластичні деформації збільшують щільність дислокацій на чотири порядки, при цьому змінюється величина ефективної маси щільності станів електронів, що й дозволяє деяким електронам придбати енергію достатню для подолання потенційного бар'єра й вийти на границю поділу між інструментом і деталлю» "Теплова" енергія залежить від температури в зоні різання, при цьому порівняння "нульової" і "теплової" енергії електронів показує, що при температурах плавлення "теплова" енергія електрона становить одиниці відсотків від "нульовий". Наведений

вище аналіз показує, що при різанні матеріалів, коли температура в зоні контакту не перевищує температуру плавлення, енергія електрона визначається, насамперед "нульовою" енергією, що залежить від ступеня пластичної деформації.

Зміна енергії електрона під дією пластичної деформації називається низькотемпературної (екзоелектронною) емісією, що виникає в результаті перекручування електронного спектра твердого тіла й наступною перебудовою його електронної структури, пов'язаної з появою дефектів. Саме пластична деформація, що супроводжує процес різання матеріалів, приведе до утворення й збільшення кількості дефектів кристалічних ґрат. Тому, пластична деформація при стимулюванні температурою, окислюванням, фазовими перетвореннями є основним видом енергетичного впливу при різанні матеріалів.

Таким чином, енергія електрона, що визначає електричні явища при різанні, залежить від концентрації електронів матеріалів інструмента й деталі, температури й ступені пластичної деформації.

Електричні сигнали, що виникають при різанні, безпосередньо пов'язані з адгезійним, дифузійним і окисним видами зношування різального інструменту.

Природу адгезії можна пояснити виникненням металевого зв'язку при зближенні поверхонь на відстань порядку параметра кристалічних ґрат і перевищення певного енергетичного порога для кожної пари матеріалів. Цей енергетичний стан виникає як за рахунок підвищення температури, так і за рахунок спільного пластичного деформування взаємодіючих поверхонь у місцях контакту. За умови зближення кристалів взаємодіючих металів на відстані, в порівнянні з параметрами кристалічних ґрат тіла, починають обмінюватися потоками електронів, які

проникають через поверхню поділу. У результаті цього обміну утворюються металеві зв'язки між контактуючими поверхнями. Дана умова виконується при наявності високих локальних тисків у зоні контакту, які й забезпечують зближення кристалічних ґрат взаємодіючих елементів. Іншою умовою адгезійної взаємодії є повідомлення електронам додаткової теплової енергії, що переходить у кінетичну енергію руху електронів за рахунок підвищення температури в зоні контакту різального інструменту з оброблюваною деталлю. На адгезійну взаємодію впливає й електронна будова контактуючих пар. Встановлено, що при адгезії відбувається обмін електронами атомів взаємодіючих металів, що приводять до утворення енергетичних стабільних електронних конфігурацій. Чим більше частка локалізованих електронів, тим більше адгезія. Для різнойменних металів міцність адгезійного зв'язку обумовлена різною величиною рівня Ферми й тому додаткові електрони проходять крізь контактні поверхні.

Отже, процеси генерування електричних сигналів при різанні й утворення адгезійного шва, що потім руйнується, що приводить до зношування інструмента, безпосередньо залежать від ступеня пластичної деформації, температури й електронної будови контактуючої пари, що й спричиняється їхній взаємозв'язок.

На цих взаємозв'язках і ґрунтуються основні методи контролю процесу обробки деталей. Тому що основними наслідками пластичної деформації, під дією високого локального тиску, є підвищення температури й виникнення різниці потенціалів між заготівлею й різальним інструментом, ефективним є вимір електромагнітного випромінювання в інфрачервоному (ІЧ) спектрі, і електрорушійної сили (ЕРС) різання.

### **Устрій і принцип роботи системи контролю**

Вимірювання ЕРС різання є складною й до кінця ще не вирішеним завданням. Як правило, вимірюють змінну складову ЕРС використовуючи струмоз'ємний пристрій і ізолюючи різальний інструмент і деталь від маси верстата, що знижує універсальність устаткування, приводить до технічних труднощів реалізації й, саме головне, до неможливості промислового впровадження систем контролю зношування інструмента на основі ЕРС різання.

Тому, був розроблений пристрій для виміру ЕРС різання без застосування струмознімача, ізоляції інструмента й деталі від маси верстата, що дасть можливість широко використати його у виробничих умовах.

Розроблений пристрій складається з магнітного торроїдального феритового сердечника, встановленого безпосередньо в різцетримачі й що охоплює державку різального інструменту. А котушка обмотки встановлена на іншому кінці магнітного сердечника. Виникаюча в процесі різання ЕРС викликає протікання в обробній системі змінного струму, при цьому обробну систему можна представити у вигляді одного витка первинної обмотки. Змінний струм, що протікає по різальному інструменті, наводить змінний магнітний потік у сердечнику. При вимірюванні використовують режим холостого ходу трансформатора струму. У цьому режимі магнітний потік збільшується внаслідок відсутності струмів розмагнічування, що у свою чергу різко збільшує ЕРС у вторинній обмотці. Електрорушійна сила, що виникає у вторинній обмотці, залежить від конструктивних параметрів сердечника, числа витків вторинної обмотки, сили струму, що протікає по різці, і частоти зміни магнітного потоку. Величина частоти зміни магнітного потоку пропорційна частоті зміни струму й відповідно ЕРС різання.

В якості другого параметру діагностики використовують інфрачервоне (ІЧ) випромінювання із зони контакту різець-заготівка.

ІЧ-спектри випускають збуджені атоми або іони при переходах між близько розташованими електронними рівнями енергії, що в нашому випадку й відбувається внаслідок адгезії. Смугасті ІЧ-спектри спостерігаються в спектрах випущення збуджених молекул, що виникають при переходах між коливальними й обертальними рівнями енергії. Коливальні й коливально-обертальні спектри розташовані головним чином у середній, а чисто обертальні - у далекій ІЧ-області. Безперервний ІЧ-спектр випромінюють нагріті тверді й рідкі тіла. Абсолютна й відносна частка ІЧ випромінювання нагрітого твердого тіла залежить від його температури. При температурах нижче 500 К, випромінювання майже цілком розташоване в ІЧ-області (тіло здається темним). Однак повна енергія випромінювання при таких температурах мала. При підвищенні температури частка випромінювання у видимій області збільшується, тіло стає темно-червоним, потім червоним, жовтим і, нарешті, при температурах вище 5000 К, білим. Суворозалежність енергії випромінювання нагрітих тіл від температури існує тільки для абсолютно чорного тіла.

Для контролю ІЧ-випромінювання робочої зони, розроблені системи контролю можуть використати різні приймачі ІЧ-випромінювання, наприклад TSOP4038, TSOP58038 і TSOP5038, що мають цифровий вихід і постійний коефіцієнт підсилення. Постійний коефіцієнт підсилення забезпечує стабільність порога спрацьовування датчика і його робочої дальності дії. Що полегшує розміщення датчиків на достатній відстані й досить безпечній відстані від можливих влучень відходів обробки. Сигнал із приймача ІЧ випромінювання надходить у

цифровий блок обробки інформації для зберігання й подальшої обробки. Шляхом порівняння припустимих значень спеціалізованої бази даних зі значеннями у відповідних місцях виміру робочої зони визначається критичний рівень зношування.

Система діагностики різального інструменту складається із пристрою 1 (Рис. 1.), вимірювання ЕРС різання й пристрою 2 вимірювання потоку інфрачервоного випромінювання із зони різання, які паралельно підключені через підсилювачі 3 і 4 електричних сигналів до датчика 5 торкання різального інструменту з оброблюваною деталлю й датчика 6 зношування різального інструменту. Перший вихід датчика 5 торкання й датчика 6 зношування різального інструменту приєднанні до блоку 7 керування приводом подачі металорізального верстата. Другий вихід датчика 5 торкання підключений до входу блоку 8 «кінець уведення» пристрою числового програмного керування.

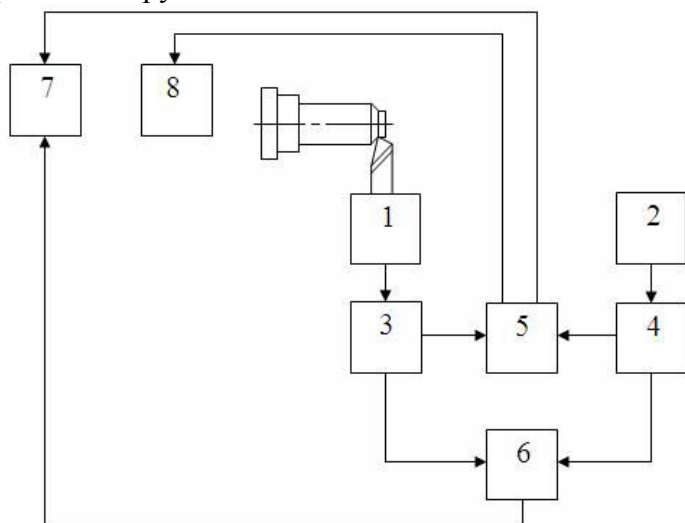


Рис. 1. Блок-схема системи контролю процесу обробки деталей

Датчик зношування різального інструменту складається з операційного підсилювача, підключеного через діод і резистор до накопичувального конденсатора, компаратора й цифро-аналогового перетворювача. На виході датчика зношування формуються сигнали за умови досягнення різальним інструментом величини критичного зношування. У датчику зношування відбувається порівняння інтегрального рівня сигналу, накопиченого на конденсаторі за час одного проходу з рівнем сигналу, заданого на цифро-аналоговому перетворювачі й відповідній величині критичного зношування різального інструменту.

### **Висновки**

Експериментальні дослідження показали, що для зношеного інструмента (зношування по задній поверхні дорівнює 0,5 мм) інтегральний рівень сигналу ЕРС різання збільшується в 1,88 рази в порівнянні з інтегральним рівнем сигналу, що відповідає незношеному інструменту. Це пояснюється тим, що зі збільшенням зношування інструмента по задній поверхні збільшується фактична площа контакту інструмента з деталлю, де відбувається взаємодія інструментального й оброблюваного матеріалів. У результаті цієї взаємодії на поверхні контакту відбуваються процеси обміну електронами, що супроводжується виникненням імпульсу сигналу. Тому, зі збільшенням зношування інструмента збільшується фактична площа контакту, зростає частота виникнення сплеску сигналу, а також його загальний рівень.

Рівень сигналу, пропорційний потоку інфрачервоного випромінювання із зони різання зростає в 1.7 рази при збільшенні зношування від 0.05 до 0.3 мм і в 1.57 рази при збільшенні зношування від 0.3 до 0.6 мм.

Метод, заснований на вимірі й аналізі ІЧ випромінювань зони різання, у свою чергу, дає широкі



можливості по запобіганню виходу з ладу різального інструменту, і тим самим, уникнути промислового браку за рахунок точного контролю необхідної кількості місць робочої зони (заготівка, різець у цілому, ріжуча частина й т.д.).

Випробування системи контролю процесу обробки деталей на основі ЕРС різання й ПЧ-випромінювання показала високу експлуатаційну надійність і точність, що дозволяє ефективно використати їх у пристроях автоматичного керування процесом обробки матеріалів на верстатах з ЧПК, в умовах «безлюдної технології».

### **Література:**

8. Лоладзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
9. Васильев С. В. ЭДС и температура резания. – Станки и инструмент, 1980, №10, с.20-22.
10. Постников С. Н. Электрические явления при трении и резании. – Горький: Волго-Вят.кн.изд-во, 1985. – 280с.
11. Криксунов Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники. – М.: Советское радио, 1978. – 400с.
12. Хэфорд Г. Л. Инфракрасное излучение. – М – Л.: Энергия, 1964. – 336с.
13. Остафьев В. А., Тымчик Г. С., Шевченко В. В. Адаптивная система управления. – Механизация и автоматизация управления. – Киев, №1, 1983. – с.18 - 20.
14. Шевченко В. В. Контроль стану різального інструменту за допомогою електричних сигналів. Збірник наукових праць V науково-технічної конференції ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи, 25-26 квітня 2006 р., м. Київ, ПФФ, НТУУ «КПІ». – 2006. – С. 112 -113.