

Д.В. Куделін, аспір.
Науковий керівник - д.т.н., проф. П.П. Мельничук
Житомирський державний технологічний університет

ПРИНЦИПИ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Параметри процесу різання в процесі обробки змінюються, тому виникає необхідність підтримання режимів різання на деякому оптимальному рівні. Ця задача може бути успішно вирішена шляхом застосування адаптивних систем керування, які дозволяють в процесі самоорганізації пристосовуватись до змінних умов обробки з метою отримання оптимальної характеристики процесу різання.

Крім того, забезпечення надійності і ефективності процесу механічної обробки є неможливим без інформації про поточний стан різального інструменту. На сьогоднішній день існує ряд методів, які дозволяють оцінити стан різального інструменту і його зношування по непрямим параметрам. При цьому найбільше поширення отримали методи вимірювання інтенсивності зносу на основі аналізу сигналів акустичної емісії і віброакустичних сигналів, електропровідності контакту «інструмент-деталь», аналізу постійної і змінної складових термоЕРС, потужності приводу головного руху, сили різання.

В реальних технологічних процесах різноманіття залежностей вхідних і вихідних параметрів зводяться до деякої системи лінійних диференційних рівнянь, у яких в якості вхідних змінних застосовують технологічні параметри (V, S, t) і їх перші похідні (a_v, a_s, a_t) . Для системного аналізу факторів, які визначають нестационарність процесу різання, пропонується їх класифікація на основі структурної схеми процесу різання як об'єкту управління.

Вхідні параметри можна розділити на керовані та некеровані. Вихідні параметри являються результатом взаємодії вхідних і внутрішніх параметрів системи в процесі контактної взаємодії в зоні обробки. Розгляд процесу різання як об'єкту управління дозволяє розділити нестационарність на зовнішню, яка визначається зміною в часі вхідних параметрів, і внутрішню, пов'язану зі зміною фізичного стану зони контакту інструменту з деталлю.

В якості керованих параметрів можна виділити елементи режимів різання (V, S, t) , геометрію $(\alpha, \gamma, \varphi)$ та конструктивні параметри різального інструменту, а також швидкості зміни технологічних параметрів в часі (a_v, a_s, a_t) . До спостережуваних вхідних параметрів можна віднести зміни фізико-механічних параметрів стану заготовки та інструменту, форму оброблюваної поверхні. До неспостережуваних – коливання глибини різання, зв'язаної зі зміною припуску на обробку в зв'язку з похибками форми заготовки, а також можливі зміни швидкості різання, товщини зрізу, геометрії інструменту, пов'язані з похибками встановлення та параметрами жорсткості технологічної системи.

Внутрішню нестационарність процесу різання умовно можна розділити на незворотню, пов'язану зі зношуванням інструменту, змінами в структурно-фазовому і міцністному стані приконттактних шарів різальної частини інструменту і заготовки, та зворотню, в основному періодично повторювану, пов'язану з особливостями протікання контактних процесів в зоні обробки: закономірно-періодичними падіннями напружень на границях поверхонь зсувів, зміною форми і положення зони зсуву, явищами утворення і зриву наросту та ін..

До області вихідних параметрів процесу різання можна віднести підмножину технологічних параметрів, таких як продуктивність, надійність, економічність обробки в межах, які забезпечують необхідні характеристики якості оброблених поверхонь і точності виготовлення деталі. Крім цього, в якості самостійних контролюємих вихідних параметрів процесу різання розглядаються температура θ або термоЕРС різання E , сила різання P_z , амплітудно-частотні характеристики, розмірна стійкість інструменту, які утворюють підмножину фізичних вихідних параметрів.

Стан термодинамічної системи, якою в загальному випадку являється зона контакту інструменту з деталлю, що обробляється, може бути заданим за допомогою ряду параметрів: діючих дотичних τ_p і нормальних σ_p напружень, фактичної площі A_p контакту, температури θ і ін.. Стан, в якому параметри цієї системи відрізняються в різні моменти часу або в різних точках (координатах), називається нерівноважним. Для таких станів характерні градієнти макроскопічних параметрів $(\theta, \sigma, A_p$ та ін.). Всі реальні процеси в зоні являються нерівноважними, оскільки протікають зі швидкостями, більшими швидкості релаксації, і лише в визначених температурно-швидкісних умовах можуть наблизитися до рівноваги.

Традиційний запис енергетичного балансу процесу механічної обробки металів в інтегральній формі:

$$W_p = Q_p + AU \quad (1)$$

не враховує неперервний паралельно-послідовний перехід затраченої енергії різання W_p в теплову Q_p і інші види енергії ΔU_i . В зв'язку з цим він не може служити основою для розуміння (аналізу) загальних закономірностей динаміки реалізації даних процесів і можливих шляхів їх оптимізації для вирішення технічних задач. Теплові явища при різанні матеріалів являються наслідком фізичних закономірностей протікання процесів пружно-пластичного деформування, тертя і руйнування в зоні структуро- і формоутворення, які згідно з сучасним представленням мають нерівноважний динамічний характер енергетичних перетворень.

Такий незворотний динамічний процес, як різання, при змінних в часі умовах навантаження доцільно описувати, використовуючи принципи термодинаміки нерівноважних процесів за допомогою так званих дисипативних функцій $\frac{dV_i}{dt}$ енергії, яка затрачається на який-небудь процес (наприклад, текучість оброблюемого матеріалу і віднесеної до одиниці фактичної площі A_r контакту).

Більшість експериментальних робіт показують, що механічна зовнішня енергія ΔW_p , підведена до зони контакту різця з деталлю, затрачається на енергію деформації ΔW_d оброблюемого матеріалу в зонах стружкоутворення та тертя по передній і задній поверхнях інструменту, а також на зміну внутрішньої енергії ΔU_i контактуючих матеріалів.

Енергія деформації трансформується в теплову енергію Q , розсіюючись в стружку, деталь, різець і навколишнє середовище. Зміна внутрішньої енергії в зоні фрикційного контакту в основному складається із енергії диспергування і формозміни ΔU_F зношуваного інструменту, а також із енергії ΔU_c , накопиченої в поверхневому шарі оброблюемого матеріалу, енергії структурно-фазових перетворень ΔU_s і ін..

Використовуючи закономірності теорії різання, кінетичної теорії міцності і пластичності, механохімії та фізичної кінетики, можна конкретизувати основні складові рівняння балансу ДФ і записати рівняння загального енергетичного балансу:

$$\frac{1}{b(h_3 + c)} \left(l \frac{dP_z}{d_t} + P_z V \right) = \frac{n^1}{D} \cdot 10^5 \rho c \Delta \theta_M (1 - m) h_\theta \varepsilon^1 + N \left[\frac{3(1 + \mu) \sigma_{-\eta}^2}{4E} \right] \frac{dh_3}{d_t} \quad (2)$$

Рівняння (2) пов'язує поточне значення зносу h_3 і швидкість його зміни $\frac{dP_z}{d_t}$ з величиною і швидкістю зміни сили різання P_z , приростом $\Delta \theta$ температури, а також елементами режиму обробки, які являються керуючими параметрами.

Таким чином, з'являється принципова можливість керування інтенсивністю зношування інструменту шляхом цілеспрямованої зміни механічної і теплової складових рівняння енергетичного балансу, в тому числі – за рахунок вибору не тільки оптимальних сполучень V, S, t , але й швидкостей їх зміни.