

5. Остафьев В.А., Усачев П.А., Выслоух С.П. и др. Физические основы процесса резания металлов.– К.: Вища школа, 1976. – С.214.
6. Остафьев В.А., Усачев П.А., Выслоух С.П. Прочность и износостойкость режущего инструмента.– К.: Знание, 1978. – С.56.

Усачов П.А. Дослідження взаємозв'язків сил, які діють на робочих поверхнях різального інструмента У статті встановлено взаємозв'язок між складовими сил різання та питомими силами на робочих поверхнях різального інструмента.	Usachov P.A. Investigation of interconnections of forces, acting on working surfaces of cutting tools The article deals with the determination of the dependence between the components of cutting force and the specific forces on the working surfaces of cutting tools.
--	---

*Надійшло до редакції
23 червня 2005 року*

УДК 621.3:537

МОДЕЛЬ ЕНЕРГЕТИКИ ПРОЦЕСУ МЕТАЛООБРОБКИ

¹⁾Скицюк В.І., ¹⁾Клочко М.М., ²⁾Цірук В.Г., ¹⁾Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, ²⁾ВАТ Київський завод автоматики ім. Г.І.Петровського, м. Київ, Україна

В роботі йдеться про створення моделі енергетичних перетворень, що відбуваються у процесі механічної обробки металів, розглянутої на прикладі токарної обробки. Моделювання енергетики різання металів необхідне для подальшого прогнозування стану інструмента під час механообробки

Вступ

Незважаючи на досить потужний розвиток техніки контролю стану різального інструмента (РІ) [1, 2] залишається проблема контролю незамкненої технологічної системи ТОС. Подібна ситуація призводить до того, що навіть за найдосконаліших систем руху та контролю їх навантажень (в основному силових) не дає можливості спостереження за процесом обробки у повному обсязі. Тобто йдеться про те, що відбувається реєстрація кінцевого факту руйнування інструменту замість того, щоб його передбачити.

Тому задача цієї роботи полягає у тому, щоб створити теоретичні засади передбачення стану процесу металообробки, а саме: визначити критичні ситуації та можливість їх передбачення. Основний напрямок пропонованої роботи - це контроль стану РІ під час токарної обробки та прогнозування можливих надзвичайних ситуацій.

Загальна постановка задачі

Якщо розглянути сучасні системи та конструкції приладів контролю стану токарної обробки, то є можливість помітити у їх засадах важливі вади, а саме:

- Велика частина систем контролю базується на невизначеності параметру

«ненормативний режим», але не відповідає на питання, що саме призвело до зміни режиму [1].

- Ще не менша частина систем контролю базується на тому, що необхідно зареєструвати сам факт руйнації РІ. Тут виникає цілком слушне питання: руйнації інструменту як послідовний технологічний процес (а це є дійсно комплексний процес) є ланцюжок технологічних кроків, який призводить до руйнації обладнання, і чи не варто його розірвати саме у тому місці, яке б гарантувало передбачення наслідків.

- Однак подібна задача чомусь не ставилась у жодній науково-технічній роботі, оскільки всі роботи зосередилися на реєстрації самого факту руйнації. Елементарний логічний аналіз доводить, що орієнтуватися на факт руйнації інструменту є вкрай необережною тезою. Основним чинником подібного висновку є те, що, яка б не була чутлива система контролю стану інструменту, їй необхідно мати час, щоб визначитися з питанням: що це – різання (тобто нормальний процес) або процес руйнації? Наразі такої достеменної відповіді не може дати жодна система контролю у світі, навіть сама найдосконаліша, оскільки цей процес контролю вимагає відповідного часу. Тобто звідсіля виникає основна задача системи контролю: не фіксувати момент тієї чи іншої події у зоні обробки, а передбачити розвиток процесу та не допустити таких процесів, які б негативно впливали на стан процесу обробки і, головне, не допустити стану руйнації як РІ, так і обладнання.

Розглянемо задачу більш достеменно. Процес металообробки є специфічним способом руйнування (при токарній обробці) надлишкового матеріалу [2, 3] з метою отримання визначеної форми деталі.

Специфікою процесу є те, що кінетична енергія руху руйнування розкладається на низку енергетичних підвидів енергії. Основний енергетичний викид відбувається у зоні енергій деформації ТОС, теплових навантажень РІ та деталі. Ще частково енергетичні витрати відбуваються у інтервалі викиду стружки та електричних явищ [3].

З цих енергій найбільш контролюємі є:

- Кінетична – через віброакустичні процеси та електромагнітні посередні явища процесу [3];

- Потенційна – через навантаження ТОС та теплові випромінювання [4].

З цих двох типів енергій досліджувалися обидві у достатньому обсязі. Окрім того, було висунуто кілька гіпотез щодо контролю, але вони або йшли за хибним шляхом, або закінчилися, не знайшовши технічної реалізації.

Все це доводить, що краще використовувати інформативність кінетичної енергії ніж потенційної, хоча це супроводжується деякими зайвими апаратурними втратами. Тим не менш конструкційна простота відчутників кінетичної енергії набагато ефективніша за складнощі побудови та встановлення відчутників потенційної енергії (тензометричних).

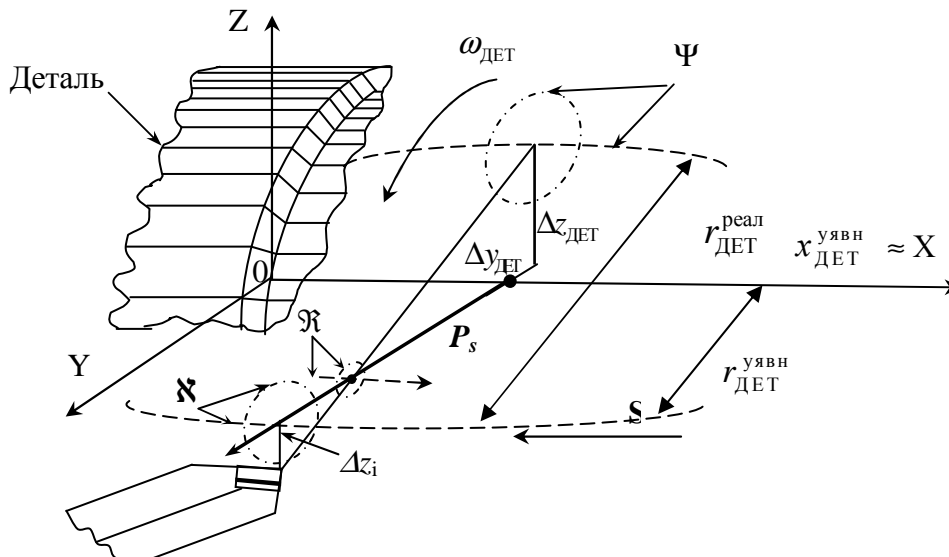
Звідсіля може бути сформована основна задача роботи – виявлення найбільш інформативного характеру мікрорухів РІ та деталі з метою контролю стану процесу металообробки на засадах формалізованих математичних методик.

Визначення найбільш інформативних проявів кінетичної енергії руху РІ

При токарній обробці матеріалу маємо досить специфічний рух інструменту вздовж деталі. В основі цього руху покладено гвинтову траєкторію навколо деталі. Оскільки цей процес є достатньо вивченим [3, 4], то зосередимось на тому елементарному русі формотворення, який відпрацьовує РІ, а саме - на одному замкненому циклі (оберті) (рис. 1).

Під час обробки навантаження на РІ викликають розходження між бажаною формою деталі та реальною. При цьому основним чинником цього явища є кінцева жорсткість деталі та ТОС. Під дією навантаження РІ лише намагається досягти координат $u_{ДЕТ}^{уявн}$ (яка у повному розумінні є лише уявною).

У реальному випадку навантаження спирається на співвідношення жорсткостей у ТОС та деталі, які визначають відстані від $l_{ДЕТ}$ та l_i (рис. 2). При цьому вісь деталі піднімається над площиною XOY (рис. 1, 2) на величину $\Delta z_{ДЕТ}$, а верхівка РІ опускається нижче цієї площини на величину Δz_i . Одночасно існує розходження по координаті Y як наслідок розтискання ТОС, яке має бути безпосередній вплив на точність виконання геометрії деталі ($Y_{ДЕТ}$, Y_i) (рис. 2).



Ψ – вісь деталі та її траєкторія руху у просторі; \mathcal{X} – вісь руху різального інструмента та траєкторія його руху; \mathcal{R} – уявна траєкторія руху вектору P_y у зоні мінімального перерізу; Δz_i - зсув усередненої траєкторії руху верхівки РІ; $r_{ДЕТ}^{уявн}$ – уявний радіус деталі; $x_{ДЕТ}^{уявн}$ - уявна вісь деталі, $r_{ДЕТ}^{реал}$ – реальний радіус деталі

Рисунок 1 – Модель елементарного руху РІ навколо деталі при токарній металообробці та відповідний рух траєкторії верхівки РІ

Під дією подачі S РІ та навантажень по осі X утворюється криволінійна траєкторія руху РІ, а також сама (дзеркально площинносиметрична) траєкторія руху осі деталі, тобто вектор P_y своїм рухом створює однопорожній гіперболоїд, який за своєю формою наближається до залежності наступного вигляду :

$$\frac{y^2}{\left(a - \frac{S}{\omega}\right)^2 \sin^2 \gamma} - \frac{x^2}{(b - r_{\text{ДЕТ}})^2 \sin^2 \alpha} + \frac{z^2}{(c - \Delta z_{\text{ДЕТ}})^2 \sin^2 \beta} = 1 \quad (1)$$

де a, b, c – параметри ідеального гіперboloїда, α, β, γ – кути проєкцій на відповідні осі місцевих координат $Z'O'Y'$ та $Z''O''Y''$ деталі та РІ.

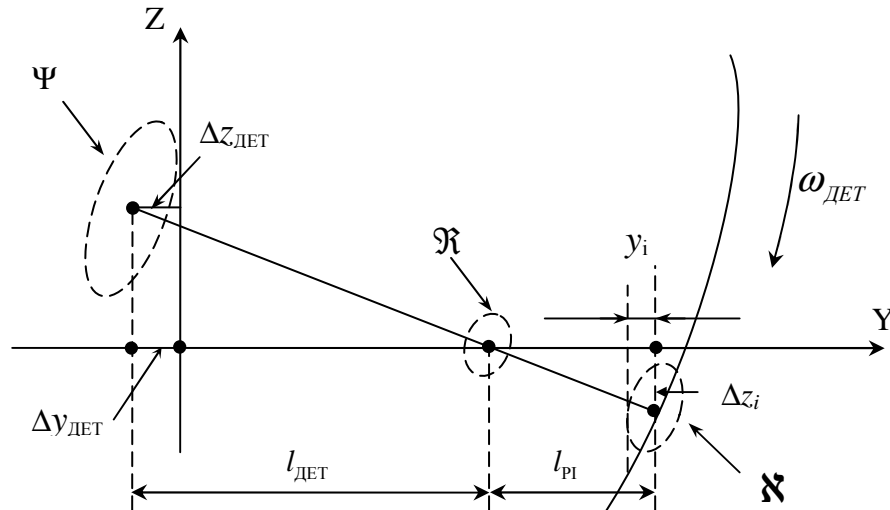
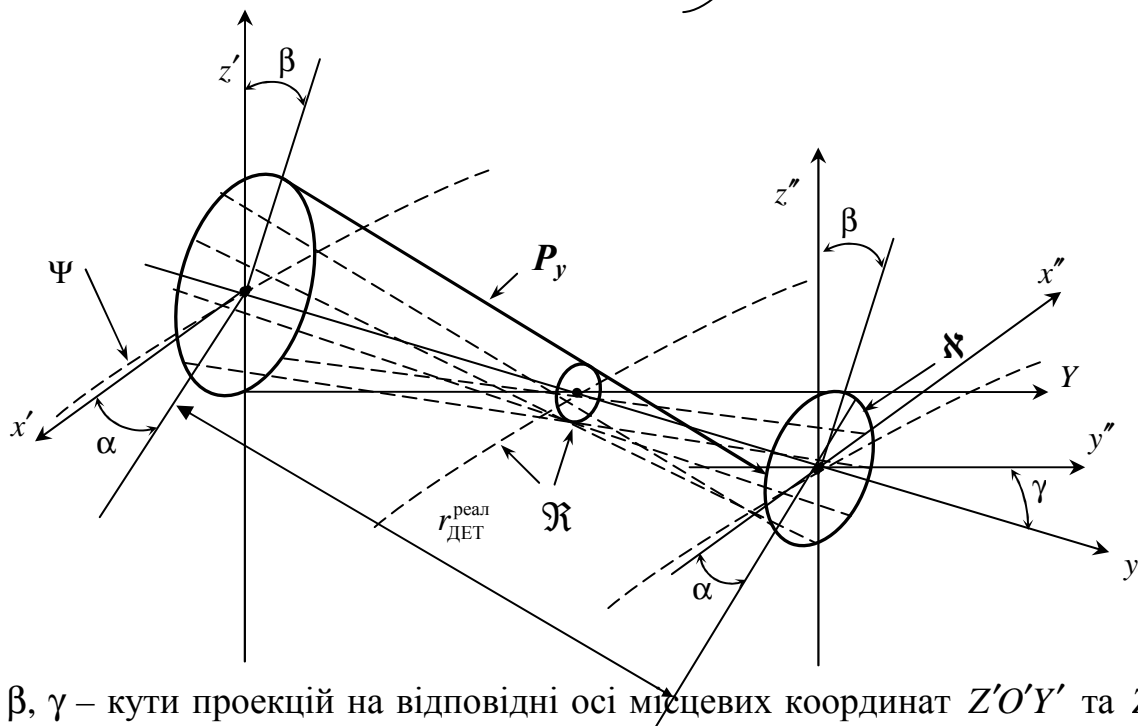


Рисунок 2 – Области руху осей ТОС при металообробці у площині ZOY



α, β, γ – кути проєкцій на відповідні осі місцевих координат $Z'O'Y'$ та $Z''O''Y''$ деталі та РІ

Рисунок 3 – Узагальнений просторовий рух вектору P_y у системі ТОС

Користуючись тим, що кути $\alpha, \beta, \gamma \in$ дуже малими, можна виразити:

$$\sin^2 \alpha = \frac{1}{1 + \alpha^2}; \quad \sin^2 \beta = \frac{1}{1 + \beta^2}; \quad \sin^2 \gamma = \frac{1}{1 + \gamma^2} \quad (2)$$

Підставляючи залежності (2) у (1) отримуємо:

$$\frac{y^2}{\left(a - \frac{S}{\omega}\right)^2 \frac{1}{1+\gamma^2}} - \frac{x^2}{(b - r_{\text{ДЕТ}})^2 \frac{1}{1+\alpha^2}} + \frac{z^2}{(c - \Delta z_{\text{ДЕТ}})^2 \frac{1}{1+\beta^2}} = 1 \quad (3)$$

Залежність (3), хоч і дає загальне уявлення процесу, тим не менш не може бути практично використане для подальшого розгляду, оскільки вона надає лише вигляд руху вектору P_y у просторі, але не дає можливості визначитися з його полюсом. Тому необхідна стабільна прив'язка вектора у просторі. Найпростішим виходом з цього є прив'язка вектора P_y до осі верстата X , як самого стабільного елементу системи ТОС (рис. 1). У такому випадку все можна буде звести до ротору вектора, еквівалентному P_y , тобто приймаємо вектор $P_y \approx P_s$. З цього найбільш цікавою є траєкторія вершини вектора, повний замкнений цикл якого буде відбуватися за час $\omega_{\text{ДЕТ}}$, який визначається невідповідністю обертових мас верстата, а саме:

$$F = \frac{G}{q} \omega_{\text{ДЕТ}}^2 \rho \sin \omega_{\text{ДЕТ}} t, \quad (4)$$

де G та q – відповідно вага обертових елементів системи та величина зсуву їх центрів ваги від осі обертання; $\omega_{\text{ДЕТ}}$ – кутова швидкість обертання деталі; t – час різання.

Тобто у спектрі такого руху повинна бути присутня частота $\omega_{\text{ДЕТ}}$. Для сучасної обробки ця частота може коливатися від 0,1 до 150 рад/с.

Одночасно з цим у перерізі деталі відтворюється форма, яка має опис у наступному виді :

$$r_{\text{ДЕТ}} = r_n + r_{\text{max}} \cos(k\omega_{\text{ДЕТ}} + \varphi), (k=2,3,4 \dots n) \quad (5)$$

де r_n – посередній радіус деталі, r_{max} – максимальна амплітуда радіусу деталі, k – номер гармоніки форми, φ – фазовий зсув.

Оскільки відчутник реагує на динамічні параметри (кінетична енергія), то його реакція буде заснована на похідній від виразу (5), тобто :

$$r_{\text{ДЕТ}}^{\text{уявн}} = -r_{\text{max}} \cdot k \sin(k\omega_{\text{ДЕТ}} + \varphi) \quad (6)$$

З виразу (6) чітко проглядаються гармоніки спектру, а саме: $2\omega_{\text{ДЕТ}}$, $3\omega_{\text{ДЕТ}}$, $4\omega_{\text{ДЕТ}}$..., $n\omega_{\text{ДЕТ}}$.

Підводячи підсумки до цього розгляду необхідно констатувати той факт, що рух вершини вектору P_y буде супроводжуватися гармонійним спектром з ряду $\omega_{\text{ДЕТ}}$, $2\omega_{\text{ДЕТ}}$, $3\omega_{\text{ДЕТ}}$.

Формальний опис кінетичної енергії у такій коливальній системі матимемо у наступному вигляді :

$$E = \frac{m}{2} A^2 \omega_{\text{ДЕТ}}^2 \sin^2(k\omega_{\text{ДЕТ}} + \varphi_{\text{ДЕТ}}) \text{ при } k = 1,2,3,4 \dots n \quad (7)$$

З виразу (7) видно, що кінетична енергія коливальної енергії прямо пропорційна квадрату амплітуди та частоти. Для верстатів металообробки маса рухомої частини m , причетність якої до вібрацій досить велика, і, як наслідок, особливо небезпечна частота резонансу обладнання, яка у кращому випадку

може становити 200÷300 Гц. Під час таких резонансних процесів відбуваються прискорені зноси робочих частин верстата та РІ. Саме під час подібних явищ необхідно вчасно зупиняти процес обробки, а ще краще запобігти подібній ситуації під час її розвитку.

Математичне моделювання умов руху верхівки РІ під час металообробки

Користуючись узагальненням P_y та P_s можна відобразити наступну векторну діаграму (рис.4), якою може бути пояснений розподіл динамічних навантажень на РІ. При цьому вважаємо, що вектор P_s своєю верхівкою зорієнтований на верхівку РІ, яка приймає безпосередню участь у формуванні поверхні деталі і траєкторія її руху відповідає залежності (3), тобто вектор не є статичним.

Одночасно з цим на РІ має вплив сила \bar{P}_z , що є спорідненою із силовим вектором P_s через навантаження на РІ в залежності від параметрів оброблюваного матеріалу на швидкості формотворення (4).

Навантаження по координаті Z_i для РІ є найбільше з усіх і тому є найбільш істотним за будь-якого способу контролю. Проте аналіз фізичних явищ при металообробці доводить, що необхідно зважити на те, що верхівка вектору P_s (верхівка РІ) разом з вектором P_d (високочастотних вібрацій), який є фактором формотворення більш високих порядків, при своєму русі не можуть вийти за межі трьохосових еліпсоїдів (рис. 5).

Відповідно об'єм обмеження для векторів P_s та P_d :

$$V_{\bar{P}_s} = f(x_s y_s z_s), V_{\bar{P}_d} = f(x_d y_d z_d). \quad (8)$$

Ці об'єми можуть мати опис через проекції на поверхні XOY , XOZ , YOZ .

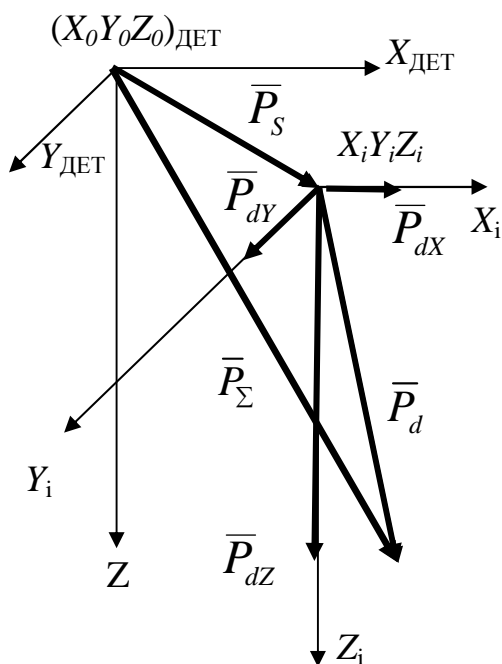


Рисунок 4 – Векторна діаграма навантажень на РІ

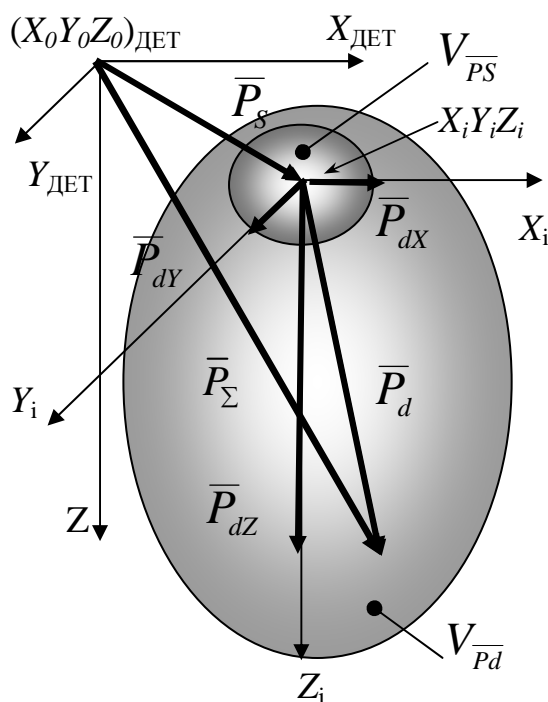


Рисунок 5 – Межові об'ємні зони руху верхівок векторів P_s та P_d :

При цьому проекція може бути описаною, як наприклад (площина XOY):

$$I_{XY} = \iint_S f(x, y, z) dx dy \quad (9)$$

Користуючись цим можна ввести поняття про проекції еквіпотенціальних поверхонь [4, 5]. Спробуємо довести це простим логічним дослідженням. Кінетична енергія має наступний узагальнений вигляд:

$$W_K = \frac{1}{2} m \left[\left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 \right] \quad (10)$$

При цьому загальний опис руху верхівки РІ у сферичній системі координат набуває вигляду [5]:

$$rotV = \left(\frac{1}{\rho \sin \theta} \frac{\partial V_\rho}{\partial \varphi} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho V_\varphi)}{\partial \rho} \right) e_\theta + \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho V_\theta)}{\partial \rho} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} \right) e_\varphi + \frac{1}{\rho \sin \theta} \left(\frac{\partial(\sin \theta V_\varphi)}{\partial \theta} - \frac{\partial V_\theta}{\partial \varphi} \right) e_\rho \quad (11)$$

Оскільки РІ за своєю конструкцією є коливальним елементом (консольна балка), тому й параметри його руху добре можуть бути розглянуті при ідеалізованих умовах. У цьому випадку повна енергія його як коливального елемента з малим декрементом загасання може бути описана як

$$W = \frac{1}{2} k A_0^2 e^{-2\beta t} \left\{ 1 + \frac{\beta}{\omega_0} \sin \left(2\omega t + 2\varphi_0 + \arctg \frac{\beta}{\omega} \right) \right\}. \quad (12)$$

Звідки швидкість зміни енергії: $\frac{dW}{dt} = r\dot{x}^2$,

де $A_0 = \frac{\beta x_0 + x_0}{\omega \sin \varphi_0}$ - вихідна амплітуда, k – пружність інструмента, $\beta = r/2m$ - коефіцієнт демпфіювання коливань, r - коефіцієнт в'язкого тертя, m – коливальна маса; ω - поточна частота, ω_0 – частота резонансу ($\omega_0^2 = k/m$).

Співвідношення енергій при коливальному процесі:

$$W_K = \frac{m}{4} A_0^2 \omega^2 [1 - \cos 2(\omega t + \varphi_0)] \quad (13a)$$

$$W_\Pi = \frac{k}{4} A_0^2 [1 + \cos 2(\omega t + \varphi_0)] \quad (13b)$$

З іншого боку отримано залежність [6], яка однозначно вказує на тривкість інструмента у процесі різання, а саме:

$$T = Q \cdot A^m e^{-nA} \quad (14)$$

де T – стійкість РІ, A – амплітуда автоколивань, Q, m, n - сталі величини, залежні від матеріалу деталі та РІ, а також від параметрів V, S, t .

Тобто з'являється можливість контролювати енергетичний стан інструмента за допомогою контролю амплітуди його коливань.

На жаль, залежність (14) не враховує впливу частоти коливань інструмента – ω , хоч і є досить вагома схожість з (12). Оскільки спостерігаємо сталий знос РІ та, як наслідок, зміну амплітуди частоти коливань, то їх необхідно враховувати у за-

гальному контексті енергетичних перетворень у зоні обробки. Тобто система контролю металообробки заснована на принципах контролю вібрації РІ на засадах (14), повинна реєструвати вхідну амплітуду вібрацій за ідеальних умов. Таке можливо лише у тому випадку, коли маємо не тільки стабільні V, S, t , але й стабільні параметри матеріалу деталі та абсолютно новий інструмент. Якщо параметри V, S, t , ще якимось чином зробити стабільними, то параметри деталі та РІ є вкрай невизначеними, навіть за сучасних технологій. Звідси маємо гарантовану непевність параметрів другої та третьої групи, а саме невизначеність фізичних параметрів міцності матеріалу РІ та деталі, а також їх геометрії.

Наразі є вже доведеним [2, 3, 6], що амплітуда коливань деталі та інструмента однозначно зв'язана лінійною залежністю $y = kx + b$, тобто:

$$A_0 = a(k_h t \pm h_0), \quad (15)$$

де a – коефіцієнт пропорційності; k_h – коефіцієнт, який характеризує кут нахилу залежності A_0 (тангенс), h_0 – початковий знос, який змінюється від нуля у позитивний бік, і приймає від'ємні значення при початку руйнації інструмента.

Якщо на початковій стадії приробки та нормальній обробці амплітуда повільно зростає за лінійною залежністю, то на стадії руйнації інструмента збільшення амплітуди може перевищувати нормальну величину у десятки разів. На відміну від амплітуди коливань частота коливань менше змінюється. Основним фактором такого явища є те, що у верстатах використовуються двигуни головних рушіїв з жорсткими тяговими характеристиками, тому що у супротивному випадку верстат не витримає технологічні умови обробки. Відмінність таких рушіїв полягає у тому, що при якомусь визначеному навантаженні крутний момент на валу різко падає, а чим ближче навантаження до критичного тим більше коливання обертів. Як наслідок, оберти деталі несталі і нестала кутова частота ω , аж до повного її зникнення (аварія). Тобто може бути застосована залежність

$$\omega = \eta(\omega_0 \mp k_\omega \cdot t_\omega), \quad (16)$$

де η – коефіцієнт пропорційності; ω_0 – колова частота холостого ходу обертання деталі; k_ω – коефіцієнт, який характеризує кут нахилу характеристики головного рушія під навантаженням.

Взагалі при нормальній обробці ω міняється дуже мало, тобто (1÷2%) ω_0 і її вплив маловагомий на загальну залежність. Але при значних навантаженнях зміна цієї величини може сягати (30÷50%) ω_0 і аж до повної зупинки рушія, що є значним фактором для реєстрації критичних ситуацій у зоні обробки.

У підсумку, користуючись залежностями (15) та (16), можемо створити кінцеву енергетичну залежність для контролю стану процесу обробки за амплітудою та частотою, а саме:

$$U = a^2 (k_h t \pm h_0)^2 \cdot \eta^2 (\omega_0 \mp k_\omega t)^2 [1 - \cos 2(\omega t + \varphi_0)] \quad (17)$$

де $U = 8 \frac{W_k}{r} \beta$ – приведений параметр енергетичного процесу.

Як видно, вираз (17) має два шляхи вирішення. Перший - для нормального навантаження (U_n) за верхніми знаками (17) і другий - за критичним ($U_{кр}$) за нижніми знаками. Тоді з'являється можливість за визначеними параметрами правої

частини виразу (17) визначати енергію коливань, але це не доцільно при технічній реалізації системи контролю з погляду швидкодії та апаратурних втрат.

Більш істотний результат система контролю буде мати у тому випадку, якщо просто задавати величину U у вигляді ряду дискретних значень, наприклад:

$$U = \frac{U_{\max}}{x^{2n}}, \text{ де } n = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (18)$$

У цьому випадку U_{\max} буде максимальний енергетичний параметр, який може витримати верстат при обробці. Оскільки нас цікавлять максимальні енергетичні навантаження на РІ, то приймаємо у залежності (17), що $\cos 2(\omega t + \varphi_0) = 0$. У цьому випадку рівняння (17) матиме два рішення, а з урахуванням (15) – три рішення відносно часу t .

Розглянемо три випадки стійкості РІ в залежності від стадії його плинного стану, тобто: приробка, нормальний знос різальної частини, критичний знос.

При цьому енергетична характеристика U також змінюється. Зі збільшенням розмірного зносу РІ зростає величина U , а ресурс стійкості РІ знижується.

Таким чином, орієнтовний час стійкості РІ на стадії приробки знаходимо при $h_0 = 0$, як:

$$t_{\Pi} = \frac{1}{2} \left[\frac{\omega_0}{k_{\omega}} + \sqrt{\left(\frac{\omega_0}{k_{\omega}} \right)^2 - \frac{2\sqrt{2U_{\Pi}}}{a\eta k_h k_{\omega}}} \right] \quad (19)$$

Якщо стійкість РІ відповідає нормальному зносу різальної частини, тобто, коли $h_0 > 0$; $\omega_0 > 0$; $k_h > 0$; $k_{\omega} < 0$, то :

$$t_{\Pi} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\omega_0}{k_{\omega}} - \frac{h_0}{k_h} \right) + \sqrt{\left(\frac{\omega_0}{k_{\omega}} + \frac{h_0}{k_h} \right)^2 - \frac{2\sqrt{2U_{\Pi}}}{a\eta k_h k_{\omega}}} \right] \quad (20)$$

Ситуація критичного зносу РІ, коли $h_0 < 0$; $\omega_0 > 0$; $k_h > 0$; $k_{\omega} > 0$ визначає стійкість як:

$$t_{\text{кр}} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{h_0}{k_h} - \frac{\omega_0}{k_{\omega}} \right) + \sqrt{\left(\frac{h_0}{k_h} + \frac{\omega_0}{k_{\omega}} \right)^2 - \frac{2\sqrt{2U_{\text{кр}}}}{a\eta k_h k_{\omega}}} \right] \quad (21)$$

При дослідженні різниці енергетичних навантажень залежність (17) надає можливість орієнтовно визначитись з періодом стійкості інструмента:

$$T = \sqrt{\frac{1}{2k_h k_{\omega} \cdot a \cdot \eta}} \left(\sqrt{U_{\text{кр}}} - \sqrt{U_{\Pi}} \right). \quad (22)$$

Висновки

Вирішення проблем контролю стану інструмента під час обробки доводить, що:

- Тривкість роботи інструмента залежить від його енергетичного навантаження і має яскраво визначену по АЧХ оптимальність вібрацій при різанні, що підтверджується виразами (19 - 21), незалежно виведеними від емпіричної залежності (14) [6];

- Існує можливість контролю критичного стану РІ за сигналом вібрації завдяки залежності (21);

- Існує можливість передбачення загальної стійкості інструмента;
- Введення енергетичного ранжування надає можливість спрощеного контролю та передбачення стану інструмента;
- Визначення поведінки функцій коефіцієнтів k_{ω} , k_h надає можливість ідентифікації процесів у зоні різання.

Перспективами подальших наукових досліджень є вирішення проблеми передбачення можливих надзвичайних ситуацій технологічного процесу в зоні обробки матеріалу, тобто ідентифікація зв'язку енергетичних функціональних залежностей з руйнаціями інструмента та можливими технологічними помилками у визначенні режимів обробки, невірно затиснутого інструмента, перевантажень через помилки програмування, руйнації обладнання тощо.

Література

1. Металлорежущие инструменты. Учебник для вузов по специальностям «Технология машиностроения» Г.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой и др. –М.: Машиностроение, 1989. –328 с.: ил.
2. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. –М.: Машиностроение, 1982. –320 с.
3. Армарего И.Дж.А., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. Пер. с англ. В.А. Пастунова. –М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.
4. Ю.Г. Кабалдин. Энергетические принципы управления процессами механообработки в автоматизированном производстве // Вестник машиностроения. –1993. –№1. –С. 37 – 42.
5. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – 13-е изд., исправленное. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с.
6. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. –Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. –184 с.: ил.

Скицюк В.И., Ключко М.М., Цирук В.Г. Модель энергетики процесса металлообработки Статья посвящена вопросам создания модели энергетических преобразований, которые возникают в процессе механообработки металлов, на примере токарной обработки. Моделирование энергетики резания металлов необходимо для дальнейшего прогнозирования состояния РИ во время резания	Skytsiouk V., Klotchko M., Zyruk V. The model of the metal working energetic In work state the creation of the energetic transformation model at the processing machining metal working, for example, turning working. Modelling of the cutting metal energy it is necessary for the further technologic forecasting of the cutting tool at the cutting
--	---

*Надійшла до редакції
20 липня 2005 року*

УДК 621.924

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА МЕХАНООБРАБОТКИ ПУТЁМ СТАБИЛИЗАЦИИ ДИНАМИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

*Гнатейко Н.В., Румбешта В.А., Никитчук Е.А., Национальный технический университет
Украины “Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина*

Статья содержит анализ динамических явлений при механообработке и методику их