

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ СТАНУ ТОКАРНОГО РІЗЦЯ ЗА ЧАСТОТНИМИ СПЕКТРАМИ

(Представлено к.т.н., доц. П.П. Мельничуком)

Представлено теоретичне обґрунтування залежності амплітуди автоколивань, що виникають при різанні, від величини спрацювання токарного різця. Пропонується виконувати оцінку стану різця за вузьким спектром коливань обробної системи (верстат - процес різання).

В умовах автоматизованого виробництва обробка металів різанням вимагає забезпечення не тільки максимальної продуктивності, але й дотримання стабільності параметрів точності та шорсткості оброблюваних поверхонь. Для цього, крім вибору оптимальних режимів різання, необхідно вчасно виконувати зміну спрацьованого інструменту. Звичайно, це забезпечується періодичною заміною інструмента, що відпрацював розрахований період часу. При цьому практично не враховувалася дійсна величина спрацювання, тобто в деяких випадках інструмент міг використовуватись і надалі без переточки; у інших – він ще до зміни вийшов за межі вимог, що до нього ставилися.

Іншим шляхом передбачалося прогнозувати величину спрацювання контролем самого процесу різання. Наприклад, сили різання чи крутного моменту [1], за ЕРС різання [11] чи електромагнітними явищами при різанні, за потужністю віброакустичного сигналу [5, 13]. Останній метод базується на оцінці загальної потужності сигналу широкого спектра (від 0 до 20 кГц або від 10 до 1000 кГц).

Розглянемо передумови прогнозування величини спрацювання токарного різця за вузькополосним спектром (спеціально вибраного діапазона частот).

За [3] різання може відбуватися в трьох режимах: спокійне, при відсутності коливань, спокійне, з невеликими коливаннями, що утворюють на обробленій поверхні допустиму хвилястість, з недозвільною вібрацією. Але границі цих режимів слід вважати умовними: різання ніколи не відбувається взагалі без вібрацій, різниця між допустимими та недопустимими вібраціями визначається в кожному випадку окремо (наприклад, на основі вимог до якості обробленої поверхні та (або) стійкості інструмента).

Так само умовною слід вважати границю усталеності, що відділяє область з повільно зростаючими коливаннями від області з стрімко зростаючою амплітудою коливань [14].

Класичне визначення (за Ляпуновим [4]) усталеності процесу різання – це усталеність при постійно діючих збуреннях: якщо A – найбільша амплітуда стабільних коливань, p – рівень постійно діючих збурень, то рух називається усталеним, якщо для будь-якого малого A^* завжди існує рівень збурень p^* і виконуються умови: якщо $p < p^*$ то $A < A^*$ (всі величини, що розглядаються додатні). Тобто це визначення не заперечує існування відхилень системи і автоколивань в межах встановленого діапазона (A^*).

Розглянемо, як впливає на причини виникнення автоколивань та усталеність обробної системи зміна спрацювання токарного різця.

Причин виникнення автоколивань, загальноновизнаних і підтверджених на практиці, декілька [13]. Але більшість з них залежать в першу чергу від параметрів пружної системи верстата. Так модель виникнення автоколивань за рахунок координатного зв'язку [10] базується на тому, що пружна система, яка має декілька ступенів волі в залежності від співвідношення жорсткостей по різним напрямкам, може втрачати усталеність при менших або більших впливах (з боку процесу різання, наприклад). Якщо не змінювати параметри пружної системи верстата ця характеристика практично незмінна.

Враховуючи неоднозначність оцінки впливу нелінійної залежності сили різання від швидкості різання на виникнення коливань різними авторами [2, 6, 13], а також складність визначення цього впливу загалом (не розглядаючи конкретні умови обробки), обмежимося оцінкою впливу спрацювання на динаміку процесу різання.

Якщо проаналізувати процес різання (при точінні), то його динамічні характеристики можна вважати стабільними для кожного окремого відрізка часу, хоча на протязі всього періода стійкості інструмента вони постійно змінюються перш за все в залежності від зміни геометричних параметрів різальної частини різця.

Визначимо розрахунковим способом, за методиками [7, 8], характеристику різання для умов, коли виконується чистове або напівчистове точіння конструкційної сталі твердосплавним різцем, зафіксувавши всі параметри, крім тих, що залежать від спрацювання різця.

При чистовому та напівчистовому різанні звичайно використовуються різці з твердосплавними пластинами, що мають додатні передні кути γ , які зменшують спрацювання по передній поверхні різця (крім інших якостей). Тому вважатимемо лімітуючим спрацювання задньої поверхні (як таке, що найбільше впливає на точність розмірів оброблюваної деталі), збільшення радіусу заокруглення різальної кромки та вершини різця.

Розглянемо виникнення автоколивань на основі інерційності процесу різання.

Відповідно до [6] характеристика різання має вигляд:

$$P = \frac{K_p}{1 + T_p \cdot p} (1 + T_{\alpha\gamma} \cdot p + T_{\alpha p}^2 \cdot p^2) \cdot y, \quad (1)$$

де $T_{\alpha\gamma} = T_\alpha - T_\gamma$; $T_{\alpha p} = \sqrt{T_\alpha \cdot T_p}$; постійна часу заднього кута $T_\alpha = \frac{h^2 \cdot H_\alpha}{2 \cdot V \cdot K}$;

постійна часу переднього кута $T_\gamma = \frac{a_0 \cdot K_\gamma}{V \cdot \xi_0}$; постійна часу стружкоутворення $T_p = \frac{m}{n} \cdot \frac{a_0 \cdot \xi_0}{V}$;

h – ширина фаски по задній поверхні різця, ξ – усадка стружки, V – швидкість різання.
Динамічна характеристика в частотній формі:

$$W_p = \frac{P_{a\alpha\gamma}}{y} = W_p W_{\alpha\gamma},$$

$$W_{p'} = \frac{K_p}{1 + T_p^2 \omega^2} - i \frac{K_p T_p \omega}{1 + T_p^2 \omega^2}, \quad (2)$$

$$W_{\alpha\gamma} = 1 - T_{\alpha p} \omega^2 - i T_{\alpha\gamma} \omega$$

Якщо вибрати параметри процесу різання (наприклад за [6]) то зміну динаміки процесу у першому наближенні можна побачити на рис.1.

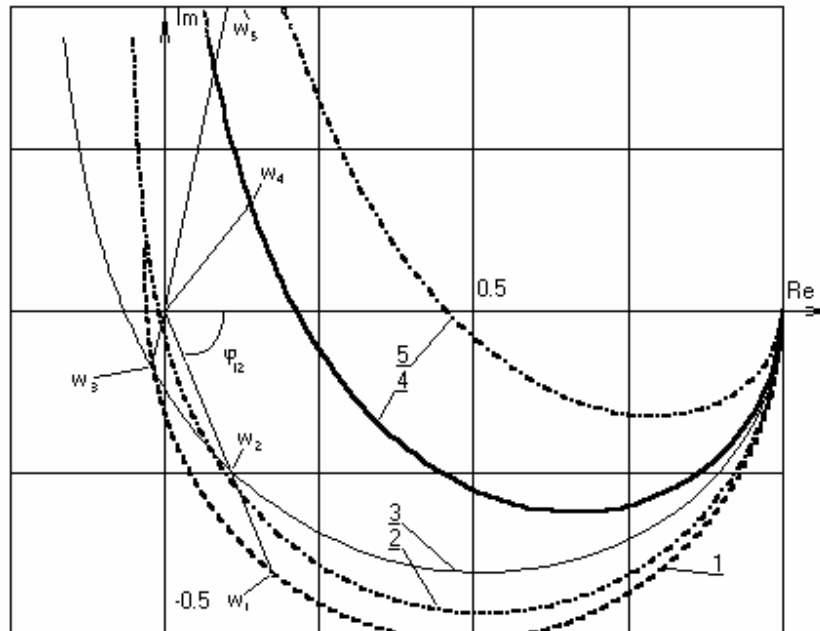


Рис. 1. Амплітудно фазо-частотна характеристика процесу чистового точіння; $a = 0.1$ мм, $V = 1.5$ м/с, оброблюваний матеріал – сталь 40. 1 – фаска спрацювання по задній поверхні різця $h = 0.1$ мм,

$$2 - h = 0,3 \text{ мм}, 3 - h = 0,5 \text{ мм}, 4 - h = 0,7 \text{ мм}, 5 - h = 1 \text{ мм}.$$

В залежності від величини фаски спрацювання, будуть змінюватися параметри: $T_a \sim h^2$ та T_y , якщо враховувати залежність зміни складових сили різання від зміни товщиною зріза при коливаннях. Тоді досить просто оцінити зміну фазового зсуву між коливаннями сили різання та товщини зрізуваного шару від величини фаски спрацювання h по задній поверхні та частоти (звичайно автоколивання відбуваються на власній частоті домінуючої системи [13]; для точіння домінуюча система – шпindel-деталь). Частота власних коливань шпindelного вузла для токарного верстата 16К20 (розрахована та експериментально підтверджена у роботі [9]) становить 212 Гц, відповідно цьому за рис 1 визначимо φ , величина якого пропорційна енергії підтримки коливань [4] (максимум якої відповідає значенню $\varphi = 90^\circ$, -90° , мінімум – $\varphi = 0^\circ$). Залежність $E_{\text{кол}}$ від φ відмічена вже давно і краще всього пояснюється графіками на рис. 2.

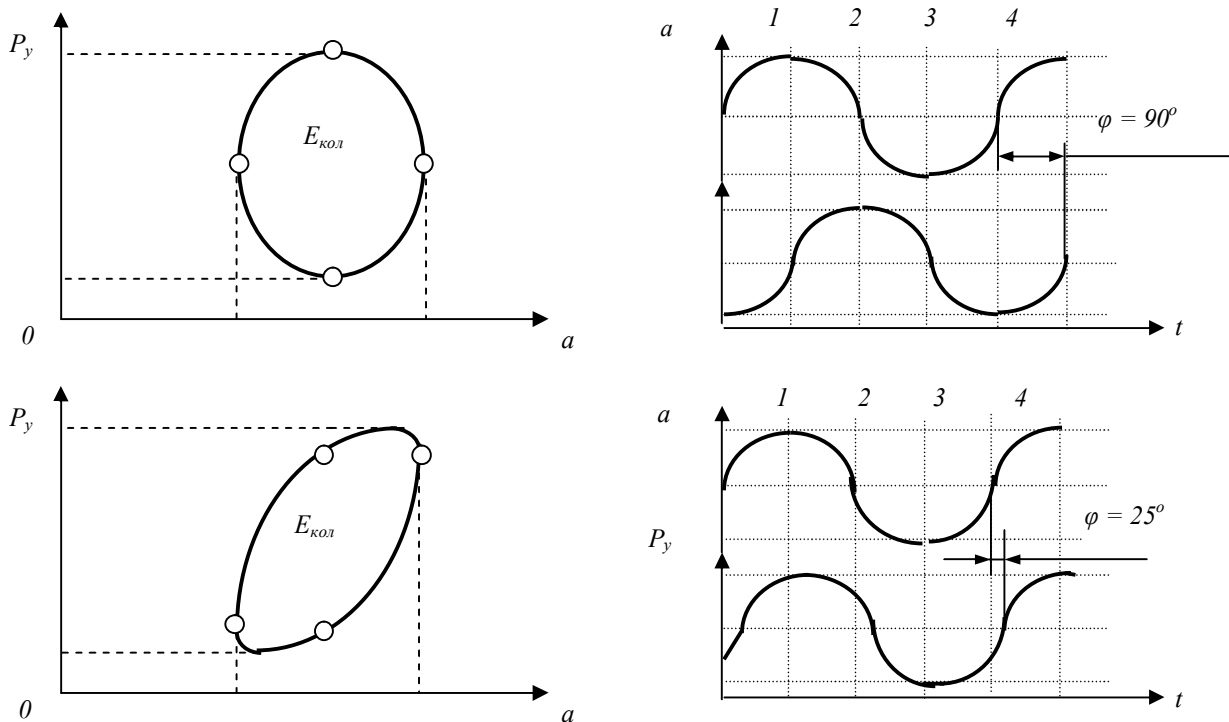


Рис. 2. Спрощена схема залежності енергії підтримки автоколивань від величини кута різниці фаз коливань товщини зрізуваного шару a і складової сили різання P_y .

Площа кривої, яку описує умовна точка на графіку залежності P від a , пропорційна енергії, що іде на підтримку коливань у системі (при синусоїдальних коливаннях P і a - це еліпс, у загальному випадку – плоска замкнута крива другого порядку). У [4] представлена залежність амплітуди автоколивань від величини φ ($E_{\text{колив}}$ пропорційна A^2), але при цьому не враховано подвійний вплив на амплітуду, як фазового кута так і динамічної жорсткості процесу різання (радіус-вектора від початку координат до точки на кривій АФЧХ процесу різання: див. рис.1), яка задає співвідношення змін a і P . Це і пояснює несиметричність кривої зміни амплітуди коливань при переході через точку з $\varphi = 90^\circ$.

З рис. 1 є можливість вивести залежність зміни двох характеристик процесу різання при зростанні фаски спрацювання по задній поверхні різця від 0 до 1 мм:

- різниця фаз коливань a і P змінюється від 65° до 110° ($h = 0,1 \dots 0,5$ мм), а потім починає різко зменшуватись, досягаючи -45° ($h = 0,7$ мм) і -80° ($h = 1$ мм).
- динамічна жорсткість процесу різання спочатку зростає (h від 0,1 мм до 0,5 мм - у три рази), а потім зменшується (h від 0,5 мм до 1 мм - у сім разів).

- $\varphi = 0$ при $h = 0,6$ мм, жорсткість найбільша при $h = 0,55$, що відповідає мінімуму енергії, яка надходить від процесу різання на підтримку автоколивань.

(Пояснення стосуються точок з частотою 212 Гц – частотою власних коливань домінуючої системи).

Таким чином, за АФЧХ процесу різання (рис. 1) пояснюється зменшення коливань (за експериментальними даними [4, 5, 6, 12] від деякого рівня (точіння гострим різцем), при збільшенні фаски спрацювання до $h = 0,3 \dots 0,5$ мм, і наступне значно швидше їх зростання (при $h > 0,5$ мм). Відповідно цьому при незначній зміні ($h = 0,1 \dots 0,4$ мм) фазового кута зменшення інтенсивності коливань досягається зростанням жорсткості різання.

Спираючись на це, є можливість виконувати прогнозування величини спрацювання токарного різця в залежності від рівня коливань на вузькому спектрі частот, що захоплює першу частоту власних коливань домінуючої системи (даної схеми різання).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Городецький М.С., Рыжова В.Д. Диагностирование состояния лезвийных инструментов с помощью устройства Monitor Model// Станки и инструмент. – 1990. – №7. С. 7-9.
2. Эльясберг М.Е. Расчет устойчивости процесса резания в зависимости от угла резца в плане// Станки и инструмент. – 1985. – №3. С. 22-26.
3. Эльясберг М.Е. О расчете устойчивости процесса резания с учетом предельного цикла системы // Станки и инструмент. – 1975. – №2. С. 20-27.
4. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом.– Л.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
5. Кокаровцев В.В. Методы контроля и управления процессом металлообработки на основе виброакустического сигнала: Дис. ... канд. техн. наук: – Киев, – 1994. – 192 с.
6. Кудинов В.А. Динамика станков. – М.: Машиностроение, 1967. – 359 с.
7. Кудинов В.А.. Автоколебания на низких и высоких частотах (устойчивость движений) при резании // Станки и инструмент. – 1997. – №2. С 16-22.
8. Кудинов В.А., Ключников А.В., Шустриков А. Д. Экспериментальное исследование нелинейности динамической характеристики процесса резания // Станки и инструмент. – 1978. – №11. С 11-18.
9. Степчин Я.А. Оцінка усталеності шпиндельного вузла верстата за часовими частотними характеристиками // Вісник ЖІТІ. – 2001. – Спец. випуск. – С. 274–279.
10. Орликов М.Л. Динамика станков.– К. Выща шк. – 1989. – 272 с.
11. Палей С.М. Контроль состояния режущего инструмента по ЭДС резания // Станки и инструмент. – 1996. – №10. С. 21-25.
12. Паршина Е.А. Исследование устойчивости технологических систем при лезвийной обработке: Дис. соискателя уч. степ. канд. техн. наук: – Киев, – 1994. – 192 с.
13. Подураев В.Н., Барзов А.А., Горенов В.А. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии. – М.: Машиностроение, 1988. – 56 с.
14. Шишов Г.Я. Исследование зависимости амплитуды и частоты автоколебаний от амплитуды и частоты вращения фрезы // Станки и инструмент. – 1985. – №7.– С. 15-16.

Теоретические основы оценки состояния токарного резца по частотным характеристикам /

П.П. Мельничук, Я.А. Степчин

Представлено теоретическое обоснование зависимости амплитуды автоколебаний, возникающих при резании, от величины износа токарного резца. Предлагается выполнять оценку состояния резца по узкому частотному спектру колебаний обрабатывающей системы (станок – процесс резания).

The theoretical ground evaluation tear of tokars tools by frequency spectrum / P.P. Melnychuk, Ya.A. Stepchin

The questions of theoretical ground dependence amplitude vibrations of the size tear tokars toojs. Proposes evaluations tear tool be narrow spectrum vibrations system lathe-cutting.

Степчин Ярослав Анатолійович – асистент кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- динаміка механічних систем;
- математичне моделювання.