

Технічні науки

УДК 621.924

Гнатейко Нонна Валентинівна

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Gnateiko Nonna

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of
Dynamics and Strength of Machines and Materials Resistance
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

ВТРАТА ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ МЕХАНООБРОБКИ LOSS OF DYNAMIC STABILITY OF MACHINING

Анотація. У статті розглядається важлива задача по підвищенню якості роботи сучасного механообробного обладнання з системами ЧПК при обробці деталей машин та приладів. Це можливо за рахунок застосування для цієї мети спеціальних, автоматичних систем технічної діагностики. Для якісної роботи таких систем необхідно розробити нову, ефективну методуку їх роботи, контролю та управління щодо забезпечення якості деталей.

У роботі проводиться математичне моделювання втрати динамічної стійкості процесу механообробки, пропонуються нові моделі оцінки якості процесу різання, представлено алгоритм управління якістю системою технічної діагностики токарної обробки деталей.

Ключові слова: механообробка, технічна діагностика.

Summary. The article discusses the important task of improving the quality of work of modern machining equipment with CNC systems in the processing of machine parts and devices. This is possible due to the use for this purpose of special, automatic systems of technical diagnostics. For the high-quality operation of such systems, it is necessary to develop a new, effective methodology for their operation, control and management of ensuring the quality of parts. In the work, mathematical modeling of the loss of dynamic resistance of the machining process is carried out, new models for assessing the quality of the cutting process are proposed, an algorithm for the quality management of the technical diagnostic system for turning parts is presented.

Key words: machining, technical diagnostics.

Вступ. Технологічне обробне обладнання завжди втрачає надійність якості роботи за рахунок впливу на нього неминучих виробничих похибок, які супроводжують процес обробки, а система керування не має необхідної інформації про стан процесу різання. Це часто веде до втрати якості обробки деталей, аварійному стану обладнання, що приводить до зупинки роботи.

Постановка задачі. Для усунення недоліку, вказаного в вступі статті і підвищення надійності проведення процесу механічної обробки (ПМО) необхідно встановлювати на станках контрольно-діагностичні системи автоматичного визначення технічного стану даного процесу.

Для того, щоб розробити таку систему технічної діагностики (СТД) якості ПМО, необхідно провести аналіз:

- 1) причин відмови процесу різання,
- 2) математичного моделювання втрати динамічної стійкості,
- 3) ознак наближення аварійного стану.

Результати роботи. Математичне моделювання втрати динамічної стійкості механообробки. Дослідженнями встановлено, що

між динамікою процесу різання металів та обуренням їм пружних коливань в технологічній системі існує тісний функціональний зв'язок, який визначається як енергетичним рівнем ПМО, його амплітудно-фазовими та частотними характеристиками (АФЧХ) динаміки різання – $W_{\text{ПМО}}$, так і АФЧХ динаміки коливань токарно-обробної системи (ТОС) – $W_{\text{ТОС}}$ у вигляді свого автоколивального процесу. Останній генерується і підтримується першим динамічним режимом и знаходиться з ним в тісному функціональному взаємозв'язку.

Така математична модель функціональної залежності цих двох динамічних режимів під час процесу різання представлена у вигляді систем рівнянь:

$$\begin{cases} T_P \frac{dP_Y(\tau)}{d\tau} + P_Y(\tau) = -K_P Y \\ M \frac{d^2 Y}{d\tau^2} + H \frac{dY}{d\tau} + CY = f_{TP} P_Y \end{cases} \quad (1)$$

Перше рівняння описує динаміку процесу різання:

$P_Y(\tau)$ – нормальна складова сили різання, яка має найбільший вплив на якість деталей и динаміку ТОС;

T_P – збудник динаміки процесу від періодичності сколів стружки с періодом часу T_P ;

K_P – коефіцієнт жорсткості, який визначається як $K_P = \frac{P_Y}{t}$, де t – глибина різання, яка змінюється під час різання і залежить від багатьох факторів;

Y – величина періодичного взаємного коливального зміщення деталі та інструмента по нормалі під час різання через динаміку ПМО і пружних властивостей ТОС.

Друге рівняння описує динаміку коливань ТОС під час обробки, як другого динамічного режиму, який включає:

M , H і C – масу ТОС, її пружно-дисипативні властивості гасіння коливань, величину жорсткості багатоелементної пружної системи

верстату, зміщення якої проявляється по нормалі до поверхні обробки– Y ;

f_{TP} – величина фрикційного, релаксаційного тертя інструменту по деталі.

Аналіз даної системи і всіх інших, попереднє отриманих аналогічних залежностей в інших роботах, показує, що вони описують динаміку механообробки, як нормального динамічного стійкого процесу зі своїми похибками.

Але практика показує, що такий процес не може продовжуватись нескінченно в нормальних режимах і завжди настає момент, коли він губить свою динамічну стійкість і задану якість обробки. Таке моделювання, яке повністю відображало процес відмови ПМО в технічній літературі описано недостатньо повно. Тому ставиться задача по моделюванню втрати якості ПМО и динамічної стійкості ТОС, що стало би основою для створення системи автоматичної діагностики якості механообробки.

Дослідження динаміки різання металів показали, що головною причиною її генерації є змінна за кутом повороту деталі глибини різання Δt , яка виникає від зміщення заготовки деталі при її встановленні в патрон верстата і від похибок форми заготовки.

Тоді, відповідно до загального рівняння розрахунку величини сили різання, періодичний приріст Δt визиває прирощення динаміки сили різання P_{Dt} від t :

$$P_{Dt} = C_p S^{0.75} HB^{0.8} V^{-0.3} (\Delta t) \quad (2)$$

При напівчистовій обробці деталей точінням величина Δt може досягати 30% від t , що на стільки ж збільшує силу різання $P_Y(t)$, роблячи її змінною. Оскільки відбувається рівномірне обертання деталі, то отримуємо гармонічну зміну сили різання:

$$P_P(\tau) = P_0 + P_D \sin \omega_D \tau \quad (3)$$

де P_0 – статичне, розрахункове значення сили різання, яке визначає загальний енергетичний рівень різання; ω_d – кутова частота зміни динамічної складової P_{dt} .

Відомо, що також існують інші причини, які визивають динаміку ПМО, але мають менші енергетичні рівні. До них можна віднести такі змінні характеристики різання, як: змінна величина міцності поверхні оброблюваної заготовки деталі від отриманого раніше наклепу на попередніх операціях, величиною ΔH_B ; від періодичного сколювання стружки з різним періодом часу ΔT_p ; від періодичності процесу тертя інструменту по деталі в вигляді високочастотного, фрикційного, релаксаційного процесу $\Delta \phi_{TP}$ і т.д.

Тоді загальну сумарну, змінну за часом силу різання $P_{P\Sigma}(\tau)$ з врахуванням всіх збудників динаміки можна представити в вигляді:

$$P_{P\Sigma}(\tau) = P_0 + P_{dt}(\tau) \sin \omega_d \tau + \sum_{i=1}^n P_{di} \cos(\omega_i \tau + \psi_i) + P_{dhl}(\tau) \quad (4)$$

де P_{di} – величини динамічних сил збудження різання від всіх інших причин з різною енергією збудження ПМО, зі своїми частотами ω_i ; ψ_i – їх фазові здвиги відносно основної гармоніки від Δt ; $P_{dhl}(\tau)$ – змінна прогресуюча динамічна складова сили різання від поступового зношення різального інструменту за часом обробки партії деталей.

По мірі зносу інструменту процес чистого зрізання припуску з деталі погіршується, наростають великі пластичні здвиги і пружні деформації деталі, що визивають помітне збільшення $P_{P\Sigma}(\tau)$. Це, в свою чергу, збільшує тертя інструменту по деталі ($f_{TP2} + \Delta f_{TP2}(\tau)$), що, природно, збільшує зношення інструменту за часом обробки ($h_{II} + \Delta h_{II}(\tau)$). Таким чином утворюється замкнутий контур поступового збільшення вище вказаних параметрів процесу різання, що с часом приводить до їх критичних значень та втрати динамічної стійкості ТОС, втрати якості

механообробки та відмови ПМО (рис. 1).



Рис. 1. Схема втрати якості та відмови ПМО

Очевидно, що збільшення динаміки ПМО, позначеної в виді ($W_{ПМО}(\tau) \uparrow$), по мірі обробки партії деталей буде збільшувати динамічні процеси в ТОС ($W_{ТОС}(\tau) \uparrow$). Ці два динамічні режими, де перший – збуджуючий, в другий – відпрацьовуючий, будуть рости адекватно, що приведе до критичного значення $W_{ТОС}(\tau)$ і втрати динамічної стійкості обробляючої системи та втрати якості процесу механообробки. Це наглядно показано на графіку втрати якості ПМО (рис. 2).

На рис. 2 показано: W_0 – початковий рівень динаміки ТОС на початку обробки; $\Delta W_i(\tau)$ – наростаюча динаміка ТОС по ходу процесу механообробки партії деталей; α_1 – кут нахилу росту динаміки за часом ще придатного процесу ПМО; α_2 – кут нахилу росту динаміки в критичній точці часу $\tau_{КР}$; $\Delta W_{доп}$ – допустимий рівень розвитку динаміки в ТОС, коли виникає відмова механообробки від втрати стійкості ПМО.

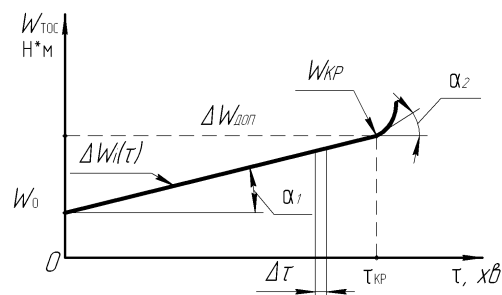


Рис. 2. Графік втрати якості ПМО

Аналіз можливого розвитку параметру $\Delta W_i(\tau)$ – динаміки ТОС за часом протікання τ процесу механообробки можливо математично промоделювати в вигляді динамічного руху точки по площині, яке описує

наступне рівняння:

$$W_i(\tau) = W_0 + \Delta W_i(\tau) + \frac{dW_i(\tau)}{d\tau} \Delta\tau + \frac{d^2W_i(\tau)}{d\tau^2} \Delta(\tau)^2 \quad (5)$$

де $\Delta\tau$ – часовий крок моніторингу реєстрації значень динаміки ТОС при вимірюванні в вигляді $\Delta W_i(\tau)$;

W_0 – початковий рівень динаміки на початку механообробки;

$\frac{dW_i(\tau)}{d\tau} \Delta\tau$ – швидкість наростання динаміки ТОС за період часу $\Delta\tau$;

$\frac{d^2W_i(\tau)}{d\tau^2} \Delta(\tau)^2$ – зміна швидкості наростання динаміки, як симптом наближення до втрати стійкості ТОС.

Дві останні складові рівняння можуть служити показниками якості механообробки, надійності її протікання і появи признаку відмови.

За нормального розвитку динаміки механообробки в ТОС повинно виконуватися умова:

$$\left| \frac{dW_i(\tau)}{d\tau} \Delta\tau \cong const; \frac{dW_i^2(\tau)}{d\tau^2} \Delta\tau^2 = 0 \right| \quad (6)$$

Умова втрати динамічної стійкості механообробки і системи ТОС та, відповідно, втрати якості і надійності роботи ТОС відображує умова:

$$\left| \frac{dW_i(\tau)}{d\tau} \Delta\tau \neq const; \frac{dW_i^2(\tau)}{d\tau^2} \Delta\tau^2 > 0 \right| \quad (7)$$

На базі вищевказаного розроблений алгоритм функціонального діагностування моніторингом (рис. 3), який визначає принцип роботи СТД. Через моніторинг $\Delta\tau$ визначається рівень швидкості зростання динаміка ТОС (перша похідна) у вигляді $\Delta W_i = W_i - W_{i-1}$. Потім визначається зміна швидкості наростання динаміки ТОС (друга похідна), як $\Delta_i = \Delta W_i - \Delta W_{i-1}$, що вказує на якість ПМО, або на втрату ТОС динамічної стійкості.

Висновки. На основі вищевказаного можна зробити висновки, що якість виготовлення деталей визначається якістю ПМО, що залежить від динамічної стійкості ТОС. За рівнем динамічних явищ механічної

оброблювальної системи можливо діагностувати якість виготовлення деталей. Для цього розроблена методика побудови СТД процесу механообробки деталей точінням і програмне забезпечення таким процесом.

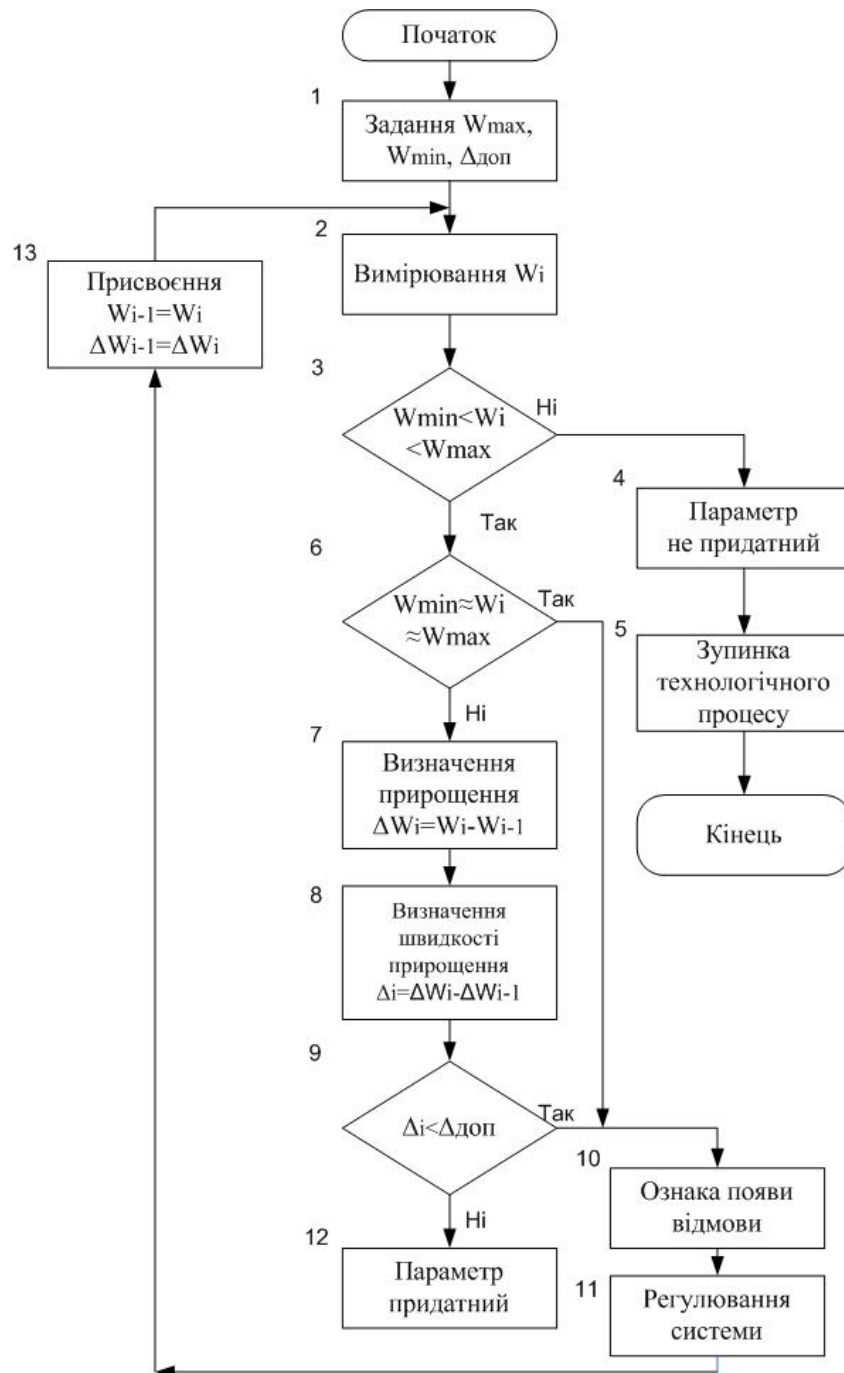


Рис. 3. Алгоритм технічної діагностики

Література

1. Румбешта В.О., Гнатейко Н.В. Вплив розмірного зносу ріжучого інструменту на динамічну стійкість обробляючого верстату. *Наукові вісті Житомирського інженерно-технічного інституту*. 2008. № 33. С. 57-61.
2. Румбешта В.А., Слипченко В.П. Диагностика потери надежности технологического процесса точением. *Вісник НТУУ «КПІ», серія «Приладобудування»*. 2008. № 35. С. 104-112.
3. Симута Н.А., Румбешта В.А., Подвысоцкая В.С. Диагностика технического состояния режущего инструмента при механообработке. *Вісник НТУУ «КПІ», серія «Приладобудування»*. 2010. С. 103-109.
4. Румбешта В.А., Гнатейко Н.В., Штефан Н.И. Вибродинамика технологической системы при механообработке и ее влияние на качество деталей при точении. *Вісник "Машинобудування"*. 2015. № 71. С. 71-78.
5. Гнатейко Н.В. Аналіз впливу динаміки токарної обробки системи на якість обробки деталі при точенні. *Молодий вчений*. 2018. № 1(53). С. 561-565.
6. Гнатейко Н.В., Штефан Н.И. Методика керування динамікою обробною механічною системою. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2018. Т. 1, № 3(43). С. 38-41.
7. Гнатейко Н.В. Підвищення якості процесу точіння за рахунок контролю динамічного стану верстату». *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2019. № 9. С. 30-36.
8. Гнатейко Н.В., Штефан Н.Ш Джерела динамічного збудження ТОСіта їх вплив на якість обробки деталі при точінні. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2019. № 2(64). С. 79-84.