Технічні науки

УДК 621.924

Гнатейко Нонна Валентинівна
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри теоретичної механіки
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Гнатейко Нонна Валентиновна
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры теоретической механики
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
Gnateiko Nonna
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Department of Theoretical Mechanics
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Штефан Наталія Іллівна
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри теоретичної механіки
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Штефан Наталья Ильинична
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры теоретической механики
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Shtefan Natalia
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Department of Theoretical Mechanics
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

МЕТОДИКА КЕРУВАННЯ ДИНАМІКОЮ ОБРОБНОЇ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ
МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИКОЙ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
MANAGEMENT METHODOLOGY BY DYNAMICS OF PROCESSING MECHANICAL SYSTEM

Анотація. *В статті розглядається один з засобів подавлення шкідливого впливу динамічних вібраційних процесів в обробній системі при механообробці. В статті наводиться ефективний метод стабілізації динамічних режимів при роботі верстатів за рахунок цілеспрямованого керування режимами різання.*

Ключові слова: *механообробка, верстати, динамічні режими.*

Аннотация. *В статье рассматривается один из способов подавления вредного влияния динамических вибрационных процессов в обрабатывающей системе при механообработке. В статье приводится эффективный метод стабилизации динамических режимов при работе станка за счет целенаправленного управления режимами резания.*

Ключевые слова: *механообработка, станки, динамические ражимы.*

Summary. *In the article one of methods of suppression of harmful influence of dynamic oscillation processes is examined in the processing system at tooling . To the article the effective method of stabilizing of the dynamic*

modes is driven during work of machine-tool due to a purposeful management by the cutting modes.

Key words: *machining, machine tools, dynamic modes.*

Одним з шляхів підвищення якості виробів при механообробці є розробка методів і засобів подавлення шкідливого впливу динамічних вібраційних процесів в обробній системі на даний технологічний процес. В статті розглядається один з таких ефективних методів стабілізації динамічних режимів при роботі верстатів за рахунок цілеспрямованого керування режимами різання.

Відомо, що будь-який процес механічної обробки (ПМО) завжди супроводжується динамічними коливальними явищами різної природи і інтенсивності [3;4], причиною виникнення яких є перемінна за величиною сила різання, котра квазиперіодично змінює своє значення внаслідок перемінних за величиною і часом характеристик різання, що визначають цю силу.

Такий первинний динамічний фронт процесу різання через взаємне зміцнення деталі і інструмента, закріплених на різних частинах верстата, розхитує складну багатомасову пружно-дисипативну систему верстата (ПДСВ), збуджуючи в ній вторинний динамічний фронт пружних коливань елементів верстата, відомих, як автоколивальний процес ПДСВ. Він, з одного боку, енергетично визначається інтенсивністю першого динамічного фронту, а з іншого - є залежним від динамічних характеристик системи верстата, таких, як її маса ***m***, жорсткість **c** і дисипативно-демпфірувальні властивості ***h***.

Встановлено, що між динамікою процесу різання і збудженими нею пружними автоколиваннями в системі верстата існує функціональний взаємозв'язок, який визначається як енергетичним рівнем ПМО, так і частотно-фазовими характеристиками динаміки різання і

автоколивального процесу. При цьому також встановлено, що певні співвідношення даних двох частотнофазових динамічних процесів можуть або значно збільшувати енергію коливального процесу ТОС, що свідчить про виникнення передрезонансних і резонансних явищ в системі, або помітно знижувати рівень коливань всієї системи внаслідок їх взаємного погашення і активізації дисипативних процесів в ній.

Тому в координатах динамічного стану металорізального верстата відображається багато функціональних показників стабільності самого процесу різання, якісної геометрії поверхні деталі, що обробляється, і надійності даної операції. Таким чином, постійне вимірювання, аналіз динаміки ТОС і певне цілеспрямоване змінювання частотно-фазових характеристик процесу різання відносно аналогічних характеристик пружних коливань елементів верстата у вигляді автоколивань дають можливість значною мірою стабілізувати динамічні процеси її обробної системі і тим самим поліпшити якісні показники обробки.

Одною з основних причин формування динаміки різання і всієї її динаміки обробної системи є змінна по величині квазіперіодична по характеру динамічна складова сили різання $\Delta \boldsymbol{P_{\partial}}$, яка виникає за рахунок змінних за часом і різною періодичністю змінювання характеристик процесу різання, що її визначають.

Встановлено, що найбільш впливає на $\Delta \boldsymbol{P_{\partial}}$ варіація глибини різання $\Delta \boldsymbol{t}$ за поворотом деталі, з частотою обертання $\boldsymbol{\omega_{\partial em}}$, що дає можливість визначити нормальну складову сили різання у вигляді (1)

$$\boldsymbol{P_y(\tau) = P_o + \Delta P_{\partial t} sin\omega_{\partial}\tau + \sum^{n} C_{pi}\cos(\omega_{\partial em}\tau + \varphi_i)}$$

- де третій доданок враховує вплив інших причин на формування загального вектора нелінійної змінної сили різання $\boldsymbol{P_y(\tau)}$;

– C_{pi}- силові коефіцієнти перемінних складових сил різання в міру

їх убування за величиною;

– $\omega_{\partial em}$- фаза основної періодичності змінювання $\Delta P_{\partial t}$;

- φ_i- фазові зрушення векторів додаткових перемінних сил різання по осі **Y**, які формують весь високочастотний спектр коливань обробної системи.

Під впливом $\Delta P_{\partial t}$ при обертанні деталі створюються додаткові до статичного прогину цієї деталі, її динамічні зміщення ΔY_{∂}, що аналітично з урахуванням загальновідомого рівняння щодо визначення сили різання було описано (2)

$$\Delta Y_{\partial} = \frac{C_{py} t S^{\beta} H B^{n} V^{m} l_{\partial}^{3}}{AEJ} \left(\frac{\Delta t}{t}\right)$$

- де l_{∂} - довжина деталі;

- EJ- її питома жорсткість;

– A - коефіцієнт розрахунку схеми закріплення деталі на верстаті (консольно, в центрах або з підпоркою заднім центром іт.п.)

Як зазначено вище, динаміка процесу різання збуджує в пружній системі верстата вторинний динамічний режим у вигляді автоколивального процесу, функціонально залежний під першого. В той же час пружні коливання елементів верстата, змінюючи глибину різання, впливають на динаміку ПМО. Тому прийнято розглядати динаміку пружної системи верстата у сукупності з динамікою різання.

Загально прийнято описувати таку взаємодію двох динамічних режимів у вигляді математичної моделі, як систему з двох рівнянь (3):

$$\begin{cases} T_p P_y(\tau) + P_y(\tau) = -K_p Y \\ m\dfrac{d^2Y}{d\tau^2} + h\dfrac{dY}{d\tau} + CY = f_{mp} P_y(\tau) \end{cases}$$

Верхнє рівняння описує динаміку різання, нижнє-динаміку верстата.

Динамічна передавальна функція автоколивань верстату в операторній формі за Лапласом, як динамічний оператор $\boldsymbol{W_{ПСВ}(D)}$ - пружної системи верстата, визначена таким чином (4):

$$\boldsymbol{W_{ПСВ}(D) = \frac{dP_y(\tau)}{dY(\tau)} = \frac{\frac{1}{c}}{\frac{m}{c}D^2 + \frac{h}{c}D + 1}}$$

Динамічний оператор процесу різання з урахуванням зносу інструмента $\boldsymbol{h_y}$, у тій же формі буде виглядати, як (5):

$$\boldsymbol{W_p(D) = \frac{dP_y(\tau)}{d[t; T_p; h_p](\tau)} = \frac{K_p}{T_pD + 1} + h_p(D),}$$

де $\boldsymbol{D = d/d\tau}$- диференціювальний оператор часу.

Аналіз отриманих математичних залежностей показує, що оброблювальна система ТОС і процес різання у сукупності утворюють складну багатофункціональну перетворюючу систему з перемінними за часом її роботи вхідними параметрами процесу механообробки, де протидіють два динамічних фронти у вигляді загального вектору динамічних сил різання $\boldsymbol{\vec{P}_{YД}(\tau)}$ по осі **Y** і загального вектору сил пружних коливань динаміки верстата $\boldsymbol{\vec{F}_{Д\Sigma}(\tau)}$**.** Це можливо зобразити як (6):

$$\boldsymbol{\left|\vec{P}_{YД}(\tau)\right| \leftrightarrow \left|\vec{F}_{Д\Sigma}(\tau)\right|}$$

При цьому частотно-фазові характеристики процесу різання можливо змінювати відносно аналогічних характеристик пружних коливань, що дає можливість досягти їх протидії і динамічного заглушення.

З метою перевірки отриманих аналітичних висновків на обладнанні кафедри виробництва приладів проведені експерименти з дослідження динаміки різання та її впливу на динаміку ТОС. Експериментальні дослідження нелінійно-гістерезисної природи сили різання показали, що причиною цього є фазове зрушення між головним сумарним вектором

періодичної сили різання і вектором пружних коливань ТОС. Це є також причиною збудження автоколивань в даній системі. Причому встановлено, що при зміні швидкості різання і подачі змінюється періодичність зміни сили різання і фазове зрушення між цією силою і вектором пружних коливань верстата. Тим самим можна досягти їх протидії і певного згасання або відходу від резонансних процесів.

Це дозволяє управляти динамікою ТОС, при точінні в границях до значення показника $(S_0 V) < 0{,}3 \cdot 10^{-3} м^2/с$.

На основі одержаних результатів була розроблена віброакустична система контролю і керування динамікою ТОС при точінні на токарному верстаті з ЧПУ марки АТПК-125 з використанням його СЧПУ. При цьому використовувався розроблений метод управління динамікою ПМО і ТОС шляхом цілеспрямованого змінювання швидкості різання, і отже, фазового зрушення нормальної складової сили різання $\boldsymbol{P_y}$. Спрощений алгоритм такого методу керування схематично можна представити у вигляді:

$$\left|\vec{V} \pm \Delta\vec{V}\right| \rightarrow \left|\vec{P}_{y\partial}(\tau)\right| \rightarrow \left|\vec{\Psi}_p(\tau)\right| \rightarrow \left|\vec{F}_{\partial\Sigma}(\tau)\right| \rightarrow \left|\vec{Y}(\tau)\right| \rightarrow |\Delta\vec{r}(\tau)|,$$

- де $\vec{\Psi}_p$- фазове зрушення вектора;

$\overrightarrow{-P}_{y\text{д}}(\tau)$ відносно сумарного вектора сил пружних коливань елементів верстата

- $\vec{F}_{\text{д}\Sigma}(\tau)$; $\Delta\vec{r}(\tau)$– динамічна похибка обробки деталі.

На основі розробленої методики [2] була створена система автоматичного контролю і керування динамікою ТОС і якістю ПМО у вигляді віброакустичної пошукової САУ, яка шляхом постійного моніторингу динаміки верстата при точінні стабілізує динамічні процеси в обробній системі. Проведені робочі випробування даної системи на кафедрі і на заводі показали, що динамічна стійкість ТОС при цьому значно збільшується, а точність обробки деталей поліпшується у 2-3 рази.

Література

1. Кудінов В.А. Динаміка станків. – М.: Машинобудування, 1967.-360 с.
2. Гнатейко Н.В., Румбешта В.О. Методика керування динамікою оброблювальної механічної системи. / Наукові вісті НТУУ «КПІ», №6, 2002. - с. 55-58.
3. Гнатейко Н.В., Румбешта В.О. Підвищення якості процесу точіння за рахунок стабілізації оброблювальної системи / Вісті академії інженерних наук України, №3, - К.: НТУУ «КПІ», 2002. - с. 35-37.
4. Гнатейко Н.В., Румбешта В.О., Никитчук Е.А. Підвищення якості процесу механообробки шляхом стабілізації динаміки ТОС / Вісник НТУУ«КПИ», серія «Приладобудування» №31, НТУУ«КПИ», - 2006. - с. 112-120.
5. Румбешта В.О., Гнатейко Н.В. Вплив розмірного зносу ріжучого інструменту на динамічну стійкість обробляючого верстату./ Наукові вісті Житомирського інженерно-технічного інституту, № 33, ЖІТІ, 2008. – с. 57-61.