

# ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 621.924

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДИНАМІКИ ТОКАРНОЇ ОБРОБНОЇ СИСТЕМИ НА ЯКІСТЬ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ПРИ ТОЧЕННІ

Гнатейко Н.В.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

У статті наводяться результати аналізу вібродинамічних режимів при точінні металу. Наводяться їх моделювання та ступені впливу на якісні характеристики механообробки. Наданий аналіз збудників динамічної нестабільності ТОС. Досліджується група динамічних похибок при точінні. Наданий аналіз отриманих результатів по дослідженню динаміки процесу механообробки точінням.

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

**Постановка проблеми.** 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.

**Аналіз останніх досліджень.** На підставі проведеного багатьма дослідниками аналізу причин виникнення динамічних режимів у всіх елементах обробної системи було встановлено, що такими збудниками динаміки є три групи причин.

Першим і головним збудником динаміки ТОС є процес різання з його змінною по величині силою різання, де основними причинами її зміни є ряд параметрів різання, періодично змінюючих своє значення. До них можна віднести періодичну зміну величини зрізаного припуску, періодичність стружкоутворення; квазіперіодична, релаксаційна зміна сил тертя в зоні контакту інструменту та деталі; періодичність зриву наростоутворення на передній поверхні інструменту, анізотропія міцності і твердості оброблюваної поверхні деталі й т. д.

Другим збудником динамічного обурення ТОС при роботі є кінематичні зовнішні фактори, основні з яких такі як зовнішні впливи сусіднього обладнання, вібрація головного електропроводу, кінематична не плавність ходу зубчатих передач станка й др.

Третім і важливим збудником динамічної нестійкості обробної системи є пружні коливання елементів ТОС, збуджувальні в пружній, мало жорсткій системі станка першими двома джерелами у вигляді автоколивального процесу.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Технологічне обробляюче обладнання завжди втрачає надійність якісної роботи за рахунок впливу на нього неминучих виробничих похибок, що супроводжують процес обробки, а система управління не має необхідної інформації про стан процесу різання. Це часто веде до втрати якості обробки деталей, аварійним ситуаціям з обладнанням, що приходить до його значних простоїв [1, 2, 3].

**Постановка завдання.** Геометрична точність деталей при механообробці формується заздалегідь заданої траєкторії руху інструменту вдовж обробної поверхні деталі і цілим рядом технологічних причин, завжди супроводжуючих всі види механічної обробки. Рівень точності обробки або величина загальної сумарної похибки, як відомо, визначається цілим рядом обурюючих виробничих факторів, завжди супроводжуючих даний процес і викликаючих багато систематичних і випадкових відхилень.

В задачі даної статті не входить дослідження і аналіз усіх похибок механообробки. Ставиться задача дослідити тільки так названу групу динамічних похибок при точінні, викликаних динамікою обробної системи, що виявляється у вигляді віброколивальних процесів.

**Виклад основного матеріалу.** В пружній, легко динамічно збуджувальній ТОС, яка має умовно розімкнутий, рухливий силовий зв'язок у вигляді динамічного процесу різання в зоні взаємодії інструменту та деталі любе силове періодичне обурення визиває динамічний режим у вигляді пружно-коливального процесу в багатомасовій системі обладнання, призводящих до коливальних зміщень інструмента відносно оброблюваної деталі, які утворюють геометричні погрішності обробки деталі, названі умовно динамічними погрішностями формування її поверхні.

Необхідно відмітити, що зв'язною ланкою в пружній, динамічній ланці – станок, пристрій, інструмент та деталь, являє собою динамічно малостійкий процес різання, який представляється у вигляді динамічного оператора  $W_p(D)$ , як сполучну передаточну функцію. Такий зв'язок між двома пружно-коливаючимися елементами ТОС і геометричним формуванням оброблюваної поверхні деталі можна представити у вигляді математичної моделі:

$$\begin{cases} \bar{Y}(\tau) - |W_{\text{rcc}}(D)| * \bar{P}_y(\tau) = |W_{\text{rcc}}(D)| * \bar{U}(\tau) + \bar{G}(\tau) \\ \bar{P}_y(\tau) = \bar{F}_z(\tau) - |W_p(D)| * \bar{Y}(\tau) \\ \bar{r}(\tau) = |W_\Phi(D)| * \bar{Y}(\tau) \end{cases}, \quad (1)$$

де:  $\bar{Y}(\tau)$  – вектор коливальних зміщень інструмента відносно деталі в нормальному напрямку;

$\vec{U}(\tau)$  – вектор силових управляючих впливів;  
 $\vec{G}(\tau)$  – вектор несилкових внутрішніх та зовнішніх обурень, як теплові деформації;

$\vec{r}(\tau)$  – поточний змінний радіус-вектор функції профілю поверхні оброблюваної деталі;

$\vec{P}_y(\tau)$  – головний, змінний за величиною вектор сили по нормалі до обробної поверхні;

$\vec{F}_\Sigma(\tau)$  – вектор спільного шуму всіх сил, діючих в ТОС під час механообробки, як геометрична сума сил різання і пружньо-інерційних коливань мас елементів ТОС, сил їх пружності та тертя, зусиль в кінематичних ланках передачі руху і т. д.;

$|W_{YCC}(D)|$  – динамічний оператор пружної системи станка, описуючий динамічні характеристики основних його робочих ланок – шпиндельного та суппортного і їх коливань;

$|W_p(D)|$  – динамічний оператор характеристики процесу різання як динамічного зв'язку ПМО і ТОС;

$|W_\Phi(D)|$  – динамічний оператор процесу формування оброблюваної поверхні деталі при точінні;

$(D) = d / dt$  – диференціальний оператор за часом.

Складовими факторами  $\vec{G}(\tau)$  є параметри процесу механічної обробки (ПМО), як розмірне зношення інструмента, температура різання і навколишнього середовища, коефіцієнти тертя інструмента та деталі і між трущимися елементами ТОС і т. д.

Складовими факторами  $\vec{U}(\tau)$  управляючих взаємодій є режими різання, робочі рухи інструменту по деталі та схема обробки при точінні, геометрія ріжучого інструмента і др.

Динамічна передаточна функція в операторній формі за Лапласом, як динамічний оператор  $|W_{YCC}(D)|$  прийнято описувати з урахуванням динамічних характеристик станка [1] в вигляді функції:

$$W_{YCC}(D) = \frac{dP_y(\tau)}{dY(\tau)} = \frac{\frac{1}{C}}{\frac{M}{C}D^2 + \frac{H}{C}D + 1}, \quad (2)$$

де  $M$ ,  $H$ ,  $C$  – відповідно маса, дисипативно-демпфіруючі властивості і жорсткість системи станка.

Динамічний оператор динаміки різання, як передаточна функція зміни сили різання від зміни величин глибини різання  $t$ , часу стружкоутворення  $T_p$  і розмірного зношення інструменту по ходу обробки  $h_u$  записується у вигляді (3):

$$W_p(D) = \frac{dP_y(\tau)}{d|t; T_p; h_u|(\tau)} = \frac{K_p}{T_p D + 1} + h_s D, \quad (3)$$

де  $K_p$  – коефіцієнт жорсткості різання. При цьому експериментально встановлено, що при збільшенні зносу інструмента  $h_u$  відбувається поступове зміщення основного спектру коливань сили різання в сторону низьких частот із-за зростаючого демпфірування тертям.

Проведені експериментальні дослідження показали, що формування поверхні обробки, а отже і динамічний оператор формування  $W_\Phi(D)$ , є частотозалежними від динаміки різання. Так при обробці при невеликих обертах в низькочастотній області коливань в межах 150-600 Гц профіль поверхні деталі формується однозначно рухом і динамікою інструмента. В найбільш високій частотній спектральній області, зі зростанням швидкості різання, тоді частота коливань досягає 1000-2000 Гц, більший вплив на формування профілю поверхні надають процеси стружкоутворення і тертя при різанні.

Ці результати дозволяють експериментально ідентифікувати передаточну функцію – оператор  $W_\Phi(K_T \omega)$  процесу формування профілю з урахуванням впливу частотної складової у вигляді:

$$W_\Phi(K_T \omega) = \frac{1}{K_T T_p \omega + 1}, \quad (4)$$

де  $K_T$  – коефіцієнт врахування величини тертя інструмента і деталі, і геометрії заточки ріжучого інструмента,  $\omega$  – кругова частота квазі-періодичного формування профілю, залежна від швидкості різання. При цьому на  $K_T$  звісно буде впливати величина зносу ріжучого інструмента  $h_u(\tau)$  в гіршу сторону.

На основі отриманої математичної моделі утворення профілю (1) і математичного опису динамічних операторів (2), (3) і (4) можна отрима-

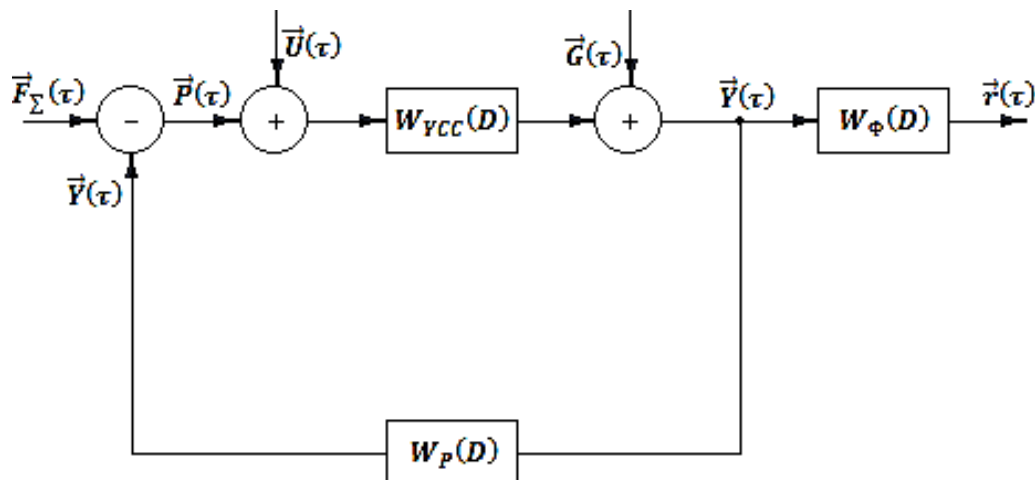


Рис. 1. Функціонально-структурна схема формування динамічної якості процесу механообробки

ти структурну модель у вигляді функціонально-структурної схеми формування профілю обробки деталі з врахуванням динаміки процесу (рис. 1).

Тоді профіль геометрії отримуваної поверхні обробки, як величини  $r(\tau; x)$  змінного радіуса профілю по довжині деталі  $l$  по осі  $x$  при точінні можливо описати математичною залежністю:

$$r(\tau; x) = K_{HB} \left( \int_0^l W_\phi(D) \cdot Y(\tau) d\tau + \Delta r(\tau; x) \right) \quad (5)$$

де  $K_{HB}$  – коефіцієнт врахування пружно-пластичних і міцностних властивостей оброблюваного матеріалу;  $\Delta r(\tau; x)$  – друга складова динамічної похибки обробки, як результат взаємодії самого процесу різання, яка формується більш високими спектрами частотних коливань при різанні з приводу фрикційно-релаксаційних процесів тертя різця на деталі.

Таку динамічну похибку формоутворення можна отримати в вигляді рівняння:

$$\Delta r(\tau; x) = \frac{W_p(D)}{1 + W_\phi(D) \left( \frac{K_p}{T_p D + 1} + h_s D \right)} K_p(\tau) + \Delta y(\tau) \quad (6)$$

де  $\Delta y(\tau)$  – випадкова складова процесу обробки точінням від впливу геометрії поверхні заготовки, зовнішніх збудників вібрації.

**Висновки за отриманими результатами.** Аналіз отриманих результатів по дослідженню динаміки процесу механообробки точінням та її вплив на якість обробки деталей дозволяє зробити наступні висновки:

1. При чорновому та напівчистому точінні, коли швидкість обробки низька, на точність отриманої геометрії поверхні деталі в основному впливає низькочастотний спектр динамічних коливань

ТОС, кратній частоті обертання заготовки, формований похибками припуску  $\Delta t$  і анізотропією міцності поверхні  $\Delta HB$ , а шорсткість отриманої поверхні визначається здебільшого пластичними руйнуваннями поверхневого шару деталі.

2. При значних швидкостях обробки, що має місце при чистовому точінні, динаміку процесу різання починає формувати такий збудник коливань, як періодичність стружкоутворення  $T_p$  зі своєю частотою  $\phi_0 = f(V_{рез})$ , що добре досліджував І.А. Тімме, коли частота динамічних коливань підвищується до 1500-2000 Гц, а амплітуда зміщень значно зменшується. Це надає позитивний вплив на формування чистоти оброблюваної поверхні, на що вже в основному впливає релаксаційний процес тертя інструменту на деталі.

3. При швидкісній обробці точінням ( $V_{рез} = 4..5$  і більше м/с) основний динамічний фронт коливань ТОС зміщується в зону високих частот в 6.8 КГц, геометрія точності профілю деталі по перетину під впливом  $\Delta t$  і  $\Delta HB$ , при цьому значно покращується, а профіль шорсткості поверхні вже формується динамікою різання від розрухи кристалічної решітки матеріалу деталі. При цьому зникає вплив релаксації при терті інструменту об деталь із-за появи в зоні їх контакту повністю пластично зруйнованого рідко-в'язкого шару при обробці сталей з приводу великої концентрації тепла та напруження, а шорсткість поверхні по величині стає майже лінійно залежною від  $V_{рез}$ .

4. Для отримання необхідної якості обробленої поверхні при обробці різанням бажано застосовувати спеціальну систему автоматичного управління динамікою ТОС при роботі, оснований на вібродіагностиці відображеної системи і її стабілізації в пошуковому адаптивному режимі [2; 3; 4].

## Список літератури:

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 «КПІ», серія «Приладобудування» № 31, НТУУ «КПІ». – 2006. – С. 112-120.
5. Румбешта В.О., Гнатейко Н.В. Вплив розмірного зносу різучого інструменту на динамічну стійкість обробляючого верстату / Наукові вісті Житомирського інженерно-технічного інституту, № 33, ЖІТІ, 2008. – С. 57-61.

### Гнатейко Н.В.

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИКИ ТОКАРНОЙ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ ПРИ ТОЧЕНИИ

### Аннотация

В статье приводятся результаты анализа вибродинамических режимов при точении металла. Приводятся их моделирование и степени влияния на качественные характеристики механообработки. Надан анализ возбудителей динамической неустойчивости ТОС. Исследуется группа динамических погрешностей при точении. Надан анализ полученных результатов по исследованию динамики процесса механообработки точением.

**Ключевые слова:** механообработка, станки, точение, динамические режимы.

**Gnateiko N.V.**

National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

## **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE DYNAMICS OF THE TURNING PROCESSING SYSTEM ON THE QUALITY OF PROCESSING OF THE DETAIL DURING THE FORCE**

### **Summary**

In article describes the results of the analysis vibrations dynamics models in lathemetals. Describes their modeling and degrees of influence on qualitative characteristic of machiningworking. A group of dynamic errors in turning is investigated. The analysis of the causative agents of the dynamic instability of the turning machining system is performed. Analysis of the results of the investigation of the dynamics of the machining process by turning is carried out.

**Keywords:** machining, machine tools, turning, dynamic modes.