

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»*

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ ТОЧІННЯ ЗА РАХУНОК  
КОНТРОЛЮ ДИНАМІЧНОГО СТАНУ ВЕРСТАТУ  
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТОЧЕНИЯ ЗА СЧЕТ КОНТРОЛЯ  
ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТАНКА  
IMPROVING THE QUALITY OF THE TURNING DUE TO THE  
CONTROL OF THE DYNAMIC CONDITION OF THE MACHINE**

***Анотація.** В статтю входять дослідження і аналіз не усіх похибок механообробки. Ставиться задача дослідити тільки так названу групу динамічних похибок при точінні, викликаних динамікою обробної системи, що виявляється у вигляді віброколивальних процесів.*

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

**Аннотация.** В статью входят исследования и анализ не всех погрешностей механообработки. Ставится задача исследовать только так называемую группу динамических погрешностей при точении, вызванных динамикой обрабатываемой системы, что проявляется в виде виброколебательных процессов.

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

**Summary.** The article includes research and analysis of not all machining errors. The task is to investigate only the so-called group of dynamic errors when turning, caused by the dynamics of the processing system, which manifests itself in the form of oscillatory processes.

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

**Постановка задачі.** 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.

**Результати аналізу.** 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 и т. д.

Другим джерелом 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 та ін.

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

В пружній, легко динамічно збуджувальної 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 багатомасової системі обладнання, призводячих до коливальних зміщень інструмента відносно оброблюваної деталі, які утворюють геометричні погрішності оброки 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:

$$\begin{cases} \vec{Y}(\tau) - |W_{YCC}(D)| * \vec{P}_y(\tau) = |W_{YCC}(D)| * \vec{U}(\tau) + \vec{G}(\tau) \\ \vec{P}_y(\tau) = \vec{F}_{\Sigma}(\tau) - |W_P(D)| * \vec{Y}(\tau) \\ \vec{r}(\tau) = |W_{\phi}(D)| * \vec{Y}(\tau) \end{cases} \quad (1),$$

де:

$\vec{Y}(\tau)$ - 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 її 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;

$(D) = d/dr$  - диференційний оператор за часом.

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

трущимися елементами ТОС и 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):

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

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 формоутворення поверхні обробки, а отже і динамічний оператор формоутворення  $W_\phi(D)$ , 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 и тертя при різанні.

Ці результати дозволяють експериментально ідентифікувати передаточну функцію – оператор  $W_{\phi}(K_T\omega)$  процесу формоутворення 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 інструменту,  $\omega$ - кругова частота квазіперіодичного 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 отримати структурну модель у вигляді функціонально-структурної схеми формування профілю обробки деталі з врахуванням динаміки процесу (рис. 1)

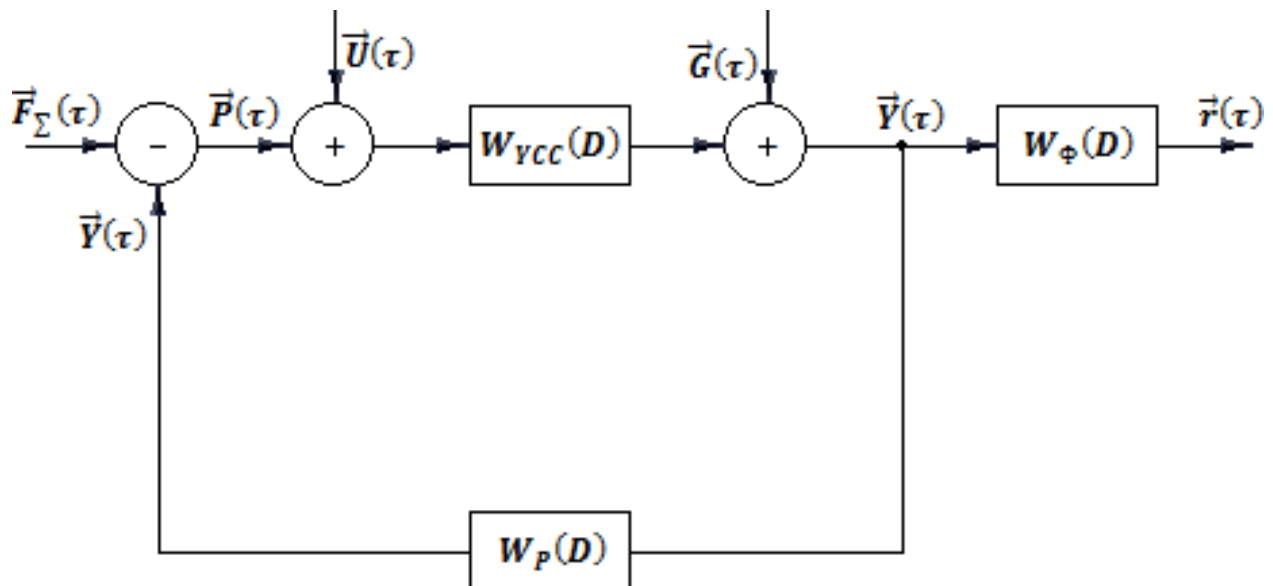


Рис. 1. Функціонально-структурна схема формування динамічної якості процесу механообробки

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:

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

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, кратний 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  $\varphi_0 = f(V_{рез})$ , 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].

### **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 «КПІ», серія «Приладобудування» №31, НТУУ «КПІ», 2006. С. 112-120.