

УДК 621.681.7

В.О. РУМБЕШТА, М.О. СИМУТА, Н.В. ГНАТЕЙКО, Н.І. ШТЕФАН

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

АНАЛІЗ ВТРАТИ ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ МЕХАНООБРОБКИ

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 методичку 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.

Сучасне виробництво по виготовленню деталей за допомогою процесу механообробки переходить на нове, автоматизоване їх отримання за використанням верстатів з ЧПК і обробляючих центрів, що значно підвищує продуктивність таких процесів. Таке обладнання має високоякісне управління ходу проведення процесу, за рахунок комп'ютеризованих систем з ЧПК, в автоматизованому режимі.

Об'єкти та методи дослідження

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 – 3].

Постановка завдання

Для усунення такого недоліку і підвищенню надійності проведення процесу механічної обробки (ПМО) необхідно встановлення на верстатах слідкуючих, контрольно-діагностичних систем автоматичного визначення технічного стану цього процесу і прояві симптомів втрати якості.

Щоб розробити таку систему технічного діагностування (СТД) якості МПО необхідно провести аналіз причин відмови процесу різання, його математичне моделювання втрати динамічної стійкості, моделей появи відмови процесу і наближення аварійної ситуації.

Результати та їх обговорення**Математичне моделювання втрати динамічної стійкості механообробки**

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

Така математична модель функціональної залежності цих двох динамічних режимів під час різання представлена [4] в вигляді системі рівнянь:

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

де перше рівняння описує динаміку процесу різання: $P_Y(\tau)$ – нормальна складова сили різання, яка має найбільший вплив на якість деталей та динаміку ТОС; T_p – збудник динаміки процесу від періодичності сколу стружки з періодом часу T_p ; K_p – коефіцієнт жорсткості різання, який визначається як $K_p = \frac{P_Y}{t}$, де t – глибина різання, що змінна під час різання і залежить від багатьох факторів; Y – величина періодичного взаємного коливального зміщення деталі та інструменту по нормалі під час різання через динаміку ПМО і пружні властивості ТОС.

Друге рівняння описує динаміку коливань ТОС під час обробки, як другого динамічного режиму, яке включає: M , H і C – маса ТОС, її пружно-дисипативні властивості гасіння коливань, величину жорсткості багатоелементної пружної системи верстату, зміщення якої проявляються по нормалі до поверхні обробки – Y ; f_{TP} – величина фрикційного, релаксаційного тертя інструменту по деталі.

Аналіз даної системи рівнянь і всіх інших, раніш отриманих аналогічних залежностей в інших роботах, показує, що вони описують динаміку механообробки, як нормально динамічно стійкого процесу зі своїми динамічними похибками.

Але практика показує, що такий процес не може тривати нескінченно в нормальних режимах, а завжди наступає момент, коли він втрачає свою динамічну стійкість і задану якість обробки.

Таке моделювання, яке б повністю відображувало процес відмови ПМО в літературі описано не достатньо повно. Тому ставиться задача по моделюванню втрати якості ПМО і динамічної стійкості ТОС, що стало б основою для створення системи автоматичної діагностики якості механообробки.

Математичне моделювання втрати динамічної стійкості механообробки

Як показують дослідження втрата якості механообробки різанням виникає через виникнення динамічної нестійкості ТОС з причини різкого зростання сили різання, коли величина Y динамічних взаємних зміщень інструменту та деталі стає критичною і процес різання перетворюється в процес пружно-пластичного деформування. Виникає відмова процесу різання, що приводить до виводу обладнання з ладу. Тому ставиться задача визначення критичного значення динаміки ТОС.

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 $P_d t$.

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_F ; від періодичності процесу тертя інструменту под. деталі в вигляді високочастотного, фрикційного, релаксаційного процесу $\Delta \varphi_{TP}$ і т.д.

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

$$P_{p\Sigma}(\tau) = P_0 + P_d(\tau) \sin \omega_d \tau + \sum_{i=1}^n P_{Di} \cos(\omega_i \tau + \psi_i) + P_{днИ}(\tau) \quad (4)$$

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 ; $P_{днИ}(\tau)$ – 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).

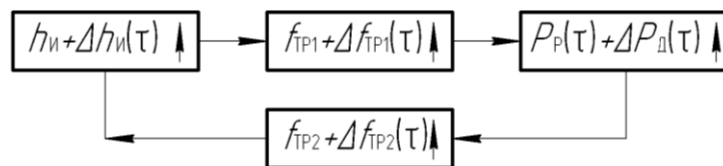


Рис. 1. Схема втрати якості та відмови ПМО

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 оброблюваної 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 τ_K ; $\Delta W_{доп}$ – допустимий рівень розвитку динаміки в ТОС, коли виникає відмова механообробки від втрати стійкості ПМО.

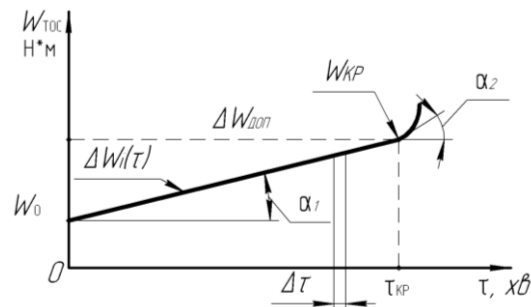


Рис. 2. Графік втрати якості ПМО

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:

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

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

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

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.

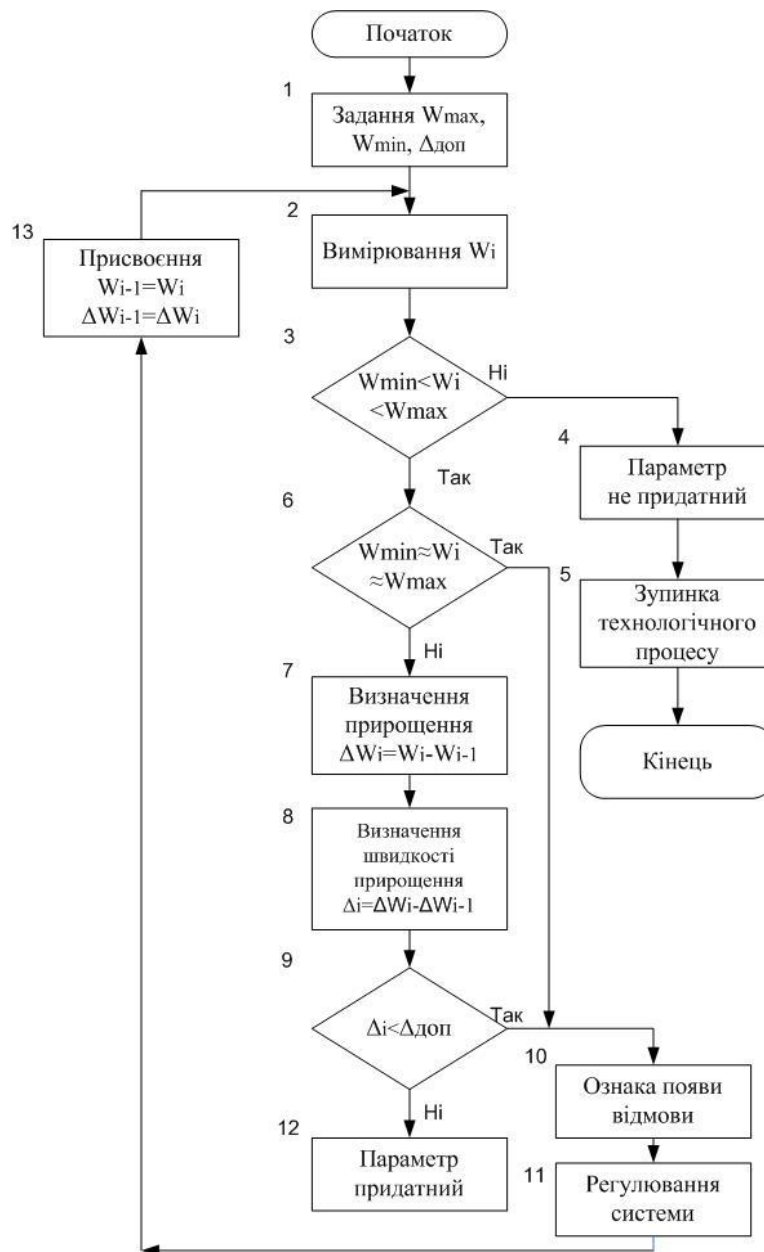


Рис. 3. Алгоритм технічної діагностики

Список використаної літератури

1. 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.
2. Румбешта В.А., Слипченко В.П. Диагностика потери надежности технологического процесса точением./ Вісник НТУУ «КПІ», серія «Приладобудування», №35, – 2008. – 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.
4. Попов В.И., Локтев В.И. Динамика станков. – К.: «Техніка», 1975 – 136 с.

Стаття надійшла до редакції 29.03.2013

Анализ потери динамической устойчивости механообработки

Румбешта В.А., Симута Н.А., Гнатейко Н.В., Штефан Н.И.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

В статье рассматривается важная задача по повышению качества работы современного механообрабатывающего оборудования с системами ЧПУ при обработке деталей машин и приборов. Это возможно за счет применения для этой цели специальных, автоматических систем технической диагностики. Для качественной работы таких систем необходимо разработать новую, эффективную методику их работы, контроля и управления по обеспечению качества деталей.

В работе проводится математическое моделирование потери динамической устойчивости процесса механообработки, предлагаются новые модели оценки качества процесса резания, представлен алгоритм управления качеством системой технической диагностики токарной обработки деталей.

Ключевые слова: механообработка, техническая диагностика.

Analysis of loss of dynamic stability of machining

V. Rumbeshta, N. Simuta, N. Gnateyko, N. Stephen

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

In the article here is regarded an important task for improving the quality of modern machining equipment with CNC for processing machine components and appliances. This is possible through using for this purpose special automated systems of technical diagnostics.

For the qualitative functioning of such systems is necessary to develop a new, efficient technology of their functioning, control and operation to ensure the quality of components.

In this thesis here is given the mathematical modeling of the loss of the dynamic stability of the machining process, here is offered new models of estimate the quality of the cutting process, here is given the algorithm of the quality control of the system of the technical diagnosis components of turning processing.

Keywords: machining, technical diagnostics.