

ВИСОКОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК 621.681.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕРИ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

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

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
г. Киев, Украина*

В работе приводится подробный анализ причин возникновения динамики процесса механической обработки деталей. Рассмотрены главные причины возникновения динамики процесса резания, приводиться функционально-параметрическая и структурно-динамическая модель данного процесса. Рассматривается прохождение процесса механической обработки по времени, с учетом его динамики и предлагается математическая модель описания прохождения процесса. Выведены условия потери надежности, качества и динамической устойчивости процесса механической обработки.

Ключевые слова: диагностика процесса механической обработки, динамика процесса резания.

Введение. Постановка задачи

Одной из главных причин потери качества процесса механической обработки (ПМО) деталей при точении является потеря его динамической устойчивости из-за нарастания динамических режимов в обрабатывающей схеме по мере износа режущего инструмента. Как показывают исследования такого процесса, проводимые Кудиновым В. А. [1], Поповым В. И. и Локтевым В. И. [2], Подураевым В. Н. [3], он характеризуется большим набором физико-механических параметров и процессов, находящихся между собой в сложных корреляционных взаимосвязях, что затрудняет формирование моделей, описывающих данный процесс. Но при всем многообразии и полноте исследований динамики процесса резания мало работ по моделированию и выявлению условий потери динамической устойчивости процесса механической обработки.

Исследование и анализ взаимосвязи параметров резания и динамических процессов, сопровождающих механообработку, их влияние на качество данного процесса является основной для моделирования процесса потери его надежности и разработки методов и средств контроля и управления качеством этого процесса [4, 5, 6, 7]. Поэтому такая работа является важной и актуальной для повышения качества изделий.

Причины возникновения динамических процессов при механической обработке и её структурно-динамическая модель

Для создания информационно-параметрической модели потери надежности работы процесса механообработки, необходимо более глубоко и подробно исследовать механизм формирования причин такого отказа технологической обработки

вающей системы (ТОС). При этом необходимо ввести определенный элемент условной формализации физических процессов за счет упрощенной классификации явлений и параметров ПМО в допустимых пределах корректности.

Представим основной параметр процесса возбуждения его динамики – силу резания в виде ряда слагаемых, как составляющих порождающих их причинам. Тогда общую суммарную квазипериодическую силу резания $\bar{P}_{\Sigma}(\tau)$ можно представить в виде векторной суммы:

$$\bar{P}_{\Sigma}(\tau) = \bar{P}_{СТ} + \Delta\bar{P}_{Д1} + \Delta\bar{P}_{Д2} + \Delta\bar{P}_{Дh}(\tau), \quad (1)$$

где $\bar{P}_{СТ}$ – вектор основной составляющей силы резания, статической её величины, определяющей уровень силовой нагрузки;

$\Delta\bar{P}_{Д1}$ – колебания величины силы только от динамики самого процесса резания, когда она представляет функцию от вариации величины глубины резания $(t \pm \Delta t)$, местной прочности материала обрабатываемой детали $(HB \pm \Delta HB)$, периодичности времени стружкообразования T_p при резании сталей;

$\Delta\bar{P}_{Д2}$ – колебания силы резания от динамических смещений элементов упругой системы станка, как функции от массы системы M , её упруго-диссипативных свойств H , жесткости системы C и величины колебательной силы резания $P_p(\tau)$;

$\Delta\bar{P}_{Дh}(\tau)$ – вектор постоянного приращения по времени колебаний величины силы резания по причине изнашивания режущего инструмента в процессе обработки партии деталей.

Первые три составляющих общей суммарной силы резания при установившемся нормальном качественном процессе обработки будут приблизительно сохранять величину в определенных пределах. В то же время последнее слагаемое, как величина приращения динамики силы резания из-за изнашивания инструмента $\Delta\bar{P}_{Дh}(\tau)$ будет постоянно нарастать по времени механообработки и в конечном итоге приведет к потере качества ПМО из-за потери динамической устойчивости ТОС.

На основании такого вывода разработана функционально-параметрическая модель механики потери качества процесса обработки по причине износа инструмента показанная на рис. 1.

Она отражает двухстороннюю замкнутую зависимость между изнашиванием инструмента $(h_{и} + \Delta h_{и})$, увеличением из-за этого фрикционного трения $(f_{тр} + \Delta f_{тр})$ в зоне его контакта с деталью, представленного в виде полученного коэффициента трения между инструментом и деталью, и силой резания от этого $\Delta\bar{P}_{Дh}(\tau)$.

На модели видно процесс постоянно нарастающего взаимного генерирования величин приращения параметров $\Delta h_{и}$, $\Delta f_{тр}$ и $\Delta P_{Дh}$ по замкнутому контуру, где первопричиной данного процесса является постоянно нарастающий по времени обработки износ режущего инструмента $\Delta h_{и}(\tau)$.

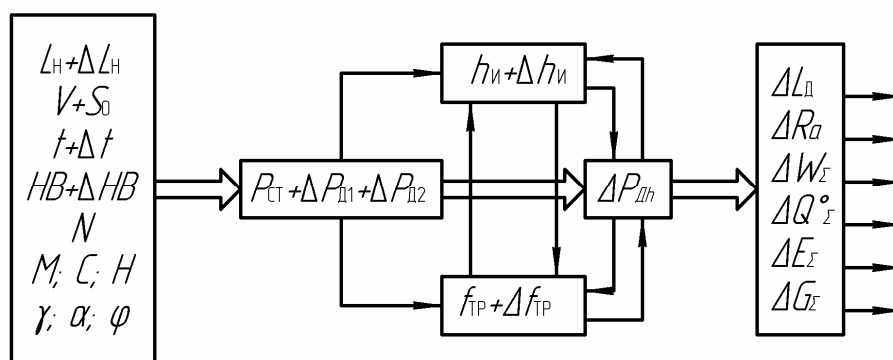


Рис. 1. Функционально-параметрическая модель потери качества ПМО по причине износа инструмента.

Исследование такого процесса показали, что при увеличении $\Delta h_{\Gamma}(\tau)$ растет периодичность трения $\Delta f_{\Gamma P}(\tau)$ из-за явления увеличения эффекта схватывания материалов инструмента и детали при их силовом контакте, приводящему к увеличению релаксационных колебаний в системе. А увеличение параметров $\Delta h_{\Gamma}(\tau)$ и $\Delta f_{\Gamma P}(\tau)$ увеличивают величину и динамику силы $\Delta P_{\Delta h}(\tau)$.

Такое нарастание величины и динамики $\Delta P_{\Delta h}(\tau)$ по времени обработки ведет к росту упругих колебаний ТОС, что приводит к росту погрешности обработки деталей ΔL_d и величины шероховатости обработанной поверхности ΔR_a . Поскольку такое увеличение всех величин происходит постоянно по времени обработки деталей, то при достижении силы резания критического уровня наступит момент потери динамической устойчивости обрабатываемой системы, потеря надежности и качества ПМО.

На основании полученного можно построить динамическую модель процесса механообработки деталей с учетом того, что наибольшее влияние на качество обработки деталей оказывают упругие деформации и колебания ТОС в нормальном направлении по оси $Y-Y$, перпендикулярном к поверхности детали в виде $\pm Y$, что показаны на рис. 2.

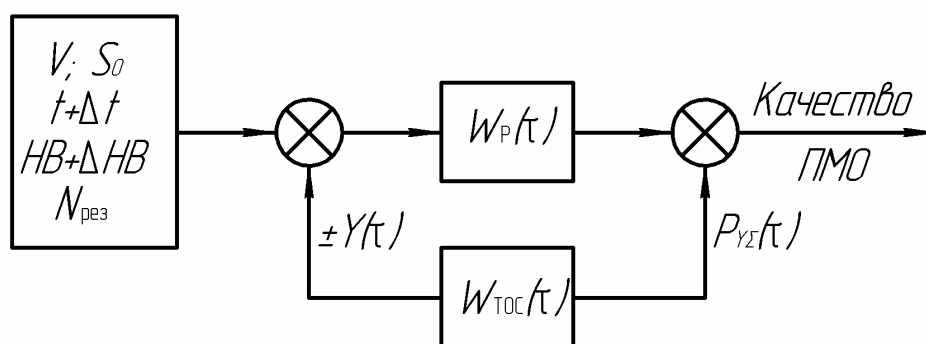


Рис. 2. Структурно-динамическая модель механообработки.

На модели динамика резания $W_p(\tau)$ и динамика обрабатывающей системы

$W_{\text{ТОС}}(\tau)$ представлені в операторній формі по Лапласу, когда

$$W_p(\tau) = \frac{dP_{Y\Sigma}(\tau)}{d(\Delta t; \Delta HB; \Delta h_{\text{и}})(\tau)} \quad (2)$$

$$W_{\text{ТОС}}(\tau) = \frac{dY(\tau)}{d(M; H; C; P_{Y\Sigma}(\tau))} \quad (3)$$

где M , H и C – масса обрабатывающего станка, его упруго-диссипативные, демпфирующие свойства и жесткость его системы.

На базе полученной динамической модели механообработки можно заключить, что динамическая устойчивость процесса резания в основном определяется динамической устойчивости ТОС, её способностью удерживать динамику резания $W_p(\tau)$ в пределах годности обработки, когда $\pm Y$ еще не влияют на качество процесса.

Модель развития динамики механической обработке и условия потери динамической устойчивости процесса

Развитие динамической неустойчивости процесса механической обработки по времени обработки партии деталей можно наглядно смоделировать и проследить на графике (рис. 3).

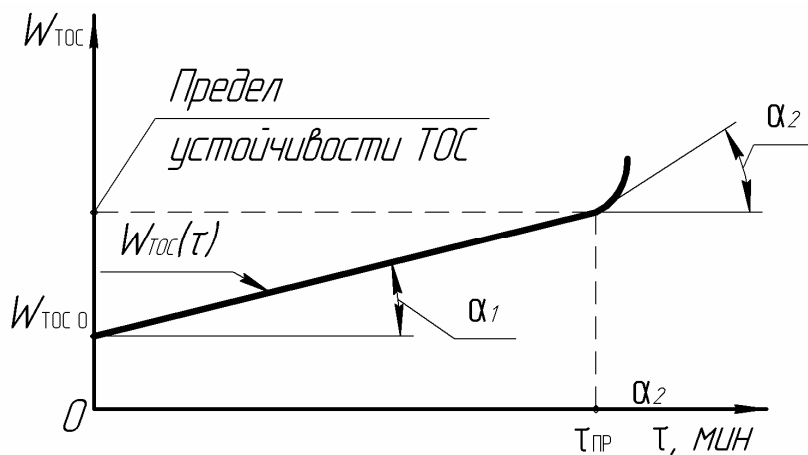


Рис. 3. График развития динамики ТОС по времени.

На графике $W_{\text{ТОС } 0}$ – начальное значение динамики системы при первых обрабатываемых деталях. Наклон развития динамики системы $W_{\text{ТОС}}(\tau)$ на угол α_1 показывает её нарастание по мере изнашивания режущего инструмента $\Delta h_{\text{и}}$ по времени обработки партии деталей до момента еще динамической устойчивости системы. После чего, при появлении увеличения наклона кривой на угол α_2 , обрабатывающая система теряет динамическую устойчивость, и процесс механообработки резко теряет качество.

Математическое моделирование такой картины потери динамической ус-

тойчивости обрабатывающей системы можно провести на основе уравнения динамики движения точки в пространстве, которое имеет вид:

$$W_{\text{ТОС}}(\tau) = W_{\text{ТОС}0} + \Delta W_{\text{ТОС}i}(\tau) + \frac{dW_{\text{ТОС}}}{d\tau} \Delta\tau + \frac{d^2W_{\text{ТОС}}}{d\tau^2} (\Delta\tau)^2, \quad (4)$$

где $\Delta W_{\text{ТОС}i}(\tau)$ – текущее значение координаты развития динамики системы во время её очередной регистрации;

$\frac{dW_{\text{ТОС}}}{d\tau} \Delta\tau$ – первая производная, которая показывает скорость V_w нарастания динамики системы по времени обработки, как характеристики нормального развития динамики процесса резания за период $\Delta\tau$ между циклами измерения данного параметра;

$\frac{d^2W_{\text{ТОС}}}{d\tau^2} (\Delta\tau)^2$ – вторая производная по времени, которая представляет собой начало появления ускоренного роста динамики обрабатывающей системы, как потерю ею динамической устойчивости.

Для нормального, устойчивого функционирования ПМО должно выдерживаться условие

$$\begin{cases} \frac{dW_{\text{ТОС}}}{d\tau} \Delta\tau = V_w \approx \text{const} \\ \frac{d^2W_{\text{ТОС}}}{d\tau^2} (\Delta\tau)^2 \approx 0 \end{cases}. \quad (5)$$

Момент потери динамической устойчивости механообработки при точении характеризуется условием, когда

$$\frac{d^2W_{\text{ТОС}}}{d\tau^2} (\Delta\tau)^2 \neq 0. \quad (6)$$

При этом условии процесс механообработки теряет свое качество и должен быть прекращен.

Выводы

ПМО представляет собой сложный, многопараметрический процесс со сложными, часто нелинейными взаимосвязями и многими возмущающими факторами, делающими этот процесс динамическим и малонадежным.

Главной причиной потери качества ПМО является износ режущего инструмента по времени обработки деталей, который ведет к постоянному росту динамической составляющей силы резания $\Delta P_{dh}(\tau)$ и потери динамической устойчивости обрабатывающей системы, что требует применения автоматической системы диагностики качества ПМО.

Необходимы дальнейшие исследования процесса потери динамической устойчивости процесса механической обработки, что позволит нам создать мето-

ды и средства обеспечения качественной и надежной обработки деталей приборов на станках с ЧПУ в условиях малолюдного и безлюдного производства.

Литература

1. Кудинов В.А. Динамика станков – М.: Машиностроение, 1967. – 359 с.
2. Попов В.И. Динамика станков/ В.И. Попов, В.И. Локтев – К. : Техника, 1957. – 136 с.
3. Подураев В.Н. Обработка резанием с вибрациями – М.: Машиностроение, 1970. – 350с.
4. Гнатейко Н.В. Методика керування динамікою оброблювальної механічної системи /Н.В. Гнатейко, В.О. Румбешта // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2002. – № 6. – С. 55-58.
5. Гнатейко Н.В. Повышение качества процесса механообработки путем стабилизации динамики технологической обрабатывающей системы / Н.В. Гнатейко, В.А. Румбешта, Е.А. Никитчук // Вісник НТУУ “КПІ” серія “Приладобудування”. – 2006. – № 31. – С. 112-120.
6. Румбешта В.А. Диагностика потери надежности технологического процесса точением / В.А. Румбешта, В.П. Сліпченко // Вісник НТУУ “КПІ” серія “Приладобудування”. – 2008. – №35. – С. 104-112.
7. Румбешта В.О. Вплив розмірного зносу ріжучого інструменту на динамічну стійкість обробляючого верстату / В.О. Румбешта, Н.В. Гнатейко // Наукові вісті Житомирського інженерно-технічного інституту.– 2008. – № 33. – С. 57-61.

References

1. Kudinov V.A. Dynamics of machine-tools / V.A. Kudinov.– Moscow: Mashynostroenie, 1967. – 359 p. [rus]
2. Popov V.I. Dynamics of machine-tools./ V.I. Popov, V.I. Loktev. – Kiev : Tekhnica, 1957. – 136 p. [rus]
3. Poduraev V.N. Treatment cutting with vibrations / V.N. Poduraev.– Moscow: Mashynostroenie, 1970. – 350 p. [rus]
4. Gnateyko N.V. Method of management of the processing mechanical system a dynamics / N.V. Gnateyko, V.A. Rumbeshta // Scientific news of NTUU “KPI”.– 2002.– №6.–P. 55-58. [ukr]
5. Gnateyko N.V. Upgrading of process of machine-tools by stabilizing of dynamics of the technological processing system / N.V. Gnateyko, V.A. Rumbeshta, E.A. Nikitchuk // BULLETIN of National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” Series Instrument Making. – 2006.– № 31.– P. 112-120. [rus]
6. Rumbeshta V.A., Slipchenko V.P. Diagnostics of loss of reliability of technological process sharpening / V.A. Rumbeshta, V.P. Slipchenko // BULLETIN of National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” Series Instrument Making.– 2008.– № 35.– P. 104-112. [rus]
7. Rumbeshta V.A., Gnateyko N.V. Influence of size wear of toolpiece on run-time firmness processing to the machine-tool / V.A. Rumbeshta, N.V. Gnateyko // Scientific news of the Zhytomyr technical institute.– 2008.– № 33.– P. 57-61. [ukr]

В.О. Румбешта, Н.В. Гнатейко, М.О. Симута

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ВТРАТИ ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

В роботі наводиться детальний аналіз причин виникнення динаміки процесу механічної обробки деталей. Розглянуті головні причини виникнення динаміки процесу різання, наводиться функціонально-параметрична і структурно-динамічна модель даного процесу. Розглядається проходження процесу механічної обробки за часом, з врахуванням його динаміки і пропонується математична модель опису проходження процесу. Виведені умови втрати на-

дійності, якості і динамічної стійкості процесу механічної обробки

Ключові слова: діагностика процесу механічної обробки, динаміка процесу різання.

V.A. Rumbeshta, N.V. Gnateyko, N.A. Simuta

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

MODEL OF LOSS OF DYNAMIC STABILITY OF PROCESS OF TOOLING

The detailed analysis over of reasons of origin of dynamics of process of tooling of details is in-process brought. Main reasons of origin of dynamics of cutting process are considered, led functional-self-reactance and structural-dynamic model of this process. Passing of process of tooling is examined at times, taking into account his dynamics the mathematical model of description of passing of process is offered. The terms of loss of reliability, quality and dynamic stability of process of tooling are shown out.

Keywords: diagnostics of process of tooling, dynamics of cutting process.

*Надійшла до редакції
03 липня 2011 року*