

DOI 10.32820/2079-1747-2019-24-59-65

УДК 621.941.0.15:681.5

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

©Гордєєв А.С.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про автора:

Гордєєв Андрій Сергійович: ORCID: 0000-0001-6521-3937; gordeew@ukr.net; доктор технічних наук; професор кафедри інформаційних комп'ютерних технологій і математики; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна

Метою роботи є розробка спектральної теорії систем зі змінними параметрами стосовно аналізу якості механічної обробки. Розробка спектральної теорії необхідна для подолання труднощів при проектуванні класу нестационарних систем. При цьому вирішується завдання виявлення закономірностей розсіювання якісних показників при механічній обробці. На основі гармонійного аналізу класифікуються фактори, що впливають на вихідну якість виробів та будується математична модель механічної обробки, що розглядається як полігармонійний процес.

Технологічні системи механічної обробки відносяться до нестационарних систем з силовими і тепловими впливами. Крім того, розподіл похибок механічної обробки на детерміновані і випадкові має багато невизначеності. Наприклад, знос інструменту традиційно відноситься до детермінованих процесів, а з математичної точки зору цей процес описується марковими ланцюгами (апарат, застосований для опису випадкових процесів). У багатьох випадках важко вирішити, чи стосується дане явище до детермінованих або випадковим.

В результаті проведеної роботи було встановлено, що всі обурення, що впливають на процес обробки матеріалів різанням, призводять, в кінцевому підсумку, до відносних зсувів інструменту і заготовки, які можна уявити суперпозицією постійної складової зміщення і окремих гармонік віброзміщення.

Похибка профілю поверхні деталі також може бути представлена суперпозицією постійної складової похибки і її окремих гармонік, що створює передумови ідентифікації окремих гармонік віброзміщення з гармоніками профілю поверхні деталі для прогнозування точності обробки, діагностики причин точнісних відмов і управління точністю.

Ключові слова: точність, якість, механічна обробка, спектральний аналіз, прогнозування, технологія машинобудування.

Гордєєв А.С. «Управление качеством механической обработки»

Целью работы является разработка спектральной теории систем с переменными параметрами применительно к анализу качества механической обработки. Разработка спектральной теории необходима для преодоления трудностей при проектировании класса нестационарных систем. При этом решается задача выявления закономерностей рассеяния качественных показателей при механической обработке; на основе гармонического анализа класси-

цируются факторы, влияющие на выходное качество изделий; строится математическая модель механической обработки, рассматриваемой как полигармонический процесс.

Технологические системы механической обработки относятся к нестационарным системам с силовыми и тепловыми воздействиями. Кроме того, деление погрешностей механической обработки на детерминированные и случайные имеет много неопределенностей. Например, износ инструмента традиционно относится к детерминированным процессам, а с математической точки зрения этот процесс описывается марковскими цепями (аппарат, применяемый для описания случайных процессов). Во многих случаях трудно решить, относится ли рассматриваемое явление к детерминированным или случайным.

В результате проведенной работы было установлено, что все возмущения, воздействующие на процесс обработки материалов резанием, приводят, в конечном итоге, к относительным смещениям инструмента и заготовки, которые можно представить суперпозицией постоянной составляющей смещения и отдельных гармоник вибро смещений.

Погрешность профиля поверхности детали также может быть представлена суперпозицией постоянной составляющей погрешности и ее отдельных гармоник, что создает предпосылки идентификации отдельных гармоник вибро смещений с гармониками профиля поверхности детали для прогнозирования точности обработки, диагностики причин точностных отказов и управления точностью.

Ключевые слова: точность, качество, механическая обработка, спектральный анализ, прогнозирование, технология машиностроения.

Gordeev A. «Quality Management of Machining»

The aim of the work is to develop the spectral theory of systems with variable parameters in relation to the analysis of the quality of machining. The development of spectral theory is necessary to overcome difficulties in designing a class of non-stationary systems. This solves the problem of identifying patterns of dispersion of quality indicators during machining; On the basis of harmonic analysis, factors that influence the output quality of products are classified; A mathematical model of machining is being considered, considered as a polyharmonic process.

Technological systems of machining relate to non-stationary systems with power and thermal effects. In addition, the division of machining errors into deterministic and random has many uncertainties. For example, tool wear traditionally refers to deterministic processes, and from a mathematical point of view, this process is described by Markov chains (an apparatus used to describe random processes). In many cases, it is difficult to decide whether the phenomenon in question is deterministic or random.

As a result of the work, it was found that all the perturbations that affect the process of processing materials by cutting ultimately lead to relative displacements of the tool and the workpiece, which can be represented by a superposition of the constant component of the displacement and individual harmonics of vibration displacements.

The error of the surface profile of the part can also be represented by a superposition of the constant component of the error and its individual harmonics, which creates the prerequisites for identifying individual harmonics of vibration displacements with harmonics of the surface profile of the part to predict processing accuracy, diagnose the causes of precision failures and control accuracy.

Keywords: accuracy, quality, machining, spectral analysis, forecasting, engineering technology.

Вступ

Одним з важливих показників якості машинобудівної продукції є їх надійність. У проблемі збільшення надійності машинобудівної продукції якість поверхні завжди мало велике значення. Опубліковано значну кількість праць, в яких викладаються теоретичні положення точності обробки і прийоми технічного аналізу якості конструкцій і технологи чеського процесу виготовлення [1-15]. У результаті цих досліджень накопичені необхідні дані для розрахунку точності технологічних процесів. А.Б. Яхин запропонував методи розрахунку деяких складових сумарної похибки обробки і оцінки точності процесів механічної обробки, засновані на положеннях теорії ймовірностей і математичної статистики. Потім А.П.Соколовській розвинув розрахунково-аналітичний метод точнісних розрахунків, що враховує вплив технологічної системи під дією зусиль різання, неточності обладнання, зносу інструменту, похибкою ти налагодження, температури і ін. [2]. С.А.Васін запропонував аналітичний метод дослідження питань точності механічної обробки [1]. Роботи А.Г.Суслова пов'язані з проблемами отримання необхідної точності обробки шляхом управління деформації ями технологічної системи [4].

У роботах [7, 8, 10], присвячених аналізу точності обробки на металорізальних верстатах, передбачається, що обурення, що впливають на процес, викликають пружні переміщення ланок технологічної системи .

Аналіз застосовуваних в даний час методів оцінки і управління сумарною похибкою обробки дозволив прийти до висновку про актуальність вирішення завдань управління якістю механічної обробки. Метою роботи є розробка спектральної теорії систем зі змінними параметрами стосовно аналізу якості механічної обробки. Розробка спектральної теорії необхідна для подолання труднощів при проектуванні класу нестационарних систем. При цьому вирішується завдання виявлення закономірностей розсіювання якісних показників при механічній обробці.

Класифікація факторів, що впливають на якість механічної обробки

Технологічні системи механічної обробки і відносяться до нестационарним системам з силовими і тепловими впливами. Наприклад, знос інструменту традиційно відноситься до детермінованим процесів, а з математичної точки зору цей процес описується марковими ланцюгами (апарат, застосований для опису випадкових процесів). У багатьох випадках важко вирішити, чи стосується дане явище до детермінованим або випадковим.

Форма спектральних алгоритмів не залежить від виду базисної системи функцій, що надає спектральному аналізу простоту і універсальність. Від виду базисної системи залежать лише чисельні вираження спектральних характеристик систем. З урахуванням вище сказаного автором була розроблена класифікація похибок й механічної обробки (табл. 1), яка дозволяє вирішувати основні теоретичні завдання аналізу, синтезу і експериментального дослідження технологічних систем зі змінними параметрами як при детермінованих, так і при випадкових взаємодіях.


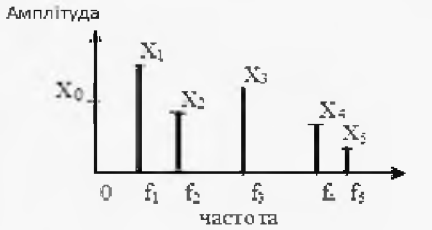
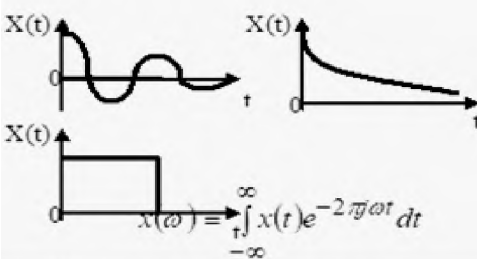
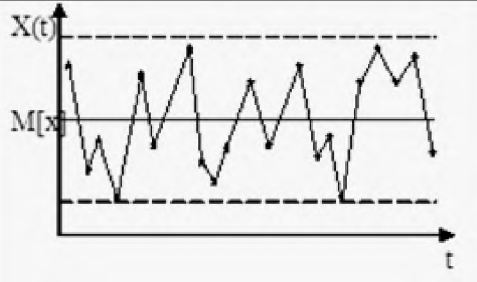
Параметричні збурення можуть бути як періодичними, так і неперіодичними. Динамічні деформації виникають зазвичай при періодичних параметричних збурень, пов'язаних зі змінною жорсткістю системи ВПД. Дуже часто при дослідженні динамічних процесів доводиться стикатися з аналізом можливих впливів, природа яких нам повністю не ясна. Ці дії можуть бути викликані як зовнішніми неконтрольованими збуреннями, так і неконтрольованими змінами геометрії і параметрів системи. Процеси, що описують детерміновані явища, можуть бути періодичними або неперіодичними. У свою чергу періодичні процеси можна розділити на гармонійні і полігармонійні. До неперіодичних відносяться майже періодичні і перехідні процеси. Можна привести багато прикладів фізичних явищ, які з достатньою для практики наближенням описуються гармонійними процесами. До їх числа відносяться коливання частоти обертання шпинделя, вібрації верстата на холостому ході і інші явища.

Хвилястість оброблених поверхонь має синусоїдальний характер, що є наслідком коливань системи СПД, що виникають через нерівномірність сил різання, наявності невіднозначених мас, похибок приводу. З точки зору аналізу гармонійні процеси представляють собою одну з найпростіших форм функції часу. До полігармонійних відносяться такі типи випадкових процесів, які можуть бути описані функцією часу, точно повторює свої значення через однакові інтервали $x(t) = x(t) \cdot nTp$, $n = 1, 2, 3, \dots$. За деякими винятками, полігармонійні процеси можуть бути представлені поруч Фур'є.

Явища, яким відповідають полігармонійні процеси, зустрічаються набагато частіше явищ, описуваних чисто гармонійною функцією. Насправді, коли той чи інший процес відносять до типу гармонійних, то найчастіше при цьому мають на увазі тільки його наближене уявлення, хоча насправді він є полігармонійні. Наприклад, при ретельному дослідженні профілограм хвилястості поверхні можна виявити невеликі коливання з частотами вищих гармонік. В інших випадках в періодичному фізичному процесі можуть бути присутніми гармонійні компоненти з відносно великими амплітудами. Наприклад, вібрації агрегатного верстата, що працює декількома інструментами, містять зазвичай інтенсивну гармонійну компоненту. До полігармонійних випадкових процесів, як буде показано далі, відносяться також розсіювання дійсних розмірів при механічній обробці і профілограми мікронервностей оброблених поверхонь.

Майже періодичні процеси можна описати рядом гармонійних коливань, частоти яких порівнянні. Майже періодичні процеси можуть бути описані функцією часу.

Таблиця 1 - Класи процесів властивих механічній обробці

Клас	Підклас	Вид	Вид що описує функції	Фактори
Детерміновані	Періодичні	Полігармонійні	$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos 2\pi n t + b_n \sin 2\pi n t)$ 	Коливання частоти обертання шпинделя. Вібрації верстата на холостому ході. Хвилястість оброблених поверхонь. Вібрації обладнання під час обробки. Розсіювання розмірів. Якість оброблених поверхонь.
	Неперіодичні	Майже періодичні	 $x(t) = X_1 \sin(2t + \varphi_1) + X_2 \sin(3t + \varphi_2) + \dots$	Вібрації устаткування що працює в асинхронному режимі
	Неперіодичні	Перехідні		Знос ріжучого інструменту. Вільні коливання інерційної частини механічної системи після припинення дії вимушеної сили. Зміна зусилля на механізми верстата після припинення різання.
Випадкові	Стационарні	Ергодичні		Нерівномірність припуску. Неоднорідність оброблюваного матеріалу. Шорсткість оброблених поверхонь.
	Неергодичні	Нестационарні		

Явища, яким відповідають майже-періодичні процеси, зустрічаються досить часто при підсумовуванні двох і більше незалежних гармонійних процесів. Прикладом майже-періодичного явища може служити вібрація обладнання, що працює в асинхронному режимі.

До перехідних неперіодичних процесів відносяться всі неперіодичні процеси, які не є майже періодичними процесами. Іншими словами, перехідні процеси включають в себе все не розглянуті раніше процеси, які можуть бути описані відповідними функціями часу. Явища, яким відповідають перехідні процеси, досить численні і різноманітні. Наприклад, процес зносу ріжучого інструменту, вільні коливання інерційної механічної системи після припинення дії сили, що вимушує, зміна зусилля на механізми верстата після припинення різання. Важлива відмінність перехідних процесів від періодичних і майже-періодичних полягає в тому, що їх неможливо уявити за допомогою дискретного спектра частот. Однак в більшості випадків отримують безперервне спектральне подання перехідних процесів, використовуючи інтеграл Фур'є.

Процеси, що відповідають випадковим фізичних явищ, не можна описати точними математичними співвідношеннями, оскільки результат кожного спостереження не підлягає відтворенню. З таблиці 1 видно, що фактори, що визначають якість механічної обробки (точність, шорсткість, хвилястість), мають полігармонійну природу. Це означає, що вони не є строго випадковими і підлягають прогнозуванню. Даний факт відкриває можливість використовувати системи управління якістю механічної обробки, засновані на прогнозуванні.

Висновки

Все обурення, що впливають на процес обробки матеріалів різанням, призводять, в кінцевому підсумку, до відносних зсувів інструменту і заготовки, які можна уявити суперпозицією постійної складової зміщення і окремих гармонік віброзміщення. Похибка профілю поверхні деталі також може бути представлена суперпозицією постійної складової похибки і її окремих гармонік, що створює передумови ідентифікації окремих гармонік віброзміщення з гармоніками профілю поверхні деталі для прогнозування точності обробки, діагностики причин точнісних відмов і управління точністю.

Список использованных источников:

1. Васин С. А. Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании / С. А. Васин. – М. : Машиностроение, 2006. – 384 с.
2. Максаров В. В. Технологическое обеспечение шероховатости поверхностного слоя на основе моделирования переходных процессов / В. В. Максаров, Р. В. Вьюшин, А. Е. Ефимов // *Металлообработка*. – 2017. – № 2. – С. 39-45.
3. Максаров В. В. Теория и практика моделирования и управления в области прогнозирования динамических свойств технологических систем / В. В. Максаров, Ю. Ольт // *Металлообработка*. – 2012. – № 2. – С. 7-13.
4. Наукоемкие технологии в машиностроении / А. Г. Суслов, Б. М. Базров Б. Ф. Безъязычный [и др.]. – М. : Машиностроение, 2012. – 528 с.
5. Fan X. The influence of cutting force on surface machining quality / X. Fan, M. Loftus // *International Journal of Production Research*. – 2007. – Vol 45, No. 4. – Pp. 899-911.
6. Nguyen H. T. Surface Roughness Analysis in the Hard Milling of JIS SKD61 Alloy Steel / H. T. Nguyen, Q. C. Hsu // *Applied Sciences*. – 2016. – No. 6. – Pp. 172.

7. Asiltürk I. Multi response optimisation of CNC turning parameters via Taguchi method-based response surface analysis / I. Asiltürk, S. Neşeli // *Measurement*. – 2012. – Vol. 45 (4). – Pp. 785-794.
8. Simultaneous optimization of surface roughness and material removal rate for turning of X20Cr13 stainless steel / L. Bouzid, S. Boutabba, M. A. Yallese [et al.] // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2014. – Vol. 74 (5-8). – Pp. 879-891.
9. Cutting force prediction for five-axis ball-end milling considering cutter vibrations and run-out / S. B. Wang, L. Geng, Y. F. Zhang [et al.] // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2015. – Vol. 96. – Pp. 206-215.
10. Jeyakumar S. Prediction of cutting force, tool wear and surface roughness of Al6061/SiC composite for end milling operations using RSM / S. Jeyakumar, K. Marimuthu, T. Ramachandran // *Journal of Mechanical Science and Technology*. – 2013. – Vol. 27 (9). – Pp. 2813-2822.
11. Simulation of three-dimension cutting force and tool deflection in the end milling operation based on finite element method / R. J. Saffar, M. R. Razfar, O. Zarei [et al.] // *Simulation Modelling Practice and Theory*. – 2008. – Vol. 16. – Pp. 1677-1688.
12. Kivak T. Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts / T. Kivak // *Measurement*. – 2014. – Vol. 50. – Pp. 19-28.
13. Wojciechowski S. The estimation of cutting forces and specific force coefficients during finishing ball end milling of inclined surfaces / S. Wojciechowski // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2015. – Vol. 89. – Pp. 110-123.
14. Altintas Y. *Manufacturing automation: Metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design* / Y. Altintas. – Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paulo, Delhi, Tokyo, Mexico City : Cambridge university press, 2012. – 366 p.

References

1. Vasin, SA 2006, *Prognozirovanie vibroustojchivosti instrumenta pri tochenii i frezerovanii*, Mashinostroenie, Moskva.
2. Maksarov, VV, Vjushin, RV & Efimov, AE 2017, 'Tehnologicheskoe obespechenie sherohovatosti poverhnostnogo sloja na osnove modelirovanija perehodnyh processov', *Metalloobrabotka*, no. 2, pp. 39-45.
3. Maksarov, VV & Olt, Ju 2012, 'Teoriya i praktika modelirovanija i upravlenija v oblasti prognozirovanija dinamicheskikh svojstv tehnologicheskikh sistem', *Metalloobrabotka*, no. 2, pp. 7-13.
4. Suslov, AG, Bazrov, BM, Bezjazychnyj, BF et al. 2012, *Naukoemkie tehnologii v mashinostroenii*, Mashinostroenie, Moskva.
5. Fan, X & Loftus, M 2007, 'The influence of cutting force on surface machining quality', *International Journal of Production Research*, vol. 45, no. 4, pp. 899-911.
6. Nguyen, HT & Hsu, QC 2016, 'Surface Roughness Analysis in the Hard Milling of JIS SKD61 Alloy Steel', *Applied Sciences*, no. 6, pp. 172.
7. Asiltürk, I & Neşeli, S 2012, 'Multi response optimisation of CNC turning parameters via Taguchi method-based response surface analysis', *Measurement*, vol. 45 (4), pp. 785-794.
8. Bouzid, L, Boutabba, S, Yallese, MA, Belhadi, S & Girardin, F 2014, 'Simultaneous optimization of surface roughness and material removal rate for turning of X20Cr13 stainless steel', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 74 (5-8), pp. 879-891.
9. Wang, SB, Geng, L, Zhang, YF, Liu, K & Ng, TE 2015, 'Cutting force prediction for five-axis ball-end milling considering cutter vibrations and run-out', *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 96, pp. 206-215.
10. Jeyakumar, S, Marimuthu, K & Ramachandran, T 2013, 'Prediction of cutting force, tool wear and surface roughness of Al6061/SiC composite for end milling operations using RSM', *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 27 (9), pp. 2813-2822.
11. Saffar, RJ, Razfar, MR, Zarei, O & Ghassemieh, E 2008, 'Simulation of three-dimension cutting force and tool deflection in the end milling operation based on finite element method', *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 16, pp. 1677-1688.
12. Kivak, T 2014, *Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts*, *Measurement*, vol. 50, pp. 19-28.
13. Wojciechowski, S 2015, 'The estimation of cutting forces and specific force coefficients during finishing ball end milling of inclined surfaces', *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 89, pp. 110-123.
14. Altintas, Y 2012, *Manufacturing automation: Metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design*, Cambridge university press, Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paulo, Delhi, Tokyo, Mexico City.

Стаття надійшла до редакції 16 жовтня 2019 р.