

DOI: 10.31319/2519-2884.42.2023.4

УДК 621.9.06

Коротков В.С., к.т.н., доцент, ORCID ID: 0009-0005-5644-5521, e-mail: kvs55dn@gmail.com
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Korotkov Volodymyr, Candidate of technical sciences, Associate professor of the Department of Mechanical Engineering and Welding Technology
Dniprovsky State Technical University, Kamianske

МОДЕЛЮВАННЯ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ВЕРСТАТА З ЧПК

Розглянутий варіант будови математичної моделі піддатливості металорізального верстату токарної групи. Дослідження жорсткості елементів технологічної системи верстата виконується при використанні пристроїв для імітації робочих навантажень у певних координатах робочої зони. За результатами вимірювань пружних деформацій у різних напрямках будується сімейство сплайнів.

Ключові слова: імітаційні навантаження; жорсткість технологічної системи верстата; математична модель.

A variant of the structure of the mathematical model of the compliance of a metal-cutting machine of a turning group is considered. The study of the rigidity of the elements of the technological system of the machine is carried out using devices to simulate workloads in certain coordinates of the working area. According to the results of measurements of elastic deformations in different directions, a family of splines is built.

Keywords: simulation loads; rigidity of the technological system of the machine; mathematical model.

Постановка проблеми

Процес металообробки на верстатах з ЧПК виконується за заздалегідь підготовленою керуючою програмою (КП), у якій записані необхідні величини робочих і допоміжних переміщень ріжучого інструменту у координатній системі верстата. Умовою високоточної обробки виробів є відповідність фактичних переміщень на заданих режимах формоутворюючого інструменту геометричній інформації, записаній у КП. Як показує досвід експлуатації верстатів з ЧПК, на виробництві можуть виникати обставини, що впливають на технологічну надійність обладнання, передбачити які дуже складно.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На виникнення відхилень розмірів при обробці різанням на верстатах з ЧПК суттєво впливає технічний стан і якість наладки технологічної системи ВПД (верстат, пристосування, інструмент, деталь). Крім цього виникають пружні деформації елементів верстату, пристосовань і заготовки від дії сил різання, діють теплові деформації, проявляються похибки впливу зовнішніх факторів. Причому, дії більшості таких факторів проявляються практично на всіх верстатах, а величини і напрямки похибок обробки від їх дії можуть суттєво відрізнитись, навіть на верстатах одного типу [1, 2, 3].

Значна частина відхилень розмірів при обробці виникає від дії пружних деформацій. Їх величина та напрямок дії залежить від зусиль, що виникають у процесі обробки, а самі зусилля — від режимів обробки (величини припуску, робочої подачі, частоти обертання шпинделя) для кожної оброблюваної деталі з урахуванням її форми, розмірів та матеріалу. Значну частину таких даних можна отримати розрахунковим шляхом, проте передбачити реакцію кожного верстата з ЧПК в умовах виробництва і величину очікуваної похибки обробки практично дуже складно [4, 5].

Формулювання мети дослідження

У зв'язку з вищезазначеним задачею прогнозування впливу пружних деформацій на виникнення похибки обробки на конкретному верстаті з ЧПК є актуальною, а точність її вирішення передбачає можливість ефективної компенсації очікуваних похибок під час підготовки КП.

За наявності необхідної та достовірної інформації на етапі підготовки КП, наприклад з використанням засобів автоматизації, шляхом моделювання процесу обробки, можливе внесення в траєкторію руху інструменту відповідних поправок для компенсації очікуваних відхилень розмірів. Більше того, такий підхід до прогнозування формування розмірів на деталі дає можливість технологам на етапі підготовки КП вирішувати питання пошуку найкращих варіантів розподілу припусків по технологічних проходах.

Одним із варіантів вирішення таких задач є створення математичної моделі формування похибок формоутворення від дії зусиль різання верстата з урахуванням даних його технічного стану. Отримання таких даних передбачає проведення відповідних досліджень самого технологічного обладнання. В умовах дослідної лабораторії такі задачі вирішують оснащенням об'єкту дослідження необхідними приладами і вимірювальними системами [6, 7, 8]. У виробничих умовах це можна виконати із застосуванням пристроїв діагностики верстатів, що імітують процес металообробки та фіксують необхідні параметри [9, 10].

Враховуючи різноманіття металообробного обладнання з ЧПК, яке експлуатується на виробництві, доцільно використання таких пристроїв, які не вимагають будь-яких змін конструкції серійних верстатів або суттєвих доповнень у конструкції для забезпечення ефективного проведення випробувань. При цьому необхідно забезпечити отримання з мінімальними витратами даних про верстат для використання у математичній моделі.

Відомі, наприклад, пристрої для випробування верстатів шляхом імітації робочих навантажень та виміру деформацій від діючих зусиль [6], проте реальне використання отриманих даних ускладнене через відмінність значень у різних координатах робочої зони верстатів, які у свою чергу можуть бути не однакові. З огляду на це потрібне застосування такого пристрою, який дає можливість отримати необхідні дані по всій робочій зоні верстата.

Виклад основного матеріалу

Для верстатів токарної групи традиційної компоновки робоча зона розташовується з однієї сторони від осьової лінії (рис. 1). Формоутворення деталі, що обертається, здійснюється різальним інструментом, який знаходиться в відміченій робочій зоні і навантажується силами різання, від дії яких виникають пружні деформації.

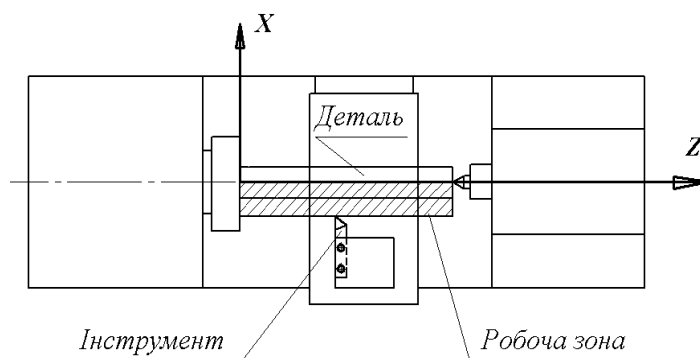


Рис. 1. Схема токарного верстата з ЧПК

Таким чином, при дослідженні такого верстата імітаційні зусилля потрібно створювати також у відміченій робочій зоні. Для зручності всю площу зони доцільно розбити на певну кількість окремих площадок, в середині яких будуть створюватись імітаційні зусилля.

Для імітації робочих навантажень можуть бути задіяні спеціально розроблені пристрої [9, 10, 11], за допомогою яких в широкому діапазоні і у різних напрямках створюються іміта-

ційні зусилля. Схема створення зусиль в межах елементарних площадок, що імітують навантаження, представлена на рис. 2. В координатній системі токарного верстата XZ умовно представлена прямокутна площадка з центром Oxz , з якого на навантажувальний вал (на рисунку не показаний) створюються імітаційні зусилля R_i в певних напрямках (у даному випадку через 45°). Після чого визначаються координати точок M_i , що характеризують величину пружної деформації.

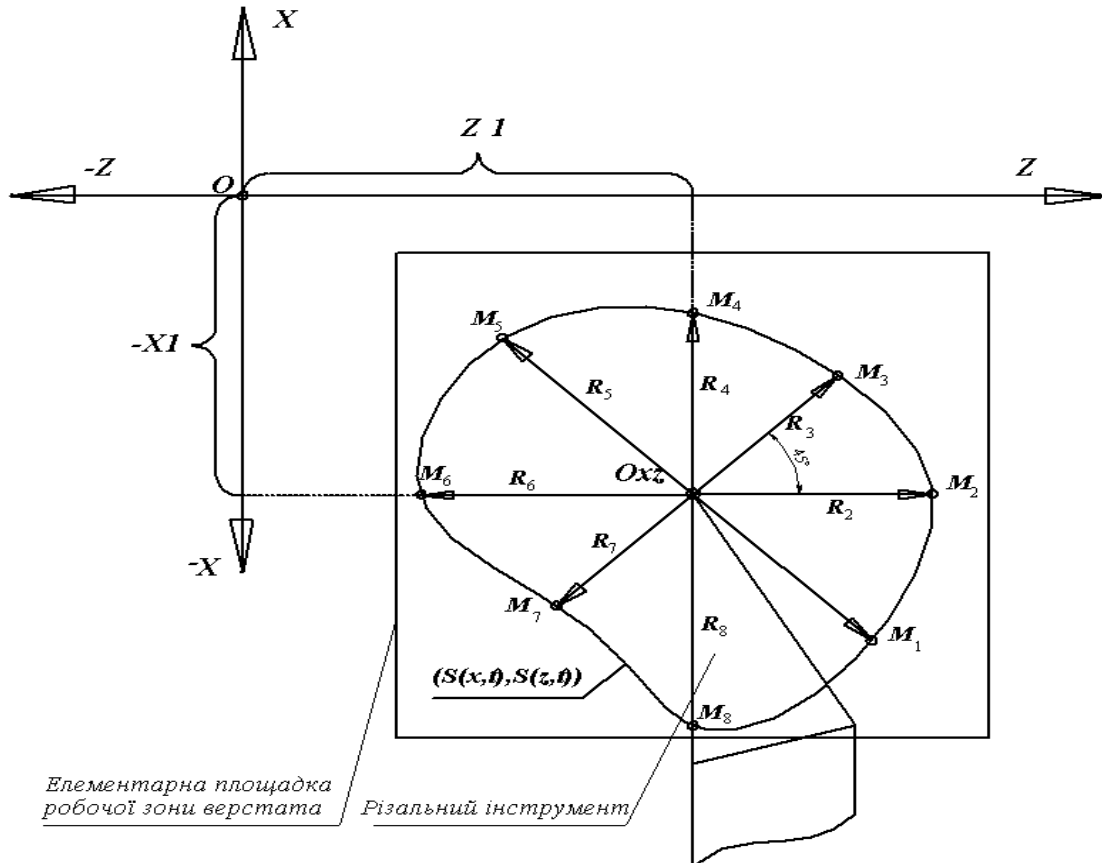


Рис. 2. Будова сплайна піддатливості по результатам імітаційних навантажень

Через набір отриманих точок M_i будуватиметься інтерполяційний сплайн виду $(S(X, t), S(Z, t))$, який є носієм даних про піддатливість технологічної системи при незмінному імітаційному зусиллю і змінних напрямках дії.

Практичне значення має інформація про піддатливість технологічної системи в певному діапазоні зусиль, які відображають величини можливих зусиль різання, і напрямках їх дії, в залежності від моделі верстату. Сімейство побудованих за даними досліджень сплайнів являє собою модель піддатливості технологічної системи конкретного верстату.

Результати досліджень верстату зручно представити у вигляді векторів R у полярній системі відліку [12], модуль яких відповідає величині деформації, а кут — напрямку дії пружної деформації. Для зменшення кількості векторів можна обмежитись найактуальнішими напрямками, співпадаючими з напрямками фактичних деформацій. Отримана таким чином інформація показує очікувану картину пружних деформацій в широкому діапазоні зусиль і їх дії у різних напрямках (рис.3).

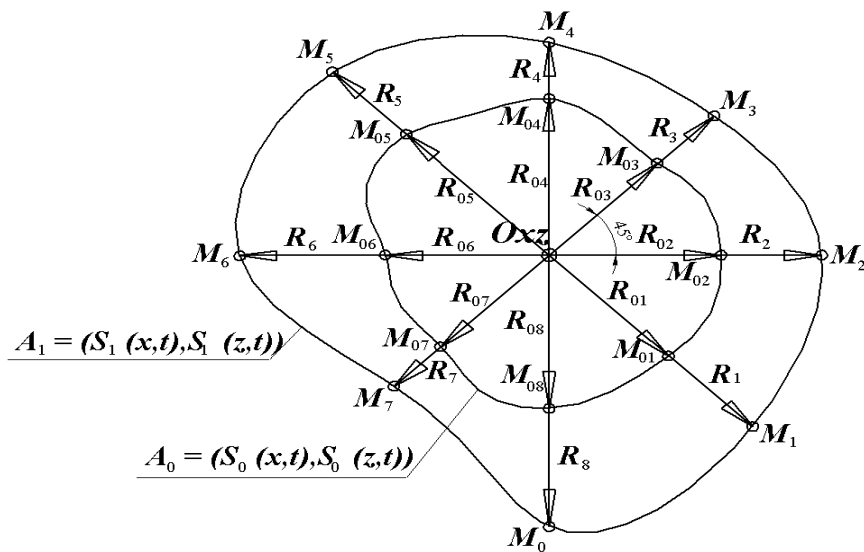


Рис. 3. Модель піддатливості верстата при імітації навантажень двома зусиллями (сплайни A_1 і A_0)

Запропонована модель піддатливості верстата може бути ефективно використана при автоматизованому процесі підготовки КП, наприклад при використанні CAD/CAM систем. У таких випадках спрощується пошук оптимальних варіантів технології обробки складних деталей на верстатах з ЧПК.

Висновки

Моделювання пружних деформацій від дії сил різання дає змогу на стадії розробки технологічного процесу та підготовки КП для верстатів з ЧПК передбачити внесення можливих корекцій в траєкторію руху формоутворюючого інструменту для компенсації очікуваних геометричних похибок. Крім цього, планування технологічних переходів з метою послідовного наближення припусків до бажаних значень і забезпечення остаточного переходу рівномірним припуском заданої величини, створює умови для досягнення високої точності обробки. Значний ефект при реалізації даного підходу можливий у випадках обробки поверхонь складної конфігурації з високою точністю, наприклад деталей з аеродинамічними поверхнями.

Список використаної літератури

1. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. М.: Знание, 1976. 46 с.
2. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1986. 336 с.
3. Величко Ю.П. Силы резания при точении резцами с многогранными пластинами. Известия вузов. М.: Машиностроение. 1081, № 4. С. 35–37.
4. Проников А.С. Влияние компонентов технологической системы на точность обработки. Известия вузов. М.: Машиностроение, 1983. № 4. С. 124–128.
5. Проников А.С. Оценка качества металлорежущих станков по выходным параметрам точности. Станки и инструмент. 1980. № 6. С. 5–7.
6. Проников А.С. Программный метод испытания металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1985. 288 с.
7. Пуш А.В. Формирование базы данных для статистических испытаний при прогнозировании выходных характеристик станков. Известия вузов. М.: Машиностроение, 1984. № 10. С. 148–153.
8. Пуш А.В. Исследования шпиндельных узлов методом статистического моделирования. Станки и инструмент. 1982. № 1 С. 9–12.

9. Пристрій для імітації навантажень в металорізальних верстатах: пат. №121091 Україна: МПК В23В 25/06 . № u201705858; заяв. 12.06.2017; опубл. 27.11.2017. Бюл. № 22.
10. Пристрій для імітації навантажень в металорізальних верстатах: пат. 126657 Україна: МПК В23В 25/06. № u201801566; заяв. 16.02.2018; опубл. 25.06.2018. Бюл. № 12.
11. Устройство для имитации нагрузок в металлорежущих станках: А.с.1757771 СССР, В23В 25/06. 3 с.
12. Васильев М.Г., Юферев В.С. Бикубическая сплайн-интерполяция в полярных координатах *Вычислительная математика и математическая физика*. 1978. том 18. № 6. С. 1600–1602.

THE MODELING OF ELASTIC DEFORMATIONS BY THE CNC MACHINE TECHNOLOGICAL SYSTEM

Abstract

The condition for high precision machining of parts on CNC machines is that the actual movements of the cutting tool correspond to the information recorded in the control program. In real production conditions, processing errors often occur, the magnitude of which depends on many factors that are difficult to predict. The occurrence of errors is significantly affected by the technical condition and quality of adjustment of the technological system of the machine, temperature deformations, elastic deformations of the elements of the machine, devices and workpieces from the action of cutting forces. The task of forecasting the amount of elastic deformations and taking into account the data at the stage of preparing the control program is relevant and provides an opportunity to increase the accuracy of processing.

To create a mathematical model of the formation of the processing error due to the action of elastic deformations of a specific machine, it is necessary to have data on the magnitude and direction of displacement in the space of the elements of the technological system due to the action of cutting forces. The range of efforts and the direction of action must correspond to the conditions of possible processing on a machine of a certain model. The necessary data can be obtained with the help of a device for simulating cutting forces in different places of the working area. According to the results of the research, the values of elastic deformations of the machine elements in different coordinates of the working area are measured. A database is formed for each machine, which reflects the technical condition and rigidity of the elements of the technological system. For ease of recording and further use, a model is built using spline functions based on research data.

The using of the results by elastic deformations simulation on CNC machines is advisable at the stage of preparation of the processing control program. When calculating the trajectory of the movement of the forming tool, it is possible to make corrections to compensate for the expected errors due to the action of elastic deformations. A significant effect from the implementation of this approach is possible in cases of processing surfaces of complex shape with high accuracy.

References

- [1] Pronikov, A.S. (1976). *Parametricheskaja nadezhnost machin [Parametric reliability of machines]*. M.: Mashinostroenie [in USSR].
- [2] Reshetov D.N., Portman V.T. (1986). *Tochnost metalorezhushchih stankov [Machine Tool Precision]*. M. : Mashinostroenie [in USSR].
- [3] Velichko J.P.(1981). Sily rezanija pri tochenii rezcami s mnogogrannymi plastinami [Cutting forces when turning with cutters with polyhedral inserts]. M. : *Mashinostroenie* № 4, P. 35–37 [in USSR].
- [4] Pronikov A.S. (1983). Vlijanie komponentov tehnologicheskoi sistemy na tochnost obrabotki [Influence of the components of the technological system on the accuracy of processing]. *Izvestija vuzov. M.: Mashinostroenie* № 4. P. 124–128 [in USSR].

- [5] Pronikov A.S. (1980). Ocenka kachestva metallovezhushchih stankov po vyhodnym parametram tochnosti [Evaluation of the quality of machine tools by output parameters of accuracy]. *Stanki i instrument.* № 6. P. 5–7 [in USSR].
- [6] Pronikov A.S. (1985). *Programnyi metod ispytaniya metallovezhushchih stankov* [Program method for testing machine tools]. M.: Mashinostroenie [in USSR].
- [7] Puch A.V. (1982) Formirovanie bazy danyh dlja statisticheskikh ispytani pri prognozirovanii vyhodnykh harakteristik stankov [Formation of a database for statistical tests when predicting the output characteristics of machine tools]. *Izvestija vuzov. M.: Mashinostroenie* № 10. P. 148–153 [in USSR].
- [8] Puch A.V. (1982). Issledovanie chpindelnykh uzlov metodom statisticheskogo modelirovaniya [Investigation of spindle assemblies by statistical modeling]. *Stanki i instrument.* № 1. P. 9–12 [in USSR].
- [9] Korotkov V.S., Korotkov R.V. Prystriy dlja imitazii navantazhenija v metalorizalnih verstatah [Device for simulating loads in metal cutting machines]. Patent Uk 121091/ Publ. 27.11.2017. 6 p. [in Ukrainian].
- [10] Korotkov V.S., Korotkov R.V. Prystriy dlja imitazii navantazhenija v metalorizalnih verstatah [Device for simulating loads in metal cutting machines]. Patent Uk 126657. Publ. 25.06.2018. 6 p. [in Ukrainian].
- [11] Korotkov V.S. Ustroistvo dlja imitazii nagruzok v metallovezhuchih stankah [A device for simulating loads in metalworking machines]. A.s. 1757771 B23 B25/06. 6 p. [in USSR].
- [12] Vasiljev M.G., Juferev V.S. Bikubicheskaja splain-interpoljazia v poljarnyh koordinatah. *Vychislitel'naja matematika i matematicheskaja fizika.* 1978. Tom 18. № 6. P. 1600-1602.

Надійшла до редколегії 28.11.2022