

DOI: 10.31319/2519-2884.45.2024.5

УДК 621.9.06

Коротков В.С., к.т.н., доцент, ORCID: 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 Machine-building technologies and Engineering
Dniprovsky State Technical University, Kamianske

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ З ЧПК З ГОРИЗОНТАЛЬНИМ РОЗМІЩЕННЯМ ШПИНДЕЛЮ

Розглядаються особливості експлуатації фрезерних металорізальних верстатів з ЧПК при використанні столів супутників для закріплення заготовок. Відмічено важливість контролю технічного стану елементів технологічної системи верстатів для недопущення відхилень розмірів при обробці деталей від дії зусиль різання. Запропоновано варіант дослідження технічного стану фрезерного верстату з ЧПК з горизонтальним розташуванням шпинделя шляхом імітації робочих навантажень і визначення очікуваних похибок обробки. Розроблено діагностичний пристрій для проведення дослідження стану металорізальних верстатів з ЧПК фрезерної групи з горизонтальним розташуванням шпинделя в умовах виробництва. Наводяться варіанти використання діагностичного пристрою для визначення похибок виходу різального інструменту в задану координату при імітації робочих навантажень.

Ключові слова: верстат з ЧПК; імітація робочих навантажень; діагностичний пристрій.

The paper examines the features of operation of milling metal cutting machines with CNC when using satellite tables for fixing workpieces. The importance of monitoring the technical condition of the elements of the technological system of machine tools to prevent dimensional deviations during the processing of parts due to the action of cutting forces is noted. The proposed version of the study of the technical condition of a CNC milling machine with a horizontal spindle arrangement by simulating workloads and determining expected processing errors. A diagnostic device has been developed for conducting an examination of the condition of metal-cutting machines from the CNC milling group with a horizontal position of the spindle in production conditions. Considered options for using a diagnostic device to determine errors in the output of a cutting tool in a given coordinate when simulating working loads.

Keywords: CNC machine tool; simulation of workloads; diagnostic device.

Постановка проблеми

Металорізальні фрезерні верстати з ЧПК, які мають горизонтальне розташування шпинделя, широко розповсюджені на виробництві та мають свою специфіку щодо технологічних можливостей. Зазвичай заготовка на таких верстатах закріплюється на поворотному столі з використанням відповідних затискних пристроїв і орієнтується у просторі з можливістю доступу до поверхонь обробки горизонтально розміщеним осьовим різальним інструментом. Часто для кріплення заготовок використовують змінні столи супутники, що спрощує процес технологічної підготовки виробництва і створює можливість ефективної реалізації гнучких технологій.

Процес металообробки виробів супроводжується виникненням зусиль різання, які діють на верстат, пристосування, інструмент і деталь (елементи системи ВПІД). Результатом дії таких зусиль є пружні деформації елементів, що їх сприймають і призводять до виникнення похибок обробки. Наявність даних про очікувані зусилля різання, які можливо отримати розрахунковим шляхом, а також дані щодо величини та напрямку деформацій технологічного оснащення, створює умови можливого своєчасного введення корекції траєкторії руху формоутворювального інструменту. Тому задача визначення величини податливості елементів системи ВПІД при робочих навантаженнях є актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Визначення можливої податливості окремих деталей і вузлів технологічної системи ВПД розрахунковим шляхом часто використовують на стадії їх конструювання, що з певною вірогідністю дає прогноз на їх надійність щодо забезпечення необхідної жорсткості при дії робочих навантажень [1, 2, 3].

На формування похибок обробки впливають багато факторів, які відображають особливості конструкції верстату, особливості технології обробки деталі з урахуванням властивостей оброблюваного матеріалу, матеріалу різальної частини інструменту, технічного стану верстату і т. ін. В умовах виробництва, наприклад, відхилення технічного стану верстату з ЧПК часто визначають за погіршенням якості оброблюваних поверхонь і формуванням похибок в геометричних розмірах [4, 5, 6].

Для визначення технічного стану верстату і зменшення вірогідності виникнення похибок обробки можуть використовуватись різні методи діагностування [7, 8]. Одним з найбільш ефективним вважається метод імітації робочих навантажень і дослідження реакції верстату на дії імітаційних зусиль, що моделюють сили різання.

Формулювання мети дослідження

Серед сучасних металорізальних верстатів з ЧПК поширені фрезерні верстати з ЧПК з горизонтальним розміщенням шпинделю і поворотним столом, на якому встановлюється змінне верстатне пристосування з закріпленою заготовкою. При цьому часто задіяні елементи універсальних верстатних пристосувань, які створюють складальну конструкцію з певними характеристиками за жорсткістю. Передбачити вплив на точність обробки такої конструкції складно. Тому виникає необхідність моделювання в таких випадках робочих навантажень для отримання даних щодо податливості конструкції і можливого урахування отриманих даних на стадії підготовки керувальної програми обробки.

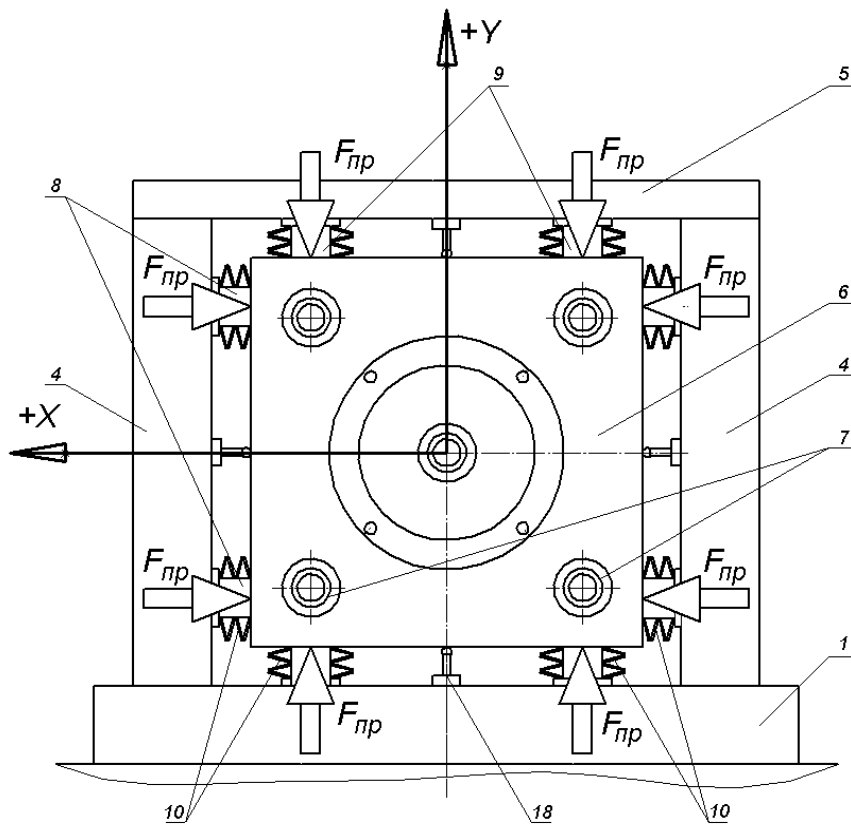
Проведення такого дослідження перед обробкою дає змогу отримати додаткові дані щодо технічного стану шпиндельного вузла верстата та його приводів подач. Важливо забезпечити такі дослідження при мінімальних витратах і без змін конструкцій вузлів металорізального верстату та використовуваного оснащення.

Виклад основного матеріалу

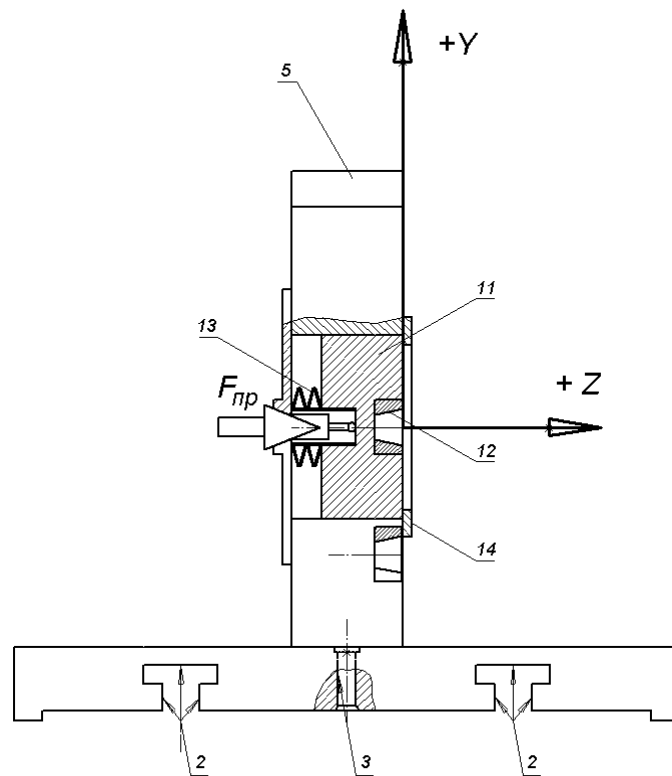
Одним з можливих шляхів вирішення питань проведення діагностики технічного стану верстату з ЧПК є імітація робочого навантаження й аналіз реакції технологічної системи ВПД щодо формування похибок обробки. Для верстатів, які використовують змінні столи-супутники для кріплення заготовок, доцільно урахування їх конструктивних особливостей і виконання діагностичного пристрою з аналогічними вузлами для точної установки та закріплення на верстаті. Такий підхід створює передумови ефективного використання діагностичних пристроїв з серійними верстатами без їх конструктивних доробок.

Для визначення технічного стану фрезерного верстату з горизонтальним розміщенням шпиндельного вузла та з системою ЧПК розроблено діагностичний пристрій [9], схема якого представлена на рис. 1. Основа 1 пристрою виконана з Т-подібними напрямними поверхнями 2 і базовим отвором 3 для орієнтації пристрою на верстаті за допомогою фіксуючих штирів у відповідності до стандарту [10]. На основі встановлені дві вертикальні направляючі стойки 4 з перекладиною 5, в середині якої розміщена рухома в площині ХУ вимірювальна плита 6 з контактними втулками 7 з конусним отвором в центральній частині.

Можливість обмеженого переміщення вимірювальної плити за координатою Х забезпечується напрямними 8, а за координатою Y — ковзними опорами з пальцями 9. Утримання вимірювальної плити 6 в центральній частині пристрою забезпечується пакетами тарілчастих пружин 10 сумарним зусиллям $F_{\text{пр}}$. При необхідності кількість пружин, їх розміри та сумарне зусилля можуть підбиратись в залежності від типів і розмірів верстатів, а також особливостей поставлених діагностичних задач.



а)



б)

Рис. 1. Схема діагностичного пристрою (а — вид спереду; б — вид збоку)

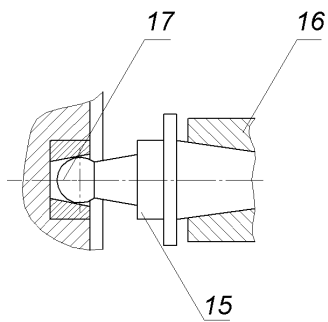


Рис. 2. Вимірювальна оправка

У середині вимірювальної плити 6 розміщено вимірювальний стакан 11 з можливістю обмеженого переміщення за координатою Z , у центральній частині якого встановлена контактна втулка 12. Пакет тарілчастих пружин 13 притискає вимірювальний стакан до планки 14 і забезпечує його точне позиціонування.

Для імітації робочих навантажень використовується вимірювальна оправка 15, яка має, з однієї сторони, конусний хвостовик 16, призначений для установки в шпindelь верстату, а з іншої – сферичний наконечник 17, призначений для введення в конусний отвір контактних втулок (рис. 2).

Для заміру величини переміщень в площині XY вимірювальної плити 6 і вимірювального стакану 11 за координатою Z у пристрої встановлені прилади вимірювання лінійних переміщень 18 (чотири з кожної сторони вимірювальної плити 6 і один з внутрішньої сторони вимірювального стакану 11).

Перед проведенням діагностики пристрій проходить випробування й атестацію з вимірюванням міжцентрових розмірів контактних втулок, положення у просторі вимірювальної плити та вимірювального стакану, визначення зусиль пакетів пружин (за необхідності підбираються пружини для створення необхідних зусиль).

Для визначення технічного стану верстату пристрій встановлюється та фіксується на столі фрезерного верстату аналогічно столу-супутнику, а в шпindelь встановлюється вимірювальна оправка.

Для визначення точності позиціонування рухомих частин верстату в ручному режимі чи за керуваною програмою сферичний наконечник 17 вимірювальної оправки вводиться в конусний отвір контактної втулки, після чого вимірювальні пристрої (вимірювальна система) встановлюються в початкове положення. Наступні рухи вимірювальної оправки та введення наконечника в конусний отвір обраної контактної втулки виконуються у відповідності до поставлених задач діагностики. Показники вимірювальних пристроїв використовуються для обчислення точності виходу вимірювальної оправки в заздалегідь відому координату центра конусної втулки в площині XY , або за координатою Z .

Для визначення точності позиціонування при імітації навантаження в площині XY та за координатою Z наконечник оправки вводиться у конусний отвір обраної контактної втулки, а потім, після установки вимірювальних пристроїв в початкове становище, переміщується на заздалегідь відому обмежену точну величину у вибраному напрямку, долаючи зусилля тарілчастих пружин. У випадку визначення точності позиціонування за координатою Z наконечник оправки вводиться у конусний отвір контактної втулки, яка розміщена в центрі вимірювального стакану 11. Показники вимірювальних пристроїв у даному випадку будуть відображати інформацію по фактичному виходу оправки у задану координату при імітації робочого навантаження відповідними пакетами пружин.

Висновки

Використання пристрою в умовах виробництва з серійними металорізальними верстатами з ЧПК, з горизонтальним розташуванням шпинделя дає змогу своєчасно виявити відхилення параметрів верстату від паспортних даних і виконати роботи з усунення виявлених відхилень. Таким чином, зменшується вірогідність появи геометричних похибок обробки на верстаті з ЧПК, яка виконується за керуваною програмою, і появи браку продукції.

Список використаної літератури

1. Кириченко А.М. Показники жорсткості верстатного обладнання з паралельною кінематикою / А.М. Кириченко // Збірник наукових праць КНТУ. 2009. Вип. № 22. С. 272–282.
2. Струтинський В.Б., Кириченко А.М. Теоретичний аналіз жорсткості шестикоординатного механізму паралельної структури / В.Б. Струтинський, А. Кириченко // Вісник Національно-

- го технічного університету України „Київський політехнічний інститут”. 2009. № 57. С. 198–207.
3. Кириченко А.М. Приведення до зони обробки жорсткості та податливості обладнання з механізмами паралельної структури /А.М. Кириченко // Вісник Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”. 2011. № 59. С. 205–210.
 4. Морсков А.С. Точність обробки на верстатах з ЧПУ / Морсков А.С., Чорна О.Д., Фішук О.А., Волобуєв Г.В. // Тези доповідей XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування». – Київ : 2019. С. 179–182.
 5. Луців І.В. Оцінка впливу технологічних факторів на формування динамічної похибки при точінні деталей, затиснутих у токарному патроні з адаптивними затискними елементами /Луців І.В., Волошин В.Н., Бица Р.О. // Тези доповідей XX наукової конференції ТНТУ ім. І. Пуюя. Тернопіль, 2017. С. 30–31.
 6. Технології для верстатів з числовим програмним керуванням: електронний навчальний посібник / О.В. Дерібо, О.Д. Лозінський, О.В. Сердюк. Вінниця: ВНТУ, 2023. 115 с.
 7. Коротков В.С. Моделирование рабочей нагрузки на технологическую систему станка с ЧПУ /В.С. Коротков // Математичне моделювання. 2017. № 2. С. 53–55.
 8. Пристрій для імітації навантажень в металорізальних верстатах: пат. 126657 Україна. Опубліковано 25.06.2018. Бюл. № 12.
 9. Діагностичний пристрій для металорізальних верстатів з числовим програмним керуванням. патент 155914 Україна. Опубліковано 17.04.2024. Бюл. № 14.
 10. Іскович-Лотоцький Р.Д. Обладнання автоматизованих виробництв. Частина 2. Автоматичні лінії. Гнучкі виробничі системи. Транспортно-завантажувальні пристрої: електронний навчальний посібник комбінованого використання. /Р.Д. Іскович-Лотоцький, О.Д. Манжілевський. Вінниця: ВНТУ, 2022. 155 с.

DETERMINATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF A CNC MILLING MACHINE WITH HORIZONTAL SPINDLE ARRANGEMENT

Abstract

Metal cutting milling machines with CNC, which have a horizontal arrangement of the spindle, are widely distributed in production and have their own specifics in terms of technological capabilities. Interchangeable satellite tables are often used to fix workpieces, which simplifies the process of technological preparation of production and creates the possibility of effective implementation of flexible technologies.

The process of metalworking of products is accompanied by the occurrence of cutting forces that act on the machine, device, tool and part. The result of such efforts are elastic deformations of the elements that perceive them and lead to processing errors. Therefore, the task of determining the amount of compliance of the elements of the technological system of the machine tool and taking into account such data in the control program is relevant.

CNC milling machines with a horizontal spindle and a rotary table often use interchangeable machine tools-satellite tables, on which the workpieces are fixed. When processing from the action of cutting forces, it provides elastic deformations of the elements of the technological system, which should be taken into account when preparing control programs. One of the options for obtaining such information is the study of the functionality of the machine elements and their application by simulating workloads.

To determine the technical condition of the milling machine and data on the compliance of its elements with the machine tool, a diagnostic device was developed, which is installed on the machine table similarly to the satellite table. By simulating working loads on the moving measuring plate of the device with a measuring mandrel, the accuracy of the output of the cutting tool in the given coordinate is determined. Imitation forces are created by springs along the X, Y and Z coordinates when the measuring mandrel is moved by the machine tool drives.

The use of a diagnostic device in production conditions creates an opportunity to timely detect deviations of the parameters of the CNC machine from the passport data, as well as data on the compliance of the elements of the technological system. The use of the obtained data in the control program creates conditions for reducing the probability of processing errors.

References

- [1] Kyrychenko, A.M. (2009) Pokaznyky zhorstkosti verstatnogo obladnannja z paralelnoju kinematykoju [Rigidity indicators of machine tool equipment with parallel kinematics]. Zbirnyk naukovykh praz KNTU - *Collection of scientific works of KNTU*, 22, 272-282 [in Ukrainian].
- [2] Strunynskiy, V.B. & Kyrychenko, A.M.(2009). Teoretychnyi analiz zhorstkosti shestykoordynatnogo mehanizmu paralelnoi struktury [Theoretical analysis of the stiffness of the six-coordinate mechanism of the parallel structure]. *Visnyk nazionalnogo tehnicnogo universytetu Ukrainy „Kyivskiy politehnicnyi instytut” - Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*, 57, 198-207 [in Ukrainian].
- [3] Kyrychenko, A.M. (2011). Pryvedennja do zony obrobky zhorstkosti ta podatlyvosti obladnannja z mehanizmamy paralelnoi struktury [Bringing equipment with mechanisms of parallel structure to the processing area of rigidity and compliance]. *Visnyk nazionalnogo tehnicnogo universytetu Ukrainy „Kyivskiy politehnicnyi instytut” - Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*, 59, 205-210 [in Ukrainian].
- [4] Morskov A.S. (2019). Tochnist obrobky na verstatah z CHPU [Precision processing on CNC machines]. *XII Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsia «Pogljad u maibutne pryladobuduvannja» - 12th All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists "Looking into the Future of Instrumentation"*. (pp.179-182). Kyiv [in Ukrainian].
- [5] Luziv, I.V., Voloshyn, V.N., Byza, R.O. (2017). Ozinka vplyvu tehnicnykh faktorov na formuvannja dynamichnoi pohybky pry tochnini detalei zatysnutyh u tokarnomu patroni z zatysknyimi elementamy [Assessment of the influence of technological factors on the formation of dynamic error during turning of parts clamped in a lathe chuck with adaptive clamping elements] . *XX naukova konferensija TNTU im. S. Pujula*. (pp. 30-31). Ternopil [in Ukrainian].
- [6] Deribo, O.V., Lozinskyi, D.O., Serdjuk, O.V. (2023). *Tehnologii dlja verstativ z chyslovym programnym keruvannjam: elektronnyi navchalnyi posibnyk [Technologies for numerically controlled machines: an electronic training manual]*. Vinnythja: VNTU [in Ukrainian].
- [7] Korotkov, V.S. (2017) Modelirovanie rabochey nagruzky na tehnicnjeskuju sistemu stanka s CHPU [Modeling the workload on the technological system of a CNC machine] . *Matematyčne modeljuvannja*, 2, 53–55 [in Ukrainian].
- [8] Prystry dlja imitacii navantazhen v metallorizalnykh verstatah [*Device for simulating loads in metal cutting machines*] pat. 126657 (Ukraine). Opubl. 25.06.2018, Bjul. № 12 [in Ukrainian].
- [9] Diagnostychny prystry dlja metalorizalnykh verstativ z chyslovym programnym keruvannjam [*Diagnostic device for metal cutting machines with numerical software control*] . Patent №155914 (Ukraine). Opubl. 17.04.2024, Bjul. № 14 [in Ukrainian].
- [10] Iskovych-Lotothky, R.D. & Manzhilevsky, O.D. (2022) *Jbladnannja avtomatyzovanykh vyrobnyctv. Chastyna 2. Avtomatychni linii. Gnuchki vyrobnychi systemy. Transportnozavantazhuvalni prystroi:elektronnyi navchalnyi posibnyk kombinovanogo vykorystannja. [Automated production equipment. Part 2. Automatic lines. Flexible production systems. Transport and loading devices: an electronic training manual for combined use]*. Vinnytsja: VNTU [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 30.10.2024