

УДК 621.9.06

Модель точності двосупортних токарних верстатів з ЧПК при дворізцевій обробці

Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М.

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пуллюя, м. Тернопіль, Україна

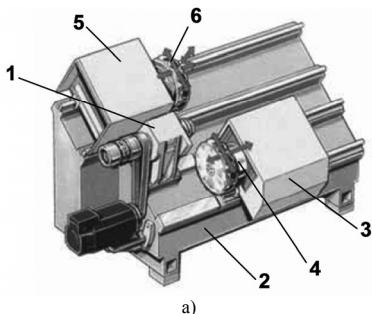
Анотація: Робота присвячена розробці математичної моделі точності двосупортних токарних верстатів з ЧПК при дворізцевій обробці, яка базується на варіаційному методі розрахунку точності верстатів. Встановлено, що для здійснення одночасної токарної обробки поверхонь заготовки двома різальними інструментами формоутворююча система двосупортних токарних верстатів з ЧПК має паралельну структуру із спільними ланками, якими є базові вузли із шпинделем та оброблюваною деталлю. Побудовану функції формоутворення розглянута як формальна операція встановлення зв'язку між системами координат заготовки і інструментів. Проведено оцінку спектру формоутворюючих можливостей одношпиндельних двосупортних токарних верстатів з ЧПК. На основі моделі функції формоутворення отримано модель вихідної точності сучасних токарних верстатів з ЧПК для багатоінструментальної токарної обробки. Використовуючи відомі рівняння нормалей до циліндричної поверхні, отримані баланси нормальних похибок при її дворізцевій обробці.

Ключові слова: Двосупортний токарний верстат, функція формоутворення, математична модель точності, дворізцева обробка, похибка

Задача підвищення продуктивності сучасних токарних верстатів з ЧПУ та верстатних систем на їх основі в умовах багатономенклатурного виробництва, високошвидкісної і прецизійної обробки деталей є пріоритетною для більшості фірм-виробників. Одним із способів підвищення продуктивності обробки є багатоінструментальна обробка одночасно однієї або декількох поверхонь [1]. Резерви підвищення ефективності такої обробки із супортних систем, які незалежно керуються, знаходяться в раціональному поєднанні обробки поверхні (або поверхонь) заготовки при спільній частоті обертання шпинделя. Це раціональне поєднання значною мірою буде залежати від похибок, які виникають в процесі цієї обробки. А вони залежать від розташування інструментів у просторі робочої зони та одночасного впливу всіх складових сил різання від всіх інструментів, які беруть участь в обробці, пружних переміщень формоутворюючої системи верстата по всіх координатах, його геометричної точності та ін. Тому розробка моделі вихідної точності сучасних токарних верстатів з ЧПК для багатоінструментальної обробки є актуальною науковою проблемою.

Формоутворення поверхонь поряд із різанням являється основним робочим процесом на металорізальних верстатах. Модель формоутворюючої системи верстата формується по складу вузлів верстата і опису їх рухів та математично представляється у вигляді функції формоутворення [2]. Важливими елементами формоутворюючої системи є ланки, кожна з яких має локальну систему координат, і зв'язки між сусідніми ланками. По признаку наявності чи відсутності кінематичного зв'язку між ланками розрізняють ланцюгову (послідовну) структуру формоутворюючої системи та паралельну структуру формоутворюючої системи, що являє собою сукупність ланцюгів хоча б з однією спільною ланкою [3]. Сучасні одношпиндельні двосупортні токарні верстати з ЧПК мають паралельну структуру формоутворюючої системи [3, 4] (рис.1).

Розглянемо формоутворюючу структуру одношпиндельного двосупортного токарного верстата з ЧПК (рис.2). Обидві поверхні, які обробляються, розташовані на одній заготовці, що служить нульовою ланкою формоутворюючої системи. Тоді координатний код формоутворюючої системи для обох її віток, який складається із кодів матриць переміщень і поворотів, $K_1 = K_2 = 631$ [2].



a)

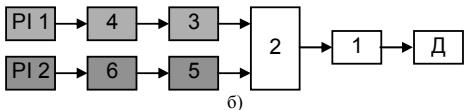


Рис. 1 – Компоновка (а) та паралельна структура формоутворюючої системи (б) двосупортних одношпиндельних токарних верстатів з ЧПК:
1 – шпиндельна бабка із шпиндельним вузлом і заготовкою; 2 – станина; 3, 5 – поздовжні нижній і верхній супорти відповідно; 4, 6 – поперечні нижній і верхній супорти відповідно; РІ 1 та РІ 2 – різальні інструменти для токарної обробки нижнього і верхнього супортів відповідно; Д – оброблювана деталь

Виходячи із координатного коду формоутворюючої системи одношпиндельного двосупортного токарного верстата з ЧПК (рис.2) для обох її віток $K_1 = K_2 = 631$ [4], який складається із кодів матриць переміщень і поворотів, функція формоутворення для формоутворюючої системи паралельної дії буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} \overline{r_{01}} &= A_{01}^6(\varphi) \cdot A_{12}^3(z^1) \cdot A_{23}^1(x^1) \cdot \overline{r_{31}} \\ \overline{r_{02}} &= A_{01}^6(\varphi) \cdot A_{12}^3(z^2) \cdot A_{23}^1(x^2) \cdot \overline{r_{32}} \end{aligned} \quad (1)$$

де $\overline{r_{31}}$, $\overline{r_{32}}$ – радіус-вектори точок першого та другого різця відповідно; $\overline{r_{01}}$, $\overline{r_{02}}$ – радіус-вектори точок першого та другого різця в системі координат заготовки; $A_{01}^6(\varphi)$ – матриця повороту навколо осі Z ; $A_{12}^3(z^1)$, $A_{12}^3(z^2)$ – матриці переміщень вздовж осі Z ; $A_{23}^1(x^1)$, $A_{23}^1(x^2)$ – матриці переміщень вздовж осі X .

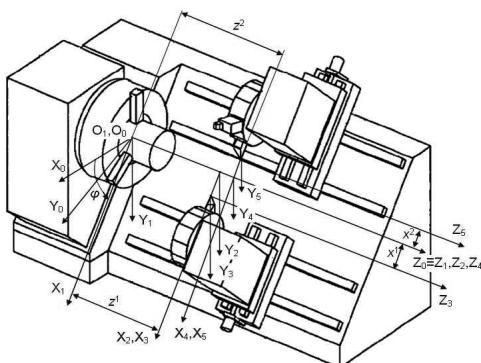


Рис. 2 - Формоутворююча система одношпиндельного двосупортного токарного верстата з ЧПК

векторний баланс точності одношпиндельного двосупортного токарного верстата з ЧПК для дворізцевої обробки:

Прийнявши обидва різці точковими різальними інструментами $\overline{r_{31}} = \overline{e^4} = (0,0,0,1)^T$, $\overline{r_{32}} = \overline{e^4} = (0,0,0,1)^T$ та підставивши матриці перетворення координат у (2) отримаємо:

$$\begin{cases} \overline{r_{01}} = [x^1 \cos(\varphi), x^1 \sin(\varphi), z^1, 1]^T \\ \overline{r_{02}} = [x^2 \cos(\varphi), x^2 \sin(\varphi), z^2, 1]^T \end{cases} \quad (2)$$

На основі отриманої функції формоутворюючої системи (3) проведено оцінку формоутворюючих можливостей верстата, тобто технологічні схеми обробки, які можна реалізувати.

Використовуючи модель функції формоутворення отримано

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta r_{01} = (\varepsilon_0 A_{01}^6(\varphi) A_{12}^3(z^1) A_{23}^1(x^1) + A_{01}^6(\varphi) \varepsilon_1 A_{12}^3(z^1) A_{23}^1(x^1) + A_{01}^6(\varphi) A_{12}^3(z^1) \varepsilon_2 A_{23}^1(x^1) + \\ + A_{01}^6(\varphi) A_{12}^3(z^1) A_{23}^1(x^1) \varepsilon_3) \cdot \underline{r_{31}} \\ \Delta r_{02} = (\varepsilon_0 A_{01}^6(\varphi) A_{12}^3(z^2) A_{23}^1(x^{21}) + A_{01}^6(\varphi) \varepsilon_1 A_{12}^3(z^2) A_{23}^1(x^2) + A_{01}^6(\varphi) A_{12}^3(z^2) \varepsilon_2 A_{23}^1(x^2) + \\ + A_{01}^6(\varphi) A_{12}^3(z^2) A_{23}^1(x^2) \varepsilon_3) \cdot \underline{r_{32}} \end{array} \right. \quad (3)$$

З врахуванням зв'язків аргументів і нормалей функції формоутворення та рівняння оброблюваних на даному верстаті циліндричних поверхонь отримано баланси точності одношпиндельного двосупортного токарного верстату з ЧПК для дворізцевої обробки.

Accuracy model of two-carriage CNC lathes in double-tool machining

Lutsiv I., Voloshyn V., Buhovets V.

Annotation: The paper deals with the development of the accuracy mathematical model of two-carriage CNC lathes in double-tool machining, which is based on the variational calculation method of the machine tools accuracy. It has been established that as for the simultaneous turning of the work-piece surfaces with two cutting tools, the shape-forming system of two-carriage CNC lathes has a parallel structure with common links, which are the basic units with a spindle and the machined part. The shape forming function construction is described as a formal operation of establishing a connection between the work-piece and tools systems of coordinates. The spectrum of the shape forming capabilities of the single-spindle double-carriage CNC lathes has been evaluated. On the basis of the shape forming function model, the output accuracy model of the modern CNC lathes was obtained for the case of multi-tool turning. Using the known equations of a normal to the cylindrical surface the normal errors balances in a double-tool machining case were obtained.

Keywords. Two-carriage lathes, shape forming function, mathematical model of accuracy, double-tool machining, error

Модель точности двухсупортных токарных станков с ЧПУ при двухрезцовой обработке

Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.Н.

Аннотация: Работа посвящена разработке математической модели точности двухсупортных токарных станков с ЧПУ при двурезцовой обработке, основанная на вариационном методе расчета точности станков. Установлено, что для осуществления одновременной токарной обработки поверхностей заготовки двумя режущими инструментами формообразующая система двухсупортных токарных станков с ЧПУ имеет параллельную структуру с общими звенями, которыми являются базовые узлы с шиноделом и обрабатываемой деталью. Построение функции формообразования рассмотрено как формальную операцию установления связи между системами координат заготовки и инструментов. Проведена оценка спектра формообразующих возможностей одношпиндельных двухсупортных токарных станков с ЧПУ. На основе модели функции формообразования получена модель исходной точности современных токарных станков с ЧПУ для многоинструментальной токарной обработки. Используя известные уравнения нормалей к цилиндрической поверхности, получены балансы нормальных ошибок при ее двурезцовой обработке.

Ключевые слова. Двухсупортный токарный станок, функция формообразования, математическая модель точности, двурезцовая обработка, погрешность

Список літератури

1. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія/ [Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н.]. – К.: – Тернопіль: Терно-граф, 2011. – 692 с.
2. Решетов Д.Н. Точность металорежущих станков/ Д.Н. Решетов, В.Т. Портман. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
3. Кушнір Э.Ф. Структурний синтез розрахункових моделей механіки станків/ Э.Ф. Кушнір, В.Т. Портман// Станки и инструмент – 1991 – №9. – С. 9 – 12.
4. Lutsiv I. Shape forming system model of lathes two-carriage tool systems/ Lutsiv I., Voloshyn V., Buhovets V. // Scientific journal of the Ternopil national technical university. – 2018 – №3 (91) – pp. 80-87.