

UDC 621.9.06

Dmytriv D., DThSc.

Kherson National Technical University / Ukraine

NEW LAYOUT AND KINEMATIC DRILL-MILLING MACHINES WITH PARALLEL STRUCTURE MECHANISMS

НОВІ КОМПОНОВКИ СВЕРДЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ З МЕХАНІЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

Abstract: Layouts of the metal-cutting machines with the mechanism of parallel structure (MPS) based on the biglide and bipod types are under consideration. The techniques increase functionality in the machine's layouts without increasing complexity of the MPS kinematic structure and the layouts mathematical modeling are shown.

Keywords: layouts, metal-cutting machines, mechanism of parallel structure, mathematical modeling

INTRODUCTION

Mechanical engineering nowadays widely implement high technologies using equipment based on mechatronic systems. Lathes with the kinematic links and an end-effector (EE) form closed machine space. These machines use the mechanism of parallel structure, that have certain advantage in comparison with traditional consecutive kinematic links [1]. Those advantages are: increased number degrees of freedom (DoF) and EE high velocity and EE high acceleration, machine polyvalence, processing of all sides of the detail (except the basic side) after one mounting. The technical shortcomings of the machine layout cannot be corrected by future improvements of the components and constituents. Therefore, the crucial design stage is the step of selecting layouts in accordance with given technological tasks [2, 3].

PROBLEM STATEMENT

The hexapods, tricepts modules and others MPS with the variable length telescopic equipment are widely offered recently. This trend is based on the desire of the developers to ensure full functionality only by the kinematic properties of new MPS equipment. However, there are certain restrictions: i.e. angle of the joints, bars length, increasing of the metal consumption, small working space, angles of tool-detail approach and the others. To enhance the technological capabilities, ensure quality and functionality, generally use following ways: improvement of kinematic structure of MPS; improvement of assemblies and components design; creation of optimal compiling equipment combined with the traditional kinematic structures.

Анотація: Розглянуто проектування компоновок металорізальних верстатів з МПС на основі біглайда і біпода. Наведені шляхи збільшення функціональності в компоновках верстатів без ускладнення кінематичної структури МПС і їх математичне моделювання.

Ключові слова: компоновки, металорізальні верстати, механізми паралельної структури, математичне моделювання

ВСТУП

В сучасних умовах в машинобудуванні широко впроваджуються високі технології з використанням технологічного обладнання на основі мехатронних систем. У верстатному обладнанні з кінематичними ланками і виконавчим органом (ВО), що утворюють замкнений просторовий контур, застосовують механізми паралельної структури (МПС), які мають певні переваги в порівнянні з традиційними послідовними кінематичними ланцюгами [1]. А саме, підвищена ступінь вільності і високі швидкості та прискорення ВО, багатофункціональність обладнання, можливість обробки деталі з усіх боків (крім базової) за один установа. Технічні недоліки, допущені в компоновці верстату, неможливо виправити в подальшому удосконаленням окремих вузлів і складових елементів верстатної системи. Тому відповідальним етапом проектування при виготовленні верстатного обладнання є етап розробки компоувальної схеми у відповідності до технологічних задач [2, 3].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В останній час широко пропонуються верстати-гексаподи, модулі Tricept і інші з телескопічними штангами змінної довжини. Дана тенденція ґрунтується на прагненні розробників нового обладнання забезпечити повну функціональність лише за рахунок кінематичних властивостей самого МПС. Однак, при цьому з'являються певні обмеження: кут повороту шарнірів, довжина штанг, підвищена металоемність, невеликий робочий простір та кути підходу ВО до оброблюваної поверхні і ін. Для розширення технологічних можливостей, забезпечення потрібної якості та функціональності визначають, як правило, наступні шляхи: удосконалення кінематичної структури МПС; удосконалення конструкції вузлів і складових елементів; створення оптимальної компоновки обладнання в поєднанні з традиційними кінематичними структурами.

MAIN ARTICLE

Combining biglide machine tools in one layout with a rigidly fixed instrumental spindle on a movable platform, but with different initial orientation, get production line for detail processing from the six sides (fig. 1). This assembly consists of the six separate sections, with plane work area and a pallet conveyor. This layout decreases in metal consumption and dimensions, but overall functionality remains the same.

There is a need to equip the spindle tool by a turning device on the moving platform (relative to the axis of X, and (or) Y) in order to reduce the machine size and metal consumption (fig. 2). Then the layout consists of two sections of MPS, each includes features four sections of the MPS (see Fig. 1). For example, the rotation axis X section 1, 2, 3, 4; the rotation axis Y section 3, 4, 5, 6. Thus, the single module layout reduces the metal consumption and dimensions by three times and gives a possibility to use only one machine.

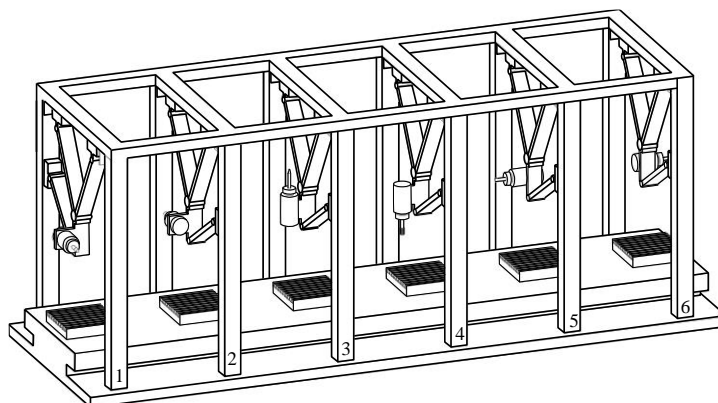


Fig. 1 – Integrated layout of the mill-drilling machine with different initial spindle orientation / Об'єднана компоновка свердильно-фрезерного верстату з різною початковою орієнтацією шпинделя

Substantial reserve for increasing the layout quality can be the discrete position options [8]. These position types are: horizontal, vertical with a slope, turning at 45°, 90°, 180°, filling free space, location of point-line, multiple lines, on a plane and etc. The result of the working planes intersection of the MPS is a frame-layout with either a shared column with circular conveyer pallet (fig. 3, a) or counter location MPS in cross-table machine (fig. 3, b).

For determining the kinematic properties of the configurations with MPS we build bipod and biglide layouts in dependence of the controlled driving coordinates. This layout responds mixed kinematic in various combinations of controlled coordinates x_A , x_B , l_A , l_B . The mechanism layout formed by two kinematic chains AK and BK the shared connection point belongs to the top of the closed triangular path AKB.

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

Якщо об'єднати розглянуті виконання верстатів на основі МПС біглайд в одну копоновку з жорстко закріпленим інструментальним шпинделем на рухомій платформі, але з різною початковою орієнтацією, отримаємо технологічну лінію для обробки деталі з шести боків (рис.1). Така компоновка складається з шести окремих секцій, де робочою зоною буде площина і конвеєра палет. Дана компоновка програє в металоємності та габаритах, однак зберігається загальна функціональність. Для зменшення габаритів і металоємності верстату потрібно оснастити інструментальний шпиндель пристроєм повороту на рухомій платформі відносно осі X і (або) Y (рис. 2).

Тоді компоновка буде складатися з двох секцій з МПС, кожна з яких включає властивості чотирьох секцій з МПС по рис.1. Наприклад, обертання навколо осі X секції 1, 2, 3, 4; обертання навколо осі Y секції 3, 4, 5, 6. Таким чином, введення одного модуля повороту знижує металоємність і габарити в три рази і дає можливість використати один верстатний стіл.

Суттєвим резервом підвищення критерію якості компоновки може бути виконання дискретних змін [8]: положення горизонтальне, вертикальне, з нахилом, поворот на 45°, 90°, 180°, заповнення вільного простору, розташування в точці – по лінії, декількох лініях – по площині і т. ін. Результатом перетину робочих площин МПС будуть каркасні компоновки з спільною колоною і круговим конвеєром палет (рис. 3, а) або з зустрічним розташуванням МПС в зоні дії хрестового верстатного столу (рис. 3, б).

Для визначення кінематичних властивостей розглянутих компоновок з МПС побудуємо схему механізмів біпод і біглайд в залежності від того, що буде прийнято за керовані привідні координати і також відповідає змішаній кінематиці в різних комбінаціях керованих координат x_A , x_B , l_A , l_B . Схема механізму утворена двома кінематичними ланцюгами AK і BK, спільна точка з'єднання яких належить до вершини трикутного замкненого контура AKB.

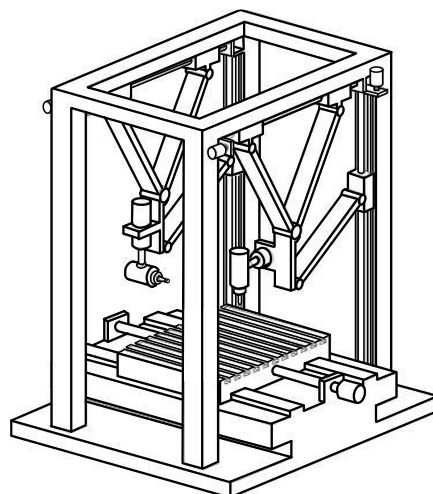


Fig. 2 – Double spindle mill-drilling machine layout with rotation module of the spindle on movable platform / Двошпindelьна компоновка свердильно-фрезерного верстату з модулем повороту шпинделя на рухомій платформі

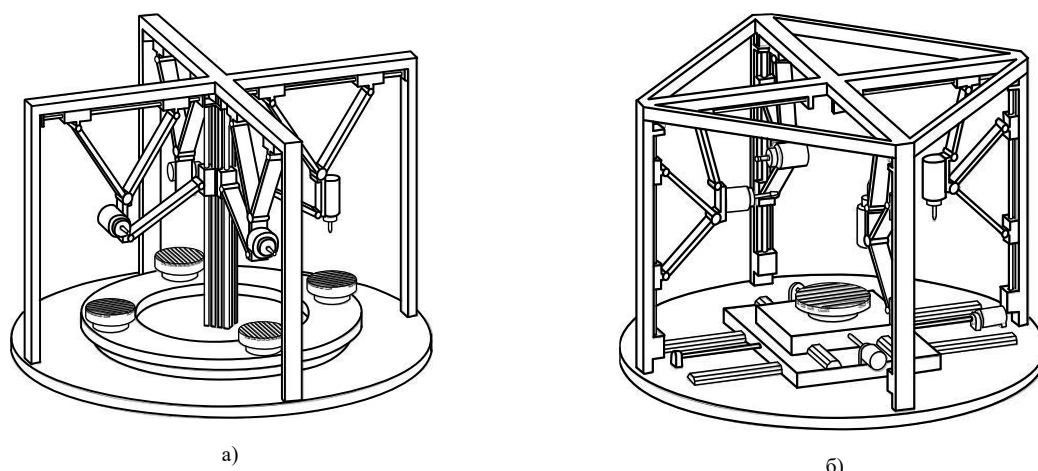


Fig. 3 – The layout of a four-spindle drill-milling machine: a – with separate working zones of the MPS; b - with crossed working zones of the MPS / Компоновка чотирьохшпindelьного свердильно-фрезерного верстату: а – з різними робочими зонами МПС; б – з робочими зонами МПС, що перетинаються

The solution of this problem is considerably simplified if abandon calculation of the intermediate coordinates θ_1, θ_2 , and put the condition of existence of searched point K at the intersection of two circles with radiuses equal to the length of the rods $R_1 = l_A$, $R_2 = l_B$ with the position of the centre of the corresponding circle on controlled axes (x_A, y_A) and (x_B, y_B) (fig. 4).

The solution of the system (1) relative to x_K , y_K are quadratic equations:

$$\begin{cases} (x_K - x_A)^2 + (y_K - y_A)^2 - R_1^2 = 0; \\ (x_K - x_B)^2 + (y_K - y_B)^2 - R_2^2 = 0. \end{cases} \quad (1)$$

$$S_1 \cdot y_K^2 + S_2 \cdot y_K + S_3 = 0; \quad P_1 \cdot x_K^2 + P_2 \cdot x_K + P_3 = 0, \quad (2)$$

where / де $S_1, S_2, S_3, P_1, P_2, P_3$ – coefficients / коефіцієнти:

$$S_1 = 4(y_B^2 + y_A^2 + x_B^2 + x_A^2 - 2 \cdot (y_A \cdot y_B + x_A \cdot x_B));$$

$$S_2 = 4(R_1^2 \cdot y_A - R_2^2 \cdot y_A + R_2^2 \cdot y_B - R_1^2 \cdot y_B - y_B^3 - y_A^3 - x_A^2 \cdot y_A - x_A^2 \cdot y_B + y_B^2 \cdot y_A - x_B^2 \cdot y_A - x_B^2 \cdot y_B + y_A^2 \cdot y_B + 2(x_B \cdot x_A \cdot y_A + x_B \cdot x_A \cdot y_B));$$

Розв'язок даної задачі суттєво спрощується, якщо відмовитися від розрахунку проміжних координат θ_1, θ_2 , і поставити умову існування шуканої точки K на перетині двох кіл з радіусами, що дорівнюють довжині штанг $R_1 = l_A$, $R_2 = l_B$, з положенням центру відповідного кола на керованих координатах (x_A, y_A) та (x_B, y_B) (рис. 4)

Розв'язком системи (1) відносно x_K , y_K будуть квадратні рівняння:

$$S_3 = -4 \cdot (x_A \cdot x_B (y_B^2 + y_A^2 - R_1^2 - R_2^2) + (x_A^3 \cdot x_B - x_B^3 \cdot x_A)) +$$

$$+ 2 \cdot (y_B^2 \cdot (R_1^2 - R_2^2)^4 + (x_A^2 \cdot y_A^2 + x_B^2 \cdot y_B^2 + x_A^2 \cdot y_B^2 - y_A^2 \cdot y_B^2 +$$

$$+ y_A^2 \cdot x_B^2)) + 6x_A^2 \cdot x_B^2 + x_A^4 + y_A^4 + y_B^4 + x_B^4 - 2R_2^2 \cdot (x_B^2 + y_A^2 - x_A^2) -$$

$$- 2R_1^2 \cdot (x_A^2 - y_A^2 - x_B^2) + R_2^4 + R_1^4 - 2R_1^2 \cdot R_2^2;$$

$$P_1 = S_1; \quad P_2 = S_2; \quad P_3 = \frac{(S_3 \cdot y_B) - x_A^2 - y_A^2 + x_B^2 + y_B^2 + R_1^2 - R_2^2}{(x_A - x_B)};$$

Solving (2) gives two roots for each of the coordinates x_K, y_K of the output link

При розв'язанні (2) отримаємо два кореня для кожного значення x_K, y_K координат вихідної ланки

$$x_{K1,2} = \frac{-S_2 \pm \sqrt{S_2^2 - 4S_1 \cdot S_3}}{S_1}; \quad y_{K1,2} = \frac{-P_2 \pm \sqrt{P_2^2 - 4P_1 \cdot P_3}}{P_1}, \quad (3)$$

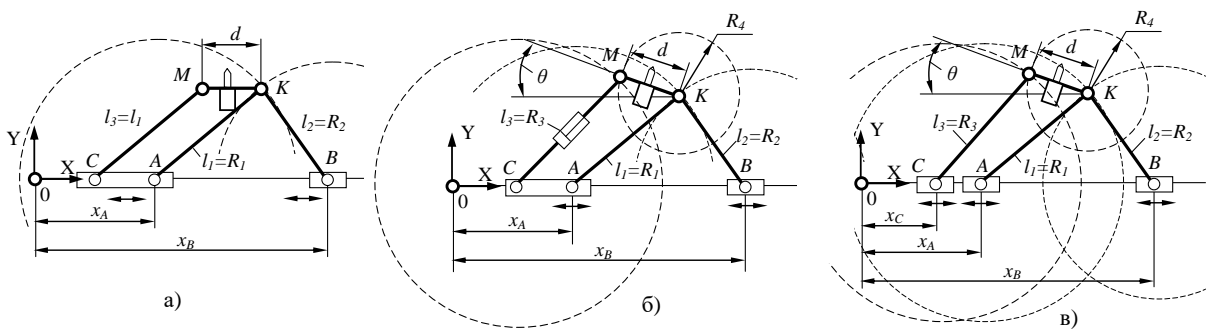


Fig. 4 – Output link -platform function scheme: a – two-coordinated MPS; b, c – three-coordinated MPS / *Схема визначення функції положення вихідної ланки-платформи: а – двокоординатний МПС; б, в – трикоординатний МПС*

The equations correspond to the position functions of the MPS bars connecting point in the triangular form and can be used for modeling another MPS, for example, by adding a segment KM to an output point K makes a segmental output link (the platform projection).

Отримані рівняння відповідають функції положення точки спільного з'єднання штанг МПС в трикутному контурі і можуть бути використані при моделюванні інших МПС, наприклад, при додаванні до точки відрізка вихідна ланка приймає вигляд відрізка (проекції платформи).

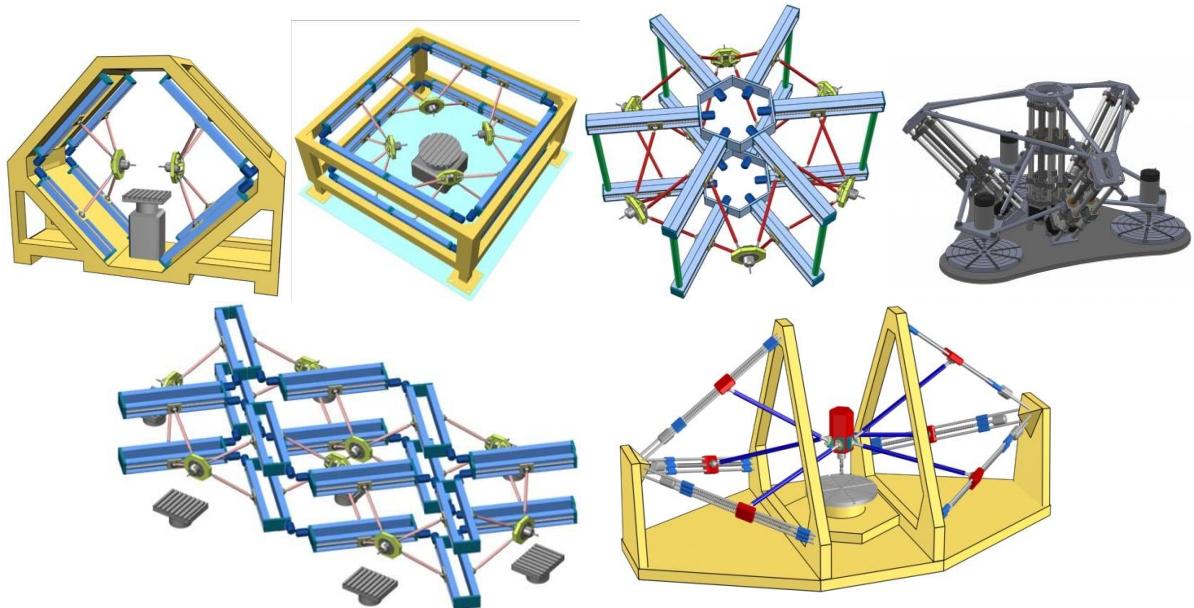


Fig. 5 – Composition of MPS in one framework arrangement to the machine-tool due to discrete changes / *Композиція МПС в одній каркасній компоновці багатопиндельного верстату за рахунок дискретних змін*

CONCLUSIONS

Thus, MPS with minimum degrees of freedom (either two DoF or three DoF) can compete with the multilevel kinematic MPS through rational layout, aligned with the technological tasks of a processing machine. Ways to achieve this goal - discrete changes in the spatial components of the mixed kinematic machine tool system. The layout quality assessment is necessary to define by composite weights coefficients. Flat MPS have quite convenient method of geometrical determination for the EE position analysis. This method give us the output link position function, based on the controlled coordinates, including the spatial, without calculating intermediate coordinates. Due to some simplifications of the original MPS layout, without changing the structure of kinematic closed links itself, we can get the analytical description of the output link positions and build mathematical models of complex spatial rod systems.

REFERENCES

- [1]. Kryzhanivskyy V.A., Kuznetsov Y.M., Valiavsky I.A., Sklyarov R.A. Technological equipment with parallel kinematics. Kirovograd, 2004. – 449 p.
- [2]. Vragov Y.D. Layouts analysis of metal-cutting machines: Fundamentals of layouts. – M.: Engineering, 1978. – 208p.
- [3]. Kuznetsov Y.M., Dmitriev D.O., Dinevich G.Y. Machine layout with mechanisms of parallel structure / Under ed. Y.M. Kuznetsov. - Kherson: PP Vyshemyrskyy V.S., 2009. – 456 p.
- [4]. Processing equipment of the new generation. Design concept. VAfonin, A.F. Krainev, V.E. Kovalev, etc.; Under ed. V.L. Afonin. – M.: Engineering, 2001.-256 p.
- [5]. Valasek M., Bauma V., Sika Z., Belda K., Pisa P. Design-by-Optimization and Control of Redundantly Actuated Parallel Kinematics Sliding Star // Multibody System Dynamics (2005) 14: P. 251–267
- [6]. Tang X., Wang J., Gao M. Kinematic calibration of gantry hybrid machine tool based on estimation error and local measurement information // Int J. Adv. Manuf. Technol. (2005) 26: 382–390.
- [7]. Katz R., Li Z., and Pierrot F., Conceptual Design of a High Speed Drilling Machine (HSDM) Based on PKM Module, Technical Report, ERC/RMS, TheUniversity of Michigan, 2001.
- [8]. Polovinkin A.I., Bobkov N.K., Bush G.Y. etc. Automation design searching (Artificial Intelligence in machine design) / Under ed. A.I. Polovinkina. – Moscow: Radio and communication, 1981. – 344 p.

ВИСНОВКИ

Таким чином, МПС з мінімальною кількістю ступенів вільності (два або три) здатні конкурувати з багатоступеневими кінематичними шарнірно-стрижневими структурами завдяки раціональній компоновці, узгодженій з технологічними задачами металообробного обладнання. Шляхи досягнення даної мети – дискретні просторові зміни складових змішаної кінематики верстатної системи. Загальну оцінку якості компоновки необхідно визначати кількісно комплексним показником вагових коефіцієнтів. Плоскі МПС мають досить зручний метод геометричного визначення для аналізу положень ВО, що дозволяє без розрахунку проміжних координат отримати значення функції положення вихідної ланки, спираючись на значення керованих координат МПС широкої групи, в тому числі і просторових. За рахунок деяких спрощень вихідної схеми МПС, не змінюючи саму структуру кінематичних замкнених ланцюгів, можна отримати аналітичне описання положень вихідної ланки і побудувати таким чином математичні моделі складних просторових стрижневих систем.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

- [1]. Крижанівський В.А., Кузнецов Ю.М., Валявський І.А., Складаров Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою. Кіровоград, 2004. – 449с.
- [2]. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: Основы компонетики. – М.: Машиностроение, 1978. – 208с.
- [3]. Кузнецов Ю.М., Дмитрієв Д.О., Діневич Г.Ю. Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури/ Під ред. Ю.М. Кузнецова. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456 с.
- [4]. Обрабатывающее оборудование нового поколения. Концепция проектирования / ВЛ. Афонин, А.Ф. Крайнев, В.Е. Ковалев и др.; Под ред. В.Л. Афонина. – М.: Машиностроение, 2001. – 256 с.
- [5]. Valasek M., Bauma V., Sika Z., Belda K., Pisa P. Design-by-Optimization and Control of Redundantly Actuated ParallelKinematics Sliding Star // Multibody System Dynamics (2005) 14: P. 251–267
- [6]. Tang X., Wang J., Gao M. Kinematic calibration of gantry hybrid machine tool based on estimation error and local measurement information // Int J. Adv. Manuf. Technol. (2005) 26: 382–390
- [7]. Katz R., Li Z., and Pierrot F., Conceptual Design of a High Speed Drilling Machine (HSDM) Based on PKM Module, Technical Report, ERC/RMS, TheUniversity of Michigan, 2001.
- [8]. Половинкин А.И., Бобков Н.К. , Буш Г.Я. и др. Автоматизация поискового конструирования (искусственный интеллект в машинном проектировании)/ Под.ред А.И. Половинкина. – М.:Радио и связь, 1981. – 344 с.