

УДК 621.9.048.6

## Пристрій мікропереміщень різального інструменту прецизійного токарного верстата

**Шевченко О.В., Манзюк С.А.**

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

**Анотація:** Основною складністю забезпечення точного позиціонування робочого органу верстата є отримання малих переміщень при забезпеченні необхідної жорсткості передачі. Для позиціонування в мікро- та нанометричному діапазонах в приводах верстатів доцільно додатково використовувати спеціальні пружні кінематичні пристрої, що виконують функції пружних напрямних чи пружних шарнірів та виключають вплив зовнішнього тертя в останній передачі приводу на точність позиціонування.

Найбільше в якості пружних напрямних використовують конструкції, у яких пружні елементи мають форму тонких жорстких пластин, що з'єднують нерухома частину повзуна з рухомою частиною утворюючи рамну конструкцію. Статична жорсткість такої конструкції в основному визначається формою, розмірами та розміщенням пружних пластин відносно точки прикладання сили різання, а також податливістю та місцем розміщення виконавчого приводу малих переміщень рухомої частини. Для високоточного позиціонування робочого органу верстата пропонується конструктивна схема та розрахунки параметрів пристрою як основа для проектування таких пристроїв для конкретного типу верстатного обладнання.

**Ключові слова:** високоточний токарний верстат, мікро- та нанопозиціонування, пружні напрямні, конструктивна схема, пристрій.

Малі переміщення в металорізальних верстатах використовують для компенсації похибок, які виникають в технологічній оброблюваній системі внаслідок теплових та пружних деформацій, динамічних навантажень на холостих ходах та при різанні, зміни розмірного настроювання верстата та ін.

Спроби вирішення проблеми малих переміщень за допомогою традиційних електромеханічних систем натрапляють на цілий ряд технічних труднощів. При створенні мікропереміщень і роботі на наднизьких швидкостях електромашинні виконавчі пристрої постійного і змінного струму працюють в нестійких режимах, що проявляється в нерегулярних коливаннях об'єкту позиціонування в напрямку руху. Крім того, істотний вплив мають нелінійності кінематичних передач (люфти, сухе тертя, зони нечугливості та ін.), нехтувати якими в цих умовах неможливо. Навіть у кращих шарико-гвинтових передачах повторюваність при позиціонуванні досягається з похибкою від десятих частин до одиниць мікрометрів. Таким чином, можна зробити висновок, що традиційні електромашинні виконавчі пристрої позиціонування в цьому напрямку свої можливості вичерпали і треба переходити до нових конструктивних рішень, що долають вказані недоліки [1].

Аналіз технологічних можливостей прецизійних токарних верстатів та типових деталей, що обробляються на них, дозволяє встановити основні вимоги до пристроїв малих переміщень, а саме: - діапазон малих переміщень не перевищує 0,3 мм, що для різального інструменту визначається критерієм зносу його різальних кромок; - точність позиціонування до  $0,3 \div 0,5$  мкм; - повторюваність при позиціонуванні не гірше 0,5 мкм; - жорсткість за напрямками дії складових сили різання не нижче  $10 \div 20$  Н/мкм; - лінійна залежність між переміщенням повзуна та вхідною дією в приводі; - відсутність люфтів та мертвих ходів при реверсуванні [2].

Основною складністю забезпечення точного позиціонування робочого органу є отримання малих переміщень при забезпеченні необхідної жорсткості передачі. Для позиціонування в мікро- та нанометричному діапазонах в приводах верстатів доцільно додатково використовувати спеціальні пружні кінематичні пристрої, що виконують функції пружних напрямних чи пружних шарнірів та виключають вплив зовнішнього тертя в останній передачі приводу на точність позиціонування.

На рис. 1, а наведено конструктивну схему пристрою для прецизійного позиціонування різального інструменту. Пристрій складається з основи 1, що встановлюється на супорті верстата, повзуна 2 з різцем 3, зв'язаного з основою 1 пластинами 4 з пружними шарнірами 5, що утворюють пружний паралелограм. Привод позиціонування повзуна 2 виконаний у вигляді пружного кривошипно-повзунного механізму з кривошипом  $AB = l_2$ , шатуном  $BC = l_3$ , що в т. С контактує з повзуном 2. Пружний зв'язок в механізмі забезпечують пружні шарніри в точках А, В та С. Поворот кривошипу  $AB$  забезпечує гвинтова передача 6, що деформує пружний шарнір в точці А.

Важливим етапом при виборі розмірних характеристик пристрою є розрахунок передаточного відношення, що зв'язує зміну кута  $\varphi$  повороту кривошипа  $AB$  з переміщенням різця в напрямку  $Ox$  при заданих розмірах  $l_1$ ,  $l_2$  та  $l_3$ . Для орієнтованого кінематичного розрахунку пристрою можна використати формулу для визначення переміщень в шарнірному чотириланковому кривошипно-повзунному механізмі [3]:

$$x = l_2 \cos \varphi + l_3 \sqrt{1 - \left\{ \frac{l_2 \sin \varphi + l_1}{l_3} \right\}^2}. \quad (1)$$

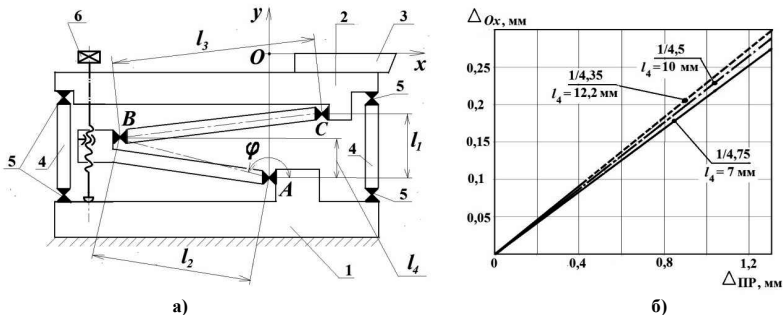


Рис.1. Конструктивна схема (а) та приклад результатів розрахунку (б) передаточного відношення в приводі малих переміщень

Враховуючи те, що найбільший хід різця в напрямку  $Ox$  не перевищує 0,3 мм, розрахунок передаточного відношення доцільніше представити у вигляді відношення переміщення  $\Delta_{Ox}$  в напрямку  $Ox$  до переміщення точки В ( $\Delta_{ПР}$ ), як зміну розміру  $l_4$ . Із врахуванням того, що кут  $\varphi$  за величиною наближений до  $180^\circ$ , то в діапазоні  $\Delta_{ПР}$  до 1,3 мм це переміщення можна вважати лінійним. На рис. 1, б надано приклад результатів розрахунків за формулою (1) залежності передаточного відношення ( $\Delta_{Ox}/\Delta_{ПР}$ ) в приводі малих переміщень від зміни величини розміру  $l_4$  при наступних початкових даних механізму:  $l_1 = 30$  мм,  $l_2 = 100$  мм та  $l_3 = 170$  мм, діапазон кута  $\varphi = 172^\circ - 176^\circ$ . Використовуючи формулу (1) можна дослідити вплив геометричних параметрів запропонованого механізму на зміну передаточного відношення в приводі малих переміщень. Такий підхід дозволяє на попередньому етапі визначити параметри пристрою, що задовольняє поставлений задачі, та зменшити кількість ітерацій при розробці раціональної твердотільної моделі пристрою.

На основі твердотільної моделі методом скінченних елементів виконується уточнений розрахунок передаточного відношення та жорсткості конструкції пристрою в точці прикладання сили різання. Для розрахунків статичних характеристик пристрою використано середовище програми Autodesk Inventor. За результатами розрахунків пристрою позиціонування з габаритними розмірами  $100 \times 100 \times 275$  мм визначено, що передаточне відношення між переміщенням в точці В та напрямком  $Ox$  (рис.1, а) складає  $1/6$ . Така редуція в пружній частині приводу дозволяє при мікрометричному регулюванні за допомогою диференціального гвинтового механізму, або при використанні пакетної конструкції п'єзоелектричного актуатора перейти в діапазон

нанометричного позиювання. Жорсткість запропонованої конструкції в напрямках складових  $P_x$ ,  $P_y$  та  $P_z$  сили різання складає:  $C_x = 272$  Н/мкм,  $C_y = 368$  Н/мкм та  $C_z = 172$  Н/мкм. Отримані характеристики задовольняють умови забезпечення точного позиювання робочого органу при необхідній жорсткості конструкції.

Запропонована послідовність розрахунків та моделювання дозволяє отримувати достатню базу даних для розробки конструкцій пристроїв малих переміщень для конкретних типів технологічного прецизійного верстатного обладнання.

## Micromotion device of a cutter for ultra-precision lathe

Shevchenko O., Manzyuk S.

**Annotation:** Basic complexity of ensuring of micropositioning of a cutter of high-precision lathe consists in receiving of high accuracy at guarantee of necessary rigidity of a device. For micro- and nanometric positioning by feed system in machine tools it is expediently to use the special elastic kinematic devices executing functions of elastic guides or elastic joints which eliminate external friction in last motion of the drive on exactitude of positioning of a cutter.

Mainly for the elastic guides are using the devices in which elastic elements are in the form of thin rigid plates which connect a stationary part of the feed block with a moving part forming a frame construction. Static rigidity of such device basically defined by the shape, sizes and disposition of elastic plates concerning a point of a loading by cutting force, and also compliance and a place of contact of an executive drive of small motion. For high-precision positioning of a lathe cutter the constructive scheme and calculations of parameters of the device as the fundamentals for projection of such devices for selected type of a machine tool is offered.

**Key words:** high-precision lathe, micro- and nanometric positioning, elastic guides, constructive scheme, device.

## Устройство микроперемещения режущего инструмента прецизионного токарного станка

Шевченко А.В., Манзюк С.А.

**Аннотация:** Основной сложностью обеспечения точного позиционирования рабочего органа станка является получение малых перемещений при обеспечении необходимой жесткости передачи. Для позиционирования в микро- и нанометрическом диапазонах в приводах станков целесообразно дополнительно использовать специальные упругие кинематические устройства, выполняющие функции упругих направляющих или упругих шарниров, исключая влияние внешнего трения в последней передаче привода на точность позиционирования. Преимущественно в качестве упругих направляющих используют конструкции, в которых упругие элементы имеют форму тонких жестких пластин, соединяющих неподвижную часть ползуна с подвижной частью образуя рамную конструкцию. Статическая жесткость такой конструкции в основном определяется формой, размерами и размещением упругих пластин относительно точки приложения силы резания, а также податливостью и местом размещения исполнительного привода малых перемещений подвижной части. Для высокоточного позиционирования рабочего органа станка предлагается конструктивная схема и расчеты параметров устройства как основа проектирования таких устройств для конкретного типа станочного оборудования.

**Ключевые слова:** высокоточный токарный станок, микро- и нанопозиционирование, упругие направляющие, конструктивная схема, устройство.

### Список літератури:

1. Бобцов А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.И. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений. Учебное пособие – С.-Петербург, ГУ ИТМО, 2011. - 131 с.
2. Шевченко О.В., Манзюк С.А. Використання приводів нано- та мікропереміщень при ультрависокопрецизійній обробці на верстатах // Вісник ЖДТУ, Житомир, № 4 (67) / Серія: Технічні науки - 2013. с. 42-48.
3. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. -640 с.