

О.В. Шевченко, д.т.н., професор,
С.А. Манзюк, Є.О. Стожаров, студент,
*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

ВИКОНАВЧИЙ ПРИСТРІЙ МІКРОПЕРЕМІЩЕНЬ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРЕЦИЗІЙНОГО ВЕРСТАТА

Малі переміщення знаходять широке застосування для верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Такі переміщення необхідні, наприклад, у верстатах з позиційною системою ЧПК для точного позиціонування виконавчих механізмів в задану координату. У цих верстатах точність установки координат є їх однією з найважливіших технічних характеристик, і вона тим вища, чим менші величини переміщень можливі у верстаті. Мінімальне одиничне переміщення у верстаті з ЧПК обмежується дискретністю. Дискретність – межа теоретично можливої точності обробки на верстаті з ЧПК, тому чим менше дискретність, тим вища точність верстата. У високоточних верстатах малі переміщення використовуються 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. При використанні систем автоматичного регулювання та автоматичної компенсації похибок відпрацьовуються малі підналагоджувальні переміщення перед початком та в кінці робочого циклу, а також і за результатами активного контролю та в процесі робочого циклу, що значно підвищує якість та продуктивність обробки.

Найчастіше у позиційних системах керування виконавчий орган переміщається традиційними механізмами подачі і лише поблизу заданої координати його точне позиціонування здійснюється механізмами мікроподачі. Використання традиційних електромеханічних систем для малих переміщень має ряд обмежень при роботі на наднизьких швидкостях подачі, що проявляється в нерегулярних коливаннях об'єкту позиціонування в напрямку руху та в істотному впливі нелінійностей кінематичних передач (люфти, сухе тертя, зони нечутливості та ін.), нехтувати якими в цих умовах неможливо.

Враховуючи те, що використання традиційних електромашинних виконавчих пристроїв позиціонування для мікроподач має обмежені можливості, 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 лезового 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 з різальним інструментом та входною 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 передач. Для позиціонування в мікро- та нанометричному діапазоні 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 наведено конструктивну схему різцетримача для прецизійного позиціонування різального інструменту. Різцетримач складається з основи 1, що встановлена на супорті верстата, повзуна 2 з різцем 3, зв'язаного з основою 1 пластинами 4 з пружними шарнірами *A, B, C* і *D*, що утворюють пружний паралелограм та забезпечують пружний зв'язок між основою 1 та повзуном 2 [3].

Привод позиціонування повзуна 2 складається з кривошипно-повзунного механізму з пружно-деформівними шарнірами *E, F* і *G*, що забезпечують пружні зв'язки між основою 1 та кривошипом 5, між кривошипом 5 та шатуном 6 та між шатуном 6 та повзуном 2. Поворот кривошипу 5 довжиною *EF* забезпечує встановлена в ньому диференціальна гвинтова передача, що з'єднує гвинт 7 із кривошипом 5 та штовхачем, що утримується від повороту та контактує з опорною поверхнею основи 1. В процесі прецизійної токарної обробки переміщення вершини різця 3 в мікрометричному (нанометричному) діапазоні в напрямку до оброблюваної поверхні здійснюється поворотом диференціального гвинта 7 на відповідний кут. Повзун 2 з різцем 3 зміщується відносно основи 1, згинаючи пружні напрямні 4 в шарнірах *A, B, C, D* та збільшуючи зусилля натягу в приводі. Відведення різця від оброблюваної поверхні здійснюється зворотнім обертанням гвинта 7. Різцетримач забезпечує високоточне позиціонування різця в мікрометричному (нанометричному) діапазоні в напрямку до оброблюваної поверхні та достатню жорсткість положення різця при точінні.

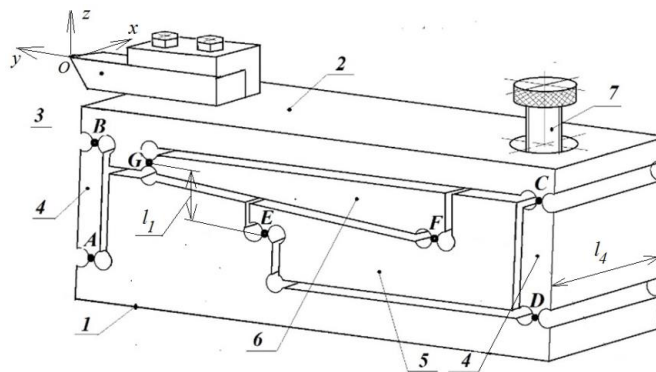


Рис. 1. Конструктивна схема різцетримача для прецизійного позиціонування різального інструменту

Важливим етапом при виборі розмірних характеристик пристрою є розрахунок передатного відношення, що зв'язує зміну кута φ повороту кривошипа EF з переміщенням різця в напрямку Oy при заданих розмірах l_1 , $EF=l_2$ та $GF=l_3$. Для орієнтовного кінематичного розрахунку пристрою можна використати формулу для визначення переміщень в шарнірному чотириланковому кривошипно-повзунному механізмі [1]:

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

Враховуючи те, що найбільший хід різця в напрямку Oy не перевищує 0,3 мм, розрахунок передатного відношення доцільно представити у вигляді відношення переміщення ΔOy в напрямку Oy до переміщення точки F ($\Delta_{\text{ПР}}$) внаслідок обертання гвинта 7. Передатне відношення пристрою малих переміщень, розраховане за формулою (1), при початкових даних механізму: $l_1 = 30$ мм, $l_2 = 100$ мм та $l_3 = 170$ мм має значення $\Delta_{\text{ПР}}/\Delta Oy = 4,6$. Збільшення передатного відношення в останній передачі від приводу до різця є конструктивною особливістю пристрою, що забезпечує точне регулювання положення різця в мікрометричному діапазоні. Використовуючи формулу (1) можна дослідити вплив геометричних параметрів пристрою на зміну передатного відношення в приводі малих переміщень і розробити його раціональну конструкцію.

За результатами попереднього орієнтовного розрахунку визначено початкові дані для розробки твєдотільної моделі пристрою. На основі твєдотільної моделі методом скінченних елементів виконано уточнений розрахунок передатного відношення та визначено значення жорсткості конструкції в напрямках складових сили різання. За результатами розрахунків методом скінченних елементів визначено, що передатне відношення має значення $\Delta_{\text{ПР}}/\Delta Oy = 6,2$. Різниця у значеннях передатного відношення пояснюється тим, що у формулу (1) не враховує пружні характеристики та деформації пружних шарнірів та ланок кривошипно-повзунного механізму приводу позиціонування. Разом з тим, такий рівень редукції в пружній частині приводу може забезпечити регулювання в мікрометричному діапазоні за допомогою диференціального гвинтового механізму, або перейти в діапазон нанометричного позиціонування при використанні пакетної конструкції п'єзоелектричного актуатора. Жорсткість запропонованої конструкції в напрямках складових P_x , P_y та P_z сили різання складає: $c_x = 60$ Н/мкм при $l_4 = 60$ мм, $c_y = 20$ Н/мкм при $l_4 = 40$ мм, $c_y = 50$ Н/мкм та $c_z = 33$ Н/мкм. Зменшення товщини пристрою (розміру l_4) суттєво зменшує жорсткість положення різця в напрямку осі Ox , однак дозволяє уникнути технологічних труднощів при виготовленні конструкції. Отримані характеристики задовольняють умові забезпечення точного позиціонування різця в мікрометричному діапазоні при необхідній жорсткості пристрою в точці прикладання сили різання.

Результати виконаних розрахунків та моделювання дозволили отримати достатню базу даних для розробки подібних конструкцій пристроїв малих переміщень для конкретних типів технологічного прецизійного верстатного обладнання.

Література:

1. Шевченко О.В., Манзюк С.А. Пристрій мікропереміщень різального інструменту прецизійного токарного верстату / Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта" – Київ-Херсон: 10-13.09.2019. с. 239-241.
2. Шевченко О.В., Манзюк С.А. Використання приводів нано- та мікропереміщень при ультрапрецизійній обробці на верстатах // Вісник ЖДТУ, Житомир, № 4 (67) / Серія: Технічні науки - 2013. с. 42-48.
3. Різцетримач: Патент України на винахід № 127294: МПК В23В 29/04. Опуб. 12.07.2023, Бюл. № 28. – 4 с. (автори Шевченко О.В., Манзюк С.А.).