

УДК 621.9.02-229

Верба І.І., к.т.н., доц.
НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

РОЗШИРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ВЕРСТАТІВ ПРИ ОБРОБЦІ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ

Verba I.
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine (mmi@kpi.ua)

EXTENSION TOOLS TECHNOLOGICAL CAPABILITIES IN THE PROCESSING OF COMPLEX SHAPES PARTS

У статті розглянуто типові конструкції верстатних столів виробництва провідних фірм з порівнянням їхніх технічних характеристик. Використання координатних, координатно-силових та поворотних столів і дозволяє спростити конструкцію обладнання за умови збереження якості обробки та розширити технологічні можливості верстатів при обробці складнопрофільних деталей. Вплив на точність оброблюваної деталі похибок її базування та контактних деформацій у системі встановлення й руху пристосувань затиску, позиціонування й подачі заготовки у зону різання можна визначити моделюванням вихідної точності верстата, що потребує введення вхідних даних щодо характеристик та конструктивних особливостей вказаних пристосувань, тобто класифікації та узагальнення модульних затискних систем і верстатних столів.

Ключові слова: верстатні вузли, столи верстатів, розрахунок точності, теорія формоутворюючих систем, типові конструктивні варіанти.

Розвиток концепції агрегування (агрегатно-модульний принцип) у металообробці у поєднанні з широким використанням систем керування і різноманітних засобів контролю для них призвів до формування напрямку розробки „мехатронних вузлів“. Однією з груп таких модулів є поворотні столи та додаткове обладнання до них. Столи поворотні (ротаційні) одно- та двоосьові призначені для встановлення оброблюваної деталі та її повороту при обробці у позиційному або безперервному режимі. Частота обертання стола має безперервне регулювання, а положення стола може бути задане позиційно. Розробка і виготовлення таких модулів здійснюється багатьма фірмами. Відомими виробниками є такі фірми, як LEHMANN, UCAM, HAAS, ACUTRONIC тощо.

Робота виконується з метою обґрунтованого порівняльного оцінювання показників працездатності сучасних верстатів, створених за модульним принципом та ознайомлення студентів з однією з груп мехатронних модулів, що мають поширене застосування при компонуванні багатоцільових верстатів.

Верстатні вузли у вигляді координатних, координатно-силових та поворотних столів, які містять керовані оберткові чи лінійні двигуни, дозволяють спростити конструкцію обладнання за умови збереження якості обробки. Так 3D-обробку можна виконувати на 5-осьовому верстаті або на 3-осьовому з поворотним двохосьовим столом (3+2) (рис. 1) [1].

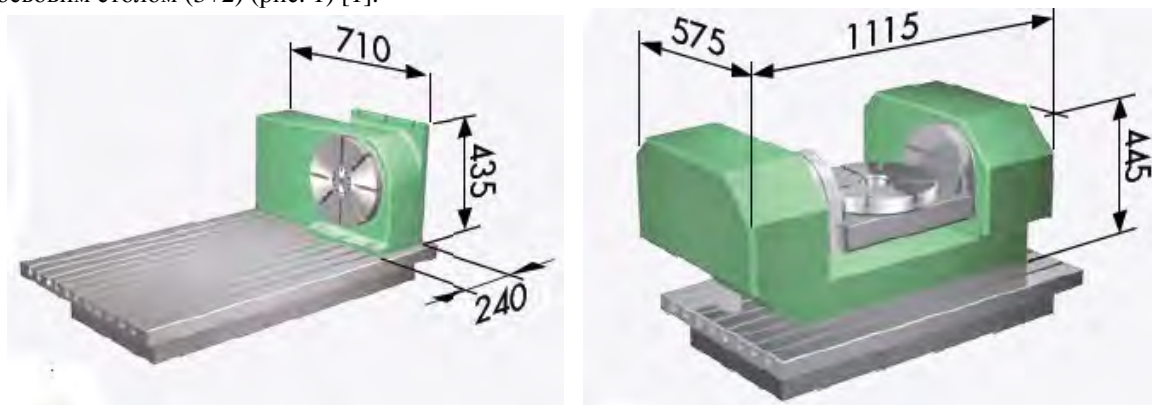


Рис. 1. Використання ротаційних столів як 4-тої та 5-тої осей верстата

За даними аналізів більш за 90% обробок на 5-осьових оброблювальних центрах виконується з використанням лише позиціонованих колових осей, а не є синхронною 3D-обробкою. Порівняння варіантів (за даними фірми LEHMANN) показало: у варіанті (3+2) збільшується на 165% розмір робочого стола при тому, що площа верстата зменшується на 65%, а маса – на 55%. Витрати енергії (залежно від мас, які переміщують) на 30% менші, а витрати на придбання дають економію 25%. Економія часу становить 0,5 с на кожне позиціонування [1]. На столі верстата можуть встановлюватись великогабаритні деталі або кілька деталей одночасно. Можуть застосовуватись різні системи затиску деталей.

Розрахунок точності верстата ґрунтується на теорії формоутворюючих систем, у склад яких входять станина та виконавчі органи верстата разом з кінцевими ланками приводів. Модель формоутворюючої системи пов'язує координати формоутворюючих точок інструмента з координатами оброблюваної деталі в умовах дії збурень, зокрема, кінематичних, до яких належать геометричні похибки напрямних і шпіндельних опор, зумовлені якістю виготовлення й складання та зношенням, кінематичні похибки приводів, похибки налагоджування, похибки базування й кріплення заготовки. Всі вказані похибки викликають відхилення траєкторій відносних переміщень інструмента й деталі від номінальних.

Сучасні засоби моделювання систем формоутворення дозволяють визначити вказані відхилення для поточних положень вузлів верстата. Система розрахунків, які безпосередньо пов'язують відоме збурення у процесі обробки з похибками оброблюваної деталі, є моделлю вихідної точності верстата. Як вхідні параметри моделі розглядають похибки положення вузлів верстата, що їх зумовлюють різні чинники, як вихідні – похибки розмірів, розташування та форми оброблених на верстаті поверхонь.

Розроблена [2] модель вихідної точності верстата дозволяє визначити вплив на точність оброблюваної деталі похибок її базування та контактних деформацій у системі встановлення й руху пристосувань затиску, позиціонування й подачі заготовки у зону різання. Для застосування згаданої методики необхідним є введення вхідних даних щодо характеристик та конструктивних особливостей вказаних пристосувань, тобто необхідним є вивчення, аналіз та структурування відповідної інформації. Функція формоутворення може бути використана для синтезу математичних моделей характеристик верстата.

Для оцінювання точності треба мати рівняння не лише всіх поверхонь, для обробки яких призначено верстат, але й усіх технологічних схем обробки, що їх реалізують на верстаті. Похибка положення точок оброблюваної поверхні є повною варіацією функції положення механічного пристрою, яка зв'язує вхідні й вихідні змінні у верстаті.

Розглянемо деякі типові конструктивні варіанти (рис. 2-4).

Мехатронні столи поворотні двоосьові (поворотно-ділильні), призначені для встановлення оброблюваної деталі та її повороту при обробці у позиційному або безперервному режимі з частотою обертання стола, яка має безперервне регулювання, та положенням стола, що може бути задане позиційно, дозволяють здійснити обробку складнопрофільних деталей (5-осну обробку) на 3-осних верстатах. Подібні столи випускають фірми LEHMANN, UCAM, HAAS та ін..

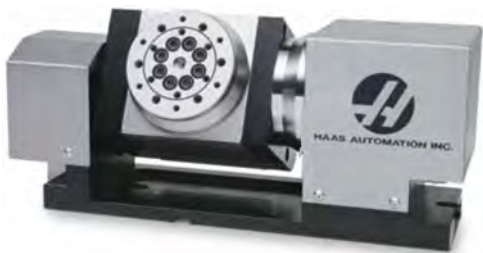


Рис. 2. Стіл поворотний двоосьовий фірми HAAS



Рис. 3. Стіл поворотний двоосьовий фірми LEHMANN



Рис. 4. Поворотний стіл фірми UCAM з прямим приводом

Стіл поворотний двоосьовий (рис.5) має механізм повороту шпіндельної головки 2 та неприводну опору 3, між якими у корпусі 5 знаходиться поворотний стіл 4. Компенсатори 6 забезпечують прилягання корпусу й фланця неприводної опори. Внизу й з боків корпус закрито кришками 7, 8, 9. Кожух 1 захищає кабелі.

Столи поворотні двоосьові фірми LEHMANN, наприклад, мають характеристики, зумовлені типом встановленого електродвигуна. У приводі застосовано черв'ячну передачу з регулюванням зазорів радіальним або осьовим зміщенням черв'яка. Для затиску шпінделя використано безазорні підшипники кочення з 4-точковим контактом та попереднім натягом, які забезпечують високу жорсткість та навантажувальну здатність. В той же час фірми UCAM, RuchServoMotor «Системи прямого привода» (республіка Беларусь), таж сама LEHMANN поставляють також столи з прямим приводом (рис. 4) Такий стіл фірми UCAM має стіл діаметром 130, 200, 250, або 600 мм, швидкість обертання стола 350-200 об/хв. При горизонтальному положенні стола

вантажопідйомність становить 350-7500 Н, при вертикальному – 250-1500 Н, максимальне осьове навантаження при горизонтальному положенні стола 8000-30000 Н. Точність позиціонування – 10-7,5 кутових сек.

Для 4-тої осі верстата (поворотна ось стола): швидкість обертання стола 20-110 об/хв., тривалість такту при повороті на 90° – 0,26-0,63 с, при повороті на 180° – 0,39-1,17 с, точність ділення $\pm 8-20$ кут. сек, перекидний момент 800-2500 Нм. Для 5-тої осі верстата (нахил стола): швидкість обертання стола 15-60 об/хв., тривалість такту при повороті на 90° – 0,39-1,29 с, при повороті на 180° – 0,64-1,66 с, точність ділення $\pm 12-24$ кут. сек, перекидний момент 2600-5070 Н·м. Довжина стола за бічного розташування привода в межах 569-704 мм. Передбачена модульна система «combiFlex» з можливістю адаптації при встановленні. Стіл може бути також зафіксований відносно осі X.

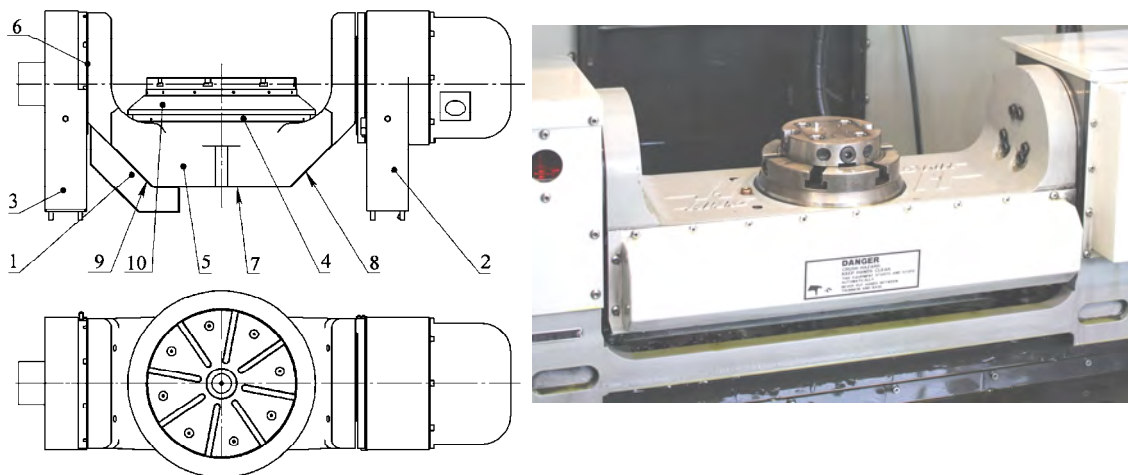


Рис. 5. Загальний вигляд двоосьового стола

Передбачено керування шпиндельним затиском та контроль його стану (візуалізація – світлодіодами), моніторинг та візуалізація світлодіодами граничних значень похибок та помилок, які можуть виникнути через температуру, вологість повітря, проникнення повітря чи вологи.

Столи поворотні для фрезерних верстатів фірми UCAM одноосьові мають стіл діаметром 150-250 мм (800-1600 мм) з швидкістю обертання стола 22,2-16,6 об/хв. (6,6-4,0 об/хв.). При горизонтальному положенні стола вантажопідйомність становить 1000-3500 Н (1800-9000 Н), при вертикальному – 60-180 Н. Крутний момент на валу – 150-400 Нм (8000-20000 Нм). Дискретність повороту 0,001 град. Точність позиціонування – 15 хв, повторного – 4 хв. Високошвидкісні столи (діаметри столів 130 або 250 мм) мають швидкість 350 (200) об/хв.

Столи поворотні двоосьові (поворотно-ділильні) фірми HAAS мають 2 двигуни – окремо для кожної осі. Приводи містять хвильові зубчасті передачі (редуктори) з передаточним відношенням 80:1. Шпиндель має: швидкість 0,001-300 %/с, максимальне відхилення 0,03 мм, кутовий люфт 30 кут. сек., точність ± 45 кут. сек, повторюваність 10 кут. сек, роздільна здатність 0,001°, поворот для нахиленої осі A – $\pm 120^\circ$. Високошвидкісні столи із цанговими патронами мають швидкість 725 %/с, яку забезпечує серводвигун.

На рис.6 показані деякі багатошпиндельні столи. Фірми-виробники випускають такі столи з 2..4 шпинделями.

Як привод застосовують керовані синхронні та асинхронні двигуни, мотор-редуктори, напр. фірми



Рис. 6. Багатошпиндельні поворотні столи: а, б – фірми HAAS; в – фірми LEHMANN

Harmonic Drive з водяним охолодженням, сервоприводи. З метою розширення діапазону використання двигуни можуть бути розташовані справа, зліва, із зворотного боку

Таким чином, навіть поверхове порівняння показує, що столи виробництва різних фірм мають окремі однакові конструктивні елементи, але при тому значно відрізняються технічними показниками й певними конструктивними особливостями. На поворотних чи координатних столах, які за звичай є мехатронними модулями, безпосередньо або із застосуванням різного типу палет встановлюють сучасні затискні системи. У разі заміни заготовок передбачено систему автоматичного затиску палет. Наприклад, палети фірми HAAS мають розміри у межах 70×70...320×320, маса заготовок становить 20-300 кг, передбачено пневматичний або гідравлічний затиск. Можуть закріплюватись 2, 3 або 4 деталі для одночасної обробки. Може також встановлюватися планшайба з Т-подібними пазами (4, 6 або 8), а у планшайбі передбачено отвір для подачі прутка. З використанням пазів можуть закріплюватись затискні патрони, наприклад, кулачкові. Планшайба діаметром 600 мм дозволяє встановлювати деталі масою до 669 кг (столи фірми HAAS).

Застосовують різні затискні системи. Наприклад, столи поворотні фірми LEHMANN мають універсальний шпиндель, розрахований на цангові затискні системи, кулачкові патрони, на затиск плит, палет тощо. Взагалі можливо використання більш за 20 різних систем затиску (LANG, EROWA, SCHUNK, GRESSEL, PAROTEC, палетні системи SYSTEM 3R та ін.).

На поворотні столи з метою збільшення продуктивності встановлюють додаткові пристосування у вигляді кубів, пірамід, призм або плит, на гранях яких встановлюють по кілька затискних систем (рис. 7).

Фірма HAAS пропонує систему QuikChange, яка містить системи QuikPlate (рис. 7,а) та QuikCube (рис. 7,б) та інструментальні блоки (рис. 7,в). Куб для кріплення встановлюють та знімають за допомогою пневмопривода і це триває менше за 5 сек. Завантаження QuikCube здійснюють автономно, під час роботи іншого QuikCube. Повторюваність – 0,0127 мм. Система QuikPlate містить пластину для встановлення затискних систем, а на рис. 6,в – схематичне зображення інструментального блоку, який, залежно від типорозміру ротарційного стола, має габарити: X = 304,8...482,6 мм; Y = 101,6...152,4 мм; Z = 127...228,6 мм.

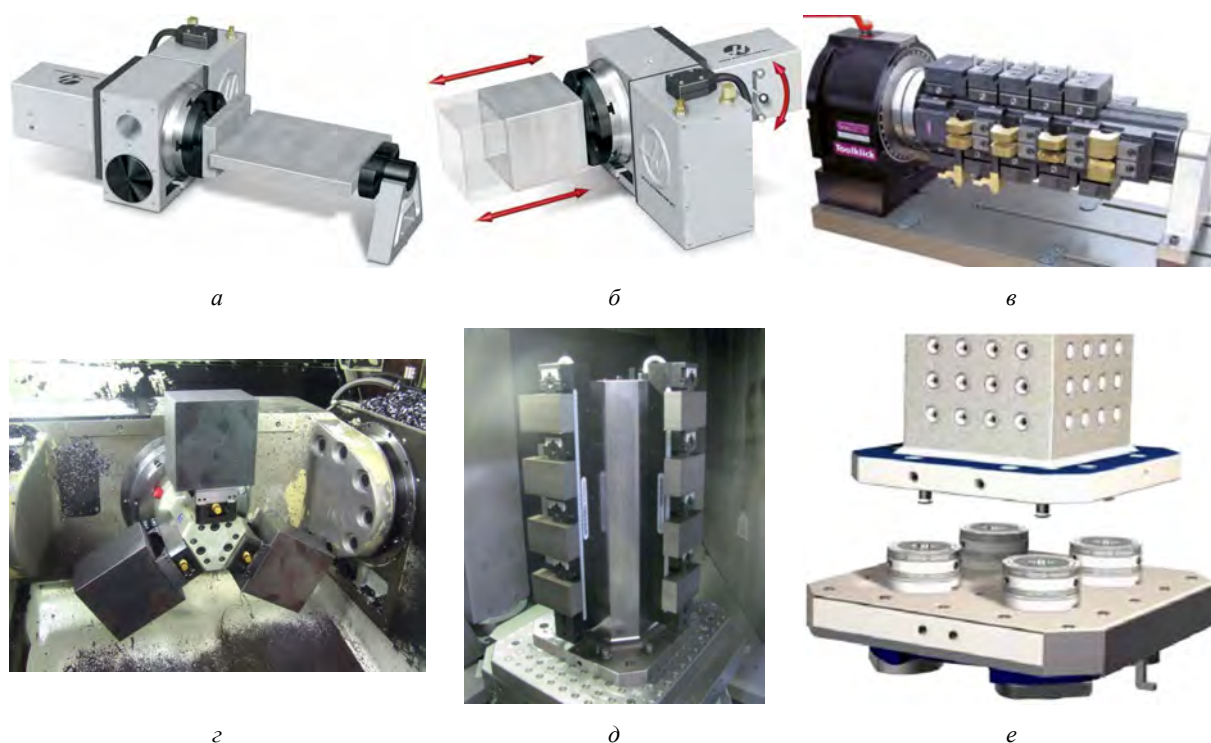


Рис. 7. Поворотні столи із багатомістними затискними системами: а, б, – фірми HAAS; в, г – фірми TRIAG; д – фірми GRESSEL; е – модульна система ZERO POINT фірми Gerardi

Таким чином, за рахунок використання додаткового модульного оснащення можна значно розширити технологічні можливості традиційно розповсюджених 3-осних фрезерних верстатів і обробних центрів, а також підвищити ще деякі показники їхньої працездатності, зокрема, точність.

Інформаційне дослідження, матеріали якого наведені у даній роботі, показало, що, попри все розмаїття конструкцій модульних затискних систем та поворотних і поворотно-ділительних столів, представлених на ринку, вони мають багато спільних рис у концепції й конструктивній реалізації. Докладна класифікація та узагальнення модульних затискних систем та верстатних столів дозволить врахувати їхній вплив на точність обробки.

Аннотация. В статье рассмотрены типовые конструкции координатных, координатно-силовых и поворотных столов производства ведущих фирм со сравнением их технических характеристик. Использование указанных столов позволяет упростить конструкцию оборудования при условии сохранения качества обработки и расширить технологические возможности станков при обработке сложнопрофильных деталей. Влияние на точность обрабатываемой детали погрешностей её базирования и контактных деформаций в системе установки и перемещения приспособлений зажима, позиционирования и подачи заготовки в зону резания можно определить моделированием выходной точности станка, что потребует введения входных данных по характеристикам и конструктивным особенностям указанных приспособлений, то есть классификации и обобщения модульных зажимных систем и станочных столов.

Ключевые слова: Станочные узлы, столы станков, расчет точности, теория формообразующих систем, типовые конструктивные варианты узлов металлорежущих станков.

Abstract. Purpose: The aim is to research information about machine tool assemblies as coordinate, coordinate-force and rotary tables that simplify the design of equipment while maintaining the quality of treatment and expand the technological capabilities of machines in the processing complicated profile details.

Approach: Simulation of output accuracy of the machine allows determining the impact on the accuracy of workpieces errors in its deployment and contact deformations in the system of installation and movement of clamping devices, positioning and feeding the workpieces in the cutting zone. Making simulation requires inputting data about characteristics and design features of said devices, i.e. it is necessary to study, analyze and structure the relevant information. Typical machine tables designs of leading companies are reviewed comparing their technical characteristics.

Findings: Information research materials are presented in this article has shown that, despite the diversity of designs of modular clamping systems and rotary and rotary-dividing tables represented on the market, they have many similarities in concept and constructive implementation. Detailed classification and summary of modular workholding systems would allow to take into account their impact on precision machining.

Keywords: Machine tool units, tables of machine tool, calculation of precision, shaping theory of systems, standard variants of design machine tool units

Бібліографічний список використаної літератури

1. Поворотные столы с ЧПУ. pl LEHMANN, 06.13 / www.lehmann-rotari-tables.com
2. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. – М.:Машиностроение, 1986. – 336 с.
3. Поворотные и делительно-поворотные столы Haas Automation Inc. (http://int.haascnc.com/DOCLIB/brochures/PDF/rotary_1049.pdf?0327)
4. Поворотные столы ACUTRONIC (<http://www.acutronic.com/ru/produkcija/povorotnye-stoly.html>)
5. UCAM Indexing precisely for your productivity. Rotary Indexing Solutions (http://www.ucamind.com/files/resource/42_UCAM-English-Catalogue-2.pdf)

References

1. Povоротnye stoly s TchPU. [CNC rotary tables] pl LEHMANN, 06.13 / www.lehmann-rotari-tables.com
2. Reshetov D.N., Portman V.T. Tochnost metallorejguschih stankov. [Accuracy of Machine Tools] Moscow: Mashinostroenie, 1986. 336 p.
3. Povоротnye i delitelno-povorotnye stoly Haas Automation Inc. (http://int.haascnc.com/DOCLIB/brochures/PDF/rotary_1049.pdf?0327)
4. Povоротnye stoly ACUTRONIC (<http://www.acutronic.com/ru/produkcija/povorotnye-stoly.html>)
5. UCAM Indexing precisely for your productivity. Rotary Indexing Solutions (http://www.ucamind.com/files/resource/42_UCAM-English-Catalogue-2.pdf)

Подана до редакції 17.04.2014