

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

В.В. Солоха

ТЕКСТИ (конспект) лекцій з дисципліни

“Обладнання для новітніх технологій”
для студентів спеціальності 133 “Галузеве машинобудування”
спеціалізація “Металорізальні верстати та системи” та студентів
спеціальності 131 “Прикладна механіка” спеціалізації “Технологія
машинобудування” усіх форм навчання

2025

Тексти (конспект) лекцій з дисципліни “Обладнання для новітніх технологій” для студентів спеціальності 133 “Галузеве машинобудування” спеціалізація “Металорізальні верстати та системи” та студентів спеціальності 131 “Прикладна механіка” спеціалізації “Технологія машинобудування” усіх форм навчання /Укл. В.В. Солоха.
- Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. - 144 с.

Укладачі: В.В. Солоха, доцент, к.т.н.

Рецензенти: доцент, к.т.н. Дядя С. І.

Відповідальний
за випуск: доцент, к.т.н. Фролов М.В.

Затверджено
на засіданні кафедри
“Металорізальних верстатів та
інструментів”

Протокол № ____
від “__” ____ 2025

Рекомендовано до видання
НМК машинобудівного
факультету
Протокол № ____
від “__” ____ 2025

Зміст

	с.
Лекція 1. Вступ. Компонування верстатів	4
Лекція 2. Приводи верстатів з ЧПК	16
Лекція 3. Шпиндельні вузли багатоцільових верстатів з ЧПК	26
Лекція 4. Приводи подач багатоцільових верстатів	37
Лекція 5. Опори пристроїв лінійних переміщень	47
Лекція 6. Револьверні головки токарних верстатів з ЧПК	55
Лекція 7. Пристрої автоматичної заміни інструменту в верстатах з ЧПК	64
Лекція 8. Закріплення інструментів в шпинделі багатоцільового верстата	70
Лекція 9. Обробні центри компанії Huron	74
Лекція 10. П'ятикоординатні фрезерні верстати	85
Лекція 11. Верстати компанії Liechti	95
Лекція 12. Токарні верстати з ЧПК	107
Лекція 13. Токарні верстати GOODWAY	116
Лекція 14. Вертикальний токарний верстат з ЧПК SCHIESS - VERTIMASTER	128
Лекція 15. Вертикальний токарний верстат з ЧПК мод. SKIQ 16 C-M	135
Рекомендована література	143

ЛЕКЦІЯ 1. ВСТУП. КОМПОНУВАННЯ ВЕРСТАТІВ

Прискорення розвитку науки, техніки і технологій веде до появи нових матеріалів, машин та їх компонентів. В авіаційній, космічній, енергетичній техніці та інших сферах виробництва знаходять широке використання нові матеріали, що характеризуються високими показниками міцності, тепло та жаростійкості. До деталей та елементів таких машин висувають високі вимоги по точності розмірів і форми, та надійності.

В умовах сучасного виробництва, коли зміна об'єктів виробництва відбувається швидко, використовуються гнучкі технологічні процеси, що дозволяють швидко, з мінімальними витратами, переходити на виготовлення інших деталей. Такі технології потребують в свою чергу використання технологічного обладнання універсального, гнучкого, з високим ступенем автоматизації, яке б в умовах серійного виробництва забезпечувало продуктивність наближену до умов масового виробництва. Цим вимогам найбільшою мірою відповідають верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК), які дають можливість переходити на обробку інших, нових деталей, з малими витратами часу і коштів. Системи ЧПК забезпечують керування процесом обробки за декількома осями (від 2 до 6), допоміжними механізмами та пристроями верстата, що дозволяє виконувати різні види обробки заготовок деталей з різних боків, різними інструментами без переустановлення їх на інші верстати.

Враховуючи високу вартість сучасних верстатів з ЧПК для їх окупності необхідно, щоб верстати забезпечували високу продуктивність обробки та мали високу надійність. Не врахування будь-якого з цих факторів може звести нанівець ефект від використання верстатів з ЧПК.

Висока продуктивність обробки досягається високими швидкостями різання і подачі з високою потужністю, скороченням часу на допоміжні переходи, поєднання різних операцій в часі, як робочих так і допоміжних, скорочення часу на підготовку обробки деталей. Тому в сучасних верстатах з ЧПК мають застосовуватися механізми, вузли і агрегати, які відповідають цим вимогам.

В приводах головного руху таких верстатів використовують регульовані електродвигуни змінного струму: асинхронні та синхронні та, значно рідше, двигуни постійного струму з мінімальною кількістю

передач на шпindel. Найчастіше це пасові поліклінові або зубчасті передачі, що передають рух з електродвигуна безпосередньо на шпindel. В токарних верстатах з ЧПК для збільшення діапазону регулювання частот обертання шпинделя в режимі постійної потужності можуть використовуватися планетарні двоступеневі редуктори, що встановлюються на вал електродвигуна, з яких рух на шпindel передається пасовою передачею.

В верстатах з ЧПК з високими частотами обертання шпинделя використовуються мотор-шпинделі, в яких ротор електродвигуна запресовується безпосередньо на шпindel, а статор встановлюється в корпусі шпиндельної бабки. В таких конструкціях обов'язково повинно застосовуватися охолодження шпиндельної бабки.

В опорах високошвидкісних шпиндельних вузлів використовуються спеціальні підшипники, які забезпечують високу жорсткість і швидкохідність. Широке застосування отримали гібридні підшипники, тіла кочення яких виконуються керамічними.

В приводах подач верстатів з ЧПК використовуються регульовані електродвигуни, які безпосередньо з'єднуються з ходовим гвинтом кулькової гвинтової передачі. Такі передачі забезпечують високу швидкохідність та точність позиціонування виконавчого органу, що досягається шляхом усунення зазорів в передачі за рахунок створення попереднього натягу. З застосуванням кулькових гвинтових передач в приводах верстатів швидкості прискорених переміщень сягнули 30 — 40 м/хв. Для одержання більш високих швидкостей в приводах подач верстатів можуть використовуватися лінійні електродвигуни, які забезпечують швидкості руху 60 — 100 м/хв. та високі прискорення.

Вдосконалення тягових пристроїв приводів подач має йти паралельно з вдосконаленням напрямних (опор) прямолінійного та кругового руху верстатів. Використання традиційних напрямних ковзання з граничним чи змішаним тертям не відповідає вимогам швидкохідності і надійності. Тому основним типом напрямних прямолінійного та й кругового руху в верстатах з ЧПК є напрямні кочення, кулькові чи роликові, різних типів і конструкцій. Разом з тим, з метою поліпшення динамічних властивостей верстатів, доволі часто використовуються напрямні вдосконалених конструкцій, так звані коробчасті напрямні (box way) з покриттям робочих граней полімерними матеріалами з низьким коефіцієнтом тертя. Такі напрямні

дають можливість працювати на високих швидкостях руху, але мають кращі демпфуючі властивості, ніж напрямні кочення.

Застосування на верстатах з ЧПК пристроїв автоматичної заміни інструменту з накопичувачами інструментів дозволяє виконувати обробку заготовки з однієї установки з різних боків різними видами інструментів, що підвищує точність обробки за рахунок незмінності встановлювальних баз, скорочує допоміжний час, пов'язаний з переустановленням деталей, зменшує потребу в технологічному обладнанні.

В даному навчальному курсі розглядаються характерні системи і механізми багатокординатних верстатів з ЧПК та аналізується робота таких верстатів.

Координатні осі верстатів з ЧПК

Система координат верстата є правою прямокутною системою з трьома головними осями, які позначаються X , Y і Z , поворотними осями навколо кожної з цих осей, позначеними відповідно A , B і C (рис. 1.1).

Вісь Z паралельна головному шпинделю верстата. На верстатах, що використовуються для фрезерування, шліфування, розточування, свердління та нарізування різі, в шпинделі обертається інструмент. На токарних верстатах, круглошліфувальних верстатах та інших, які утворюють поверхню обертання, в шпинделі обертається заготовка.

Якщо є кілька шпинделів, один повинен бути обраний як головний шпиндель, бажано перпендикулярний робочій поверхні. Якщо головний шпиндель може бути повернутий, вісь Z повинна бути паралельна осі шпинделя, коли він знаходиться в нульовому положенні. Бажане нульове положення – шпиндель перпендикулярний робочій поверхні.

Для машин для різання та формування напрямок осі Z визначається від заготовки до тримача інструменту. Для токарних верстатів задня бабка вважається тримачем інструменту.

Вісь X . Якщо це можливо, вісь X має бути горизонтальною.

В верстатах з обертовими інструментами і горизонтальною віссю Z додатний напрямок осі X має бути праворуч, якщо дивитися в від'ємному напрямку осі Z .

В верстатах з вертикальним шпинделем (вісь Z) та одним стояком додатний напрямок осі X має бути праворуч, якщо дивитися з передньої частини верстата на стояк. В верстатах портального типу додатний

напрямок осі X має бути праворуч, якщо дивитися від головного шпинделя до лівої опори порталу.

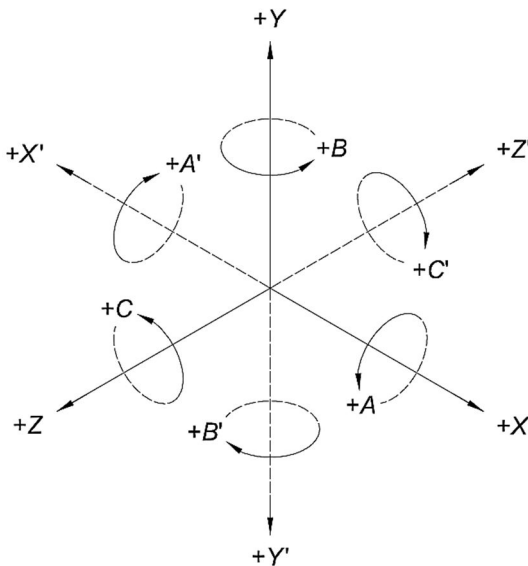
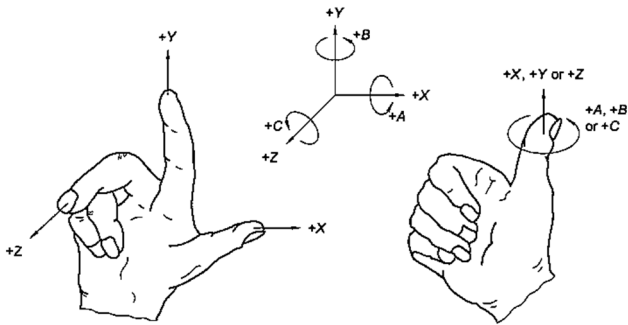


Рисунок 1.1 - Права система координат

В верстатах з обертанням заготовки вісь X має бути радіальною та паралельною поперечній каретці. Додатний напрямок осі повинен бути в стороні від осі обертання.

Вісь Y .

Додатний напрямок осі Y має бути таким, щоб утворити праву систему координат (рис. 1.1).

Поворотні осі A , B і C .

Літерами A , B і C визначають поворотні осі відносно лінійних осей X , Y і Z відповідно. Додатні напрямки осей A , B і C спрямовані в напрямку обертання правих гвинтів для руху у додатних напрямках за осями X , Y і Z відповідно (рис. 1.1).

Літерні позначення повинні використовуватися для позначення руху інструменту або заготовки.

При переміщенні інструменту напрямком руху і напрямки осей збігаються. Додатні рухи позначаються $+X$, $+Y$, $+Z$, $+A$, $+B$,...

При переміщенні заготовки напрям руху і напрямок осі протилежні. Щоб вказати протилежний напрямок, позитивні рухи позначаються $+X'$, $+Y'$, $+Z'$, $+A'$, $+B'$... (тобто напрямок осі $-X = +X'$ руху деталі)

Якщо, крім первинних лінійних рухів X , Y і Z , існують вторинні лінійні рухи, паралельні основним рухам, вони повинні позначатися U , V і W відповідно. Аналогічно, третинні рухи повинні позначатися літерами P , Q і R відповідно.

Первинні лінійні рухи мають бути найближчими до головного шпинделя, вторинні — ближчими, а третинні — найдалшими.

Компонування верстатів

Компонування верстатів визначає розташування основних елементів і вузлів несучої системи та можливість їх відносних рухів.

Вибір компонування верстата визначається великою кількістю факторів, зокрема:

- видом обробки та формотворними рухами, які мають забезпечуватися в верстаті;
- габаритами, масою та формою оброблюваних заготовок, що визначає навантаження на опори (напрямні) та несучі елементи конструкції;
- потребою в різальному інструменті, що визначає тип та розміщення накопичувача інструментів;
- інтенсивністю процесу обробки та пов'язаною з цим необхідністю видалення об'ємів стружки;
- можливістю владнання верстата в автоматизовані виробничі системи, тощо.

Верстати, за розміщенням осі шпинделя, бувають горизонтального та вертикального компоновання.

В залежності від розміщення нерухомих елементів несучої системи верстати будують з горизонтальними станинами (токарні, шліфувальні та деякі інші), вертикальними станинами чи стояками та порталними станинами.

У компонованнях верстатів з ЧПК: свердлильних, розточувальних, фрезерних тощо, як і в компонованнях універсальних верстатів з ручним керуванням, використовується такий принцип: чим більша маса оброблюваної заготовки тим менше вона має ступенів рухомості.

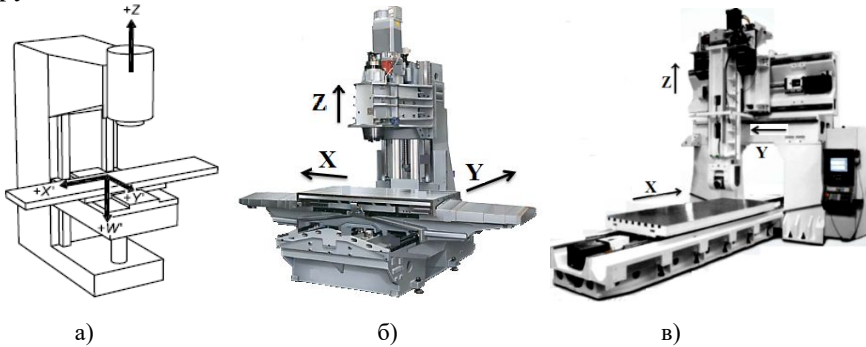


Рисунок 1.2– Компоновання фрезерних верстатів з ЧПК

Так в консольно-фрезерних верстатах (рис. 1.2, а), ширина стола яких зазвичай не перевищує 400 мм, заготовка, встановлена на столі, переміщується за трьома осями: двома горизонтальними X та Y і вертикальною віссю Z (W). В безконсольних фрезерних верстатах (рис. 1.2, б), які мають більший розмір стола і призначені для обробки більших за розмірами та масою деталей, стіл, з закріпленою на ньому заготовкою, переміщується лише в горизонтальній площині (осі X та Y), а в вертикальній площині (вісь Z) переміщується шпиндельна головка з інструментом. Крупні заготовки обробляються на верстатах порталного компоновання (поздовжньо-фрезерних) (рис. 1.2, в), в яких стіл з заготовкою переміщується лише в подовжньому напрямку (вісь X), решту переміщень виконує інструмент: вертикальний рух повзуна зі шпинделем (вісь Z) та горизонтальний рух каретки шпинделя напрямними портала (вісь Y).

Для обробки деталей складної форми застосовують верстати, в яких крім лінійних переміщень можуть виконуватися обертові рухи за однією, двома, інколи трьома осями.

На рисунку 1.3, а наведено горизонтальний верстат з ЧПК з 4 осями.

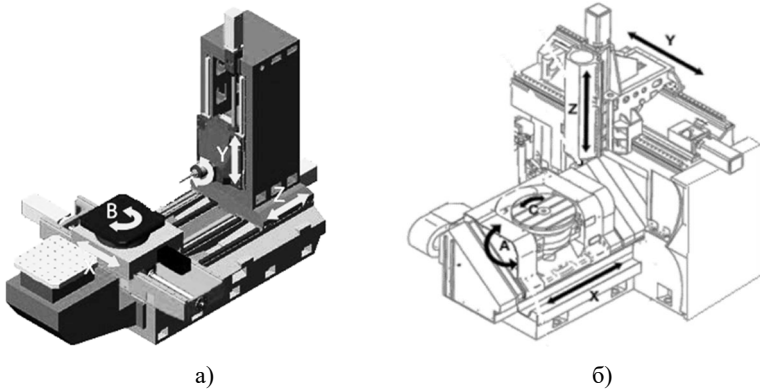


Рисунок 1.3 - Компонування фрезерних верстатів з ЧПК з обертовими осями

Обертова вісь B забезпечує можливість обробки деталі, розміщеної на поворотному столі, з різних боків без переустановлення. Для обробки деталей складного профілю, що мають поверхні довільно розміщені в просторі, доцільно використовувати верстати з двома обертовими осями (рис. 1.3, б). Стіл такого верстата обертається відносно вертикальної осі (вісь C) та здійснює поворот відносно горизонтальної осі (вісь A). Для обробки великогабаритних деталей складного профілю застосування верстатів з обертовими столами недоцільне через велику масу деталей, тому обробка поверхонь складного профілю виконується з застосуванням обертових інструментальних (фрезерних) головок (рис. 1.2, в), які можуть мати одну – дві обертові осі. Застосування таких головок дає можливість виконувати обробку не лише горизонтальних поверхонь, але і вертикальних чи нахилених під різними кутами поверхонь.

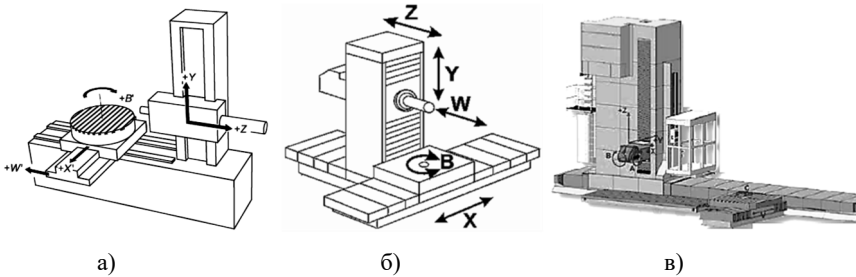


Рисунок 1.4 – Компонувки розточувальних верстатів з ЧПК

Подібно до фрезерних верстатів у верстатах розточувального типу ступінь рухливості деталі залежить від її розмірів. На розточувальних верстатах малих розмірів (рис. 1.4, а) заготовка здійснює рух за двома – трьома осями, наприклад двома лінійними, пересування стола в подовжньому (вісь W) та поперечному (вісь X) напрямках і однією обертовою (вісь B), обертання стола навколо вертикальної осі. Інші рухи, зокрема пересування шпиндельної головки в вертикальній площині (вісь Y) та рух розточувального шпинделя (вісь Z), виконує інструмент. В верстатах середніх розмірів (рис. 1.4, б), на яких обробляються більші за розмірами і масою заготовки, деталь, установлена на столі, здійснює рух лише за однією лінійною віссю X та однією обертовою віссю B . Всі ж інші рухи, такі як рух розточувального шпинделя W та стояка з шпиндельною головкою Z в горизонтальній площині і вертикальне переміщення шпиндельної головки напрямними стояка Y , виконуються інструментом. На важких розточувальних верстатах (рис. 1.4, в) заготовка в процесі обробки залишається нерухомою, а всі виконавчі рухи здійснює інструмент. Колонна разом зі шпиндельним бабкою рухається напрямними основи верстата. Шпиндельна бабка переміщується вертикальними напрямними колони та здійснює поперечне переміщення. В цьому ж напрямку рухається висувний шпиндель. Шпиндельна головка забезпечує можливість повороту за двома осями, що дозволяє виконувати обробку поверхонь розміщених під кутом до базових поверхонь. На таких верстатах можуть виконуватися різні види обробки: розточування отворів, фрезерні роботи, обробка отворів свердлами, зенкерами, розгортками, тощо.

Компонування токарних верстатів з ЧПК

Токарні верстати з ЧПК, як і верстати інших типів, виконуються з горизонтальним (вісь шпинделя горизонтальна) та вертикальним (вісь шпинделя вертикальна) компонованнями.

В верстатах з горизонтальною станиною (рис. 1.5, а) відведення стружки з зони різання здійснюється через отвори між стінками станини. Стружка може попадати на напрямні поступального руху, спричиняючи підвищений знос напрямних. Внаслідок того, що станина має незамкнений профіль поперечного перетину, жорсткість її на згин та крутіння знижена, що, в свою чергу, обмежує можливості використання верстатів, побудованих за такою схемою, для роботи зі значними зусиллями різання та швидкостями. Використання компоновань верстатів з похилими станинами (рис. 1.5, б), нахиленими від вертикалі до задньої частини верстата під тим чи іншим кутом (від 15° до 60°), поліпшує умови видалення стружки, за рахунок можливості використання несучих деталей замкнутого профілю підвищує статичну та динамічну жорсткість, покращує доступ оператора до інструмента і заготовки. Такі компоновання знаходять широке застосування в сучасних токарних верстатах з ЧПК та багатоцільових верстатах. Розробники прагнуть проектувати несучі системи таким чином, щоб найбільшою мірою використовувати модульний принцип побудови верстата.

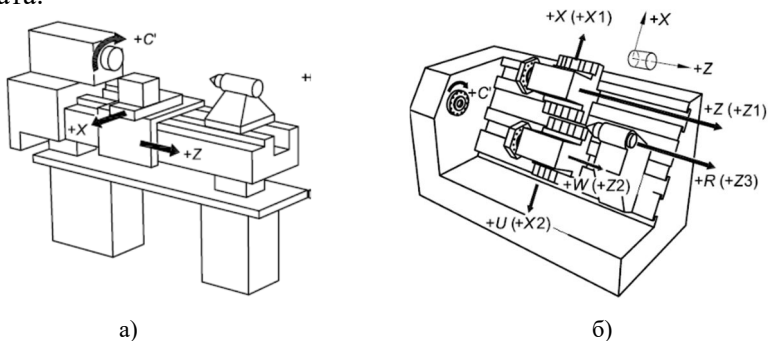
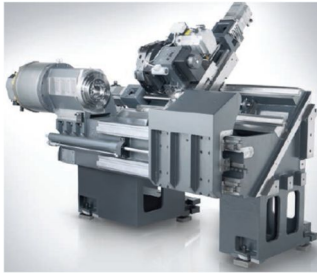


Рисунок 1.5 – Компонування горизонтальних токарних верстатів

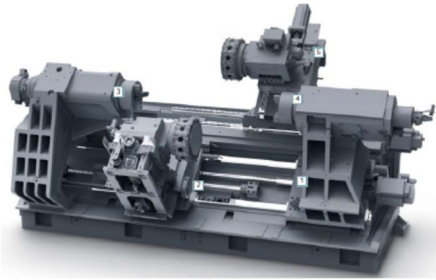
В верстатах з горизонтальною станиною інструмент може встановлюватися або в поворотному різцетримачі (револьверній головці) на 6 – 8 позицій, або використовуватися лінійне налагодження

інструмента. Для обробки достатньо довгих та нежорстких деталей справа на станині встановлюється задня бабка.

Верстати з похилим компонуванням (рис. 1.6) будують з використанням різної кількості завершених самостійних модулів: шпиндельних вузлів, револьверних головок, задніх бабок, приводів лінійних переміщень за осями. Як базова модель може використовуватися верстат, що має шпиндельну бабку з пасовим приводом від електродвигуна та револьверну головку, яка переміщується за двома осями X і Z . Револьверна головка зазвичай має 12 позицій для встановлення інструмента. На таких верстатах можна оброблювати циліндричні, конічні та торцеві зовнішні поверхні та внутрішні поверхні, вісь яких співпадає з віссю обертання шпинделя, оскільки головний обертальний рух виконує заготовка. Для обробки отворів, розміщених на торці деталі, але зміщених відносно осі шпинделя, та отворів на периферії деталі на супорті встановлюється револьверна головка з приводним інструментом, в цьому разі можна крім зазначених операцій виконувати і операції фрезерування. Обробка довгих нежорстких деталей потребує встановлення задньої бабки. Для ускладнених умов обробки на верстаті може встановлюватися друга револьверна головка (рис. 1.6, б), що розміщується на нижніх напрямних станини. В деяких верстатах кількість револьверних головок доходить до чотирьох. В разі розширення кількості інструментів, що встановлені на верстаті, доцільним становиться обробка деталі з протилежного кінця, для чого на верстаті замість задньої бабки встановлюється додатковий шпиндель (проти шпиндель), що будується на базі владнаного електродвигуна. Додатковий шпиндель може використовуватися для підтримання довгих деталей, тобто виконувати функції задньої бабки, а також для перезакріплення деталей та обробки з заднього кінця. Основний шпиндель в такому випадку також може будуватися на базі владнаного електродвигуна. Обробка на такому верстаті може вестися з закріпленням заготовок в основному шпинделі та після обробки з одного боку заготовки перезакріплюються в допоміжний синхронний шпиндель для обробки з протилежного боку. В деяких верстатах можлива одночасна обробка заготовок в основному та допоміжному шпинделях інструментом з різних різцевих головок.



а)

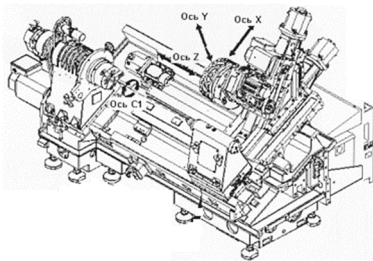


б)

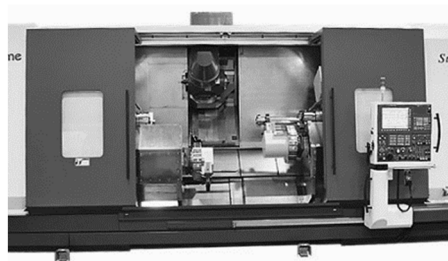
Рисунок 1.6 – Компонування токарних верстатів з похилою станиною

Встановлення на супорті, що здійснює рух за віссю X додаткової рухомої каретки (рис. 1.7, а) забезпечує пересування інструмента за віссю Y , що ще більше розширює технологічні можливості верстата, особливо для виконання фрезерних робіт.

Деякі виробники будують верстати (рис. 1.7, б), в яких на верхньому супорті, що має переміщення за осями X , Y та Z , встановлюють інструментальний шпиндель з автоматичною заміною інструмента з інструментального магазину, а на нижньому, що рухається за осями X , та Z встановлюється револьверна головка.



а)



б)

Рисунок 1.7 – Компонування токарних верстатів з переміщенням за віссю Y

Для обробки заготовок деталей, що мають малу в порівнянні з діаметром довжину, таких як фланці, кришки, зубчасті колеса, тощо можуть використовуватися токарні верстати вертикального компонування. Характерною особливістю таких верстатів є вертикальне розміщення шпинделя, на якому закріплюється заготовка.

Шпиндель може мати верхнє (рис. 1.8, а) та нижнє (рис. 1.8, б; 1.8, в) розміщення.

Верстати з верхнім розміщенням шпинделя призначені для обробки деталей середніх розмірів, в них забезпечується легке видалення стружки та охолоджуючої рідини. Таке компонування забезпечує простоту автоматизації заміни заготовок та владнання в гнучкі автоматизовані виробництва.

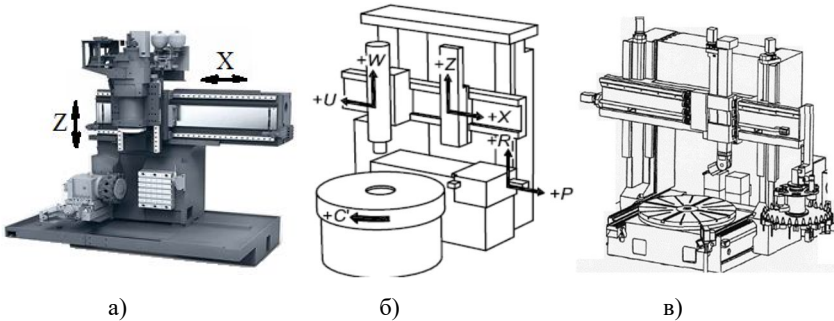


Рисунок 1.8 – Компонування вертикальних токарних верстатів

У верстатах з нижнім розміщенням шпинделя, на шпинделі закріплюється планшайба для встановлення заготовок. Такі верстати призначені для обробки заготовок великого діаметра та відносно невеликої довжини. Вони можуть бути одностояковими та двостояковими, інструменти на них встановлюються на вертикальних та бічних супортах (рис. 1.8, б) або в повзуні з автоматичною заміною інструмента (рис. 1.8, в). В останніх верстатах в повзуні може розміщуватися обертовий привід, що дозволяє використовувати фрезерні та розточувальні головки для виконання операцій фрезерування, свердління, розточування поверхонь, які не лежать на осі обертання шпинделя планшайби. Для обробки поверхонь довільно розташованих в просторі можуть використовуватися поворотні головки.

Розглянуті компонування є найбільш поширеними для побудови верстатів з ЧПК, але вони не вичерпують всі можливі варіанти побудови верстатів.

ЛЕКЦІЯ 2. ПРИВОДИ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

Приводи верстатів забезпечують всі виконавчі рухи верстатів. В залежності від створюваного виконавчого руху приводи поділяють на приводи головного руху, приводи подачі, приводи встановлювальних рухів, приводи допоміжних рухів. Кожен вид приводу характеризується швидкістю руху, діапазоном швидкостей, який він забезпечує, можливістю і дискретністю регулювання швидкості, точністю переміщення, що забезпечується приводом, характером руху виконавчого органу, видом, характером і величиною навантаження на виконавчий орган і елементи приводу. Для створення виконавчих рухів у верстатах з ЧПК використовуються електричні, гідравлічні та пневматичні приводи.

В верстатобудуванні, особливо будуванні верстатів з ЧПК, переважне використання мають двигуни змінного струму (синхронні та асинхронні) і цифрові перетворювачі (інвертори) з векторним керуванням. Цифрові приводи з двигунами змінного струму витіснили аналогові приводи з двигунами постійного струму, але між ними збереглася принципова подібність. На зміну приводу координатних рухів з високомоментним двигуном постійного струму прийшов привід з **синхронним двигуном** зі збудженням від постійних магнітів, який має подібну швидкісну характеристику (рис. 2.1), та здатний забезпечувати багаторазове перевищення моменту (піковий момент). Величина пікового моменту - одна з основних характеристик приводу осі, що забезпечує динамічні властивості приводу. Безколекторні синхронні двигуни більш надійні і довговічні, ніж колекторні. Робота синхронних двигунів характеризується постійністю моменту навантаження в широких межах діапазона регулювання частоти обертання.

Асинхронний двигун, що замінив в приводі головного руху (рух шпинделя) двигун постійного струму з незалежним збудженням, забезпечує, як і його попередник, роботу в двозонному режимі (постійний момент - постійна потужність) з необхідними силовими характеристиками для широкого діапазону частот обертання. Але за рахунок відсутності щіткового пристрою та колектору виграє в надійності, довговічності, зручності обслуговування.

Електродвигун приводу головного руху повинен забезпечувати високу частоту обертання та відносно невелике, але тривале

перевантаження по потужності (наприклад, 150% в режимі S6). Типова швидкісна характеристика асинхронного електродвигуна наведена на рис. 2.2.

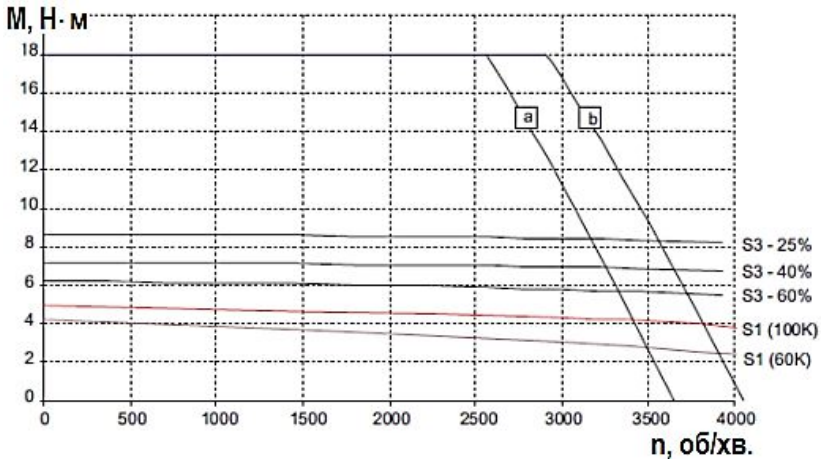


Рисунок 2.1 - Типова швидкісна характеристика синхронного електродвигуна зі збудженням постійними магнітами з рідкоземельного магнітного матеріалу, які використовуються в приводах подач верстатів з ЧПК (електродвигун 1FT6044-AF71). (а, б лінії максимального моменту, зумовлені системою перетворювач/двигун)

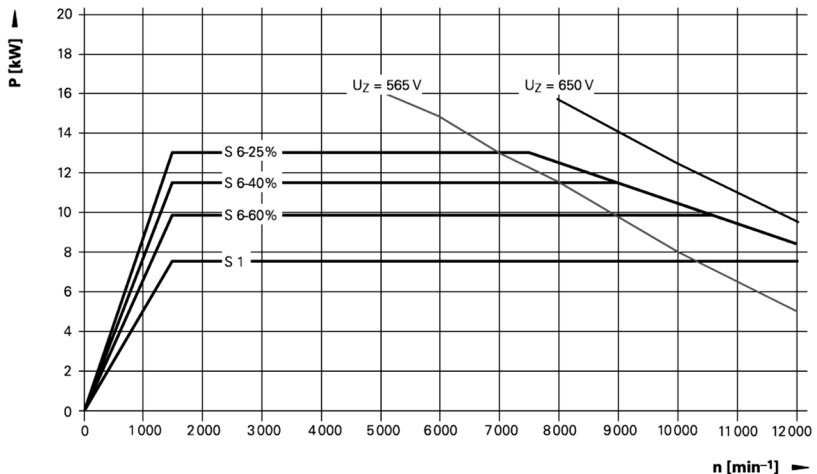


Рисунок 2.2 - Типова швидкісна характеристика асинхронного електродвигуна, що використовується в приводах головного руху верстатів з ЧПК

Сучасний частотно-регульований електропривод складається з асинхронного або синхронного електричного двигуна (М) і перетворювача частоти (ПЧ) (рис. 2.3).

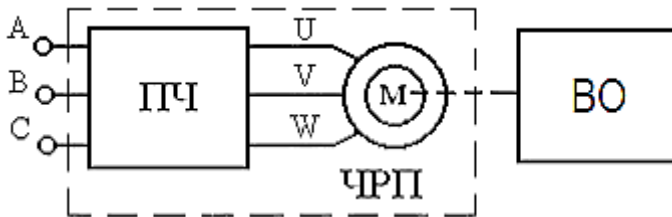


Рисунок 2.3 - Схема взаємодії двигуна та перетворювача частоти

Електричний двигун перетворює електричну енергію в механічну і приводить в рух виконавчий орган (ВО) технологічного механізму.

Перетворювач частоти керує електричним двигуном і являє собою електронний статичний пристрій. На виході перетворювача формується електрична напруга зі змінними амплітудою і частотою.

Назва «частотно-регульований електропривод» обумовлено тим, що регулювання швидкості обертання двигуна здійснюється зміною частоти напруги живлення, що подається на двигун від перетворювача частоти.

Регулювання швидкості асинхронного двигуна зміною частоти напруги, що підводиться до статора можливо як у бік зниження швидкості, так й у бік збільшення швидкості вище номінальної. При регулюванні частоти вниз від номінальної (рис. 2.2) можна вибрати такий закон частотного керування (співвідношення між частотою й амплітудою напруги живлення, що підводиться до статора асинхронного двигуна), що магнітний потік машини буде підтримуватися незмінним. У цьому випадку максимальний момент двигуна зберігається незмінним, і в такий спосіб забезпечується сталість перевантажувальної здатності у всьому діапазоні регулювання при незмінному моменті навантаження. При регулюванні частоти понад номінальну, що можливо в перетворювачів частоти із проміжним контуром постійного струму, має місце режим зниження магнітного потоку двигуна зі збереженням сталої потужності, оскільки амплітуда напруги залишається незмінною на рівні її номінального значення.

Векторне управління дозволяє істотно збільшити діапазон керування, точність регулювання, підвищити швидкодію електроприводу. Цей метод забезпечує безпосереднє керування обертанням двигуна.

Обертовий момент визначається струмом статора, який створює збудливе магнітне поле. Для безпосереднього управління моментом необхідно змінювати крім амплітуди і фазу статорного струму, тобто вектор струму. Цим і обумовлений термін «векторне управління».

Для керування вектором струму, а, отже, положенням магнітного потоку статора щодо обертового ротора потрібно знати точне положення ротора в будь-який момент часу. Завдання вирішується або за допомогою виносного датчика положення ротора, або визначенням положення ротора шляхом обчислень за іншими параметрами двигуна. В якості цих параметрів використовуються струми і напруги статорних обмоток. В приводах сучасних верстатів з ЧПК переважно використовується перший спосіб, тобто в конструкцію електродвигуна вбудовується датчик положення ротора. Цей датчик часто використовується як датчик обертової осі С, що спрощує систему керування верстатом.

Векторне керування з датчиком зворотного зв'язку за швидкістю забезпечує діапазон регулювання до 1:1000 і вище, точність регулювання за швидкістю - соті частки відсотка, точність за моментом - одиниці відсотків.

У синхронному частотно-регульованому приводі застосовуються ті самі методи керування, що і в асинхронному.

Моментні двигуни

Для виконання ділильних, установлювальних, допоміжних та інших видів рухів в верстатах з ЧПК використовуються моментні електродвигуни.

Вбудовані моментні електродвигуни (рис. 2.4) - це трифазні синхронні електродвигуни з ротором у вигляді короткого порожнистого валу, з великою кількістю полюсів збудження постійними магнітами і водяним охолодженням двигуна через водяний радіатор. Для повного модуля приводу додатково необхідні підшипник і датчик кутових переміщень.

Моментні електродвигуни характеризуються великими діаметральними розмірами в порівнянні з осьовими. Статор

електродвигуна закріплюється, передбаченими для цього отворами, до нерухомого корпусу, а ротор – до елемента, наприклад стола, якому забезпечується обертовий рух.

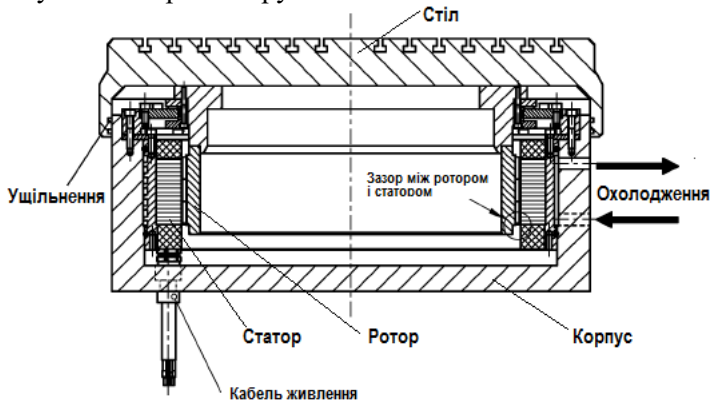


Рисунок 2.4 – Приклад використання моментного електродвигуна

Вбудовані моментні електродвигуни можуть використовуватися як прямий привід для такого обладнання:

- агрегатні верстати, поворотні столи, осі гойдання;
- кругові осі (вісь А, В, С для 5-ти осьових обробних верстатів);
- револьверний блок і барабанный блок для одно-і багатошпиндельних верстатів;
- динамічні магазини інструменту;
- токарний шпиндель у фрезерних верстатах.

Швидкісна характеристика моментних електродвигунів (рис. 2.5) подібна до характеристики синхронних двигунів. Вони забезпечують високі моменти з мінімальною пульсацією. Вбудовані моментні електродвигуни, особливо для середніх і великих моментів, мають знижену номінальну частоту.

Приводи головного руху верстатів з ЧПК

Головний рух в верстатах – це найчастіше обертальний рух інструмента або заготовки, інколи – поступальний рух, наприклад в стругальних чи довбальних верстатах. В приводах головного руху верстатів з ЧПК використовуються електроприводи, які включають в себе систему живлення електродвигуна, сам електродвигун, механічну систему та виконавчий орган, найчастіше у вигляді шпинделя.

Основним типом приводного електродвигуна в верстатах з ЧПК є асинхронні електродвигуни, рідше використовуються синхронні електродвигуни та електродвигуни постійного струму.

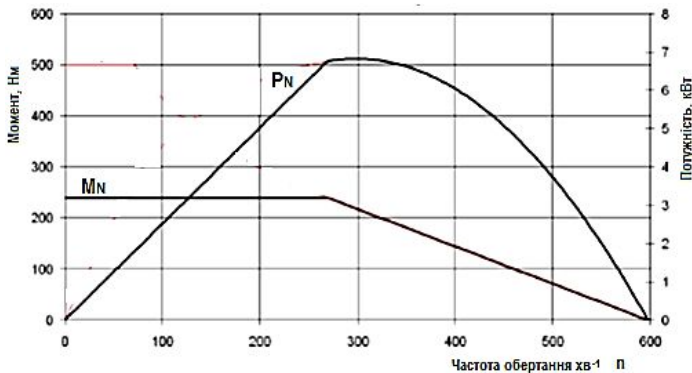


Рисунок 2.5 - Швидкохідна характеристика моментного електродвигуна MST210E-0027-F_

Конструкція приводу верстата визначається в залежності від швидкохідного режиму шпинделя, потужності різання, частоти перемикання режимів, можливості використання шпинделя як обертової осі.

Найбільш поширеними в сучасних верстатах з ЧПК є такі конструкції приводів:

- з електродвигуном розміщеним на основі верстата, планетарним редуктором та пасовою передачею на шпиндель;
- з електродвигуном розміщеним на основі верстата та пасовою передачею на шпиндель;
- з електродвигуном вбудованим в конструкцію шпиндельного вузла співвісно шпинделю (моторшпинделем).

Перший варіант приводу застосовується переважно в конструкції токарних, рідше фрезерних, верстатів для обробки деталей широкої номенклатури, на яких поєднують чистову обробку деталей з попередньою обробкою зі значними перетинами зрізів, коли частота обертання може бути не висока, а споживана потужність значна. Використання в приводі двоступінчастого планетарного редуктора, що забезпечує передавальні відношення 1:1 та 1:4, дає можливість

розширити діапазон регулювання приводу в режимі постійної потужності в бік низьких частот до чотирьох разів і, як наслідок, можливість обробки заготовок з повною потужністю.

Варіант приводу лише з пасовою передачею використовується в верстатах для високопродуктивної обробки, а конструкція з вбудованим електродвигуном в шпindelний вузол застосовується в верстатах для швидкісного різання. В останньому варіанті необхідно обов'язково передбачати охолодження корпусу шпindelного вузла охолоджуючою рідиною.

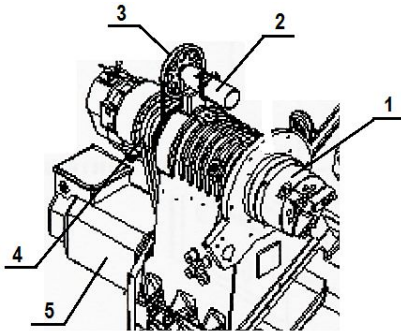


Рисунок 2.6 – Шпindelний вузол з датчиком осі С.

(моторшпинделем) функції датчика осі С виконує датчик, що контролює положення ротора електродвигуна.

В разі потреби забезпечення керування за обертовою віссю С в конструкціях приводу головного руху з пасовою передачею на шпindelі встановлюється датчик кутових положень 2 (рис. 2.6). Оберти від шпинделя 1 до датчика передаються найчастіше зубчастою пасовою передачею 3. В конструкції приводу з вбудованим електродвигуном

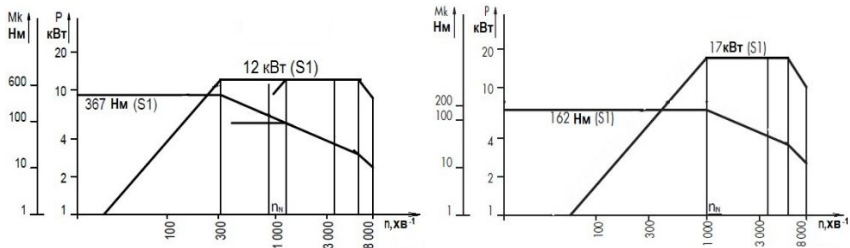


Рисунок 2.7 – Діаграми потужності та моменту для різних варіантів приводу: а – привід з планетарним редуктором та пасовою передачею; б – привід з пасовою передачею

Діаграми потужності та крутного моменту для приводів з планетарним редуктором та пасовою передачею на прикладі

вертикального обробного центру **MCFV 1260** компанія TAJMAC-ZPS наведено на рис. 2.7. Для приводу з вбудованим електродвигуном діаграма подібна до діаграми наведеної на рис.2.2

Планетарні редуктори (рис. 2.8) для таких приводів передбачають можливість встановлення безпосередньо на валу електродвигуна 1 з centruванням по його фланцю. З вала електродвигуна обертання передається на вал 2 редуктора, який має зовнішній та внутрішній зубчасті вінці. Муфта 3 важелем 4 може перемикатися в ліве або праве положення. В лівому положенні зовнішній зубчастий вінець муфти входить в зачеплення з внутрішнім вінцем, закріпленим нерухомо на корпусі редуктора. Обертання від вала електродвигуна буде передаватися через вал 2 і центральне зубчасте колесо 10. Сателітні колеса 6, закріплені на водилі, обкочуються по нерухомому зубчастому колесу 5 з внутрішнім зачепленням та передають обертання на вихідний вал редуктора 8, на якому закріплюється шків пасової передачі. Передавальне відношення редуктора за такого вмикання дорівнює 1:4. Замиканням муфти вправо зовнішній вінець зубчастого колеса 5 з'єднується з зовнішнім вінцем вала 2 і оберти передаються безпосередньо з вала 2 на вихідний вал редуктора 8 з передавальним відношенням 1:1. Пермикання муфти здійснюється соленоїдом за командами від системи керування верстатом.

Потужність приводу головного руху

Потужність двигуна приводу головного руху витрачається на виконання корисної роботи та на подолання різноманітних опорів.

$$P_{ед} = P_K + P_O = P_K + P_{xx} + P_n,$$

де P_K – корисна потужність сил різання; P_O – потужність сил тертя; P_{xx} – потужність втрат холостого ходу; P_n – додаткові втрати потужності зумовлені прикладенням навантаження.

Корисна потужність в приводі головного руху визначається тангенціальною складовою сили різання та швидкістю різання.

$$P_K = \frac{P_Z \cdot V}{1000 \cdot 60}, \text{ кВт},$$

де P_Z – тангенціальна складова сили різання, Н;

V – швидкість різання, м/хв.

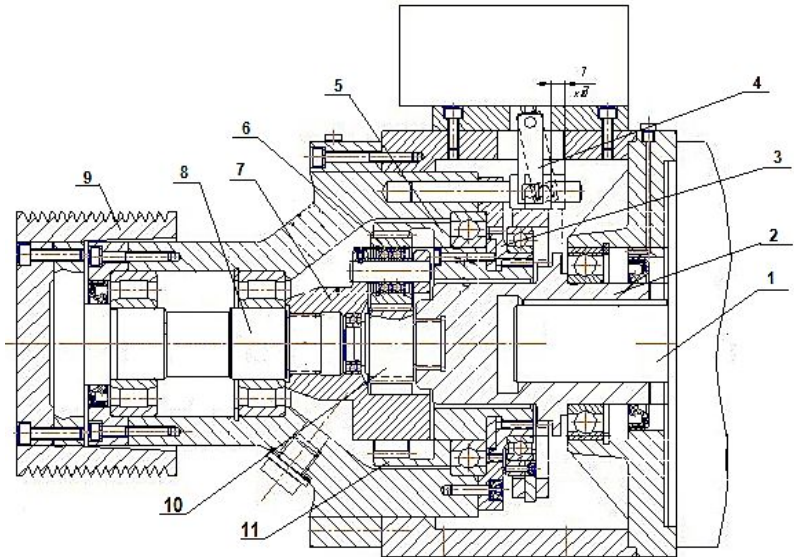


Рисунок 2.8 – Планетарний двоступінчастий редуктор

Вибираючи потужність електродвигуна приводу головного руху без використання редуктора слід враховувати особливості регулювання електродвигуна (див. рис. 2.2). Повна потужність зберігається лише в діапазоні частот від номінальної до максимальної. Зі зниженням частоти нижче номінальної потужність двигуна падає. Тому в верстатах, приводи головного руху яких не мають редукторів, потужність електродвигуна береться більшою, ніж в верстатах з редуктором (див. рис. 2.7).

Втрати холостого ходу в приводі головного руху залежать від досконалості мащення та частоти обертання, і зі збільшенням частоти суттєво зростають. Для сучасних верстатів з ЧПК, багатоцільових верстатів це особливо важливо, оскільки вони працюють на високих частотах. В верстатах, оснащених мотор-шпинделями, основними вузлами, в яких відбувається тертя є підшипники кочення шпиндельних опор. В приводах з пасовими передачами та з планетарними редукторами і пасовими передачами втрати на тертя спостерігаються в пасовій передачі, опорах редуктора, а при роботі планетарного редуктора зі знижувальною передачею і в зубчастому зачепленні редуктора.

Потужність втрат холостого ходу визначається за формулою

$$P_{xx} = M_{xx} \cdot n \cdot \pi / 30, \text{ кВт}$$

де M_{xx} – момент тертя холостого ходу, Нм; n – частота обертання хв.⁻¹.

Момент втрат холостого ходу підшипника кочення визначається за виразом

$$M_{xx} = 10^{-7} f_0 (n \cdot v)^{2/3} d_m^3,$$

де f_0 – коефіцієнт, що залежить від виду мащення та конструкції підшипника;

v – кінематична в'язкість мастила на робочій температурі, мм²/с;

d_m – середній діаметр підшипника.

В приводах зі ступінчастим регулюванням і комбінованих приводах, що мають багатовалову коробку швидкостей потужність втрат холостого ходу можна визначати за емпіричною формулою

$$P_{xx} = \frac{d}{10^6} \left(\sum n + k_1 \frac{d_0}{d} n_0 \right) k_2, \text{ кВт},$$

де d – середній діаметр шийок під підшипники всіх проміжних валів коробки швидкостей, мм;

d_0 – діаметр шийок шпинделя, мм;

$\sum n$ – сума частот обертання всіх проміжних валів, хв⁻¹;

n_0 – частота обертання шпинделя, хв⁻¹;

$k_1 = 1,5 \dots 2$ – коефіцієнт, що враховує підвищені втрати в шпиндельному вузлу за рахунок попереднього натягу;

$k_2 = 3 \dots 5$ – коефіцієнт, що залежить від досконалості мастильної системи.

Додаткові втрати потужності з'являються з прикладенням навантаження, за рахунок збільшення тертя в опорах та передачах.

Потужність двигуна приводу головного руху можна визначити користавшись значеннями коефіцієнту корисної дії приводу η .

$$P = \frac{P_k}{\eta},$$

В разі передачі руху через низку кінематичних елементів з тертям, коефіцієнт корисної дії визначається як добуток коефіцієнтів корисної дії окремих елементів.

Даною формулою можна користуватися для вибору потужності двигуна, що працює в сталому режимі S1. Для інших режимів роботи потужність вибирається з врахуванням циклу навантаження.

ЛЕКЦІЯ 3. ШПИНДЕЛЬНІ ВУЗЛИ БАГАТОЦІЛЬОВИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

Характерною особливістю шпиндельних вузлів багатоцільових верстатів є високі частоти обертання шпинделя. Для верстатів токарної групи середніх розмірів частоти обертання шпинделя знаходяться в межах 3500 – 5000 хв.⁻¹, в залежності від діаметра обробки. Для верстатів, призначених для виконання фрезерних робіт, частоти обертання шпинделя досягають 10000 – 20000 хв.⁻¹ і вище. В таких умовах надзвичайно важливе значення мають високі динамічні властивості, жорсткість усього шпиндельного вузла і його складових, точність обертання шпинделя, швидкохідність шпиндельних підшипників, надійність роботи.

В багатоцільових верстатах суттєво зросли вимоги до частоти власних коливань шпинделя в порівнянні з традиційними верстатами, що зумовлено зростанням частоти обертання шпинделя, яке тягне за собою зростання частот збурень в процесі роботи верстата.

Точність обертання шпинделя залежить від точності виготовлення та складання шпиндельного вузла, а також від точності обертання підшипників, що встановлюються в шпиндельних опорах. В опорах шпиндельних вузлів використовуються тільки високоточні підшипники не нижче 5 класу точності з метою забезпечення мінімального радіального та осьового биття підшипника.

Жорсткість шпиндельного вузла визначається жорсткістю власне шпинделя та жорсткістю опор. Збільшення жорсткості шпинделя досягається за рахунок зміни його геометричних параметрів: збільшення моменту інерції поперечного перетину, зменшення вильоту переднього кінця, оптимізації міжопорної відстані. Ці ж фактори позитивно впливатимуть і на динаміку шпинделя. Жорсткість опор шпинделя визначається типом підшипників, що встановлюються в опорі та розмірами підшипника. З метою забезпечення необхідної жорсткості в шпиндельних підшипниках створюється попередній натяг, тобто до підшипників попередньо прикладається навантаження. Застосування попереднього натягу забезпечує зростання жорсткості; підвищує точність обертання за рахунок зниження радіального биття шпинделя; знижує тертя, особливо в кульковому підшипнику, за рахунок усунення вертіння кульки навколо своєї осі на високих швидкостях обертання; знижує рівень шуму від вібрацій.

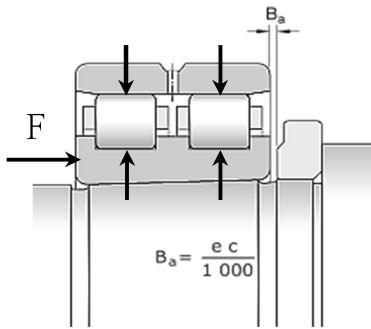


Рисунок 3.1 – Радіальний попередній натяг зсувом внутрішнього кільця підшипника

Способи та величина прикладеного навантаження визначається типом та розмірами підшипника і умовами його роботи.

В прецизійних роликових радіальних підшипниках з циліндричними роликами, однорядних і дворядних, попередній натяг створюється осьовим зсувом внутрішнього кільця підшипника по конічній поверхні шийки шпинделя (рис. 3.1). Величина осьового зсуву B_a може бути визначена за виразом

$$B_a = \frac{e \cdot c}{1000}, \text{ мм,}$$

де e - коефіцієнт, що залежить від співвідношення діаметра отвору валу і діаметра підшипника;

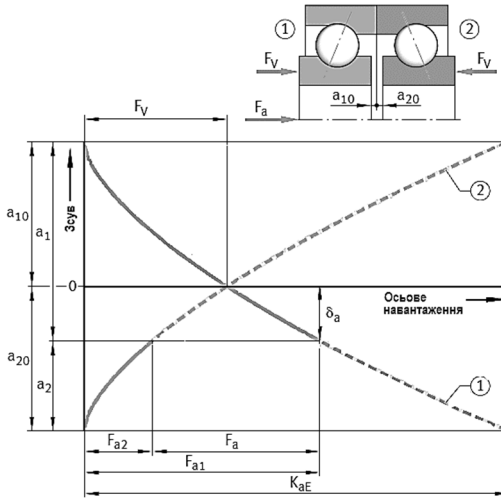
c - вимірний радіальний зазор в контрольній точці плюс необхідний попередній натяг, мкм.

В радіально-упорних підшипниках, як в кулькових, так і в роликових з конічними роликами, попередній натяг створюється зсувом внутрішніх кілець підшипника відносно зовнішніх (рис. 3.2) на величину a_{10} , a_{20} під дією попередньо прикладеного навантаження F_v .

Такий зсув може відбуватися за рахунок конструктивних елементів самого підшипника або за рахунок встановлення дистанційних кілець різної довжини між внутрішніми та зовнішніми кільцями підшипників. В разі застосування такого способу створення попереднього натягу експлуатаційний натяг може зростати в порівнянні з монтажним за рахунок тепловиділення в підшипнику і нерівномірного нагріву підшипникових кілець. Внутрішнє кільце нагрівається сильніше ніж зовнішнє, що веде до зростання монтажного натягу.

Попередній натяг може зберігати свою сталу величину в разі застосування підшипників наведених на рисунку 3.3, б. Це відбувається за рахунок пружин, встановлених в зовнішньому кільці підшипника. Такий спосіб створення попереднього натягу оправданий на високих

частотах обертання, оскільки натяг в опорі в таких умовах практично не змінюється, але пружні зсуви в опорі будуть більшими ніж в опорах, в яких попередній натяг виконано способом, показаним на рис. 3.2.



F_v – сила попереднього натягу, F_a – осьова сила, F_{a1} – осьове навантаження на підшипник 1, a_1 – зсув підшипника 1, a_{10} – початковий зсув підшипника 1, F_{a2} – осьове навантаження на підшипник 2, a_2 – зсув підшипника 2, a_{20} – початковий зсув підшипника 2, K_{aE} – lift-off force, (розвантажуюча сила) δ_a – осьовий зсув.

Рисунок 3.2 – Попередній натяг і розвантажуюча сила в підшипнику

В разі прикладення зовнішнього навантаження F_a до опори (рис. 3.2) підшипник 1 буде додатково навантажуватися (сила F_{a1}), а підшипник 2 буде розвантажуватися (сила F_{a2}) і коли навантаження досягне значення K_{aE} підшипник 2 буде розвантажений повністю, а все навантаження сприйматиме підшипник 1.

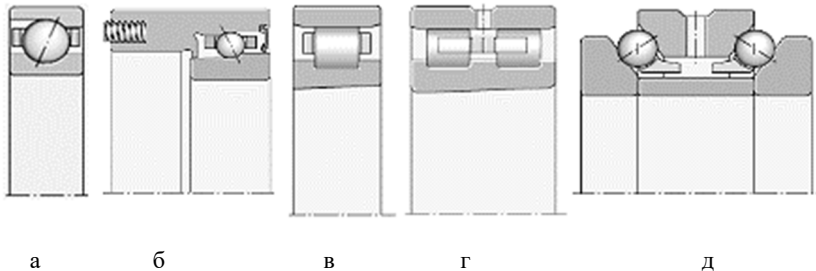


Рисунок 3.3 – Типи підшипників, що використовуються в шпиндельних вузлах металообробних верстатів

Основні типи підшипників кочення, що використовуються в шпиндельних вузлах багатоцільових верстатів наведено на рис. 3.3.

Радіально-упорні кулькові підшипники (рис. 3.3, а) можна віднести до універсальних, оскільки вони сприймають як радіальні, так і осьові навантаження. Для цього найчастіше використовують підшипники з кутом контакту 15° або 25° . Більший контактний кут забезпечує більшу осьову жорсткість та навантажувальну здатність. Однак швидкість, радіальна жорсткість і радіальна вантажопідйомність знижуються. Такі підшипники можуть встановлюватися в передній та задній опорах шпиндельного вузла. В опорі може бути встановлено від двох до трьох – чотирьох підшипників, в залежності від навантаження на опору та необхідної частоти обертання. Так два підшипники в опорі можуть встановлюватися за схемами “О” (рис. 3.4, а), “Х” (рис. 3.4, б) або за схемою “тандем” (рис. 3.4, в).

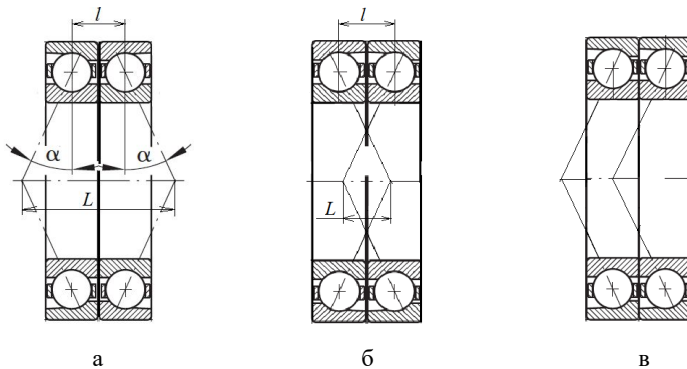


Рисунок 3.4 – Схеми встановлення радіально-упорних підшипників в одній опорі

Відстань L між центрами тиску радіально-упорних кулькових підшипників так само і конічних роликотпідшипників буде більшою відстані між центрами підшипників l , коли ці підшипники встановлені за О-подібною (рис. 3.4, а) і меншою, коли вони встановлені за Х-подібною (рис. 3.4, б). Це означає, що підшипники, установлені за О-подібною схемою, здатні компенсувати великі перекидальні моменти навіть у тому випадку, коли відстань між центрами підшипників порівняно невелика. Радіальні сили, що виникають під впливом моменту, що навантажує, і деформація, зумовлена ним у підшипниках,

будуть меншими, ніж у випадку розташування підшипників за Х-подібною схемою.

Підшипники з кутами контакту 30° і 40° застосовуються для сприйняття осьового навантаження, як альтернатива упорно-радіальним підшипникам в умовах вищих вимог до швидкохідності шпиндельного вузла. Радіально-упорні підшипники забезпечують найвищі частоти обертання шпинделя. В радіально-упорних підшипниках наведених на рис. 3.3, б за допомогою пружин підтримується стала величина попереднього натягу протягом роботи.

Роликові одно- та дворядні підшипники з циліндричними роликами (рис. 3.3, в, г) забезпечують високу частоту обертання та високу радіальну жорсткість опори. Вони виконуються з циліндричним та конічним отвором на внутрішньому кільці. Наявність конічного отвору дає можливість регулювати зазор в підшипнику і створювати попередній натяг. Роликові підшипники сприймають лише радіальні навантаження і можуть встановлюватися в передній опорі разом з підшипником що сприймає осьові сили, а в задній опорі самостійно.

Для сприйняття осьового навантаження в шпиндельних вузлах встановлених на роликових підшипниках з циліндричними роликами використовуються упорно-радіальні кулькові підшипники з кутом контакту 60° (рис. 3.3, д). Такі опори забезпечують високу радіальну та осьову жорсткість і несучу здатність. Для забезпечення більшої швидкохідності можуть використовуватися радіально-упорні підшипники з кутом контакту 30° та 40° , осьова жорсткість і несуча здатність таких опор буде нижчою.

Гібридні підшипники

Підшипники кочення виготовлені з керамічного матеріалу – нітриду кремнію (Si_3N_4), який складається з тонких подовжених зерен нітриду бета-кремнію в склоподібній матричній фазі, називаються керамічними. В металорізальних верстатах знаходять застосування підшипники, тіла кочення яких виготовляються з кераміки, а кільця – зі сталі, ці підшипники отримали назву гібридних.

Нітрид кремнію в порівнянні зі сталлю має більш високі значення твердості, модуля пружності, низьку густину, низький коефіцієнт теплового розширення.

Внаслідок низької густини на тіла кочення з нітриду кремнію діють менші відцентрові сили, ніж на сталеві. Особливо це суттєво на

високих частотах обертання підшипника, (враховуючи, що відцентрова сила пропорційна квадрату швидкості руху) коли на доріжках кочення виникають високі додаткові контактні напруження, які ведуть до зниження довговічності підшипника.

Важливою особливістю є також те, що в гібридних підшипниках на високих частотах обертання відхилення кута контакту буде меншим, що зменшує ковзання на площадках контакту в підшипнику.

Внаслідок цього гібридні підшипники допускають значно більші частоти обертання ніж сталеві (табл. 3.1). З керамічними тілами кочення випускаються кулькові радіально-упорні підшипники та роликові підшипники з циліндричними роликами.

Таблиця 3.1 – Порівняння частот обертання сталевих і гібридних підшипників компанії "Коуо"

Модель підшипника	Діаметр отвору	Гранична частота	
		Пластичне мащення	Рідинне мащення
HAR016 (сталевий)	80	7000	9300
3NCHAR916C (гібридний)	80	16000	26000

Схеми шпиндельних вузлів на підшипниках кочення

Типи підшипників, кількість підшипників в опорі та їх розташування вибирають в залежності від необхідної швидкохідності, величини і характеру прикладеного навантаження, точності обробки.

Розглянемо декілька схем шпиндельних вузлів на підшипниках кочення, що часто використовуються.

В шпиндельному вузлу (рис. 3.5, а) в передні і задній опорах шпинделя установлені дворядні роликові підшипники, які сприймають радіальні навантаження. Осьові зусилля сприймає дворядний кульковий упорно-радіальний підшипник, встановлений в передній опорі шпинделя. Слід звернути увагу на те, що в сучасних верстатах з ЧПК, з метою зменшення впливу температурних деформацій шпинделя на точність обробки, осьова фіксація шпинделя виконується в передній опорі. Така схема забезпечує високу жорсткість та несучу здатність як в радіальному, так і в осьовому напрямках. Використовуються такі схеми в токарних верстатах з ЧПК, обробних центрах (багатоцільових верстатах), фрезерних і розточувальних верстатах з ЧПК. В умовах пластичного мащення забезпечується параметр швидкохідності $d_m \cdot n \leq 0,4 \cdot 10^6$. Застосування замість дворядного упорно-радіального

підшипника здвоєних кулькових підшипників з кутом контакту 30° чи 40° підвищує швидкохідність на 20% з відповідним зниженням осової навантажувальної здатності. [8].

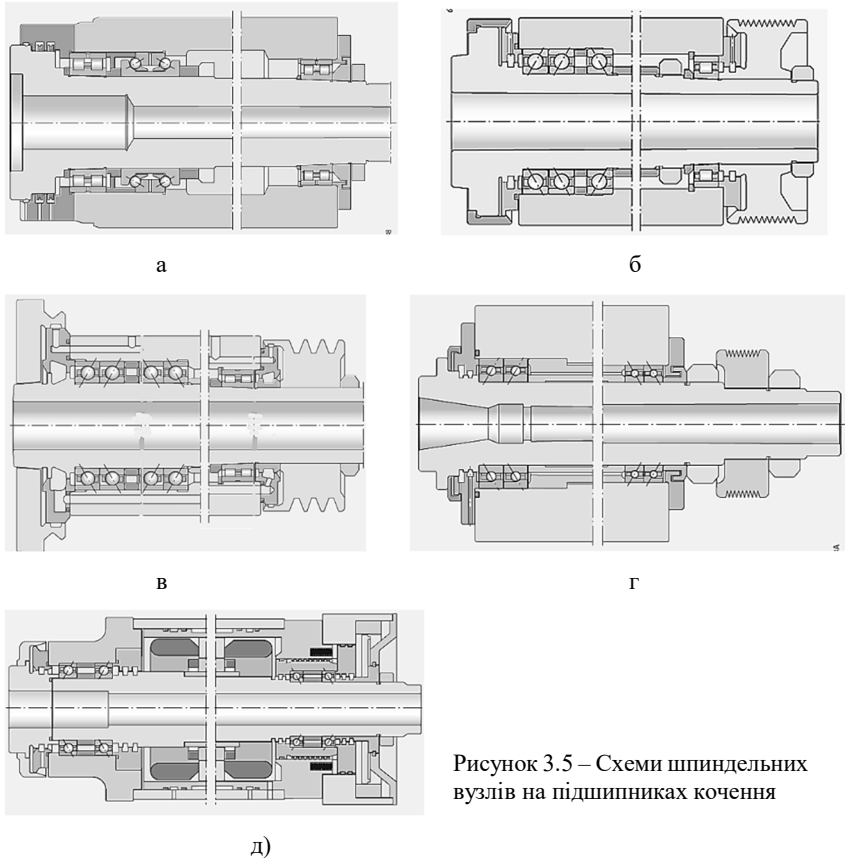


Рисунок 3.5 – Схеми шпиндельних вузлів на підшипниках кочення

Більш високу швидкохідність забезпечують шпиндельні вузли, виконані за схемою наведеною на рис. 3.5, б. В передній опорі встановлені три радіально-упорних підшипники, які сприймають радіальне і осове навантаження. В задній опорі використаний однорядний роликовий підшипник. Жорсткість такого шпиндельного вузла буде нижчою ніж в попередній схемі. Швидкохідність в умовах пластичного напруження складає $d_m \cdot n \leq 0,7 \cdot 10^6$. Застосовується така схема в токарних верстатах з ЧПК.

В токарних верстатах з ЧПК, обробних центрах (багатоцільових верстатах), фрезерних верстатах з ЧПК може використовуватися схема в, рис.3.5. Застосування радіально-упорних підшипників в передній опорі і дворядного роликопідшипника в задній забезпечує високий рівень жорсткості і високі показники швидкохідності: в умовах пластичного мащення $d_m \cdot n \leq 0,65 \cdot 10^6$, із застосуванням масло-повітряного мащення швидкохідність зростає до величини $d_m \cdot n \leq 1,0 \cdot 10^6$.

В разі підвищених вимог до швидкохідності шпиндельного вузла може використовуватися схема з, рис. 3.5. В опорах шпинделя встановлені дві пари радіально-упорних підшипників (по одній в кожній опорі), змонтованих по схемі “тандем”. Швидкохідність такого шпиндельного вузла складає в умовах пластичного мащення $d_m \cdot n \leq 0,85 \cdot 10^6$, із застосуванням масло-повітряного мащення - $d_m \cdot n \leq 1,1 \cdot 10^6$. Під час регулювання попереднього натягу в такому вузлу необхідно враховувати теплове розширення шпинделя. Такі схеми знаходять застосування в розточувальних верстатах та обробних центрах (багатоцільових верстатах).

Високі частоти обертання шпинделя разом з забезпеченням високих динамічних властивостей можуть забезпечуватися конструкцією шпиндельного вузла з вбудованим електродвигуном (мотор-шпинделем) (рис.3.5 д). Вони знаходять широке застосування в багатоцільових верстатах. Швидкохідність схеми д така сама, як і схеми з, оскільки тип і схема установки підшипників в обох схемах тотожні.

Особливості конструкції шпиндельних вузлів верстатів з ЧПК

В шпиндельних вузлах токарних верстатів з ЧПК, в яких ведеться обробка з використанням осі С, часто виникає потреба загальмувати шпиндель в визначеному положенні. Для цього шпиндельні вузли оснащуються гальмівними пристроями, як показано на рисунку 3.6. Гальмівний пристрій складається з диска 2, закріпленого на приводному шківу 6 або перехіднику в конструкціях з мотор-шпинделем, встановлених на задньому кінці шпинделя 9. Два гідроциліндри 5 гальма, закріплені за допомогою кронштейна на корпусі шпиндельної бабки 1, розміщуються симетрично з двох боків гальмового диска. Керування гідроциліндрами здійснюється від

системи управління через гідропанель. Для контролю осі С використовується датчик положення 2 (рис. 2.6)

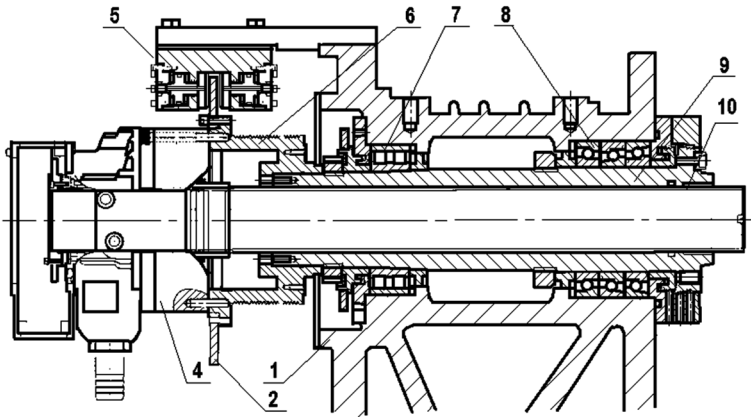


Рисунок 3.6- Шпиндельний вузол токарного верстата з ЧПК

В конструкції шпиндельних вузлів токарних верстатів з ЧПК передбачається механізоване закріплення заготовок в патроні. На шків або перехідник (адаптер), в конструкціях з мотор-шпинделем, закріплюється гідроциліндр 4, який затисочною трубою 10, з'єднується з приводним елементом патрона і здійснює затиск чи розтискання кулачків патрона.

Корпус шпиндельної бабки в конструкціях з приводом від пасової передачі виконується з великою кількістю ребер, що сприяє інтенсивному тепловідведенню від шпиндельного вузла.

Шпиндельні вузли для високошвидкісних фрезерних та багатоцільових верстатів часто виконуються з вбудованим електродвигуном (мотор-шпинделем) (рис. 3.7).

Ротор електродвигуна з гільзою 22 напресовується на шпиндель, для чого ротор з гільзою нагрівають до $140^{\circ}\div 150^{\circ}\text{C}$ при температурі шпинделя $10^{\circ}\div 20^{\circ}\text{C}$ або шпиндель охолоджують до $-160^{\circ}\div -190^{\circ}\text{C}$ при температурі ротора $20^{\circ}\div 30^{\circ}\text{C}$. Статор електродвигуна з кожухом охолодження 21 закріплюється гвинтами 50 в корпусі шпиндельного вузла.

Через штуцери 65 забезпечується подача та відведення рідини для охолодження статора електродвигуна. Для зниження температури

передньої опори шпинделя через штуцери 64 здійснюється підведення та відведення рідини охолодження до корпусу передньої опори.

Шпиндель встановлений на чотири радіально-упорні підшипники 60 в передній опорі і один підшипник 61 в задній опорі. Підшипники передньої опори встановлені з попереднім натягом. Нерівномірний розподіл підшипників зумовлений діючими навантаженнями на шпиндель. З використанням мотор-шпинделя на нього не діють навантаження від елементів, що передають на шпиндель момент. В результаті шпиндель піддається тільки навантаженню від сил різання.

Для захисту підшипників передньої опори використовуються лабіринтні ущільнення 34. Закріплюються підшипники на шпинделі гайкою.

Інструмент в шпинделі закріплюється за допомогою інструментальних оправок HSK, які дають можливість працювати на високих частотах обертання шпинделя. Оправка базується по конусу і торцю, що забезпечує високу жорсткість сполучення.

Закріплення оправки в шпинделі здійснюється цангою 27, пелюстки якої, під дією конічної втулки 28, розходяться і захоплюють інструментальну оправку. Рух втулки здійснюється від тяги 9, до верхнього кінця якої, через гільзу 10, прикладається зусилля від пакету тарілчастих пружин 62. Розтискання інструментальної оправки виконується від пневмоциліндра 5. Шток пневмоциліндра переміщується вниз і через упорне кільце 8 діє на гільзу 10 та тягу 9. Гільза стискає пакет тарілчастих пружин, чим знімає навантаження з тяги, яка, під час подальшого руху вниз, переміщує конічну втулку 28, розкриваючи цангу. Пружина 35 через перехідну втулку 26 забезпечує стабільне положення цанги в отворі шпинделя.

Контроль кутового положення ротора електродвигуна (шпинделя) для забезпечення можливості регулювання частоти обертання шпинделя виконується датчиком положення (енкодером) 73, на який рух від шпинделя передається зубчастими колесами 58 і 59.

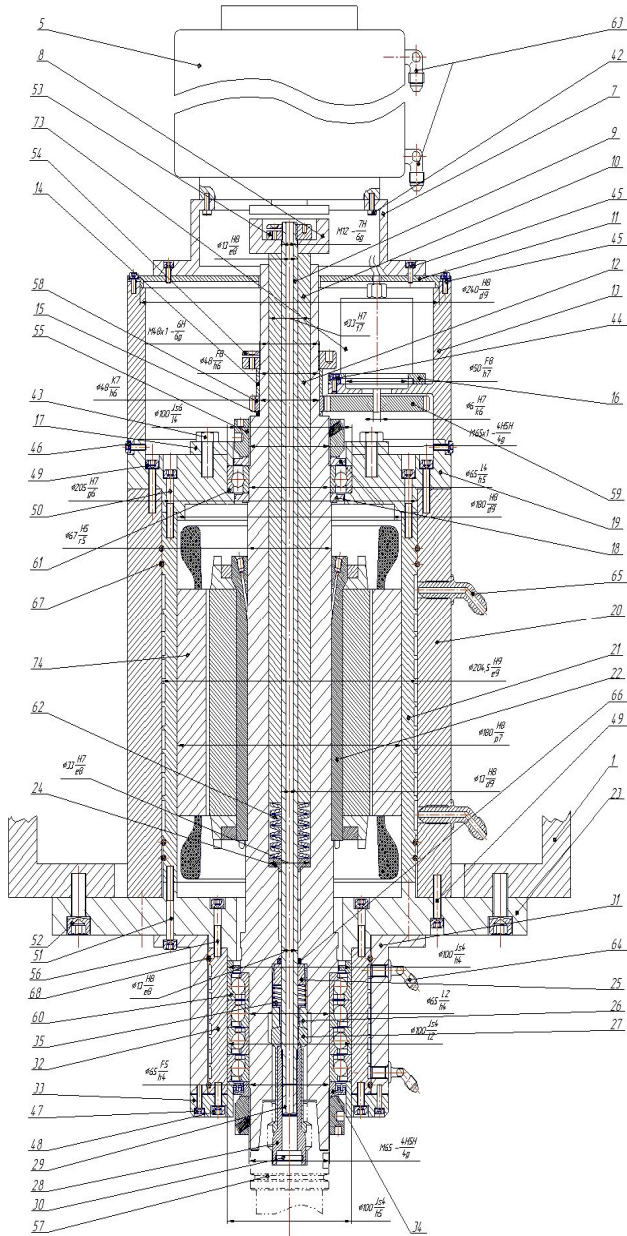


Рисунок 3.7 – Шпиндельний вузол багатоцільового верстата

ЛЕКЦІЯ 4. ПРИВОДИ ПОДАЧ БАГАТОЦІЛЬОВИХ ВЕРСТАТІВ

Приводи подач багатоцільових верстатів повинні забезпечувати рух виконавчого органу верстата з робочою подачею, що регулюється в широких межах, координатні прискорені переміщення з високою швидкістю, високу точність виконавчих рухів, жорсткість приводу та динамічні характеристики.

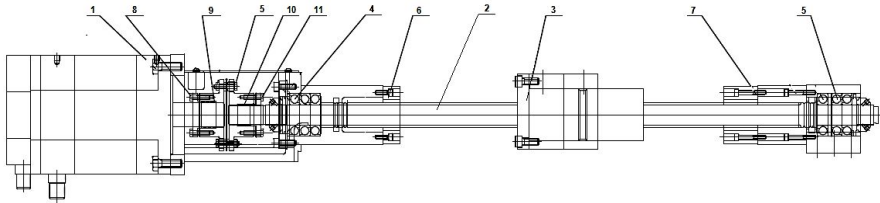


Рисунок 4.1 – Привід подачі багатоцільового верстата

Привід подачі багатоцільового верстата (рис. 4.1) складається з електродвигуна змінного струму 1, найчастіше синхронного з постійними магнітами, який через безззорну муфту 5 з'єднаний з ходовим гвинтом 2 тягового пристрою, найчастіше передачі гвинт – гайка кочення. Такі приводи забезпечують швидкість прискорених переміщень 30 – 50 м/хв. Для одержання вищих швидкостей руху в приводі подачі можуть застосовуватися синхронні лінійні електродвигуни зі збудженням постійними магнітами, за допомогою яких можна розвивати швидкість руху робочого органу до 100 м/хв. і більше. Так лінійні електродвигуни Siemens 1FN1 здатні працювати в діапазоні швидкостей 65 ... 214 м/хв. Двигуни (рис. 4.2) складаються з первинної та вторинної частини з рідкоземельними магнітами. Первинна частина має фіксовані розміри та кріпиться до рухомого вузла, вторинна частина складається з окремих елементів (сегментів) відповідно до бажаної довжини переміщення і розміщується на нерухомому вузлу. Істотною перевагою лінійних вбудованих приводів є практична відсутність ефектів пружності, зазору і тертя, а також власних вібрацій в передачі, наслідком чого є висока динаміка і точність.

Приводи подач з ходовими гвинтами.

Тяговим пристроєм в приводах подач багатоцільових верстатів, що забезпечують прямолінійний рух виконавчого органу, є кулькова гвинтова передача.

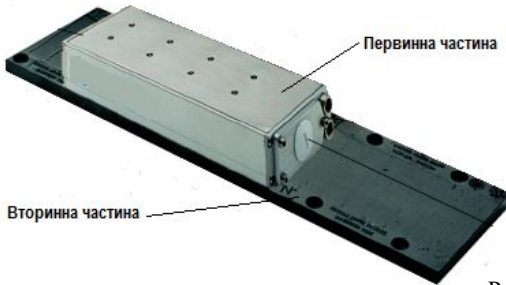


Рисунок 4.2 – Лінійний електродвигун

Основними перевагами, що зумовлюють широке використання приводів з гвинтовими передачами кочення, в порівнянні з іншими видами тягових пристроїв, зокрема гвинтовими передачами ковзання є:

малий опір тертя в передачі;

відсутність зазорів в передачі гвинт – гайка кочення та можливість створення попереднього натягу, що підвищує точність руху робочого органу;

високий коефіцієнт корисної дії, який доходить до 0,95 – 0,98, тоді як для гвинтових передач ковзання він не перевищує 0,5;

високі швидкості руху.

До недоліків гвинтової передачі кочення варто віднести:

високу вартість передачі (особливо зі шліфованими гвинтами);

складність конструкції гайки.

Конструкція кулькового гвинтового приводу багатоцільового верстата (рис. 4.3) складається з привідного електродвигуна 1, який через беззазорну муфту 2 з високою крутильною жорсткістю, передає рух на гвинт 6 кулькової передачі. Корпус гайки 5 закріплений на виконавчому органі верстата, що здійснює поступальний рух. На корпусі лівої опори 3 та правої опори 8 закріплені демпфуючі упори 4 та 7 відповідно. В залежності від призначення гвинтової передачі, прикладеного навантаження, вимог до швидкохідності можливі декілька варіантів встановлення ходового гвинта в опорах:

- одна опора сприймає радіальне та осьове навантаження, а інший кінець гвинта вільний;

- одна опора сприймає радіальне та осьове навантаження, а інша опора тільки радіальне (рис. 4.4, а);

- обидві опори сприймають радіальне та осьове навантаження (рис. 4.4, б).

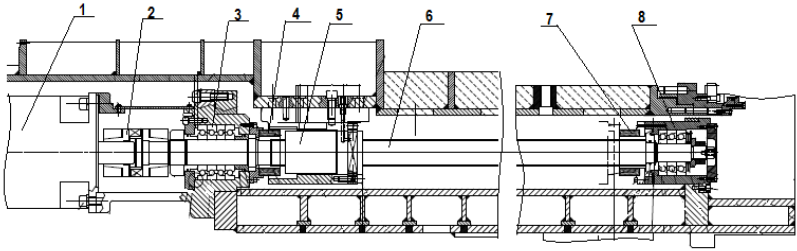


Рисунок 4.3 – Конструкція приводу з кульковою гвинтовою передачею

Схема встановлення гвинта в опорах впливає на подовжню стійкість (вигин) кулькового ходового гвинта та критичну частоту його обертання. Варіант встановлення ходового гвинта з вільним кінцем забезпечує найменшу подовжню стійкість та критичну частоту обертання. Найвищі показники цих параметрів забезпечуються в разі осьової та радіальної фіксації обох опор ходового гвинта. Встановлення ходового гвинта з однією плаваючою опорою має нижчі показники подовжньої сталості та нижчу критичну частоту обертання, але конструктивно простіше. Підшипники 2 опори (рис. 4.4, а) можуть вільно рухатися в осьовому напрямку корпусу опори 3 внаслідок нагріву та температурних деформацій гвинта 1. Усунення зазору та створення попереднього натягу в радіально-упорних підшипниках опори, встановлених за схемою "О" здійснюється гайкою 4.

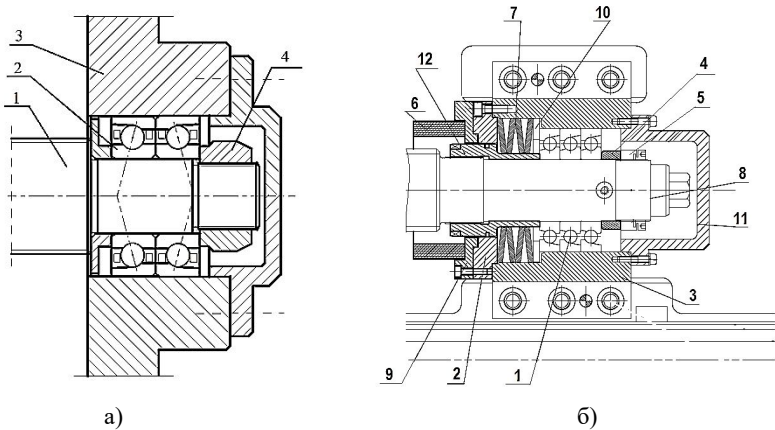


Рисунок 4.4 – Варіанти конструкції правих опор ходового гвинта

В конструкції гвинтових передач з осьовою фіксацією в обох опорах застосовується попереднє навантаження ходового гвинта. Гвинт в процесі монтажу піддається розтягу. Ліва опора 3 (рис. 4.3) жорстко фіксується, а до зовнішнього кільця підшипників правої опори 1 (рис. 4.4, б) прикладається навантаження кришкою 2 через пружини 7 та упорну шайбу 10. В процесі роботи, внаслідок температурних деформацій гвинта, внутрішні кільця підшипників зсуваються разом з цапфою гвинта, розкриваючи підшипники. Пружини ж, діючи на зовнішні кільця, вберігають підшипники від розкриття і забезпечують збереження попереднього натягу в підшипнику на визначеному рівні. Положення гайок 5 і 12 визначає величину попереднього навантаження на гвинт і підшипники.

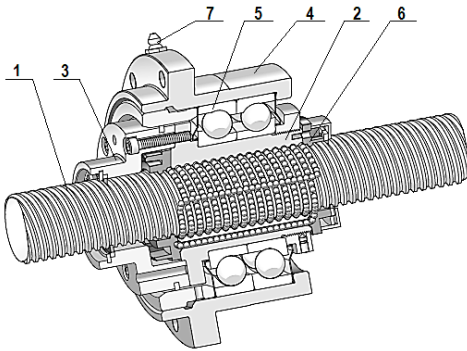


Рисунок 4.5 – Передача з обертовою гайкою

Для зниження інерційних явищ при обертанні довгих гвинтів використовують конструкцію кулькових гвинтових передач з гайками, що обертаються. Довгий гвинт жорстко закріплюється на нерухомій деталі. Кулькова гайка (поз. 2, рис. 4.5) встановлюється на підшипниках 5 в корпусі 4 і обертається від електродвигуна пасовою

передачею через фланець 3, з'єднаний з гайкою. Корпус гайки 4 фланцем кріпиться до рухомого виконавчого органу. Кулькові гвинтові передачі з гайкою, що обертається, випускають як з кроком від 5 до 12 мм, так і з великим кроком, який часто дорівнює діаметру гвинта.

Особливості конструкції кулькових гвинтових передач.

Кулькова гвинтова передача складається з гвинта, гайки, комплекту кульок та каналу повернення, який забезпечує циркуляцію кульок. Канал повернення з'єднує перший та останній або проміжний витки гайки.

Кулькові гвинтові передачі виконуються без попереднього натягу та з попереднім натягом. В металорізальних верстатах зазвичай використовуються передачі з попереднім натягом, що забезпечує

високу точність робочих ходів і встановлювальних переміщень та високу жорсткість приводу. Попередній натяг в кульковій гвинтовій передачі – це попередньо прикладене навантаження між тілами кочення та профілями канавок гвинта та гайки. Можуть застосовуватися різні способи створення попереднього натягу: зміною відносного осевого розташування двох частин гайки за незмінного кутового; однією гайкою зі зміною кроку; однією гайкою з підбором діаметрів кульок.

В разі застосування двох гайок осеві габарити гайки будуть значно більшими, але така конструкція допускає регулювання натягу. Попередній натяг може створюватися введенням компенсатора (дистанційного кільця) визначеного розміру (рис. 4.6, а) або застосуванням пружин (рис. 4.6, б). Застосуванням двох гайок та компенсатора можна створювати попередній натяг значної величини, до 12% від допустимого динамічного навантаження. Така конструкція забезпечує високу жорсткість. Значний попередній натяг може зумовити зниження ресурсу передачі, тому величина попереднього натягу не повинна перевищувати $1/3$ середнього робочого навантаження.

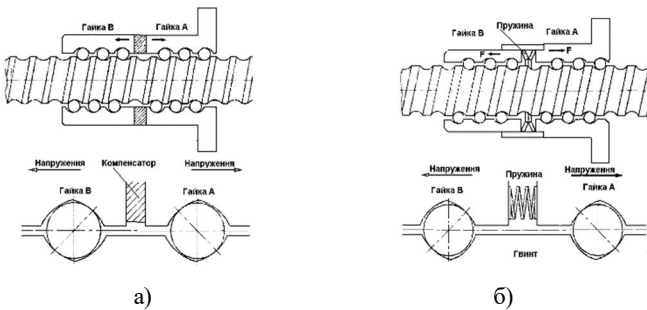


Рисунок 4.6– Створення попереднього натягу в гвинтовій передачі за допомогою двох гайок

В конструкціях з однією гайкою попередній натяг створюється вибором оптимальних розмірів кульок (рис. 4.7, б). Таким способом можна створювати натяг, величина якого складає від 2% до 5% величини допустимого динамічного навантаження. Попередній натяг може також створюватися зміною кроку гайки P між двома каналами циркуляції на величину δ та незмінного кроку на гвинті (рис. 4.7, а).

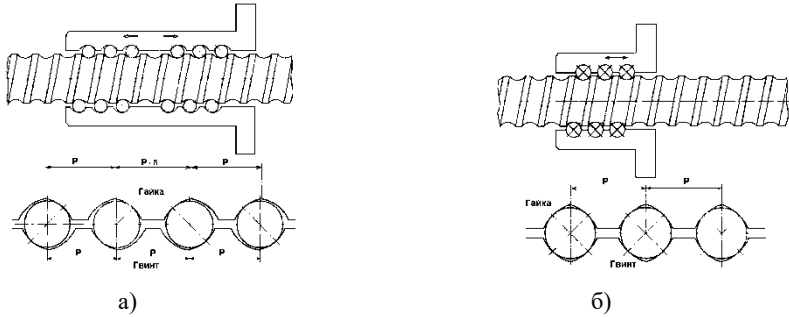


Рисунок 4.7 – Створення попереднього натягу в гвинтовій передачі за допомогою однієї гайки

Швидкохідність передачі гвинт – гайка кочення визначається допустимою частотою обертання ходового гвинта, яка характеризується двома чинниками:

- критичною частотою обертання, яка обмежується резонансом вібрацій ходового гвинта;
- граничним значенням $d \cdot n$, яке спричиняє пошкодження елементів в пристрої циркуляції кульок. Тут d – діаметр ходового гвинта, мм; n – частота обертання гвинта, хв^{-1} .

Критичну частоту визначають з узгодження частоти обертання ходового гвинта та його власної частоти коливань.

Виходячи з цього допустима частота обертання ходового гвинта визначається

$$n_k = \alpha \cdot \frac{60\lambda^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{\rho \cdot A}} = f \frac{d_2}{l_k^2} \cdot 10^7, \text{хв}^{-1} \quad (4.1)$$

де α – фактор безпеки ($\alpha=0,8$);

E – модуль пружності матеріалу гвинта, ($E=2,06 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$);

I – момент інерції поперечного перетину гвинта, мм^4 ($I = \pi d_2^4/64$);

d_2 – діаметр западини профілю гвинта, мм;

g – прискорення вільного падіння, мм/с^2 ;

ρ – густина матеріалу гвинта, кг/мм^3 ;

A – площа поперечного перетину гвинта по діаметру западини профілю, мм^2 ;

l_k – вільна довжина гвинта, або відстань між двома підтримуючими опорами;

f, λ – коефіцієнти, що визначаються з умов встановлення ходового гвинта (табл. 4.1) [11].

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнтів f, λ, m, N в формулах 4.1 і 4.2

Схема встановлення опор		f	λ	m	N
Одна опора	Друга опора				
Осьова і радіальна опора	Осьова і радіальна опора	21,9	4,73	19,9	4
Осьова і радіальна опора	Радіальна опора	15,1	3,927	10,0	2
Осьова і радіальна опора	Вільний кінець	3,4	1,875	1,2	0,25

Допустима частота обертання ходового гвинта також обмежується значенням $d \cdot n$, яке характеризує колову швидкість кульки. Значення $d \cdot n$ залежить від конструкції каналу повернення (циркуляції) кульок. Для катаних ходових гвинтів параметр $d \cdot n \leq 5 \cdot 10^4$ мм·хв⁻¹, для прецизійних шліфованих гвинтів та катаних гвинтів з великим кроком параметр $d \cdot n \leq 7 \cdot 10^4$ мм·хв⁻¹, для кулькових гвинтових передач, в яких кульки встановлюються в сепараторі параметр $d \cdot n \leq (13 - 16) \cdot 10^4$ мм·хв⁻¹.

Як витікає з формули (4.1) та таблиці (4.1) допустима частота обертання ходового гвинта залежить від геометричних параметрів гвинта: діаметра та його довжини, та способу встановлення гвинта в опорах. Незважаючи на значний вплив довжини гвинта на частоту його обертання, в умовах визначених величин переміщень робочого органу, змінювати її в бік зменшення не є можливим. Збільшення діаметра гвинта для підвищення частоти власних коливань тягне за собою зниження частоти обертання гвинта за параметром $d \cdot n$. Тому для одержання високих швидкостей руху виконавчого органу використовують встановлення ходового гвинта на дві фіксовані опори з попереднім розтягом гвинта, збільшують крок передачі та застосовують передачі з сепараторами для тіл кочення.

Граничне осьове навантаження з погляду подовжньої сталості визначається за формулою

$$P = \alpha \cdot \frac{N \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} = m \cdot \frac{d_2^4}{l^2} \cdot 10^4, \text{ Н} \quad (4.2)$$

де $\alpha = 0,5$ коефіцієнт безпеки;

E – модуль пружності;

I – момент інерції поперечного перетину гвинта, мм⁴;

d_2 – діаметр западини профілю ходового гвинта, мм;

l – вільна довжина (довжина гвинта, що піддається навантаженню), мм;

m , N – коефіцієнти, що залежать від способу установалення та закріплення ходового гвинта (табл. 4.1).

В ходових гвинтах з малою вільною довжиною подовжні коливання не виникають, але може бути необхідно перевірити напруження розтягу-стискання від навантаження, що діє в осьовому напрямку, яке визначається за формулою

$$P = \sigma \cdot A = 1,15 \cdot d_2^2 \cdot 10^2, \text{ Н} \quad (4.3)$$

де σ – допустиме напруження матеріалу гвинта ($\sigma = 147 \text{ МПа}$);

A – площа поперечного перетину ходового гвинта (по западині профілю).

Прикладання надмірно великих осьових навантажень зумовлює деформації кульок та пошкодження поверхонь кочення. Ці пошкодження не усуваються повністю до початкової форми після видалення навантаження. Граничні осьові навантаження, що лімітуються такими деформаціями визначаються за формулою

$$P_0 = \frac{C_{0a}}{f_s}, \text{ Н}$$

де C_{0a} – статична вантажопідйомність;

f_s – коефіцієнт статично допустимого навантаження: $f_s = 1-2$ в умовах нормальної роботи, $f_s = 1,5-3$ в умовах роботи з ударами та вібраціями.

Точність обробки на металорізальних верстатах значною мірою залежить від точності позиціонування приводів подач, в яких значну роль відіграють кулькові гвинтові передачі. Точність позиціонування кулькової гвинтової передачі визначається точністю кроку (допустимим відхиленням ходу), осьовим зазором в передачі, осьовою жорсткістю ходового гвинта та тепловими зсувами від нагріву гвинта.

Точність кроку визначається класом точності гвинтової передачі. Європейські виробники кулькових гвинтових передач користуються стандартом на класи точності ISO 3408 та DIN 65051. Стандарт ISO передбачає 5 класів точності КГП: 3 класи для прецизійних передач – IT1, IT3, IT5, та 2 класи для передач транспортної групи – T5 та T7.

Приводи кругових осей.

В багатоцільових верстатах для складнопрофільної обробки керування переміщеннями робочих органів здійснюється за чотирма – п'ятьма осями, одна чи дві з яких є круговими. Крім робочих осей

кругові приводи можуть застосовуватися для руху інструментального магазину, в конструкціях револьверних головок тощо.

Для здійснення кругового руху можуть використовуватися приводи з зубчастими передачами (рис. 4.8), черв'ячні приводи (рис. 4.9) та приводи з моментними електродвигунами (рис. 4.10).



Рисунок 4.8 – Поворотний привід з зубчастою передачею

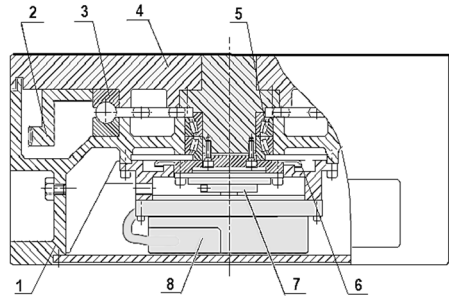


Рисунок 4.9 – Поворотний привід з черв'ячною передачею

Привід з черв'ячним редуктором (рис. 4.9) доцільно застосовувати для здійснення ділильних рухів, в разі виконання руху з невисокими швидкостями і великими моментами навантаження на виконавчому органі. Обортовий рух на планшайбу стола 4 передається черв'ячним колесом 2 від черв'яка (на рисунку не показаний), який з'єднаний безпосередньо з електродвигуном. Контроль положення поворотного стола здійснюється датчиком кутових переміщень 8, закріпленим на осі стола через муфту 7. Вісь стола базується в конічному радіально-упорному підшипнику 5, який сприймає в основному радіальні навантаження. Осьові навантаження сприймає кульковий упорний підшипник 3.

В п'ятикоординатних верстатах Hermle обертання поворотного стола може здійснюватися від двох двигунів і зубчастих передач, встановлених справа і зліва від стола, що забезпечує мінімум скручування стола і високу точність обробки. Використання прямого приводу з моментним електродвигуном забезпечує високі швидкості обортового руху з високими динамічними характеристиками. В такому приводі між двигуном і виконавчим органом відсутні проміжні ланки, що сприяє підвищенню жорсткості приводу. Крім того часто зменшуються розміри конструкції вузла. Такому зменшенню сприяє

застосування в конструкції вузла кругового руху спеціальних підшипникових опор.

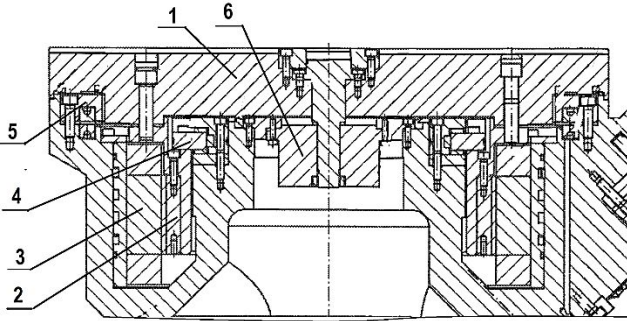


Рисунок 4.10 – Поворотний привід з моментним двигуном

Ротор електродвигуна 2 (рис. 4.10) кріпиться до поворотного стола 1, який опирається на роликовий упорно-радіальний підшипник 4 встановлений в корпусі вузла. Статор електродвигуна 3 з кожухом охолодження закріплюється в корпусі. Контроль положення стола і ротора виконується датчиком кутових переміщень 6.

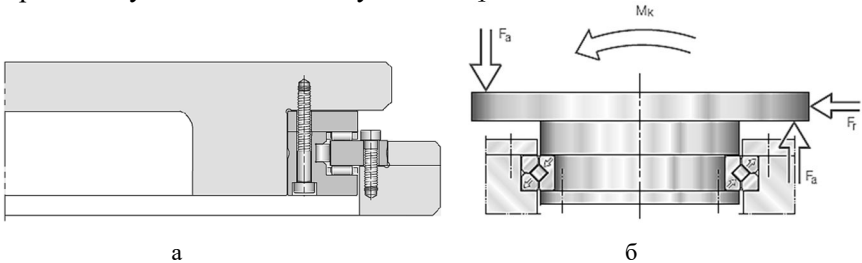


Рисунок 4.11 - Опори поворотних столів

Виконавчі органи обертового руху часто встановлюють на комбіновані роликові підшипники (рис. 4.11, а), або на хрестово-роликові підшипники (рис. 4.11, б). В порівнянні з традиційними опорами поворотних вузлів, як наприклад в приводі наведеному на рис. 4.9, такі опори мають значно менші розміри, що дозволяє отримати більш компактну конструкцію поворотного вузла, вони сприймають осеві та радіальні сили і перекидальні моменти.

Хрестово-роликові підшипники в порівнянні з комбінованими роликовими підшипниками мають значно менші розміри,

швидкохідність таких підшипників майже в 2,5 рази вища, але вони мають значно меншу вантажопідйомність.

ЛЕКЦІЯ 5. ОПОРИ ПРИСТРОЇВ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

Опори ходових гвинтів кулькових гвинтових передач

Конструкція опори, тип та кількість підшипників в опорі визначається величиною та характером навантаження, що діють на ходовий гвинт, швидкістю руху, вимогами до точності та жорсткості передачі, схемою установалення ходового гвинта, обмеженнями до габаритних розмірів опори.

Основними типами підшипників, що застосовуються в опорах ходових гвинтів, є упорно-радіальні кулькові підшипники з кутом контакту 60° (інколи 62°) та комбіновані ролико-голчасті підшипники, що сприймають осьове та радіальне навантаження.

Упорно-радіальні підшипники забезпечують більшу швидкохідність в порівнянні з комбінованими підшипниками, в умовах пластичного мащення швидкохідність таких підшипників у 2-2,5 рази вища. В залежності від діючого на опору навантаження кількість підшипників в опорі може бути від 2 до 4 за різних схем установки (рис. 5.1). Динамічна вантажопідйомність опори з декількома підшипниками, що сприймають навантаження в одному напрямку суттєво зростає. Так для опор наведених на рис. 5.1, б і 5.1, г, коли осьову силу сприймають 2 підшипники, динамічна вантажопідйомність зростає в 1,62 рази, а для опор, в яких осьове навантаження сприймають 3 підшипники (рис. 5.1, в, 5.1, д) – в 2,16 рази. Такі схеми часто застосовуються в конструкціях з попередньо розтягнутим ходовим гвинтом.

Схеми з симетричним розміщення підшипників в опорі (рис. 5.1, а, 5.1, г) застосовують для ходових гвинтів, встановлених за схемою з одним вільним кінцем, або з плаваючою опорою, коли знакозмінне навантаження сприймається лише однією опорою.

Комбіновані роликові підшипники (рис. 5.2) забезпечують значно більшу навантажувальну здатність та осьову і радіальну жорсткість опори ніж кулькові упорно-радіальні підшипники, але мають нижчу швидкохідність. Такі підшипники доцільно

використовувати в приводі подач верстатів з помірними швидкостями руху за осями і високими зусиллями.

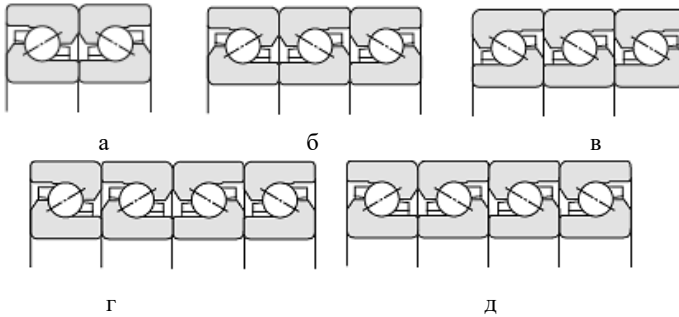


Рисунок 5.1 – Схеми опор ходового гвинта з упорно-радіальними підшипниками

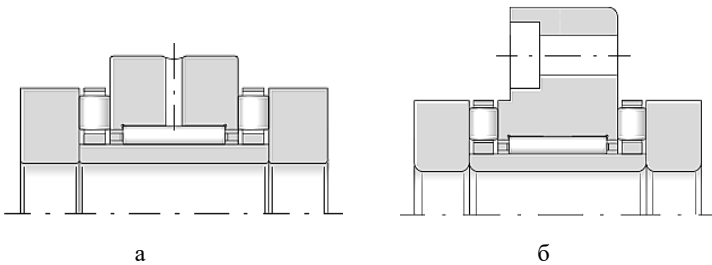


Рисунок 5.2 – Комбіновані роликові підшипники для кулькових ходових гвинтів.

Для спрощення монтажу підшипників в опорі випускаються підшипники з зовнішнім кільцем, виконаним з фланцем (рис. 5.2, б, 5.3, а) та підшипники встановлені в корпус (рис. 5.3, б). Використання таких конструкцій опор підвищує технологічність виготовлення приводу. В опорах наведених на рис. 5.3, б одночасно забезпечується і захист підшипників від забруднення.

Напрямні кочення верстатів

Напрямні кочення знаходять широке застосування у верстатобудуванні для лінійного переміщення виконавчих органів верстатів. Їх використовують у верстатах з ЧПК та багатоцільових верстатах для переміщення супортів, столів, кареток, полозків; у шліфувальних верстатах для переміщення шліфувальних бабок; у

координатно-розточувальних верстатах та у інших верстатах де потрібне поєднання переміщення робочого органу з високою точністю на малих швидкостях в процесі обробки та переміщення з високою швидкістю під час встановлювальних переміщень.

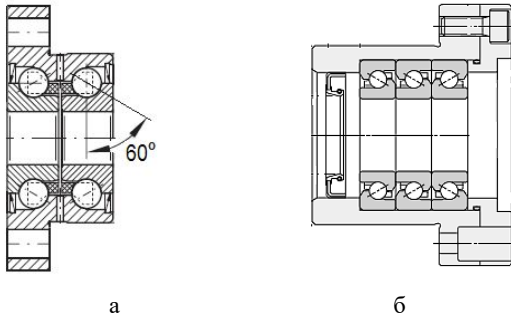


Рисунок 5.3 – Підшипникові опори ходових гвинтів.

Напрявні кочення мають такі переваги:

- практична незалежність коефіцієнту тертя від швидкості переміщення робочого органу (відсутні стрибки);
- висока точність встановлювальних переміщень;
- малий коефіцієнт тертя;
- незначний знос тіл кочення та напрямних елементів;
- мале тепловиділення в приводі та малі габарити приводу для переміщення вузла напрямними;
- висока довговічність за точністю.

До недоліків напрямних кочення в порівнянні з напрямними ковзання відносяться: висока вартість та трудомісткість виготовлення, знижене демпфування вздовж напрямних в умовах відсутності руху напрямними та в умовах руху з малими швидкостями, підвищена чутливість до забруднення.

В металообробних верстатах використовуються різні типи напрямних кочення. В багатоцільових верстатах середніх розмірів найбільш поширені напрямні рейкового типу (рис. 5.4, а). Рейки прямолінійного руху 1 закріплюються на несучому елементі верстата, а каретки 4 встановлюються на рухомому. Такі напрямні прості в монтажу та обслуговуванні. Тіла кочення в каретках таких напрямних циркулюють, тому вони придатні для руху на значну довжину. В

залежності від режиму руху та навантаження в рейкових напрямних застосовують два види кареток: з використанням кульок як елементів кочення (рис. 5.4, б) і з використанні роликів (рис. 5.4, в). Найбільш широко використовують кулькові напрямні, які забезпечують високу швидкохідність та достатню несучу здатність. Роликові напрямні доцільно застосовувати у вузлах, які піддаються дії значних навантажень, особливо перекидних моментів. Динамічна вантажопідйомність роликової каретки в 1,5 – 2 рази, а перекидний момент в 2,5 – 3 рази вищі, ніж кулькової тих самих розмірів.

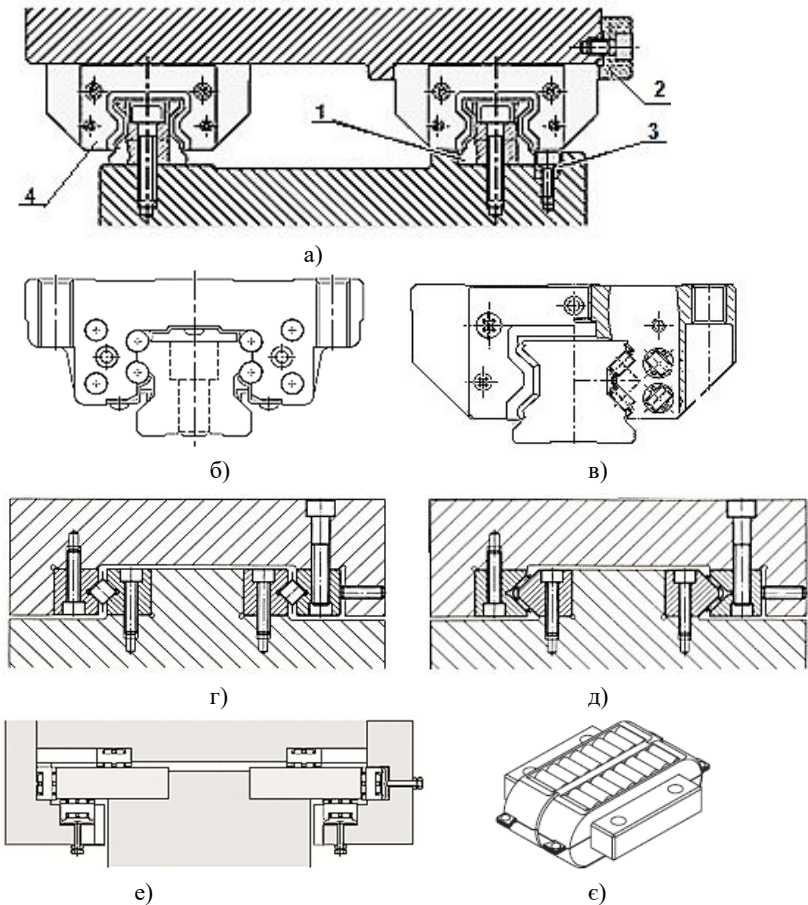


Рисунок 5.4 – Напрямні кочення металообробних верстатів

Хрестово-роликові та V – подібні роликові напрямні (рис. 5.4, г, 5.4, д) мають компактні розміри за висотою, здатні сприймати великі перекидальні моменти, але в разі відсутності циркуляції роликів можуть застосовуватися в вузлах з невеликою відстанню переміщення.

В важких верстатах для переміщення важких та важко навантажених вузлів використовуються роликові напрямні, показані на рис. 5.4, е. Вони оснащуються каретками з циркуляцією роликів (рис. 5.4, є), і можуть сприймати навантаження довільно направлені в просторі, особливо в площині основної напрямної.

Напрявні кочення з попереднім натягом забезпечують відсутність зазорів у сполученні, достатньо високу жорсткість та дещо більші, ніж в напрямних без натягу, демпфуючі властивості. На реальних величинах попереднього натягу втрати на тертя в напрямних досить малі і точність встановлювальних переміщень так само висока, як і в напрямних без натягу.

Знос напрямних кочення відбувається внаслідок втоми елементів сполучення (напрявної та тіл кочення) та внаслідок тертя в елементах.

В процесі кочення лінійної опори під навантаженням, напрямна та тіла кочення (кульки чи ролики) перебувають під постійним циклічним напруженням. Внаслідок втоми матеріалу відбувається втомне руйнування поверхонь – частки поверхонь відшаровуються.

Довговічність напрямної кочення (лінійної опори) визначається загальною відстанню переміщення від часу запуску до часу, коли на поверхні напрямної або елемента кочення з'являться перші пластівці відшарування. Довговічність опори може суттєво відрізнятись навіть тоді, коли вони виготовлені і експлуатуються в однакових умовах.

Ресурс лінійної опори, що рухається під навантаженням визначається через динамічну вантажопідйомність C . Динамічна вантажопідйомність за визначенням ISO, це навантаження стале за напрямком та величиною, за якого номінальний ресурс складає 100 км, для групи однакових опор. Деякі виробники, зокрема компанія ТНК для кулькових опор, використовують, з різних причин, вантажопідйомність з номінальним ресурсом 50 км. Динамічна вантажопідйомність опор кочення для ресурсу 50 км може бути перерахована таким чином

$$C_{50} = 1,23 \cdot C \text{ для роликових опор;}$$

$$C_{50} = 1,26 \cdot C \text{ для кулькових опор.}$$

Прикладене до опори навантаження може суттєво відрізнятись від розрахункового, оскільки не завжди вдається отримати достовірний

розподіл навантаження на конкретну опору, особливо коли робота опор супроводжується вібраціями та ударами. Номінальний ресурс також залежить від твердості напрямної та температури опори.

Виходячи з цього довговічність для напрямних з ресурсом 50 км можна подати у вигляді

$$L = \left(\frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C \cdot C}{f_W \cdot F_C} \right)^3 \cdot 50, \text{ км} \quad (5.1)$$

для роликів напрямних, враховуючи номінальний ресурс 100 км, у вигляді

$$L = \left(\frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C \cdot C}{f_W \cdot F_C} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 100, \text{ км} \quad (5.2)$$

де F_C - розрахункове навантаження, Н;

C - динамічна вантажопідйомність, Н;

f_H - коефіцієнт твердості, що враховує твердість доріжок та тіл кочення опори;

f_T - температурний коефіцієнт, що враховує температуру опори. Якщо температура опори перевищує 100°C, довговічність опори знижується;

f_C - контактний коефіцієнт, що враховує кількість опор, установлених на робочому органі;

f_W - коефіцієнт навантаження, що враховує характер навантаження на опору: швидкість руху, вібрації, удари тощо.

Для забезпечення оптимальної вантажопідйомності та працездатності лінійних опор напрямна та тіла кочення (кульки чи ролики) повинні мати твердість поверхні еквівалентну HRC 58-64 на необхідній глибині. Якщо твердість елементів напрямної знижена то довговічність скорочується і допустимі навантаження знижуються, що повинно враховуватися введенням коефіцієнту f_H .

Коли кілька лінійних опор (карок) використовуються в закритому контакті одночасно, то важко досягти одноманітного розподілу навантаження зумовленого моментом навантаження та точністю монтажу опор. Розсіювання навантаження на опорні блоки впливає на точність обробки та довговічність самих опор і повинно

враховуватися введенням коефіцієнта f_c , значення якого змінюється від 1 для однієї опори до 0,6 для шести опор в закритому контакті.

Робота металорізальних верстатів супроводжується вібраціями та ударами, особливо в процесі високошвидкісної обробки та під час пусків і гальмуванні. Визначити величину та характер вібрацій надзвичайно важко, тому вплив швидкості та вібрацій повинен враховуватися в розрахунках динамічної вантажопідйомності C введенням експериментально визначеного коефіцієнту f_w , значення якого може змінюватися від 1 для слабких вібрацій і низької швидкості руху до 3,5 для сильних вібрацій і високої швидкості.

Попередній натяг в напрямних кочення

Попередній натяг – це навантаження попередньо прикладене до елементів кочення для усунення зазору в системі напрямних кочення з метою підвищення жорсткості. Лінійні опори кочення можуть бути без попереднього натягу та з попереднім натягом. В залежності від величини накладеного навантаження попередній натяг може бути легкий, середній та важкий.

Напрявні без попереднього натягу застосовуються у вузлах з мінімальним впливом зовнішніх факторів для систем з малим тертям. В таких напрямних зазор між кареткою та рейкою (напрямною) складає від 1 до 10 мкм. Якщо використовуються дві напрямних (рейки) та більш як одна каретка на одну напрямну то такий зазор може компенсуватися допусками на паралельність.

Сила попереднього натягу ґрунтується на динамічній вантажопідйомності C відповідної каретки. Компанія Bosch Rexroth AG рекомендує таку систему попереднього натягу для лінійних опор:

- легкий попередній натяг (C1) – 0,02 C ,
- середній попередній натяг (C2) – 0,08 C ,
- важкий попередній натяг (C3) – 0,13 C .

Для запобігання зниженню ресурсу напрямної кочення величина попереднього натягу не повинна перевищувати 1/3 навантаження на опору.

Рекомендації з застосування різних величин попереднього натягу наведені в таблиці 5.1.

Надмірний попередній натяг може бути причиною пошкодження, скорочення терміну служби та інших проблем.

В разі, якщо в каретці застосовується попередній натяг, середній чи важкий, може виникнути потреба враховувати силу попереднього натягу для розрахунку довговічності лінійної опори.

Таблиця 5.1 - Типи й застосування попереднього натягу

Характер попереднього натягу	Легкий	Середній	Важкий
Умови застосування	Навантаження діє в визначеному напрямку, удари та вібрації мінімальні. Висока точність не потрібна, а опір руху повинен бути мінімальним.	Несиметричне прикладення навантаження чи моменту, невисоке навантаження та висока точність позиціонування.	Вимоги високої жорсткості в умовах ударів та вібрацій.
Область застосування	Лазерне зварювання, осі X та Y загального машинобудування, пристрої заміни інструмента, тощо.	Столи шліфувальних верстатів, промислові роботи, свердлильні верстати з ЧПК, вимірювальні машини, тощо.	Багатоцільові верстати, токарні, фрезерні, горизонтальні та вертикальні розточувальні верстати з ЧПК, шліфувальні верстати, тощо.

Коли зовнішнє навантаження досягає величини $2,8 F_{pr}$ – внутрішнього попереднього натягу, один ряд тіл кочення стає вільним від попереднього натягу (рис.5.5).

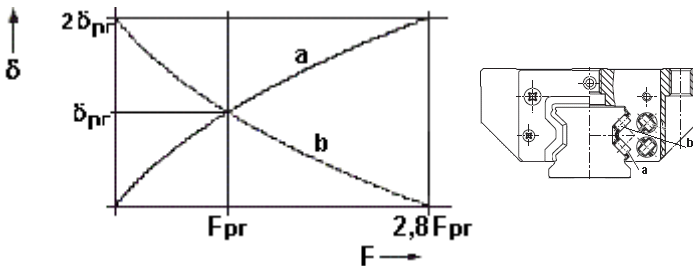
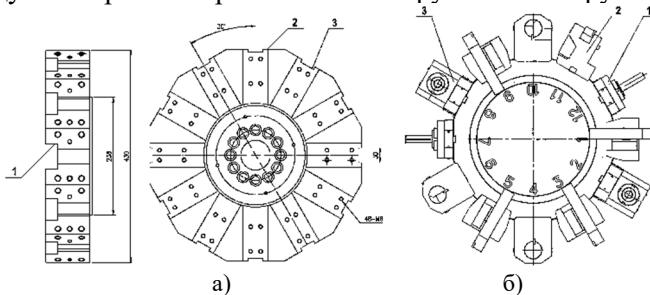


Рисунок 5.5 – Залежність зсуву в лінійній опорі з попереднім натягом від навантажень

ЛЕКЦІЯ 6. РЕВОЛЬВЕРНІ ГОЛОВКИ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

Інструмент в токарних з ЧПК та багатоцільових верстатах середніх розмірів переважно встановлюється в revolverних головках різних видів. В залежності від призначення верстата можуть використовуватися два основні типи revolverних головок: в верстатах призначених для виконання традиційних токарних робіт встановлюють головки, які забезпечують закріплення інструмента та поворот revolverної головки в потрібну позицію; в багатоцільових верстатах з використанням обертового інструменту головки забезпечують додатково привід на обертовий інструмент.

Характер закріплення інструмента в revolverній головці залежить від інструментального диска, що використовується в даній головці. В інструментальному диску (рис. 6.1, а) revolverної головки може встановлюватися токарний інструмент: прохідні, підрізні, канавкові, розточувальні різці; свердла, зенкери тощо. Інструмент може встановлюватися в пази 1 інструментального диска або кріпитися на площині 2 з центруванням по пазу 3 на периферії диска за допомогою різноманітних тримачів (рис. 6.2). В пазах 1 різці закріплюються за допомогою клинових планок, а на периферії – в інструментальних оправках ВМТ гвинтами. Такими інструментальними дисками оснащуються revolverні головки з нерухомим інструментом.



а) – для нерухомого інструмента, б) – для обертового інструмента

Рисунок 6.1 – Диски інструментальні для revolverних головок (форма оправок ВМТ):

В revolverних головках з обертовим інструментом використовуються інструментальні диски (рис. 6.1, б), в яких інструментальне оснащення базується в отворах і по шпонках, розміщених на периферії диска, а закріплюється болтами. В таких

дисках можуть закріплюватися осьові 3 і радіальні 1 інструментальні головки та інструментальні оправки 2 форми ВМТ.

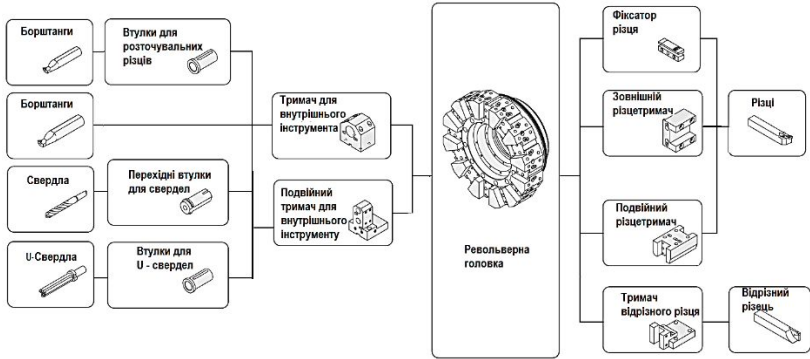


Рисунок 6.2 – Тримачі інструмента і перехідні втулки для револьверних головок

Для закріплення інструментальних головок і оправок форми VDI (стандарт DIN 69880) використовуються інструментальні диски показані на рис. 6.3.

Базування і закріплення оправки 2 в отворах 1, розміщених на торці і (чи) периферії інструментального диска, здійснюється по діаметру хвостовика. Для закріплення хвостовика на його циліндричній поверхні виконана лиска, на якій нанесені канавки. Натискна втулка 3 має на скошеній поверхні аналогічні канавки. Для закріплення оправки натискна втулка затягується гвинтом 4 до повного закріплення оправки.

Вхідні вали інструментальних головок для обертового інструменту, які сполучаються з вихідними валами револьверних головок, можуть виконуватися у вигляді кулачкової муфти, торцевої шпонки, або мати шліци.

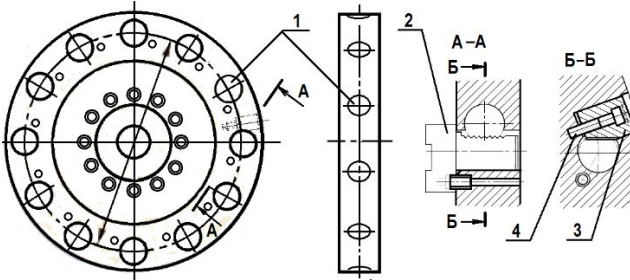


Рисунок 6.3 – Диски інструментальні для револьверних головок (форма оправок VDI)

VDI)

Інструментальні головки для обертового інструмента мають такі самі типи кріплення на інструментальних дисках revolverної головки, що і інструментальні оправки для нерухомого інструменту (VDI рис. 6.4, а, б і ВМТ рис. 6.4, в). Інструментальні головки можуть бути прямі (рис. 6.4, а) і кутові (рис. 6.4, б, в). В конструкціях прямих головок шпиндель 5, для закріплення інструмента, безпосередньо з'єднується з вихідним валом revolverної головки за допомогою різних видів з'єднання 3 (муфти). В кутових інструментальних головках рух з вхідного вала 3 головки передається на шпиндель зубчастою конічною передачею 5 (рис. 6.4, б). В обертових інструментальних головках забезпечується подача охолодження в зону різання, передбаченими для цього каналами 4 (рис. 6.4, а, б).

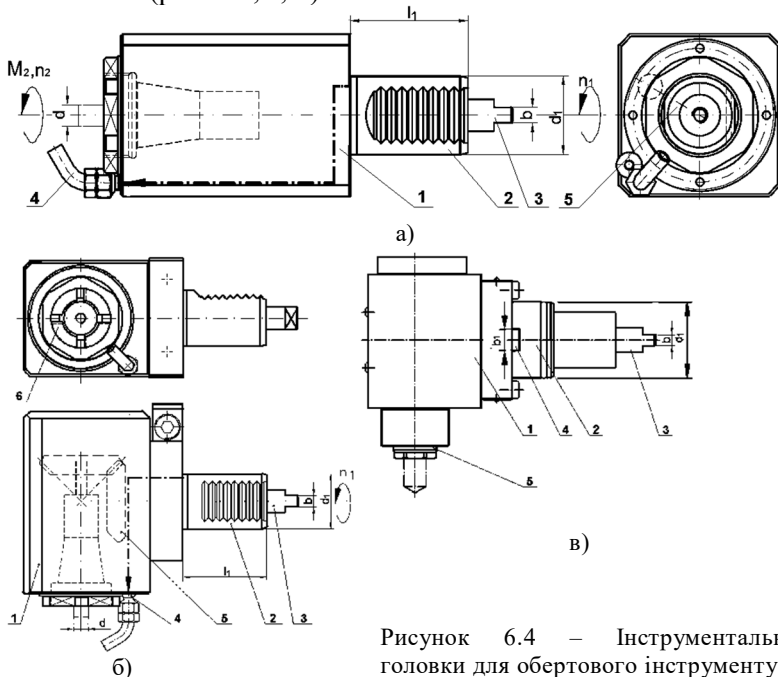


Рисунок 6.4 — Інструментальні головки для обертового інструменту

В revolverних головках можуть застосовуватися обертові інструментальні головки з різними типами з'єднання вхідного валу головки (шпинделя) з вихідним валом revolverної головки. Найбільш поширеними є такі типи з'єднань:

- вхідний вал має кінець у вигляді шипа (торцевої шпонки) (DIN 1809) (рис. 6.5, а);

- вхідний вал має евольвентні зуби (шліци) (DIN 5482, DIN 5480) (рис. 6.5, б);
- вхідний вал має торцеві зуби ("TBM" Baruffaldi) (рис. 6.5, в).

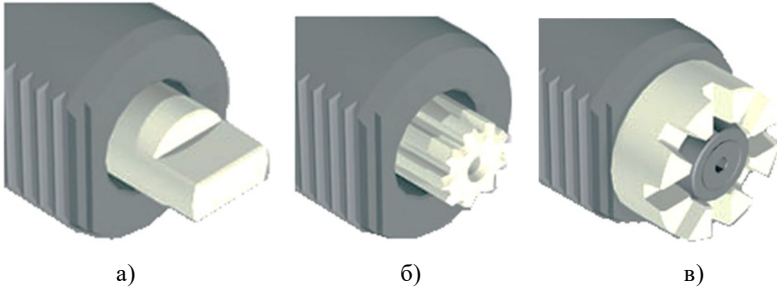


Рисунок 6.5 – Типи з'єднань інструментальних головок

Револьверні головки для нерухомого інструменту конструктивно простіші від головок з приводом для обертового інструменту. На рисунку 6.6, а показана револьверна головка токарного верстата з ЧПК GOODWAY GA-3000. Інструментальний диск закріплюється на вихідному валу (поз. 6) револьверної головки. Для виконання циклу зміни інструмента в праву порожнину гідроциліндра 8 подається під тиском рідина, поршень циліндра переміщує вал 6 разом з закріпленими на ньому деталями вліво і розмикає вінці 12 і 13 зубчастої муфти, закріплені на інструментальному диску 11 і корпусі головки 9 відповідно. Після розмикання муфти вмикається електродвигун 1 приводу повороту і через зубчасті колеса 2 і 3 рух передається на вал-шестірню 4 і далі через зубчасте колесо 5 на вихідний вал головки, виконуючи поворот інструментального диска в запрограмовану позицію. Вихідний вал базується на підшипниках ковзання 7 і 10, що забезпечують як поступальний, так і обертовий рух вала. По завершенню повороту рідина подається в ліву порожнину гідроциліндра, переміщуючи інструментальний диск в початкове положення, зубчасті вінці 12 і 13 входять в зачеплення і фіксують поворотний диск. Рідина подається в гідроциліндр під тиском 3,5 МПа.

В токарних верстатах з ЧПК компанії HAAS використовуються револьверні головки показані на рис. 6.6, б. Базування і закріплення інструментального диска 10 в головці здійснюється як і попередньому випадку зубчастою муфтою з зубчастими вінцями 8 і 9, закріпленими відповідно на корпусі головки і інструментальному диску. Затискання

та розтискання револьверної головки здійснюється пневмоциліндром 12 через кулачок 16. Поворот інструментального диска виконується від серводвигуна 1 через черв'ячну пару 2 і зубчасті колеса 3 і 4. Контроль положення інструментального диска забезпечується датчиком 18.

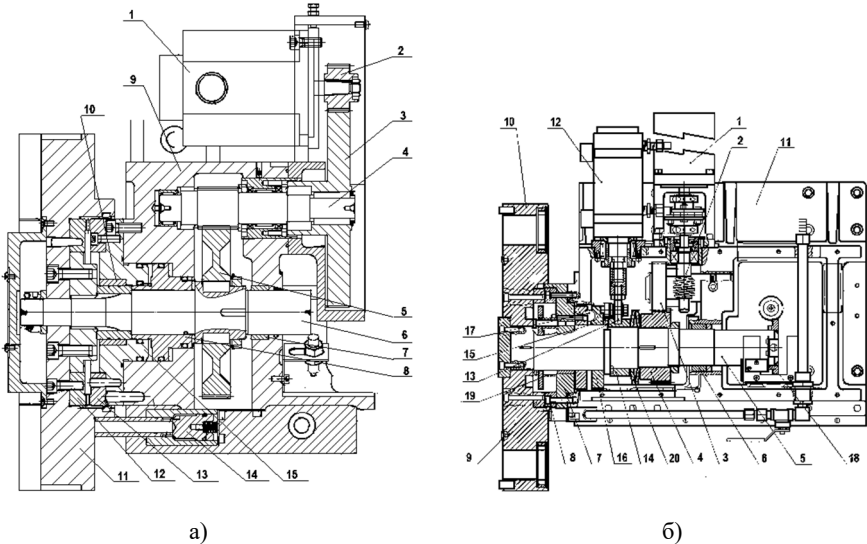


Рисунок 6.6 – Револьверна головка токарного верстата з ЧПК: а - GOODWAY GA-3000, б - HAAS SL-30

В обох розглянутих головках для повороту інструментального диска він повинен виконувати поступальний рух для розкриття муфти.

В револьверних головках для обертового інструмента такий рух недоцільний через наявність механізму обертання інструмента. Револьверна головка Baruffaldi TBMR (рис. 6.7) призначена для застосування інструментальних головок VDI, які встановлюються на інструментальний диск 16. Поворот інструментального диска здійснюється від серводвигуна 4 через зубчасту пару 5, зубчасті колеса 6 і 7 і вал 23, на якому закріплений фланець 14 з зубчастим вінцем на внутрішньому торці. До зовнішнього торця фланця через перехідник 15 прикріплено інструментальний диск 16. В робочому стані зуби півмуфти 12 заходять в западини зубів на торці фланця 14 і півмуфти 13, яка закріплена на корпусі револьверної головки, і забезпечують жорстку фіксацію інструментального диска. Для повороту інструментального диску шток 2 пневмоциліндра пальцем 3 повертає

диск 10 з роликами 11, які котяться по криволінійній поверхні півмуфти 12, під дією пружин 17 півмуфта відходить вправо, звільняючи фланець з інструментальним диском. Після виконання повороту диска в потрібну позицію, шток переміщується в зворотному напрямку і ролики, діючи на профільні кулачки півмуфти 12, замикають муфту, фіксуючи інструментальний диск.

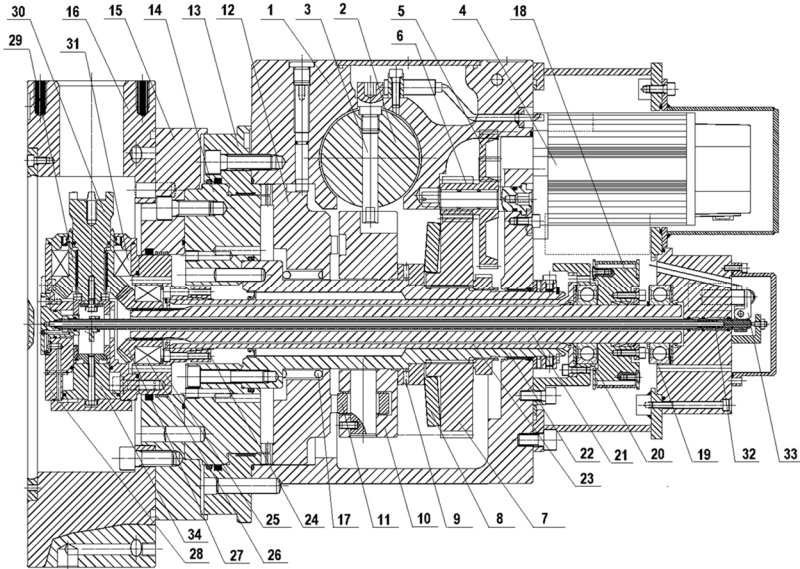


Рисунок 6.7 – Револьверна головка Baruffaldi TBMR для оправок VDI

Зусилля затискання забезпечується дисковою пружиною 8. Для забезпечення зачеплення кулачків вихідного вала 30 головки з кулачками інструментальної оправки, що вводиться в дію, вал 30, під час циклу повороту інструментального диска, відводиться назад гідроциліндром 34 і по завершенні циклу повертається в початкове положення.

Привід обертання вихідного вала револьверної головки здійснюється від серводвигуна (на рис. не показаний) зубчастою пасовою передачею зі шківом 18 на вал 21 і далі конічними зубчастими колесами 27 і 29.

В револьверній головці (рис. 6.8), що встановлюється на токарному верстаті з ЧПК PUMA 2100M, використовуються

інструментальні головки ВМТ. Револьверна головка оснащується, крім приводу обертання головки, також приводом обертання інструмента, який складається з синхронного регульованого електродвигуна (рис. 9, поз.14) потужністю 5,5 кВт (режим S3 – 60%), пасової зубчастої передачі 13, привідного вала 6, конічної зубчастої передачі з колесами 9 і 10 та вихідного валу 11.

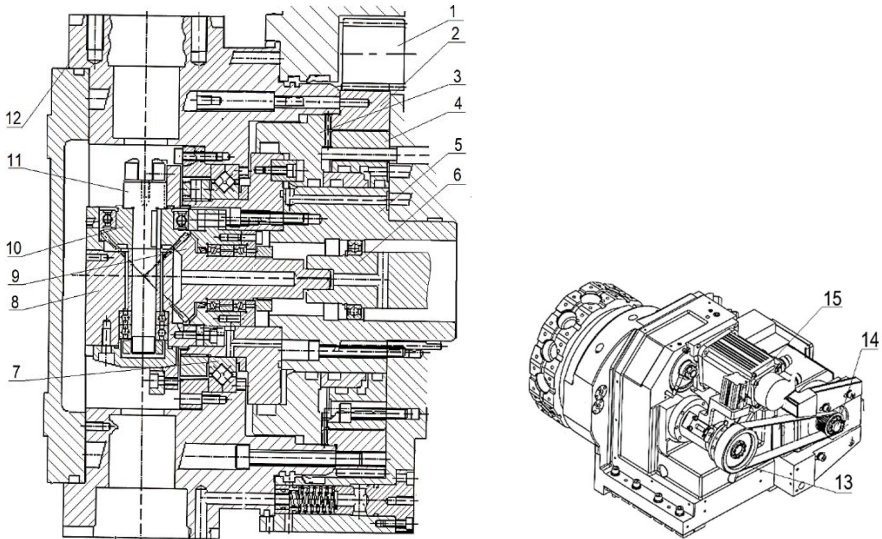


Рисунок 6.8- Револьверна головка токарного верстата PUMA 2100M

Поворот корпусу 12 револьверної головки здійснюється від електродвигуна 15 через зубчасті колеса 1 і 2. Колесо 2 з'єднано з поворотним корпусом, установленим на хрестово-роликовому підшипнику 7. Для виконання повороту масло подається в гідроциліндр, поршень 3 якого переміщується вліво, розмикаючи муфту з торцевим зубом. Муфта включає в себе три зубчастих вінці: один нарізаний на торці поршня 3, другий на торці зубчастого колеса 2, а третій на торці півмуфти 4, закріпленої на корпусі револьверної головки. Після виконання повороту головки в потрібну позицію масло від гідросистеми подається в ліву порожнину гідроциліндра, переміщуючи поршень. Зубці на торці поршня входять в зачеплення з торцевими зубцями колеса 2 і півмуфти 4, фіксуючи поворотний корпус.

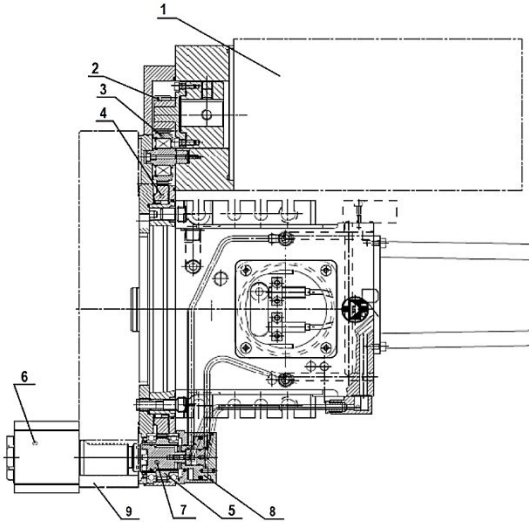


Рисунок 6.9 - Револьверна головка Baruffaldi TBMA

В револьверній головці з осьовим приводом інструменту Baruffaldi TBMA рис. 6.9 застосовуються інструментальні головки VDI. Привід обертання інструмента здійснюється зовнішнім ланцюгом: від електродвигуна 1 зубчастими колесами 2, 3, 4 і 5 рух передається на вихідний вал 6 інструментальної головки. Передача руху з вихідного вала на вхідний вал інструментальної головки відбувається в разі замикання муфти 7 під дією гідроциліндра 8. Під час циклу повороту диска 9 муфта розмикається.

Деякі виробники, зокрема Duplomatic (мод. SM-B), Sauter (мод. 0.5.450.), випускають револьверні головки з одним приводним електродвигуном, спільним для обертання інструментального диска і обертання інструмента. На рис. 6.10 наведена схема такої револьверної головки. Електродвигун 4, в залежності від положення муфти 6, що перемикається гідроциліндром 3, може забезпечувати поворот інструментального диска револьверної головки в потрібну позицію або приводити в рух шпиндель інструментальної головки. Для виконання повороту інструментального диску поршень гідроциліндра 1 відходить вправо, розмикаючи муфту 11 фіксації інструментального диску. Вмиканням муфти 6 вліво забезпечується передавання руху з приводного вала на зубчасте колесо 7, з якого рух передається на колесо

8 і далі зубчатою передачею 9 і 10 обертання передається на інструментальний диск. Після встановлення інструментального диску в потрібну позицію поршень гідроциліндра 1 виконує фіксацію диска.

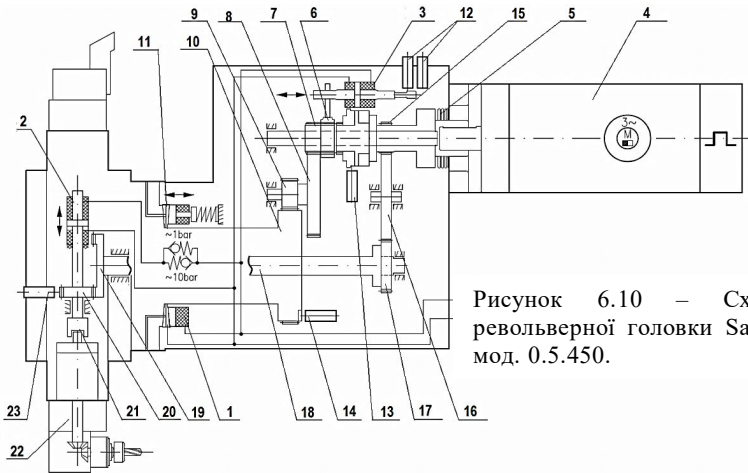


Рисунок 6.10 – Схема револьверної головки Sauter мод. 0.5.450.

Обертання інструментального шпинделя здійснюється в разі замикання муфти 6 вправо. Від привідного валу рух зубчастими колесами 15, 16 і 17 передається на вал револьверної головки 18, з якого зубчатою передачею 19 і 20 передається на вихідний вал головки. На кінці вихідного вала знаходиться муфта 21, яка передає оберти на вхідний вал 22 інструментальної головки. Рух на інструментальну головку забезпечується лише в робочій позиції, тому для забезпечення вільного повороту інструментального диска, муфта 21 відводиться вгору гідроциліндром 2, розмикаючи ланцюг між револьверною головкою і інструментальною головкою. Контроль положення муфти 21 здійснюється датчиком 23.

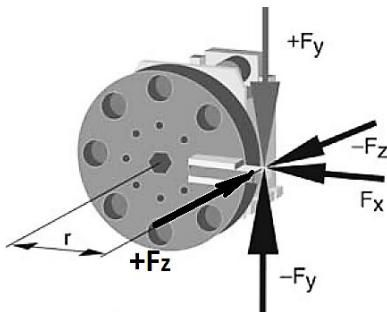


Рисунок 6.11 – Схема дії сил на револьверну головку

Типорозмір револьверної головки вибирається виходячи з величини та напрямку дії навантаження (рис. 6.11), відстані r прикладення діючих сил, характеру виконуваних операцій, потрібної

частоти обертання інструмента, в разі застосування обертового інструменту, та потужності приводу. Для револьверних головок задають величини тангенціальних сил $+F_y$ та $-F_y$, осьових сил $+F_z$ та $-F_z$ та радіальну силу $+F_x$ (система координат для верстатів з ЧПК). Допустимі значення тангенціальних сил в обох напрямках, як правило, однакові, а допустимі значення осьових сил різні. Допустимі навантаження в напрямку $+F_z$ більші ніж в протилежному напрямку, що зумовлено конструктивними особливостями револьверних головок.

ЛЕКЦІЯ 7. ПРИСТРОЇ АВТОМАТИЧНОЇ ЗАМІНИ ІНСТРУМЕНТУ В ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Процес автоматичної заміни інструмента (АЗІ) в верстатах з ЧПК та багатоцільових верстатах покликаний забезпечити підвищення продуктивності обробки деталей, безпечні умови роботи оператора та поліпшену екологію. В процесі автоматичної заміни інструмент може вибиратися послідовно протягом всього циклу обробки, як це здійснюється в традиційних автоматах та напівавтоматах, але з розширенням номенклатури оброблюваних деталей та зростанням кількості інструментів, що використовуються на верстаті, такий спосіб заміни інструменту збільшуватиме час, що витрачається на пошук та заміну, а це призведе до зниження продуктивності обробки. В багатоцільових верстатах застосовуються пристрої АЗІ, що забезпечують вибір інструмента за будь-якого його положення в накопичувачі.

Пристрої АЗІ в багатоцільових верстатах можуть виконуватися з накопичувачами у вигляді револьверних головок різних типів та інструментальних магазинів: дискових, барабанних, ланцюгових та комбінованих.

Револьверні головки забезпечують зберігання порівняно невеликої кількості інструментів, до 12 інколи 16 інструментів, але з використанням головок скорочується час на заміну інструмента. Револьверні головки будують з осьовим, вісь інструмента паралельна осі головки, радіальним, вісь інструмента перпендикулярна осі головки та похилим, вісь інструмента під кутом до револьверної головки, виконанням. В револьверних головках токарних багатоцільових верстатів в гніздах інструментального диска встановлюються інструментальні оправки або інструментальні головки. В інструментальних головках для обертового інструменту шпиндель

інструменту є складовою частиною інструментальної головки. Такі головки розглядаються в розділі в попередній лекції. В револьверних головках багатоцільових верстатів фрезерно-свердлильного типу в гнізда головки монтуються шпинделі інструментів (рис. 7.1). Кількість позицій в таких головках знаходиться в межах від 4 до 8, інколи 12 позицій. Головки можуть встановлюватися на верстаті в довільному положенні: горизонтальному, вертикальному чи похилому. В деяких випадках позиції револьверної головки оснащують багатоінструментальними шпиндельними насадками, що, зокрема, доцільно в умовах багатосерійного чи масового виробництва на багатопозиційних верстатах-автоматах та верстатних лініях. Використання револьверних головок характеризується малими витратами часу на заміну інструмента.

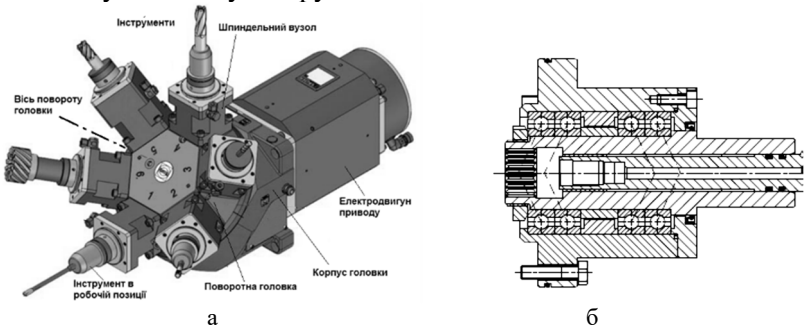
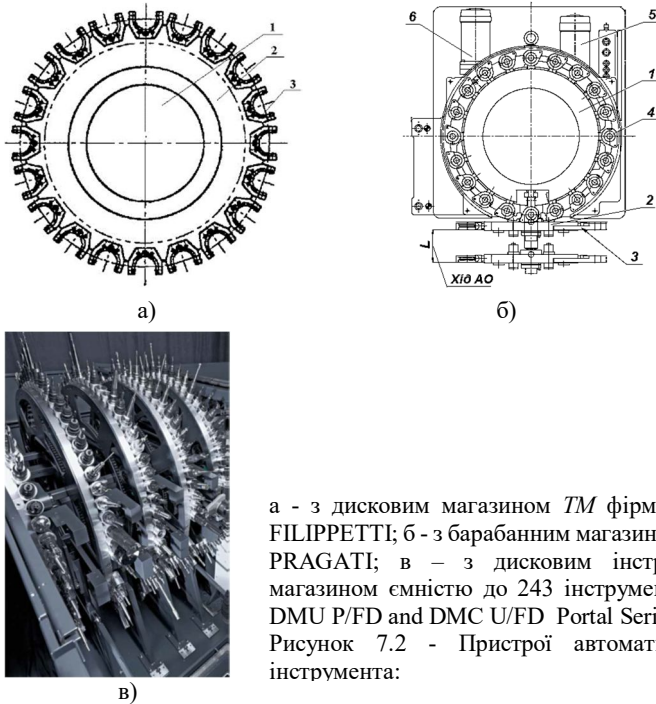


Рисунок 7.1 – Револьверна головка типу корони “Sauter”: а – загальний вигляд; б – шпиндельний вузол

Пристрої АЗІ з інструментальними магазинами забезпечують зберігання великої кількості інструментів. В деяких верстатах ємність інструментального магазину складає 120 і більше інструментів. Розміри інструментального магазину безпосередньо залежать від його ємності і діаметра інструмента, що встановлюється в ньому. Тому часто з метою збільшення ємності інструментального магазину обмежують розміри інструмента. В разі кодування гнізд інструментальних магазинів діаметр окремого інструмента може бути збільшений за умови пропускання сусідніх гнізд магазину. З використанням пристроїв АЗІ з інструментальними магазинами збільшується час на заміну інструмента в порівнянні з револьверними головками і збільшується площа, що потрібна під верстат.



а - з дисковим магазином *TM* фірми COLOMBO FILIPPETTI; б - з барабанним магазином *ATC* фірми PRAGATI; в - з дисковим інструментальним магазином ємністю до 243 інструментів верстатів DMU P/FD and DMC U/FD Portal Series
Рисунок 7.2 - Пристрої автоматичної заміни інструмента:

Пристрої АЗІ можуть виконуватися з автооператором, який здійснює обмін інструментів між шпинделем і магазином, та без автооператора за системою PICK-UP. Пристрої АЗІ з дисковими та барабанними (рис. 7.2) інструментальними магазинами застосовуються в разі використання відносно невеликої кількості інструментів. Інструментальні магазини таких пристроїв будуються з ємністю від 12 до 30 - 40 інструментів, в деяких випадках до 48. Вони можуть бути побудовані як за системою PICK-UP (рис. 7.2, а), та і використанням автооператорів (рис. 7.2, б). Компанія DMG MORI на своїх верстатах DMU P/FD як опцію пропонує дисковий інструментальний магазин (рис. 7.2, в), який містить в собі декілька дисків, ємністю на 243 інструменти.

В разі використання на верстаті великої кількості інструментів застосовуються пристрої АЗІ з ланцюговими інструментальними магазинами, ємність яких складає в верстатах стандартної комплектації до 60 – 80 інструментів, а як опція може бути до 120 іноді до 180 інструментів. Пристрої АЗІ з ланцюговими магазинами, як і пристрої з

дисковими магазинами, будуються як за системою PICK-UP, так і з використанням автооператорів (рис. 7.3).

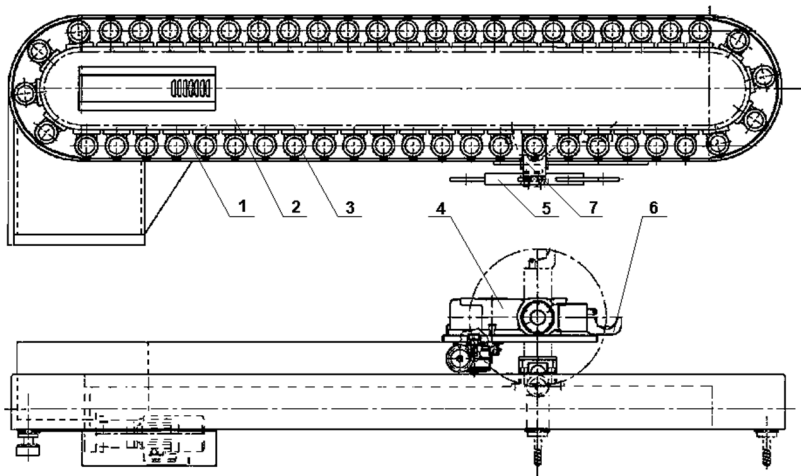


Рисунок 7.3 – Пристрій АЗІ *СТА* компанії COLOMBO FILIPPETTI з ланцюговим інструментальним магазином і автооператором

Форма ланцюгового інструментального магазину може бути різноманітною, виходячи з ємності магазину та зручності його розташування, експлуатації та обслуговування. На рис. 7.4 наведено приклад ланцюгового інструментального магазину подвійного типу верстата HURON KX 100 на 100 інструментів.

Заміна інструментів в пристроях АЗІ з інструментальними магазинами, побудованих за системою PICK-UP, здійснюється за рахунок рухів шпиндельного вузла і інструментального магазину. Процес заміни відбувається за таким алгоритмом:

- шпиндельний вузол з інструментом, що відпрацював, переміщується до позиції заміни інструментального магазину;
- рухом шпинделя вниз інструмент встановлюється в пружні захвати 3 (рис. 7.2, а);
- пристрій закріплення інструменту в шпинделі звільняє інструмент;
- шпиндель рухається вгору, залишаючи інструмент в захватах магазину;
- диск 2 чи ланцюг переміщує в позицію перевантаження новий інструмент;

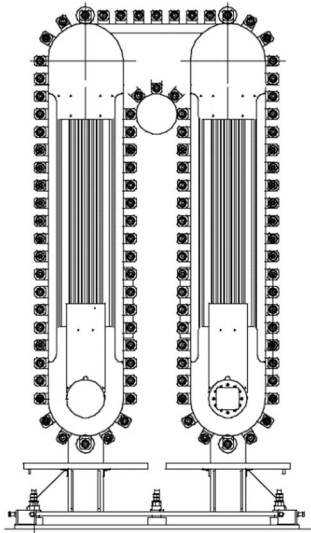


Рисунок 7.4 - Ланцюговий інструментальний магазин верстата HURON KX 100

- шпindelь рухається вниз, захватує і затискає інструмент;
- шпindelь піднімається вверх, виймаючи новий інструмент з пружних захватів магазину.

В пристроях АЗІ з інструментальним магазином та автооператором обмін інструментів між шпинделем верстата та магазином відбувається за допомогою одного чи двох автооператорів.

Рука автооператора 2 пристрою АЗІ (рис. 7.2, б) оснащена двома захватними пристроями 3 для утримання інструменту. Заміна інструмента в такому пристрої АЗІ здійснюється у відповідності до циклограми рис. 7.5.

Час виконання окремих дій:

t_1 — час повороту інструментального магазину між двома

сусідніми позиціями;

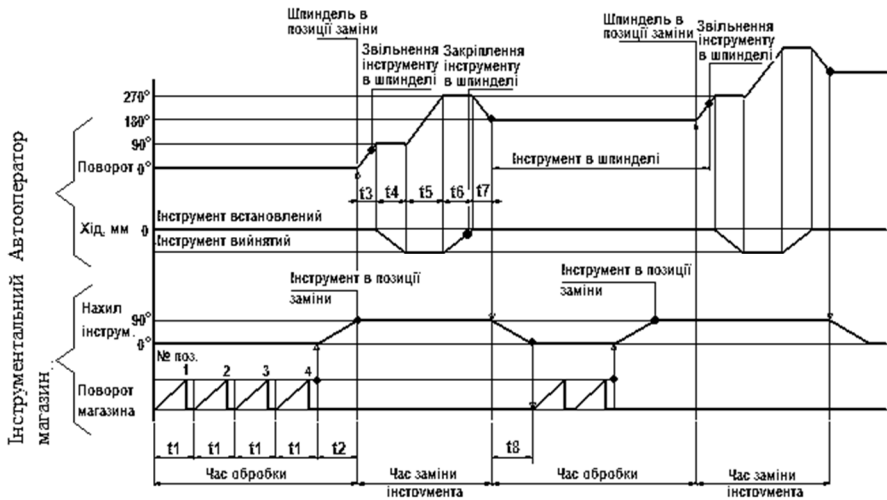


Рисунок 7.5 – Циклограма роботи пристрою АЗІ з інструментальним магазином та автооператором

- t_2 – час нахилу гільзи з обраним інструментом;
- t_3 – поворот руки автооператора і захоплення інструмента;
- t_4 – час виймання інструмента;
- t_5 – поворот руки автооператора для заміни інструмента;
- t_6 – час встановлення інструмента;
- t_7 – поворот руки автооператора в початкове положення;
- t_8 – встановлення інструмента в магазин.

Після встановлення інструмента, що відпрацював, в відповідне гніздо інструментального магазину виконується пошук інструмента, потрібного для виконання наступного переходу. Цей рух інструментального магазину співпадає з процесом обробки деталі на верстаті, тому не впливає на продуктивність обробки.

Автооператор моделі МТС корпорації PASCAL, що застосовується в пристроях АЗІ багатоцільових верстатів наведений на рис. 7.6. Рухи руки автооператора виконуються від одного електродвигуна, який через редуктор обертає вал з двома кулачками. Кулачок 1 через кулькову головку 1 забезпечує повороти руки автооператора, а кулачок 2 через кулькову головку 2 та важіль підйому здійснює поступальне переміщення осі руки автооператора. Використання кулачково-кулькових передач в конструкції автооператора забезпечує більшу швидкість рухів, знижує втрати на тертя, підвищує довговічність механізмів.

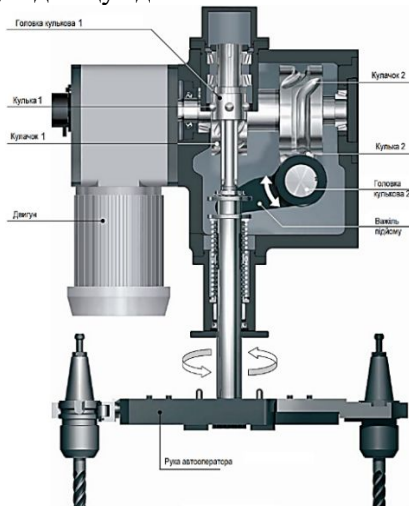


Рисунок 7.6 – Автооператор з кулачковим приводом

ЛЕКЦІЯ 8. ЗАКРІПЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТІВ В ШПИДЕЛІ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ВЕРСТАТА

В фрезерних верстатах з ЧПК та багатоцільових верстатах з обертним рухом інструмента інструмент встановлюється в шпинделі за допомогою інструментальних оправок: найчастіше оправок ISO з конусом 7:24 та, для високошвидкісної обробки, оправок HSK з конусністю 1:10.

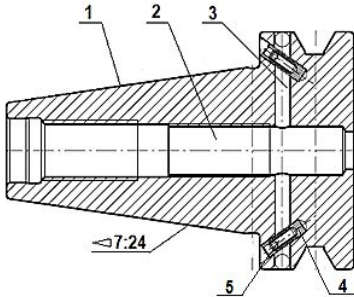


Рисунок 8.1 – Інструментальна оправка ISO.

Оправки ISO можуть випускатися без внутрішньої подачі МОР, форма А. В таких оправках відсутній отвір 2 (рис. 8.1) по центру оправки і використовується хвостовик без отвору (рис 8.2, а). В оправках з внутрішньою подачею МОР можлива подача охолодження через хвостовик і центральний отвір 2, форма AD. Хвостовик такої оправки повинен також мати центральний отвір (рис. 8.2, б).

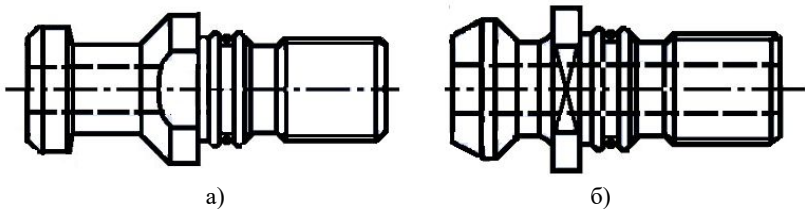


Рисунок 8.2 – Хвостовики для інструментальних оправок DIN 69872-B: а – без отвору для подачі МОР; б – з отвором для подачі МОР,

В інструментальних оправках форми В подача охолодження в зону різання виконується через фланець оправки. Подача може здійснюватися через отвори 3 (рис. 8.1), виконані на периферії фланця або через отвори виконані на торці фланця (рис. 8.3). Використовуються також оправки форми AD+B, в яких подача охолодження в зону різання може здійснюватися як через центральний

отвір, так і через отвори в фланці. В разі подачі рідини через центральний отвір, отвори в фланці закриваються пробками 4 (рис. 8.1), які фіксуються гвинтами 5. Якщо подача охолодження виконується через отвори в фланці, то центральний отвір закривається хвостовиком без отвору.

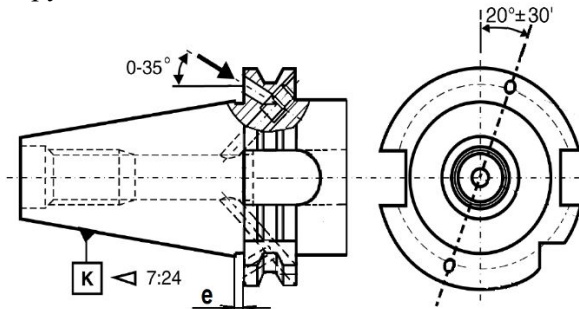


Рисунок 8.3 – Інструментальна оправка форми AD+B.

Інструментальні оправки ISO базуються в шпинделі лише по конусу. Інструментальні системи BIG-PLUS з конусом 7:24 базуються одночасно по конусу і торцю. Це забезпечується затягуванням оправки в отвір шпинделя з певним зусиллям і відповідними пружними деформаціями в контакті оправки і шпинделя. Оправки BIG-PLUS мають розмір e (рис. 8.3) менший ніж оправки традиційного виконання. Так для оправки BIG-PLUS ISO 40 $e = 1$ мм, а для оправки ISO 40 традиційного виконання $e = 3,2$ мм.

Для багатоцільових верстатів, що працюють на високих швидкостях широко використовуються інструментальні оправки HSK з конусом 1:10. До переваг їх застосування відноситься висока точність закріплення інструмента в шпинделі завдяки базуванню оправки по конусу і торцю; висока допустима швидкість обробки; легка заміна інструмента завдяки малій вазі і малій довжині конуса оправки, крім того на високих частотах обертання відцентрові сили, що діють на елементи пристрою закріплення, ведуть до збільшення зусилля затиску.

На автоматизованому обладнанні використовуються оправки чотирьох форм А, В, Е і F. Для металорізальних верстатів з ЧПК використовують оправки форми А і В (рис. 8.4).

В оправках форми А подача охолодження в зону різання здійснюється через центр шпинделя і інструментальної оправки, шпонкові пази 2 (рис. 8.4, а) виконані на торці конуса.

Використовуються такі оправки в багатоцільових верстатах та фрезерних верстатах з ЧПК.

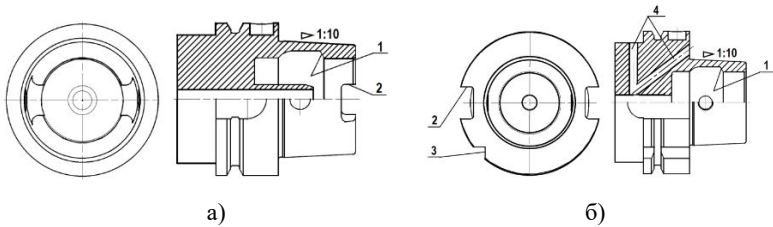


Рисунок 8.4 – Інструментальні оправки HSK: а – тип А; б – тип В

Оправки форми В використовуються в багатоцільових верстатах та важких фрезерних верстатах з ЧПК. Шпонкові пази 2 (рис. 8.4, б) в таких оправках виконані на фланці, а подача охолоджуючої рідини здійснюється або по осі оправки, або через отвори 4 в фланці. Оправка має фланець більших розмірів.

Рекомендовані частоти обертання для оправок HSK-A:

HSK-A 32 до 50000 хв. ⁻¹ ,	HSK-A 40 до 42000 хв. ⁻¹ ,
HSK-A 50 до 30000 хв. ⁻¹ ,	HSK-A 63 до 25000 хв. ⁻¹ ,
HSK-A 80 до 20000 хв. ⁻¹ ,	HSK-A 100 до 16000 хв. ⁻¹ .

Надійність закріплення інструментальної оправки в шпинделі визначається точністю виготовлення поверхонь базування оправки і шпинделя, якістю складання затискного пристрою, зусиллям затяжки оправки в шпиндель. Затяжка оправки в шпиндель забезпечується захоплюючими пристроями (рис. 8.5), які переміщуються під дією зусилля пакету тарілчастих (дискових) пружин.

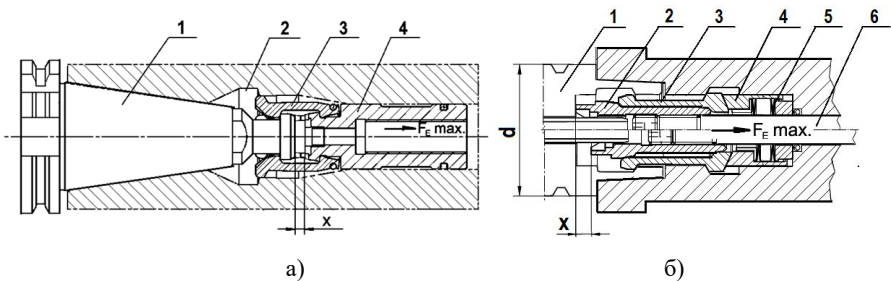


Рисунок 8.5 – Захоплюючі пристрої для інструментальних оправок: а) – пристрої для оправок по ISO 7388; б) – пристрої для оправок HSK

В шпindelних вузлах, в яких використовуються інструментальні оправки ISO (рис. 8.5, а), захоплювачі 3 захоплюючого пристрою 4 захоплюють хвостовик оправки 1 і під дією осьової сили F_E , що створюється пакетом пружин, затягують її в шпindel. Для заміни інструмента захоплюючий пристрій під дією гідроциліндра, який стискає пружини, переміщується вліво, захоплювачі попадають в розточування 2 шпindеля, а втулка захоплюючого пристрою діє на торець хвостовика оправки, виштовхуючи оправку з конуса шпindеля.

В верстатах, що працюють з оправками HSK, інструментальна оправка 1 (рис. 8.5, б), при переміщенні тяги 6 з конусною втулкою 2, захоплюється захоплювачами 3 і затягується в отвір шпindеля. В закріпленому положенні задні кінці пелюсток захоплювача заходять в розточування в шпindelі, додатково фіксуючи оправку. Зусилля F_E до тяги прикладається від пакету пружин. Для звільнення інструментальної оправки тяга 6 під дією гідроциліндра, що стискає пружини, переміщується вліво, звільняючи захоплювач. Під дією пружин 5 натиска втулка 4 переміщується, витискаючи пелюстки захоплювача з розточування шпindеля і звільняючи оправку. Конічна втулка 2, перемістившись на величину X , своїм торцем упирається в оправку, виштовхуючи її зі шпindеля.

Крутний момент від шпindеля до інструментальної оправки передається силами тертя в конусному сполученні та шпонками. Осьова сила затяжки оправки визначається моментом тертя, який належить передати:

$$F_E = \frac{M_T \cdot \beta \cdot (\sin \alpha + f \cos \alpha)}{f \cdot r_c},$$

де M_T - крутний момент, що передається силами тертя в конусі;

$r_c = d_c/2$ зведений радіус сил тертя; можна брати середній радіус конуса, $r_c = (d_1 - d_2)/4$;

β – коефіцієнт запасу зчеплення, $\beta = 1,25 - 1,5$;

f – коефіцієнт тертя, для сухого тертя сталь по сталі може складати 0,1 – 0,15;

α – кут нахилу конуса.

Осьове зусилля створюється пакетом дискових пружин. Розмір пакету дискових пружин, що в захватних пристроях з оправками ISO, що в пристроях HSK, визначається величиною переміщення захватного пристрою X , необхідною для забезпечення виштовхування

інструментальної оправки та затягування її в шпиндель. Зусилля затягування визначається геометричними параметрами пружини. В разі послідовного навантаження пакету пружин (рис. 8.6, а) сила, що розвивається пакетом $F_n = F_{np}$, деформація пакету $s_n = ns_{np}$, де n – кількість пружин в пакеті; F_{np} – сила, що розвивається однією пружиною при деформації s_{np} . В разі потреби одержати більші зусилля затискання зі збереженням незмінних геометричних розмірів пружини, зокрема діаметра D_e , може застосовуватися паралельно-послідовна схема пакету (рис. 8.6, б). В такій схемі величина зусилля, що розвивається пакетом $F_n = K \cdot F_{np} \cdot n_1$, а деформація пакету $s_n = ns_{np}$; тут n_1 – кількість пружин в паралельному пакеті, K – коефіцієнт, що враховує сухе тертя в паралельному пакеті (для пакету з двома паралельними пружинами $K = 1,06$).

Зусилля здеформованої пружини залежить від ступеню її деформації. Чим більший ступінь деформації, тим більша сила пружини. Ступінь деформації пружин повинен забезпечувати зусилля в стані затяжки інструмента, тобто пружини повинні бути попередньо деформовані. Виходячи з цього геометричні розміри пружини вибирають такими, щоб вони забезпечували потрібне зусилля саме за такої деформації. Вибираючи розмір пакету пружин (кількість пружин в пакеті) слід враховувати, що в разі динамічних навантажень пружина може бути здеформована на $0,8 h_0$ ($0,75h_0$ за DIN 2093).

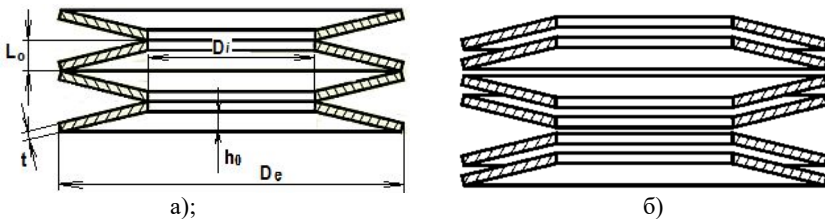


Рисунок 8.6 – Пакет тарілчастих пружин: а) – послідовна схема пакету пружин; б) – паралельна схема пакету пружин

ЛЕКЦІЯ 9. ОБРОБНІ ЦЕНТРИ КОМПАНІЇ HURON

Верстати Huron K2X Five

Верстати Huron K2X Five використовуються для попередньої та викінчувальної п'ятиосьової обробки з різних боків деталей складної форми, таких як прес-форми, складні аерокосмічні компоненти, цілісні

механічні частини. Верстати забезпечують високі динамічні властивості та точність, що дозволяє отримувати високу якість обробленої поверхні.

Верстат (рис. 9.1) побудований за порталним компонованням. На жорсткій чавунній основі 6 закріплена портална станина 7, яка також виконана литвом з чавуну, з жорсткими стінками та значною кількістю ребер. Така конструкція несучої системи забезпечує високу жорсткість та демпфування коливань, що виникають в процесі обробки деталей. На горизонтальних площинах основи напрямними кочення переміщується супорт 10 стола 11 (вісь Y). Напрямними, розміщеними на верхній площині порталу, рухається каретка 8 фрезерної головки (вісь X). Сама фрезерна головка 9 здійснює вертикальне переміщення напрямними каретки (вісь Z). Рух за всіма лінійними осями здійснюється від кулькових гвинтових передач 12 і 13 (гвинт переміщення за віссю Z не показаний) з попереднім натягом та вбудованою системою компенсації лінійних подовжень гвинтів.

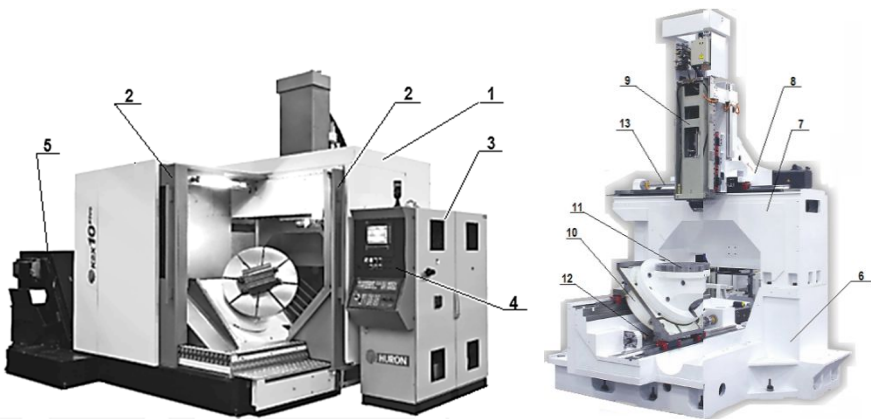


Рисунок 9.1 – П'ятикоординатний багатопільовий верстат серії HURON K2X Five

Контроль положення за усіма лінійними осями здійснюється за допомогою вимірювання абсолютними оптичними датчиками.

Машення гвинтів кулькових гвинтових передач і їх опор виконується автоматичною системою мащення з застосуванням пластичних мастил.

В фрезерній головці вбудований високошвидкісний мотор-шпиндель з охолодженням електродвигуна рідиною від системи

охолодження. Підшипники шпинделя змащуються масло-повітряним мащенням. Затиск інструмента здійснюється за допомогою пружин, розтискання – від гідроциліндра.

Таблиця 9.1 - Технічна характеристика верстата Huron K2X 10 Five

Параметр	Розмірність	Значення параметра
Переміщення за лінійними осями		
X	мм	900
Y	мм	900
Z	мм	500
Швидкість переміщення	м/хв.	50
Прискорення за осями	м/с ²	5
Переміщення за поворотними осями		
A	град.	-45/+180
C	град.	360
Частота обертання за поворотними осями		
A	об/хв.	40
C	об/хв.	90
Кут нахилу осі A	град.	45
Діаметр поворотного стола	мм	630
Максимальне навантаження на стіл	кг	500
Максимальна частота обертання шпинделя	об/хв.	24000
Передній кінець шпинделя		HSK 63-A
Потужність електродвигуна	кВт	20
Номінальна частота обертання електродвигуна	об/хв.	6000
Ємність інструментального магазину	шт.	30
Найбільший діаметр інструмента	мм	90
Найбільша довжина інструмента	мм	300
Найбільша маса інструмента	кг	8

Для захисту шпинделя використовується повітряний заслін.

Рух за обертовими осями здійснює двоосьовий поворотний стіл. Корпус поворотного стола 2 (рис. 9.2, а) обертається разом з планшайбою 1 за віссю A (рис. 9.2, б). Планшайба стола, на якій встановлюється та закріплюється деталь, обертається за віссю C.

Ланцюговий інструментальний магазин розміщений за межами робочої зони з лівого боку верстата. Від попадання забруднення з зони обробки магазин захищений внутрішніми дверима.

Робоча зона верстата і вся конструкція закриті захисною огорожею 1 (рис. 9.1). Доступ до робочої зони для обслуговування верстата та заміни деталей забезпечується дверима 2, що розсуваються. Заготовки можуть встановлюватися збоку, а в разі потреби, і зверху за допомогою вантажопідйомного обладнання.

Двоосьовий поворотний стіл (рис. 9.2)

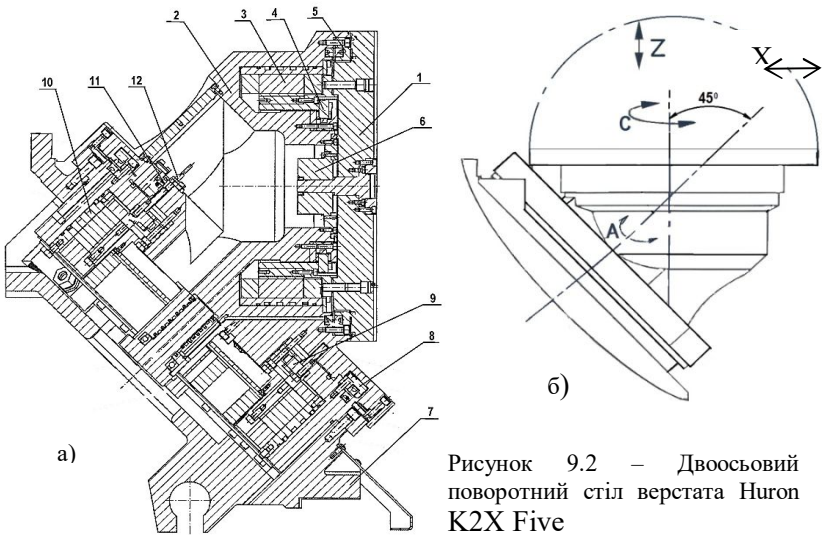


Рисунок 9.2 — Двоосьовий поворотний стіл верстата Huron K2X Five

Стіл призначений для закріплення та забезпечення рухів заготовки, яка кріпиться на верхній площині планшайби, для чого на її поверхні передбачені інструментальні Т-подібні пази. Вісь корпусу поворотного стола нахилена відносно вертикалі на 45° (рис. 9.2, б). Рух планшайби 1 стола за віссю С здійснюється від моментного електродвигуна 3 з водяним охолодженням, статор якого вбудовано в корпус 2 стола, а ротор закріплений на планшайбі. Для контролю за температурою двигуна в його конструкцію вбудований термодатчик. Планшайба базується в корпусі стола на комбінованому роликовому підшипнику 4, який сприймає осьові, радіальні сили та перекидні моменти. Для забезпечення фіксації планшайби в визначеному положенні використовується гідравлічне гальмо 5.

Корпус стола, встановлений в комбінованому роликовому підшипнику 9 через перехідний стакан на супорті 7, обертається за

віссю А. Кут повороту корпусу в напрямку проти годинникової стрілки складає 45° , а за годинниковою стрілкою - 180° . Рух корпусу за віссю А здійснюється моментним електродвигуном, статор якого встановлений в стакані, а ротор закріплений на корпусі поворотного стола. Електродвигун 10, як і електродвигун 3 охолоджується рідиною. Для закріплення корпусу в потрібному положення застосовується гідравлічний гальмівний пристрій 8.

Для контролю за положенням планшайби стола за віссю С використовується датчик 6 кутових переміщень Heidenhain RCN 226 з точністю вимірювання $\pm 5''$, а положення корпусу стола контролюється оптичним безконтактним датчиком Renishaw RGH22 (поз.11) та двома індуктивними сенсорами 12.

П'ятикоординатний обробний центр серії Huron KX Large Series

П'ятикоординатний високошвидкісний багатоцільовий верстат (обробний центр) (рис. 9.3) призначений для високопродуктивної обробки деталей складної форми в інструментальному виробництві (прес-форми, штампи), аерокосмічній галузі, та високоточних деталей машин. Завдяки високій жорсткості, динамічним властивостям конструкції та наявності двох поворотних осей, на них можна виконувати як високопродуктивну попередню обробку, так і чистову фінішну обробку, як позиційну так і контурну.

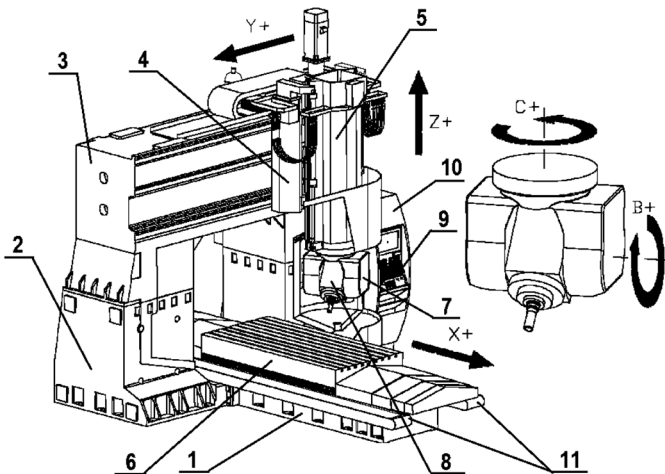


Рисунок 9.3 – Багатоцільовий верстат Huron KX Large Series

Основні технічні параметри верстата наведені в таблиці 9.2.

Таблиця 9.2. - Технічна характеристика верстата Huron KX 100

Параметр	Розмірність	Значення параметра
Переміщення за лінійними осями		
X	мм	2300
Y	мм	2300
Z	мм	1000
Швидкість прискореного переміщення	м/хв.	40
Швидкість робочої подачі	м/хв.	1-30
Прискорення за осями	м/с ²	4
Переміщення за поворотними осями		
B	град.	±95
C	град.	±190
Частота обертання за поворотними осями		
B	об/хв.	30
C	об/хв.	30
Прискорення за поворотними осями		
B	рад/с ²	6
C	рад/с ²	6
Розміри стола: довжина x ширина	мм	2500x1250
Допустиме навантаження	кг	6000
Максимальна частота обертання шпинделя	об/хв.	18000
Передній кінець шпинделя		HSK 63-A
Потужність електродвигуна S1(S6)	кВт	20 (30)
Номінальна частота обертання електродвигуна	об/хв.	1200
Смність інструментального магазину	шт.	40
Найбільший діаметр інструмента	мм	100
Найбільша довжина інструмента	мм	300
Найбільша маса інструмента	кг	8
Точність		
Похибка позиціювання за лінійними осями	мм	0,007
Повторюваність за лінійними осями	мм	0,004
Похибка позиціювання за поворотними осями	секунд	10
Повторюваність за поворотними осями	секунд	5

Несуча система верстата представляє собою порталну конструкцію. Стойки 2 в нижній частині закріплені до нерухомої основи верстата 1, а зверху жорстко з'єднані порталною балкою 3. На

верхні площині основи розміщені напрями подовжнього переміщення стола 6 (вісь X).

Напрямними порталу переміщується каретка 4 (вісь Y), яка несе супорт 5 фрезерної головки 7, що, в свою чергу, рухається напрямними каретки (вісь Z). В поворотній частині фрезерної головки змонтований електрошпиндель. Фрезерна головка 7 здійснює обертотворий рух стосовно вертикальної осі (вісь C), а поворотний корпус 8 зі шпинделем обертається навколо горизонтальної осі (вісь B).

Для ефективного використання верстата чорнову обробку рекомендується виконувати за 3 осями (із затиснутою головкою), а чистову обробку за 5 осями.

Для видалення стружки з зони обробки використовуються два конвеєри 11, розміщені з обох боків стола, що подають стружку до третього поперечного конвеєра (рис. 9.5, поз. 5), який знаходиться з тильного боку верстата.

Пристрій автоматичної заміни інструмента складається з ланцюгового інструментального магазину та двозахватного автооператора для обміну інструментом між магазином та шпинделем верстата. Інструментальний магазин розміщується на окремому фундаменті зліва від верстата за межами його робочої зони.

Оператор може під час виконання циклу обробки завантажувати і вивантажувати інструменти з магазину. Дверцята пристрою зміни інструменту можуть відкриватися без переривання процесу обробки. Якщо запрограмована заміна інструменту, то верстат перед заміною інструменту і продовженням програми переходить в режим очікування до закриття дверцят пристрою. Під час виконання циклу заміни інструменту забороняється відкривати двері пристрою заміни інструменту.

Привід переміщення стола

Основа верстата 1 (рис. 9.5) виконана литвом з сірого чавуну з великою кількістю ребер, що забезпечує високу жорсткість та динамічні властивості. Для рівномірного розподілу навантаження на фундамент та спільної роботи основи з фундаментом, основа встановлена на велику кількість опор 2. Стіл 3 рухається роликотворими напрямними (рис. 9.4, поз. 8 та 10), рейки яких закріплені на основі, а каретки – на нижній площині стола. На столі встановлено 8 кареток, по 4 каретки з кожного боку за довжиною стола. Напрямні рейки

базуються на основі по нижній та бічній площинах, притискаються до бічної опорної поверхні клинами 11, рівномірно розміщеними по всій довжині рейки та закріплюються гвинтами 12.

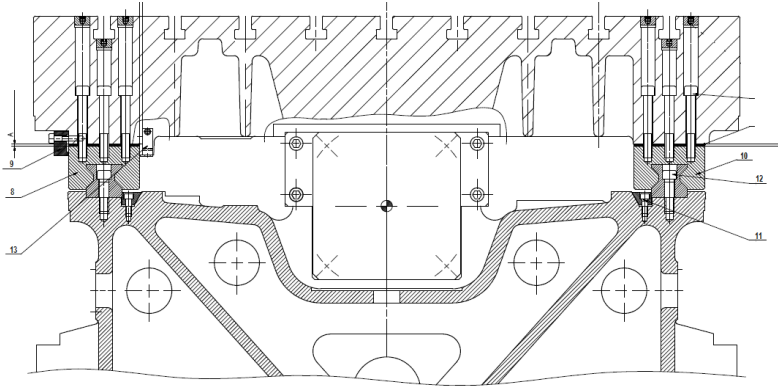


Рисунок 9.4 – Поперечний переріз стола

Переміщення стола здійснюється від кулькової гвинтової передачі 4 (рис. 9.5), гвинт якої з'єднаний через муфти Rotex 14 та 15 з двома синхронними електродвигунами 1FT6 поз. 6 та 7. Застосування муфт Rotex забезпечує беззасорну передачу моменту від двигуна до ходового гвинта. Використання двох синхронних електродвигунів, встановлених на обох кінцях ходового гвинта зменшує скручування гвинта, чим підвищується точність руху стола.

В лівій опорі ходового гвинта 24 встановлені чотири радіально-упорних підшипники SNFA Group (поз. 16) з кутом контакту 62° за схемою TDT (подвійний тандем з парами підшипників, встановлених одна до одної спинками). В опорі застосовано важкий попередній натяг (діаметр отвору підшипника 75 мм). Підшипники на лівій цапфі гвинта закріплюються гайкою 23, яка стопориться від розгвинчування двома радіально розміщеними в гайці гвинтами.

В правій опорі встановлені три упорно-радіальні підшипники TIMKEN (поз. 17) з кутом контакту 60° за схемою триплекс, також з важким попереднім натягом (діаметр 60 мм). Положення і регулювання підшипника на цапфі гвинта визначається гайками 18 і 29.

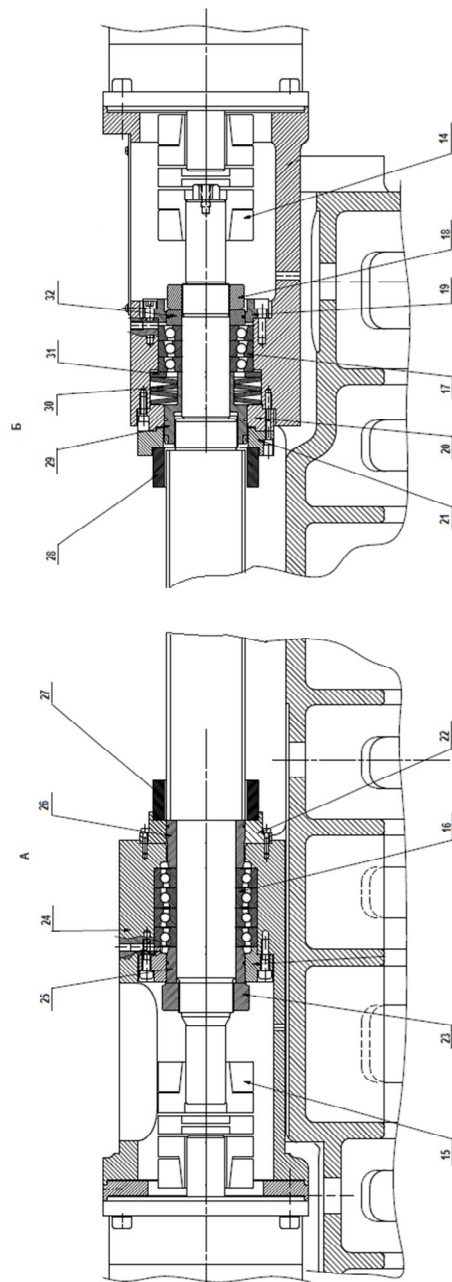
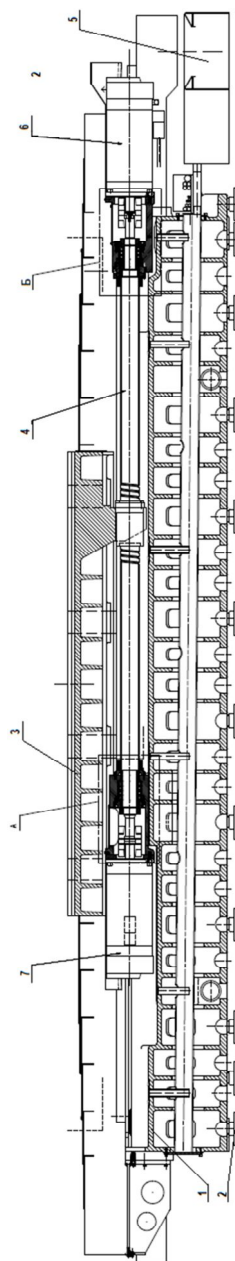


Рисунок 9.5 – Привід переміщення стола за віссю X

Ходовий гвинт попередньо розтягнутий за допомогою тарілчастих пружин 30, встановлених в правій опорі ходового гвинта. Величина прикладеного до пружин зусилля регулюється фланцем попереднього навантаження 20. Натяг ходового гвинта дозволяє компенсувати його температурні деформації, що виникають під час роботи. Величину ходу стола обмежують упори 27 та 28, які встановлені на лівій та правій опорах ходового гвинта.

Напрявні, ходовий гвинт та двигуни осі X, які розміщені під столом, закриті телескопічними захисними елементами, які рухаються спільно зі столом та захищають від забруднення стружкою та рідиною.

Поворотна фрезерна головка

Фрезерна головка (рис. 9.6) призначена для забезпечення обертання інструмента з необхідною швидкістю, що регулюється в широких межах. Крім того фрезерна головка забезпечує поворот інструмента за двома обертовими осями: вісь В та вісь С.

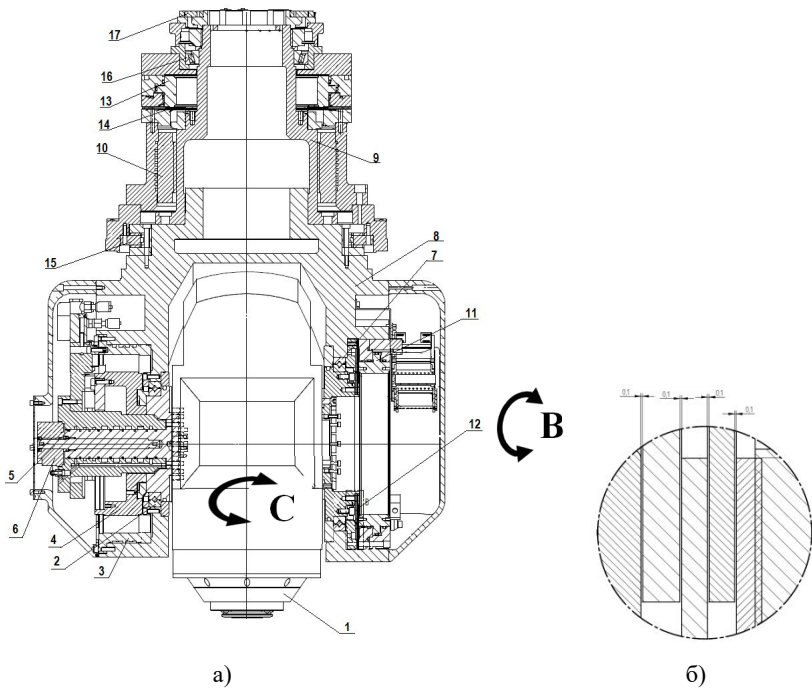


Рисунок 9.6 – Поворотна фрезерна головка

В поворотному корпусі головки встановлений мотор-шпindel 1, який забезпечує регулювання частот обертання інструмента в межах 100-18000 об/хв., від мінімальної частоти до номінальної ($n_n = 1200$ об/хв.) регулювання здійснюється з постійним крутним моментом, а від номінальної і вище – з постійною потужністю.

Для підтримання належного температурного режиму шпindelного вузла застосовується охолодження корпусу мотор-шпindеля рідиною. Температура рідини для охолодження повинна бути, як мінімум, на 5° нижчою за температуру оточення. Якщо температура рідини перевищить 45°C , верстат автоматично вимикається. Для охолодження шпindelного вузла використовується рідина, яка містить 75% води і 25% Clariant Antifrogen L.

Змащення опор шпindеля виконується масло-повітряним мащенням.

Обертання поворотного корпусу за віссю В та вилкоподібного корпусу 8 за віссю С виконується за допомогою моментних електродвигунів. Статор 3 електродвигуна осі В закріплений у вилкоподібному корпусі, а його ротор 4 встановлений на осі поворотного корпусу фрезерної головки. Осі поворотного корпусу установлені в два хрестових роликових підшипники (поз. 2, 7), які сприймають радіальні та осеві навантаження. Контроль положення поворотного корпусу головки виконується датчиком кутових переміщень (енкодером) RSN 226 (поз. 6), який сполучений з поворотним корпусом валом 5.

Вилкоподібний корпус монтується в супорті фрезерної головки на комбінованому роликовому підшипнику YRT 395 (INA-FAG) (поз.15) та конічному роликовому підшипнику (Timkent) (поз. 16). Обертаний рух здійснюється від моментного електродвигуна 10, статор якого закріплений в супорті, а ротор розміщений на валу 9 вилкоподібного корпусу. На верхньому торці вала розташований датчик кута повороту ERA 4480 (поз. 17)

Затискання поворотного корпусу за віссю В та вилкоподібного корпусу за віссю С в разі перевищення крутного моменту в процесі чорнової обробки або в разі аварійної зупинки відбувається за допомогою гідравлічних гальмівних пристроїв. Зусилля затискання створюється гідроциліндрами 11 та 13, які діють на гальмівні елементи 12 та 14 відповідно. Гальмівний пристрій виконаний у вигляді пластин (рис. 9.6, б), закріплених до нерухомого та рухомого елементів

конструкції, зазор між пластинами складає 0,1 мм. При прикладенні до пластин зусилля від гідроциліндра, зазор між ними вибирається і сили тертя, що виникають, забезпечують гальмування поворотного елемента.

За допомогою системи віброконтролю може вестися постійний контроль вібрації під час процесу обробки, а також здійснюватися захист роботи верстата в неналежних експлуатаційних умовах.

Акселерометр, який закріплений на шпинделі, реєструє амплітуду коливань. Ці дані обробляються в вібраційному моніторі, який розташований в електрошафі.

Перший сигнал аварії активується, якщо вібрація верстата досягла критичної межі в 7 мм/с. Другий сигнал аварії активується, якщо досягнута максимальна межа вібрації в 9 мм/с. Одночасно з даними сигналом аварії відбувається вимикання верстата.

ЛЕКЦІЯ 10. П'ЯТИКООРДИНАТНІ ФРЕЗЕРНІ ВЕРСТАТИ

Picomax 825 Versa

Верстат PICOMAX 825 VERSA (рис. 10.1) призначений для забезпечення оптимальної 5-осьової обробки складних деталей, потужної обробки важкооброблюваних матеріалів і для динамічного фрезерування з високою швидкістю.



Рисунок 10.1 - Верстат PICOMAX 825 VERSA

Двокоординатний похило - поворотний стіл вбудований в поздовжньому напрямку (вісь X) таким чином, що дозволяє виконувати операцію нахилу, незалежно від лінійних осей.

Верстат може легко вбудовуватися в гнучкі автоматизовані виробництва та в верстатні модулі, без обмеження доступу до робочої зони.

Таблиця 10.1 - Технічна характеристика верстата

Параметр	Розмірність	Значення
Переміщення		
X	мм	875
Y	мм	700
Z	мм	450
A	градуси	-115° - +115°
C	градуси	0° - 360°
Діапазон подач за осями X, Y, Z	мм/хв.	1-30000
Діапазон подач за ділильною віссю C	град/хв. (хв. ⁻¹)	1-21600 (60)
Діапазон подач за віссю нахилу A	град/хв. (хв. ⁻¹)	1-10800 (30)
Прискорене переміщення за осями X, Y, Z	мм/хв.	1-48000
Точність позиціювання	мм/град.	0,005/0,005
Робоча зона		
Розміри закріплення	мм	400 x 400 або D=560
Відстань від стола до кінця шпинделя	мм	120 - 570
Шпиндель		
Потужність шпинделя в S6(40%ED)/S1	кВт	24/18,5
Номінальна частота обертання	хв. ⁻¹	1920
Макс. момент обертання на номінальній частоті в S6(40%ED)/S1	Нм	119,4/92
Діапазон частот обертання шпинделя	хв. ⁻¹	50 - 14000
Передній кінець шпинделя		HSK-A63
Інструментальний накопичувач		
Число гнізд інструмент		44
Найбільший діаметр інструмента	мм	130
Система керування Heidenhain CNC-control		iTNC 530
Розміри (ширина/глибина/висота)	м	2,3 / 3,3 / 3,2
Вага	кг	10500

Верстат PICOMAX 825 VERSA може застосовуватися для фрезерування складних деталей з титанових і алюмінієвих сплавів, наприклад в аерокосмічній промисловості, для обробки загартованої інструментальної сталі в виробництві прес-форм та інструментів, для обробки нержавіючих сталей в області медичної техніки і складних прецизійних деталей в загальному машинобудуванні та автомобілебудуванні.

Особливості конструкції верстата

На основі верстата змонтована портална станина та горизонтальні напрямні переміщення стола. Горизонтальними напрямними порталу переміщуються полозки фрезерної головки. Справа від станини розміщений ланцюговий інструментальний магазин. Всі рухомі вузли і зона обробки закриті огорожею.

Для охолодження шпиндельного вузла верстат оснащений системою охолодження шпинделя з холодильним агрегатом. В основі верстата розміщується транспортер для видалення стружки та агрегат мастильно-охолоджувальної рідини.

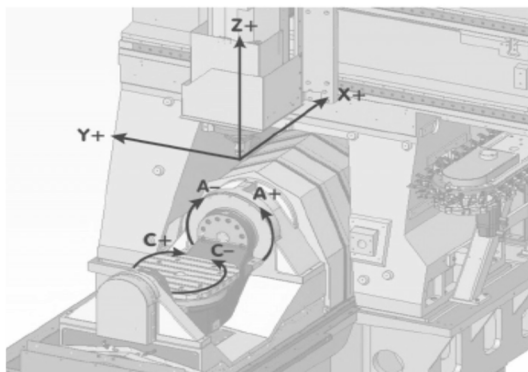


Рисунок 10.2 – Осі координат верстата

Переміщення вузлів верстата (рис. 10.2) відбуваються за 5 осями: вертикальне переміщення фрезерної головки — вісь Z, подовжнє переміщення стола в горизонтальній площині — вісь X та поперечне переміщення полозків фрезерної головки — вісь Y, поворот планшайби стола навколо вертикальної осі Z — вісь C та нахил стола відносно горизонтальної осі X — вісь A. Фрезерна головка розміщена на порталній станині виконаній з сірого чавуну. Верстат встановлюється

на підлозі (фундаменті) на 3 опори. Для забезпечення високої геометричної точності базові поверхні станини оброблені ручним шабруванням.

У стандартній версії верстата, пристрій заміни інструменту з ланцюговим магазином розрахований на розміщення 44 інструментів максимальним діаметром до 130 мм. Автоматична заміна інструментів виконується без автооператора за системою Pick-Up. Для заміни інструмента фрезерна головка переміщується вправо в позицію переважання, інструмент, що відпрацював встановлюється в гніздо інструментального магазину і вибирається новий інструмент.

В фрезерній головці верстата владнаний мотор-шпиндель FEHLMANN HSK-63 на базі синхронного регульованого електродвигуна значної потужності. В отворі шпинделя розміщений механізм закріплення інструмента. Охолодження корпусу шпиндельного вузла здійснюється рідиною, що подається від спеціальної системи охолодження через холодильний агрегат. Рідина циркулює в кожусі, одітому на корпус шпиндельного вузла.

Переміщення стола (вісь X), шпиндельної головки (вісь Z) та каретки шпиндельної головки (вісь Y) здійснюється напрямними кочення. Рух вузлів виконується від синхронних серводвигунів HEIDENHAIN QSY 155 EcoDyn з вбудованими датчиками обертання, що вимірюють положення ротора і швидкість обертання вала. На осі Z встановлений серводвигун з вбудованим гальмом. Номінальна частота обертання вала двигуна 3000 хв^{-1} , максимальна частота - 4200 хв^{-1} . Серводвигуни з'єднані з ходовими гвинтами кулькових гвинтових передач за допомогою безззорних муфт Rotex GS. Гвинти встановлені вільним кінцем в голчастому роликотішпіннику без внутрішнього кільця RNA 4904.2RS, 25/17, а в передній опорі (біля привідного електродвигуна) – в роликових упорних, з радіальним опорним компонентом, підшипниках ZARF 3080-L. Контроль положення виконавчого органу за всіма лінійними осями здійснюється лінійними датчиками (енкодерами) з оптичними лініями HEIDENHAIN LS 483

Для зниження впливу температурних деформацій гвинтів на точність роботи верстата гайки гвинтових передач охолоджуються рідиною від системи охолодження верстата.

Контроль пошкодження різального інструменту та його діаметральних і осьових розмірів з точністю до мікрометра здійснюється лазерною системою BLUM

Автоматична заміна інструменту

Для зберігання та автоматичної заміни інструмента в верстаті використовується ланцюговий інструментальний магазин, встановлений на окремих опорах на основі верстата. Рух ланцюга здійснюється від окремого синхронного електродвигуна через планетарний редуктор та пасову зубчасту передачу. Контроль положення інструментального ланцюга для автоматичної заміни інструмента здійснюється за допомогою кругового датчика (енкодера) вбудованого в конструкцію двигуна, що контролює положення ротора і швидкість вала двигуна.

Завантаження інструментів в накопичувач можна здійснювати вручну або через шпindel. Завантаження через шпindel забезпечує точне установлення інструменту в магазині, але потребує більше часу. Ручне завантаження здійснюється з меншими витратами часу, але

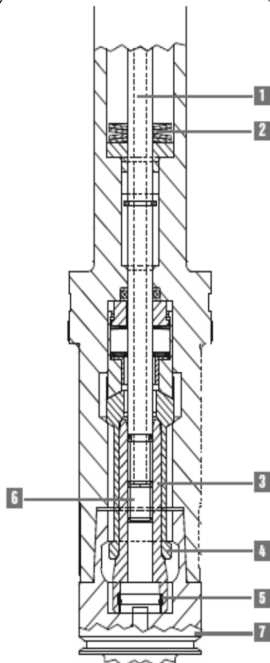


Рисунок 10.3 - Система кріплення інструмента

вимагає більше уваги і навиків для вірного встановлення інструментальної оправки в гнізді магазину. Контроль за вірністю встановлення інструменту здійснюється за допомогою оптичного датчика.

Коли шпindel верстата, ланцюговий накопичувач інструментів і всі вузли знаходяться в позиції заміни інструменту, відбувається електро-пневматично керований цикл заміни інструменту:

- завантажувальна заслінка відкривається;
- фрезерна головка (вісь Y) переміщається до позиції заміни інструменту;
- цангові захоплювачі 4 (рис. 10.3) звільняють інструментальну оправку 7 в шпинделі;
- шпиндельна головка верстата переміщається у верхню кінцеву позицію (вісь Z); інструмент, що відпрацював, залишається в затискній пружині гнізда інструментального магазину;
- двигун приводу інструментального магазину повертає магазин з необхідним для

наступного робочого процесу інструментом в позицію перевантаження

- шпиндельна головка верстата знову переміщується вниз до позиції заміни інструменту; "новий" інструмент при цьому захоплюється в шпинделі;
- цанговий затискач системи кріплення інструменту захоплює інструмент і штанга 1 під дією пружин 2 втягує його повністю в шпиндель;
- фрезерна головка (вісь Y) переміщається назад в робочий простір;
- завантажувальна заслінка знову закривається.

Цикл заміни інструменту завершено і верстат може продовжувати обробку заготовки.

Поворотно-круговий стіл

На верстаті встановлений поворотно-круговий стіл RST (рис. 10.4), що складається з поворотного моста (вісь A), на якому встановлена обертова планшайба (вісь C). Вісь A має діапазон повороту ± 115 градусів, при цьому 0 градусів є горизонтальним положенням. Вісь C може повертатися нескінченно.

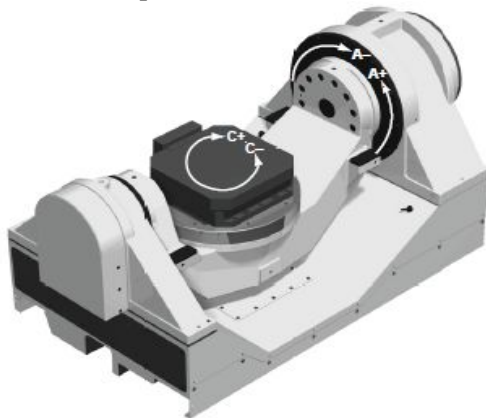


Рисунок 10.4 - Поворотно-круговий стіл

В конструкції стола розміщені елементи приводів, опори та запобіжні і регулюючі елементи. Внутрішні частини поворотно-кругового столу захищені ущільненнями і замикаючою повітряною завісою від охолоджуючої рідини і стружки.

В правій приводній опорі моста (рис. 10.5) встановлений комбінований роликовий підшипник YRT200 поз. 5, а в лівій опорі - радіальний дворядний роликовий підшипник NNU (з циліндричними роликами, конічним отвором та буртами на зовнішньому кільці) поз. 10, чим досягається висока точність і жорсткість.

Обертовий стіл закріплений в комбінованому роликовому підшипнику YRT 200 поз. 12.

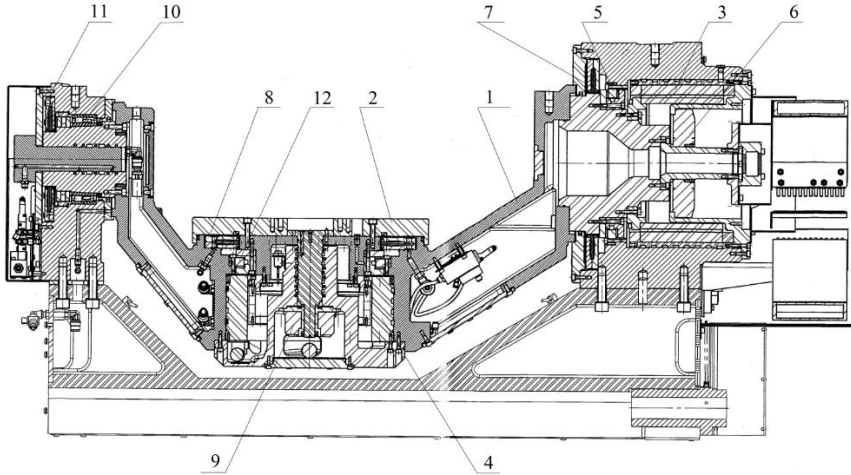


Рисунок 10.5 – Розріз поворотно-кругового стола

В приводах повороту моста за віссю А та обертання планшайби стола за віссю С використовуються безкаркасні моментні електродвигуни ТМВ 290 з водяним охолодженням 3 і 4 відповідно.

Поворот і обертання стола можуть затискатися і розтискатися незалежно один від одного за допомогою М-функцій. Поворотний міст закріплюється двома затискними елементами; в кожній опорі по одному затискному елементу 7 і 11. Затискний елемент 8 обертового стола (вісь С) безпосередньо встановлений під обертовою планшайбою 2. В конструкції стола використовуються затискні системи *RotoClamp*. В затискних системах *RotoClamp* зусилля затискання створюється пружинним акумулятором, а розтискання відбувається пневматично. Вісь А додатково затискається повітряним підпором. Затиск виконується симетрично.

Вісь С може додатково затискається також повітряним підпором.

Для розтискання затискної системи до внутрішньої камери між двома круглими мембранами з пружинної сталі подається стиснене повітря і стінки мембран вигинаються назовні, звільняючи вали. В разі припинення подачі стисненого повітря до внутрішньої камери затискної системи пружні мембрани повертаються до початкового стану, затискаючи вал. Для отримання більшого затискного зусилля стиснене повітря може подаватися до зовнішніх камер затискної системи. Зусилля закріплення в такому випадку зростає майже в 1,7 рази.

Контроль повороту моста за віссю А і обертання планшайби стола (вісь С) здійснюється за допомогою оптичних датчиків кутового положення 6 і 9. На привідному валу моста закріплений датчик переміщень RCN 729 з точністю відліку $\pm 2''$, а на валу планшайби стола - датчик переміщень RCN 226 з точністю відліку $\pm 5''$.

Корпус датчика RCN закріплюється на нерухомому елементі, а наскрізний порожнистий вал монтується на вал, частота обертання якого вимірюється і з торцевого боку датчика закріплюється за допомогою гайки.

П'ятикоординатні фрезерні верстати Hermle C32, C42

Фрезерні верстати Hermle (рис. 10.6) забезпечують високу динаміку процесу обробки деталей масою до 1000 (1400) кг з важкооброблюваних матеріалів з високою точністю. Верстати можуть вбудовуватися в гнучкі верстатні системи.



Рисунок 10.6 – Зовнішній вигляд верстата Hermle C42

Верстат може використовуватися в інструментальному виробництві для виготовлення інструменту, штампів і прес-форм, в

приладобудуванні, авіабудування, медичній промисловості та інших галузях для виготовлення деталей складної форми. Конструктивні особливості верстата забезпечують п'ятиосову обробку деталей з п'яти боків з одного встановлення з високою точністю та мінімальними витратами.

Таблиця 10.2 – Технічна характеристика верстатів Hermle C32/C42

Параметр	Розмірність	Значення	
		C32	C42
Переміщення за осями			
X	мм	650	800
Y	мм	650	800
Z	мм	500	550
A	град.	± 130	
C	град.	360	
Швидкість переміщень за осями			
X	м/хв.	45	
Y	м/хв.	45	
Z	м/хв.	40	
A	об/хв.	25	25
C	об/хв.	30/65*	25/65*
Лінійне прискорення за осями X, Y, Z	м/с ²	6	6
Поворотний стіл			
Діаметр поворотного стола	мм	650	800
Затискна поверхня стола	мм	650×540	800×630
Максимальне навантаження	кг	600	850
Частота обертання шпинделя	об/хв.	10000	10000
Передній кінець шпинделя		HSK A63	
Потужність двигуна шпинделя S1/S6(20%)	кВт	18 / 29	
Інструментальний магазин: ємність	шт.	36	42
максимальний діаметр інструмента	мм	80 (125)**	
максимальний довжина інструмента	мм	300	
час заміни інструмента	с	4,5	
максимальна маса інструмента	кг	8	

* з приводом від моментного двигуна;

** з пропуском сусідніх гнізд.

Верстат побудований за порталним компонованням. Переміщення за усіма лінійними осями (рис. 10.7, а) здійснює

інструмент, а заготовка, установлена на поворотному столі 5, здійснює обертові рухи (вісь С та вісь А). На верхній площині бічних стінок порталу 1 розміщені лінійні напрямні 2 осі Y, якими рухається каретка 3. Напрямами каретки (вісь X) рухається супорт фрезерної головки 4, яка здійснює переміщення за віссю Z. Така конструкція верстата дає можливість виконувати завантаження заготовки на поворотний стіл 5 зверху за допомогою вантажопідіймної техніки. Для встановлення заготовки каретка 3 відводиться назад до позиції заміни інструмента.

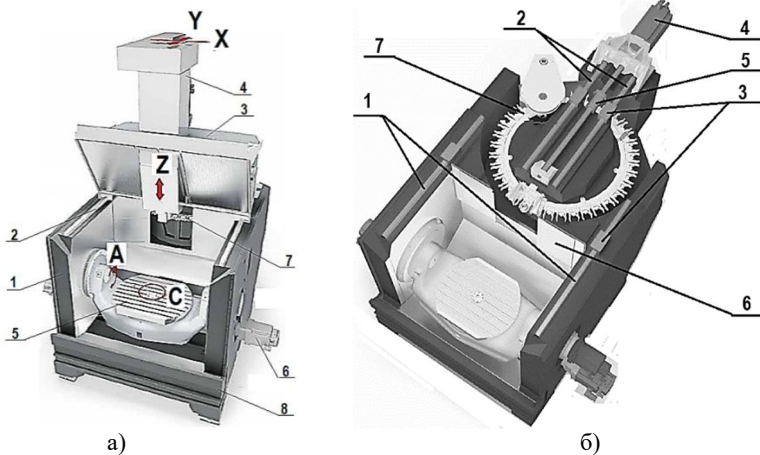


Рисунок 10.7 –Верстат Hermle C42: а - координатні осі верстата; б - розташування інструментального магазину верстата

Поворотний стіл з заготовкою обертається за двома осями. Рух за віссю А може здійснюватися або від приводного двигуна 6 через зубчасту передачу, або за допомогою моментного електродвигуна. Для зменшення скручування стола в процесі обробки передбачена можливість використання в приводі осі А двох електродвигунів, установлених на протилежних кінцях стола.

Каретка верстата встановлена на чотири опори кочення (поз. 3, рис. 10.7, б), по одній на кожну рейку, дві з яких (поз. 1) розміщені на несучих стінках порталу, а інші дві (поз. 2) розміщені в задній частині верстата посередині між несучими стінками. Ходовий гвинт 5 осі Y встановлений між останніми двома рейками симетрично до робочої зони, щоб уникнути виникнення моменту перекосу каретки. Рух від серводвигуна 4 на гвинт передається зубчастою пасовою передачею.

Інструментальний магазин 7 розміщується всередині станини в задній її частині і відокремлюється від робочої зони заслінкою 6. Під час виконання циклу заміни інструмента заслінка відходить, каретка зі шпиндельним вузлом переміщується в зону інструментального магазину, інструмент що відпрацював встановлюється в гніздо магазину і вибирається новий інструмент.

ЛЕКЦІЯ 11. ВЕРСТАТИ КОМПАНІЇ LIECHTI

Верстати Liechti Turboblisk 1005

TURBOBLISK 1005 5-осьовий високодинамічний обробний центр для швидкісної обробки турбінних коліс, роторів та інших складних деталей.

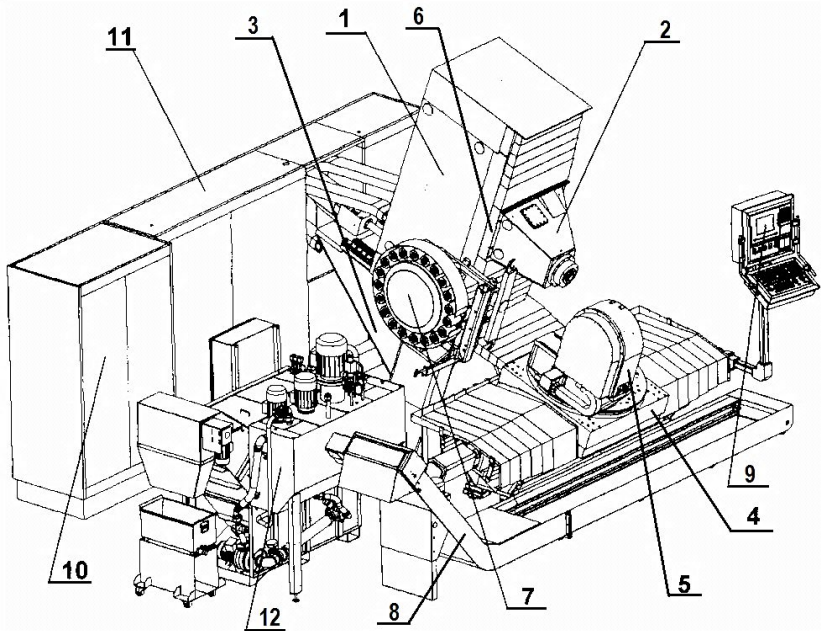


Рисунок 11.1 – Багатокоординатний фрезерний верстат TURBOBLISK 1005

Несуча система верстата (рис. 11.1) виконана зі зварних елементів: станини (на рисунку не позначена), похилої платформи 3 та колони 1. На верхній площині станини розміщені напрямні кочення переміщення каретки стола (вісь X). На платформі, піднятій назад від горизонталі на 20° встановлені напрямні руху колони (вісь Z). Колон

несе на передній площині напрямні переміщення супорта 6 шпиндельної головки 2 (вісь Y). За усіма лінійними осями рух здійснюється напрямними кочення, що забезпечує високі швидкості переміщення, високу точність руху та малі втрати потужності. Ручним налаштуванням (вісь V) може змінюватися ексцентриситет заготовки зі зміною її діаметру.

Таблиця 11.1 – Технічна характеристика верстата.

Параметр	Розмірність	Значення
Переміщення за осями		
X	мм	1200
Y	мм	1000
Z	мм	700
A	град.	360
B	град.	210 (+60...-150)
V	мм (вручну)	300
Швидкість руху за осями		
X	мм/хв.	0...30000
Y	мм/хв.	0...30000
Z	мм/хв.	0...30000
A	град./хв. (хв. ⁻¹)	0...25200 (70)
B	град./хв. (хв. ⁻¹)	0...18000 (50)
Головний шпиндель		
Частота обертання	хв. ⁻¹	0...18000
Номінальна частота електродвигуна	хв. ⁻¹	1500
Потужність електродвигуна	кВт (S1)	20
Тип переднього кінця		HSK-A80
Зусилля затиску інструмента	кН	32
Автоматична заміна інструмента		
Кількість гнізд магазина		20
Максимальний діаметр інструмента	мм	80 (120)*
Максимальна довжина інструмента	мм	250
Максимальна вага інструмента	кг	8
Час заміни інструмента	с	12
Система лінійного контролю		Heidenhain LS 186
Чутливість	мм	0,00001
Система кутового контролю		Heidenhain RSN 723
Чутливість	град.	0,00001

* - 3 пропуском сусідніх гнізд магазина

Обертіві рухи виконуються столами: горизонтальним 4 та вертикальним 5. Горизонтальний стіл, встановлений на каретці, здійснює поворот за віссю В, а вертикальний стіл, що встановлений на планшайбі горизонтального стола, і на якому закріплюється заготовка, обертається за віссю А.

Спереду верстата знаходиться конвеєр 8 для відведення стружки, який транспортує стружку до контейнера, розміщеного зліва від верстата. Охолоджуюча рідина на конвеєрі відводиться до сепаратора, вона фільтрується і подається до резервуара.

Зліва, поряд з похилою платформою, встановлено пристрій автоматичної заміни інструмента, який складається з дискового магазину 7 на 20 гнізд та двозахватного автооператора для автоматичного обміну інструментів між шпинделем та магазином. Від зони обробки пристрій заміни інструмента відділяється захисними дверцятами, які на час заміни інструмента відчиняються, надаючи доступ шпинделю до зони заміни інструмента.

Переміщення за лінійними осями здійснюються від серводвигунів (синхронних двигунів з постійними магнітами) з'єднаних з гвинтами кулькових гвинтових передач. Електродвигуни оснащені вбудованими гальмами, які спрацьовують в разі збою в системі керування приводами. В випадку з осями Y і Z гальма забезпечують утримання вузла на вертикальній чи похилій площини в разі відключення електродвигуна.

Ходовий гвинт переміщення стола за віссю Х встановлений обома кінцями в опори, які змонтовані на станині. Ходові гвинти переміщення колони (вісь Z) та супорта шпинделя (вісь Y) встановлені лише в одну опору з боку двигуна.

Обертання заготовки, закріпленої на поворотному столі (вісь А), здійснюється від вбудованого моментного електродвигуна та контролюється кутовим датчиком. Вісь А розглядається як обертова вісь тому можуть програмуватися кути більші за 360°. Обертаний стіл монтується на поворотному горизонтальному столі, планшайба якого здійснює поворот за віссю В.

Привід планшайби стола за віссю В здійснюється аналогічно приводу осі А. Статор 1 (рис. 11.2) моментного електродвигуна встановлюється в корпусі 3 поворотного стола, а ротор 2 закріплюється на планшайбі 9, встановленій у комбінований роликівий упорно-радіальний підшипник 4.

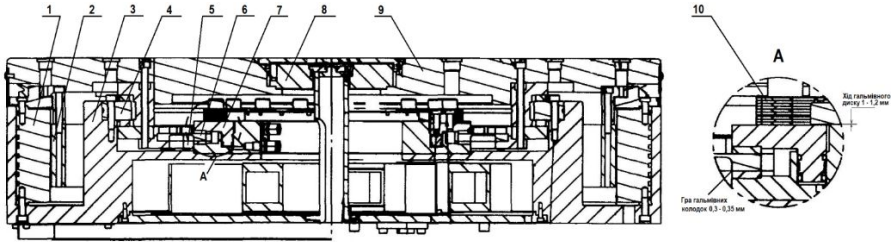


Рисунок 11.2 – Розріз горизонтального поворотного стола

Поворотні столи за обертовими осями оснащені затискними гальмами, які утримують столи в фіксованому положенні в разі відсутності руху. Затискання поворотних столів здійснюється кулачками 6, які дисковими (тарілчастими) пружинами 10 притискаються до гальмівного кільця 5. Для звільнення стола пружини стискаються гідроциліндром 7, що забезпечує зазор між кулачками та затискним диском. Контроль кутового положення стола виконується датчиком RSN 723 поз. 8.

В конструкції верстата використовується інструментальний шпиндель з вбудованим електродвигуном (мотор-шпиндель), що забезпечує високу швидкохідність і динамічні властивості. Підшипники шпиндельних опор змащуються масло-повітряним мащенням. Для підтримання сталої температури опор шпинделя і електродвигуна використовується охолодження корпусу шпиндельного вузла рідиною. Для захисту опор шпинделя від попадання стружки та забруднення в верстаті застосовується повітряний заслін.

Затискання інструменту в шпинделі здійснюється дисковими (тарілчастими) пружинами, а для розтискання використовується зусилля від гідроциліндра.

Пристрій автоматичної заміни інструмента (рис. 11.3) встановлений на окремому стояку зліва від колони верстата. Пристрій АЗІ представляє собою поворотний диск з інструментальним магазином на 20 інструментів та двозахватний автооператор, які розміщені на стояку. Інструментальні оправки встановлюються в пластикових касетах, які можуть повертатися на 90° для обміну інструментів. Касета повертається пневмоциліндром, коли потрібна оправка становиться в позицію обміну. Обертання магазину здійснюється електричним приводом. Для скорочення часу на заміну

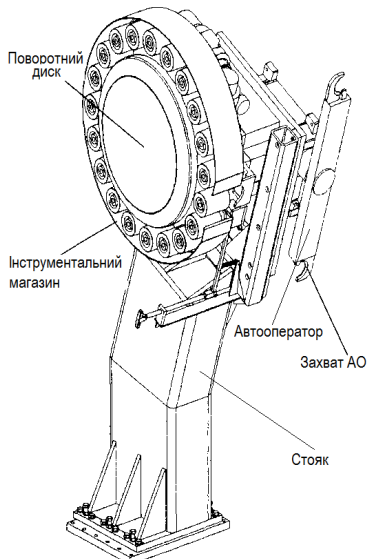


Рисунок 11.3 – Пристрій автоматичної зміни інструмента.

інструмента інструментальний магазин може обертатися як в одному напрямку, так і в іншому.

Фрезерний верстат з ЧПК (багатоцільовий) Liechti Turbomill 1200g

Верстат “Turbomill 1200g” (рис. 11.4) – це 5–координатний лопатко-фрезерний верстат для високоточної обробки з високими швидкостями фрезерування.

Цей фрезерний верстат використовується для чорнової та чистової обробки дуже складних форм в турбінному та екструзійному виробництві.

Заготовка встановлюється в затискних елементах шпинделів заготовки: основного 9 і допоміжного 8, які обертаються синхронно (осі A1 та A11, відповідно). Каретки 10 і 7 вертикального ходу зі шпинделями заготовки розміщені на передній площині станини 6. Вони узгоджено рухаються вертикальними напрямними станини (осі Z1 і Z11). Права допоміжна каретка може переміщуватися в поздовжньому напрямку (вісь U) в залежності від довжини заготовки.

Різальний інструмент (фреза) закріплюється в шпинделі, який разом зі шпиндельною головою 2 може здійснювати поворот за віссю В. Шпиндельна головка з приводом повороту 3 встановлена на колоні 4, що рухається в поперечному напрямку (вісь Y). Поздовжнє переміщення (вісь X) напрямними 5 станини виконують полозки каретки, на якій встановлена колона зі шпиндельним вузлом.

Для автоматичної заміни інструменту верстат оснащений пристроєм автоматичної заміни, що складається з ланцюгового магазину 1 та двозахватного автооператора 11.

Відведення стружки здійснюється конвеєром 14.

Справа позаду верстата розміщені система фільтрації 16 та система охолодження рідини 15, що використовується для охолодження елементів верстата.

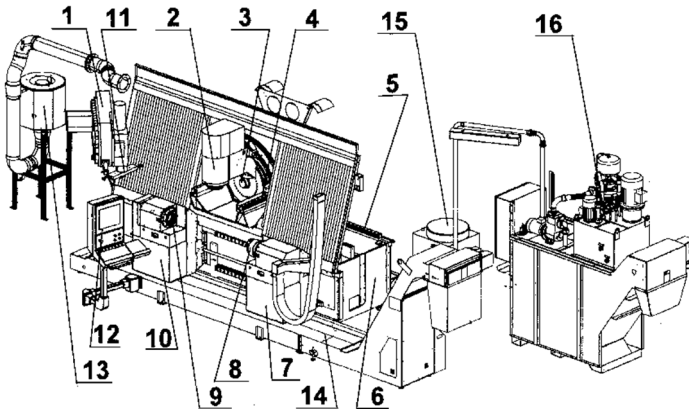


Рисунок 11.4 – Багатоцільовий верстат “Turbomill 1200g”

Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 11.2.

Таблиця 11.2 - Технічна характеристика верстата.

Параметр верстата	Розмірність	Значення
Величини переміщення за осями: X	мм	1800
Y	мм	450
Z	мм	400
A	град.	360
B	град.	±50
Швидкості руху за осями: X, Y, Z	м/хв.	50
A	град./хв. (об/хв.)	0-72000 (0-200)
B	град./хв. (об/хв.)	0-18000 (0-50)
Фрезерний шпиндель: Потужність	кВт	28 (S1 – 100%)
Діапазон частот обертання	об/хв.	0...16000
Передній кінець		HSK-A63
Відстань між торцями шпинделів заготовки	мм	300...1200
Найбільший діаметр встановлюваної заготовки	мм	400
Пристрій автоматичної заміни інструмента		
Ємність інструментального магазину		32
Максимальний діаметр інструмента	мм	75 (150)*
Максимальна довжина інструмента	мм	290
Максимальна вага інструмента	кг	6

* - з пропуском сусідніх гнізд магазину.

Всі елементи несучої системи верстата виконані у вигляді зварних конструкцій зі сталі.

Каретки і колона рухаються напрямними кочення. В приводі каретки, що рухається за віссю Х використовується лінійний електродвигун. Для гальмування та блокування руху застосовуються пневматичні гальма, які вмикаються в разі зупинки вузла або збоїв в системі керування. В приводах решти лінійних осей застосовуються синхронні електродвигуни зі збудженням постійними магнітами, від яких рух передається на гвинт кулькової гвинтової передачі. В проводі осі Y рух передається безпосередньо на вал через муфту Rotex, а в приводі осей Z1 та Z11 через зубчасті паси. Гвинти гвинтових передач змонтовані на одній фіксованій опорі, розташованій з приводного боку. Гальмування та блокування руху за осями Y та Z здійснюється гальмами, вбудованими в електродвигуни. Рух кареток за осями Z1 та Z11 відбувається абсолютно синхронно. Всі вузли, які здійснюють лінійні переміщення, рухаються рейковими напрямними кочення, що забезпечує плавність руху, низький опір тертя та високі швидкості руху.

Обертання заготовки (осі A1 та A11), синхронізуються від моментних синхронних електродвигунів та абсолютних датчиків кутових переміщень. Для чорнової обробки обертання осі A може бути заблоковане за допомогою вбудованого в конструкцію вузла гідравлічного гальма. На головному (лівому) шпинделі заготовки встановлено затискний елемент Unilock.

На допоміжному (правому) шпинделі затискання та розтискання заготовки в спеціальному кулачковому патроні здійснюється гідроциліндром, розмішеним в корпусі шпиндельного вузла обертання заготовки.

Головний (інструментальний) шпиндель верстата служить для закріплення та обертання інструмента (фрези). Шпиндельний вузол представляє собою власне шпиндель з вбудованим електродвигуном. На шпиндель напресований ротор електродвигуна, а статор змонтований в корпусі шпиндельної головки. Шпиндель установлений на гібридні керамічні підшипники, що забезпечує високу швидкохідність і довговічність шпиндельного вузла. В залежності від модифікації шпиндельного вузла, його опори можуть змащуватися або пластичним мастилом, або від системи масляно-повітряного змащення. В разі застосування пластичного змащення, мастило закладається в опору на весь термін служби.

В корпусі шпindelної головки розміщені канали, якими циркулює рідина для охолодження статора електродвигуна та опор шпindelя з метою підтримання їх температури в допустимих межах. Це дозволяє зменшити температурні деформації шпindelя.

Для запобігання проникненню в шпindel забруднення та вологи використовується захисна повітряна система, що створює надлишковий тиск та спеціальні лабіринтні ущільнення.

Інструмент в шпindelі закріплюється за допомогою оправки HSK-A63. Затискна система інструмента включає гідравлічний циліндр та пакет тарілчастих пружин, вбудованих в шпindelний вузол. Затискання інструментальних оправок здійснюється зусиллям, що розвивається пружинами, а розтискання – від зусилля гідроциліндра, що стискає пружини.

Очищення поверхні шпindelного конуса здійснюється системою продувки конуса в процесі заміни інструмента.

Автоматична заміна інструмента.

Пристрій автоматичної заміни інструмента складається з рами, закріпленої на лівому торці станини, двозахватного автооператора 11 та ланцюгового магазину 1 на 32 позиції з приводом і системою контролю. Ланцюговий магазин може обертатися в обох напрямках, що скорочує час пошуку інструмента. Для заміни інструмента один захват гідравлічного автооператора затискає новий інструмент і переміщує його з гнізда магазину. Фрезерний шпindel переміщується до лівого краю верстата, внутрішні захисні двері зони обробки відкриваються. Використаний інструмент в фрезерному шпindelі затискається іншим, вільним, захватом автооператора. Гідравлічна система розтискає інструмент в шпindelі і "старий" інструмент виймається з конусного отвору шпindelя. Після цього рука автооператора повертається на 180° і новий інструмент переноситься до торця шпindelя, встановлюється в конус та затискається зусиллям від комплекту тарілчастих пружин. Гідравлічний захват звільняє інструмент і рука автооператора повертається назад. На завершення внутрішні захисні двері закриваються, а "старий" інструмент повертається назад, в гніздо ланцюгового магазину. Контроль положення інструментального магазину здійснюється датчиком, вбудованим в конструкцію електродвигуна.

Вимірювальна система

Осі Y, Z1 та Z11 багатоцільового верстата оснащені кожна двома різними і незалежними одна від іншої вимірювальними системами.

Перша вимірювальна система представляє собою інкрементні датчики, вбудовані безпосередньо в електродвигуни. Датчики мають 2048 приростів (імпульсів) на оберт. Ця система призначена для контролю швидкості електродвигуна, а також використовується як датчик відносного положення ротора і статора.

Друга вимірювальна система для лінійних осей виконана у вигляді лінійних оптичних вимірювальних систем з роздільною здатністю 20 мкм. Ця система використовується для контролю дійсного значення положення за віссю. Така сама система використовується для контролю положення за віссю X.



Рисунок 11.5 – Вимірювальна система “Renishaw OMP 60”

Обертові осі верстата обладнані абсолютними датчиками (енкодерами) з роздільною здатністю 16384 імпульсів за оберт. Ця вимірювальна система використовується для контролю швидкості обертання та дійсного положення осі, а також використовується як датчик відносного положення ротора і статора.

Всі осі багатоцільового верстата, включно з допоміжними осями пристрою автоматичної заміни інструмента, оснащені вимірювальними системами з інтегрованими EnDat інтерфейсами. Тому осі не втрачають референтні точки навіть коли відключається вся система контролю верстата.

Для контролю розмірів інструмента (діаметра та довжини) на верстаті встановлена лазерна система. Система може контролювати також можливі похибки затискання інструмента та величину його биття на номінальній частоті. Вбудована електроніка реагує на кожне переривання лазерного

променю різальною кромкою інструменту, що обертається. Після розпізнавання найдовшої різальної кромки, ця електронна система генерує всі необхідні вихідні сигнали до основної системи керування.

Для вимірювання та контролю заготовки на верстаті використовується вимірювальна система “Renishaw OMP 60” (рис. 11.5). Вимірювальний щуп контактує з поверхнею заготовки і реагує на контакт, коли поверхня підходить. Оптичний (інфрачервоний) передавально-приймальний вузол, який фіксується за допомогою магнітного тримача поблизу фрезерного шпинделя, визначає стан контакту вимірювального щупа і передає сигнали до CN-контролю. Цей CN-контроль реєструє всі зворотні сигнали і обчислює координати для відповідної точки на поверхні деталей.

Шпиндельна бабка обертання заготовки (ліва) (рис. 11.6)

Шпиндельна бабка призначена для закріплення та обертання заготовки в процесі її обробки.

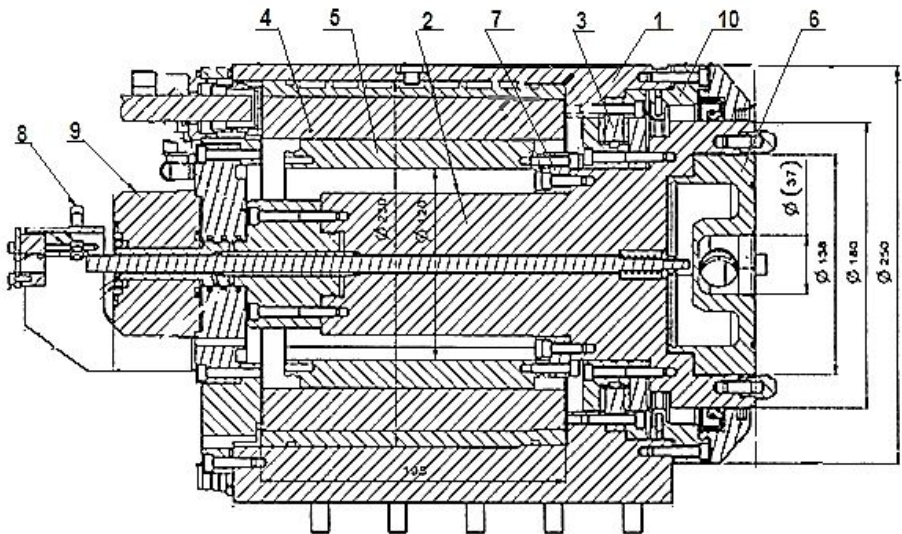


Рисунок 11.6 – Шпиндельна бабка виробу (вісь А1 головна)

Шпиндель 2 обертання заготовки встановлений в корпусі шпиндельної бабки 1 на одному комбінованому роликовому підшипнику 3, який сприймає радіальне, осьове зусилля в обох

напрямках та перекидний момент. Внутрішнє кільце підшипника насаджене на шийку шпинделя та закріплене болтами до фланця шпинделя. Зовнішнє кільце центрується по отвору в корпусі шпиндельної бабки та базується і закріплюється болтами на його торці. Рух (обертання) на шпиндель передається від ротора 5 моментного електродвигуна, закріпленого через перехідне кільце до бурта шпинделя. Статор 4 електродвигуна монтується в корпусі шпиндельної бабки. Для відведення тепла від електродвигуна, каналами корпусу статора прокачується рідина для охолодження.

В отворі переднього кінця шпинделя встановлений затискний патрон Unilock ESM 138 поз. 6, про затискання та розтискання якого сигналізує кінцевий вимикач 8.

На задньому кінці шпинделя через вал датчика закріплений датчик 9 кутових переміщень (енкодер) RCN 226, який визначає кутове положення шпинделя за віссю А. Точність вимірювання кутового положення 2,5".

В процесі чорнової обробки на верстаті шпиндель з заготовкою може бути заблокований (зафіксований) за допомогою гідравлічного гальма 10 (рис. 11.6), закріпленого за допомогою болтів на корпусі шпиндельної бабки. Масло під тиском подається в порожнину 13 (рис. 11.7) гідравлічного гальма, пружний елемент гальма деформується, вибираючи зазори між гальмом 10, шайбою 11, що закріплена на шпинделі, та упорним кільцем гальма 12. В вільному стані (не загальмованому) між цими деталями забезпечуються зазори 0,03-0,04 мм.

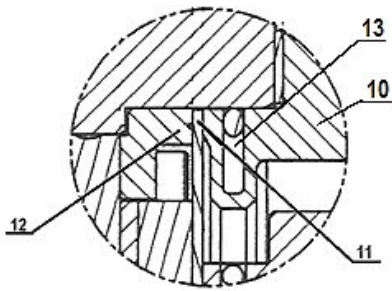


Рисунок 11.7 – Гідравлічний гальмовий пристрій

Шпиндельна бабка заготовки 1 (рис. 11.8) закріплюється на рухомій каретці 2, яка рухається напрямними кочення, закріпленими на корпусі каретки 3. Рух каретки здійснюється від ходового гвинта 7 кулькової гвинтової передачі, гайка 8 якої нерухомо закріплена на каретці. Обертання на ходовий гвинт передається пасовою зубчастою передачею зі шківками 5 і 6 від синхронного електродвигуна 4, з вбудованим датчиком, змонтованого в ніші каретки. Регулювання

натягу паса виконується за допомогою болта 10, шляхом переміщення електродвигуна вперед чи назад.

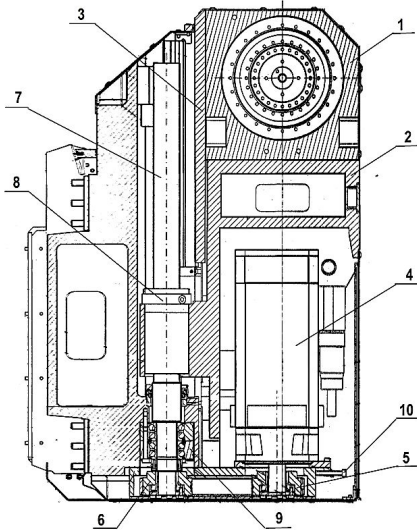


Рисунок 11.8 – Вузол переміщення за віссю Z

мастило, час заміни якого залежить від умов роботи опори: температури, забруднення, попадання вологи тощо.

Змащення кулькової гвинтової передачі здійснюється автоматично через визначені інтервали часу від централізованої мастильної системи.

Фрезерний шпиндель (рис. 11.9)

Фрезерний шпиндель складається з фрезерної головки 4 та поворотної каретки 2. В фрезерній головці змонтований високошвидкісний мотор-шпиндель з векторним контролем частоти обертання шпинделя. Конструкція переднього кінця шпинделя передбачає використання інструментальних оправок HSC.

Для змащення шпиндельних підшипників використовується пластичне мастило, яке закладається в опору на весь термін служби. Температура підшипників, а також електродвигуна підтримується на сталому рівні за рахунок циркуляції охолодженої рідини каналами кожуху статора.

Ходовий гвинт закріплений в одній опорі 9, розміщений з приводного кінця. В опорі встановлений кульковий осьовий підшипник з кутовим контактом ZKLF, зовнішнє кільце якого закріплене до корпусу каретки болтами. Для забезпечення жорсткості кулькової гвинтової передачі та точності руху, в підшипнику створюється попередній натяг.

Для змащення підшипника ходового гвинта застосовується пластичне

Поворотна каретка установлена в колоні 5 на підшипник 8 з перехресними роликми, який сприймає як радіальні, так і осьові навантаження. Обертання каретки за віссю В здійснюється безпосередньо від моментного електродвигуна, статор 6 якого закріплений в колоні, а ротор 7 – на осі поворотної каретки. Для контролю за положенням каретки по осі В використовується датчик 3 кутових переміщень (енкодер) RCN 226.

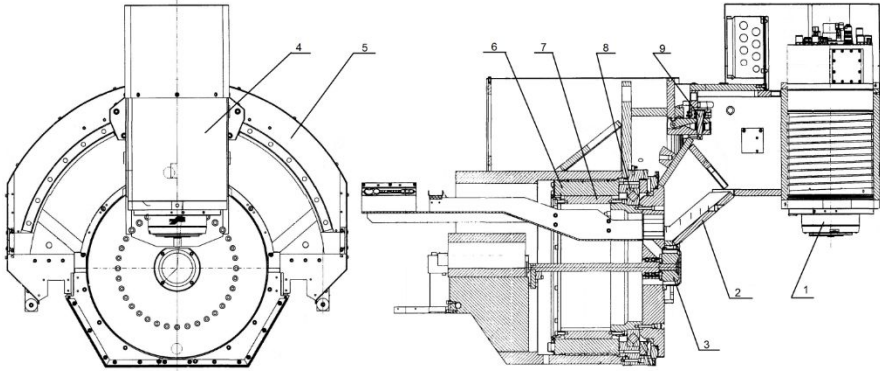


Рисунок 11.9 – Фрезерний шпиндель

Закріплення поворотної каретки в визначеному положенні, в разі коли електродвигун повороту не працює, або вразі знеструмлення, здійснюється за допомогою гідравлічного гальма 9.

ЛЕКЦІЯ 12. ТОКАРНІ ВЕРСТАТИ З ЧПК

Токарні верстати Puma 2100/2600

Токарні обробні центри Puma 2100/2600 можуть використовуватися як для обробки достатньо простих ступінчастих валів з використанням токарного різального інструменту, так і для багатокоординатної обробки складних деталей з використанням різців, фрез, інструментів для обробки отворів, як центральних так і розміщених довільно на торці чи на периферії заготовки.

Верстати Puma (рис. 12.1) побудовані на базі токарного верстата з ЧПК з застосуванням модульного принципу. Використання широкого набору модулів: шпиндельних вузлів з пасовим приводом чи з вбудованим мотор-шпинделем, задньої бабки чи допоміжного шпинделя, стандартного поворотного різцетримача чи револьверної

головки з приводним інструментом, полозків для осі Y, дає можливість пристосовувати верстат для задоволення різноманітних вимог сучасного машинобудівного виробництва.

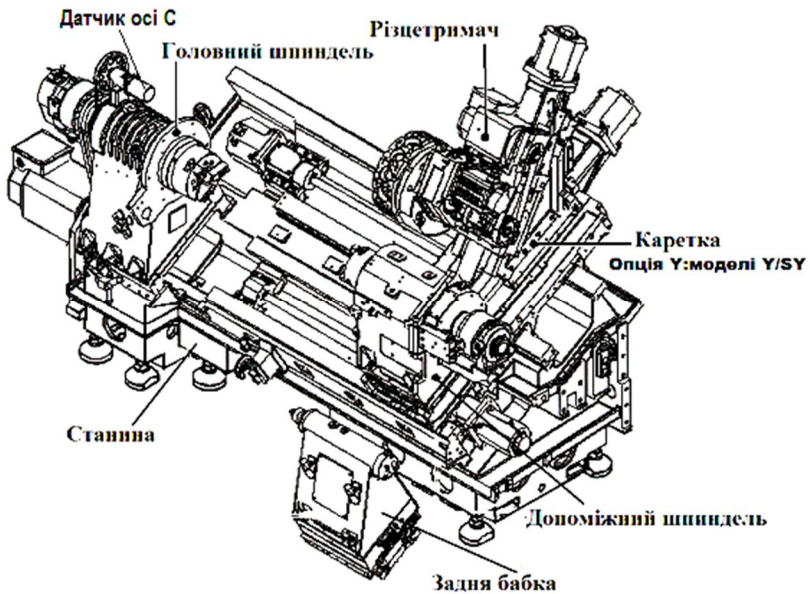


Рисунок 12.1 – Токарний верстат з ЧПК Puma 2100/2600

Завдяки можливості виконувати різноманітні технологічні операції різними видами інструментів верстати мають високу гнучкість, що дозволяє використовувати їх в умовах дрібносерійного виробництва для обробки деталей широкої номенклатури. Основні технічні характеристики верстата наведені в таблиці 12.1.

Верстати оснащені системами ЧПК Fanuc і-серії. Керування переміщеннями робочих органів здійснюється за 2 осями для верстата у стандартному токарному виконанні (рис.12.2, а) чи до 6 осей у токарно-фрезерному варіанті з допоміжним шпинделем та віссю Y (рис. 12.2, б). Одночасно керування може здійснюватися за 4 осями.

На станині верстата опорні поверхні під шпиндельну бабку, напрямні супорта та задньої бабки нахилені назад під кутом 30°, що сприяє кращому відведенню стружки та доступу оператора до інструментів. Відстань між напрямними та ширина напрямних збільшені для підвищення жорсткості системи. У верстаті

використовуються напрямні ковзання типу Box Way як для руху супорта за осями X та Z, так і для руху задньої бабки чи допоміжного шпинделя.

Таблиця 12.1 - Технічні характеристики верстатів Puma 2100

Параметр	Значення
Максимальний діаметр над супортом, мм	630
Максимальний діаметр обробки, мм	480
Максимальна довжина виробу, мм	520
Діаметр оброблюваного прутка, мм	65
Шпиндель	
Частота обертання шпинделя, хв. ⁻¹	4500/5000***
Кінець шпинделя	ASA A2 №6
Діаметр отвору шпинделя,	76
Потужність двигуна головного шпинделя, кВт; (S6/S1)	18,5/15
Револьверна головка	
Кількість гнізд	12
Розмір інструмента для обробки зовнішнього діаметра, мм	25
Частота обертання інструментального шпинделя*, хв. ⁻¹	5000
Потужність двигуна приводного інструмента*, кВт	5,5
Переміщення	
Хід каретки: вісь X, мм	260
вісь Z, мм	590
вісь Y**, мм	102
Швидкість руху: вісь X, м/хв.	30
вісь Z, м/хв.	30
вісь Y**, м/хв.	10
Дискретність введення команд, мм	0,001

* Для виконання Puma 2100M з приводом інструментів револьверної головки.

** Для виконання Puma 2100Y з віссю Y.

*** Для виконання з мотор-шпинделем

Привід головного руху в стандартному виконанні представлений асинхронним регульованим електродвигуном, встановленим на станині верстата, з якого рух на шпиндель передається пасовою передачею. Шпиндельний вузол (рис. 12.3) встановлений в корпусі 1, який для збільшення тепловідведення виконаний з ребрами. В передній опорі шпинделя 9 встановлено 3 радіально-упорних підшипники 8, що

сприймають радіальне і осьове навантаження, в задній опорі – дворядний роликовий підшипник з короткими роликами серії NN30K поз. 7, який сприймає лише радіальне навантаження. Для збільшення жорсткості та динамічних властивостей шпиндельного вузла використані шпиндельні підшипники з діаметрами більших розмірів, а довжина шпинделя зменшена.

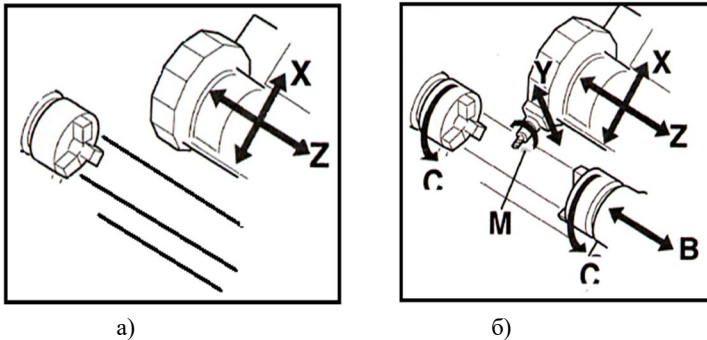


Рисунок 12.2 – Система координат верстата Puma 2100/2600

Контроль положення шпинделя з заготовкою виконується датчиком осі С (рис. 12.1), який з'єднаний зі шпинделем пасовою зубчастою передачею.

На шківу 6 пасової передачі (рис. 12.3) закріплений диск 2 гальмівного пристрою 5, що використовується для зупинки і фіксації шпинделя під час обробки за віссю С: фрезерування, свердління отворів на периферії заготовки чи на її торці. Максимальне зусилля затискання, що розвивається гальмівним пристроєм складає 5 МПа.

Затискання патрона з заготовкою здійснюється гідроциліндром 4 через затискну трубу 10. Корпус гідроциліндра закріплюється на торці шківів, а поршень з'єднується з затискною трубою різьбовим сполученням.

Передній кінець головного шпинделя має виконання ASA A2-6 ISO 702/1 (аналогічно ГОСТ 12595-2003).

Регулювання частот обертання шпинделя здійснюється електродвигуном. В діапазоні від $n=1000 \text{ хв}^{-1}$ до $n=4000 \text{ хв}^{-1}$ (рис. 12.4) на шпинделі одержують постійну потужність, а на частотах нижчих за $n=1000 \text{ хв}^{-1}$ регулювання виконується з постійним крутним моментом, а потужність відповідно знижується.

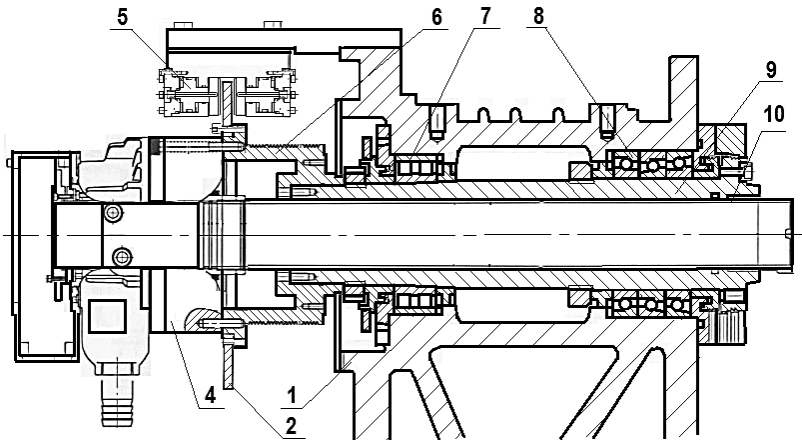


Рисунок 12.3 – Шпиндельний вузол верстата з пасовим приводом

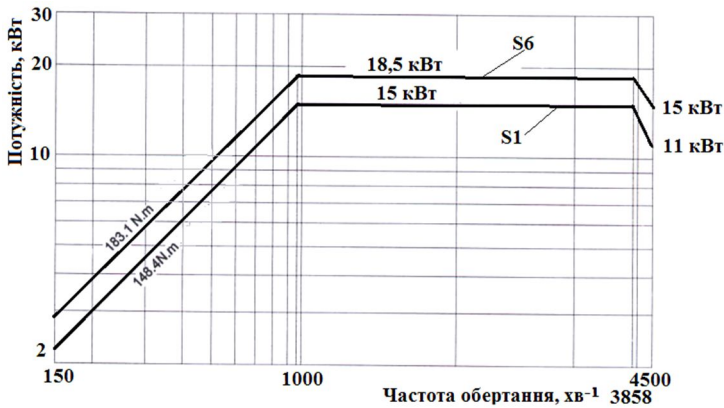


Рисунок 12.4 – Графік потужності приводного двигуна

Переміщення супорта і каретки за лінійними осями здійснюється кульковими гвинтовими передачами. Для руху за віссю X (Y) застосовується прецизійний гвинт з попереднім натягом, а за віссю Z катаний гвинт класу точності C10 (T10 за стандартом ISO) без попереднього натягу. Напрямні супорта закриті захисними екранами, що вберігають їх від забруднення і підвищують довговічність напрямних.

Револьверна головка верстата

В залежності від модифікації верстата на ньому можуть встановлюватися токарна або токарно-фрезерна револьверна головка. Токарна револьверна головка призначена для встановлення безпосередньо в пазах головки або перехідних тримачах інструмента різців різних типів: прохідних, підрізних, прорізних, розточувальних; осьового інструмента для обробки центральних отворів: свердел, зенкерів, розгортки тощо.

В токарно-фрезерній головці, крім інструментів, що застосовуються в токарних головках, можуть встановлюватися обертові інструменти: фрези, свердла, зенкери тощо, які здійснюють обертовий рух різання. Такими інструментами можна обробляти площини, пази, канавки включно з гвинтовими, свердлими отвори довільно розміщені на поверхні заготовки.

Конструкція револьверної головки верстата з проводом інструментів розглядалася детально в лекції 6.

Для змащування елементів приводу інструмента використовується масло-повітряне змащення.

Багатоцільовий токарний верстат Puma MX2100ST

Верстат (рис. 12.5) являє собою інтегрований обробний та токарний центр для широкої номенклатури різноманітних деталей. На ньому можна виконувати просту токарну і фрезерну обробку, а також комплексну багатоосьову обробку складних деталей за одну установку. Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 12.2.

Верстат Puma MX2100ST має типову для токарних верстатів з ЧПК компоновку з нахилоною назад станиною. Зліва і справа на станині встановлені лівий основний і правий допоміжний шпинделі деталі. Лівий шпиндель має керовану вісь C1, а правий – осі C2 і A – поступальне переміщення вздовж напрямних.

Передній чи нижній супорт несе револьверну головку, яка переміщується за осями X2 і Z2. На задній площині станини розміщений задній супорт з кареткою та фрезерною головкою, які здійснюють рухи за осями Z1, Y і X1 відповідно. Фрезерний шпиндель може виконувати поворот за віссю B. Наявність осі Y та повороту фрезерного шпинделя за віссю B значно розширює технологічні можливості верстата.

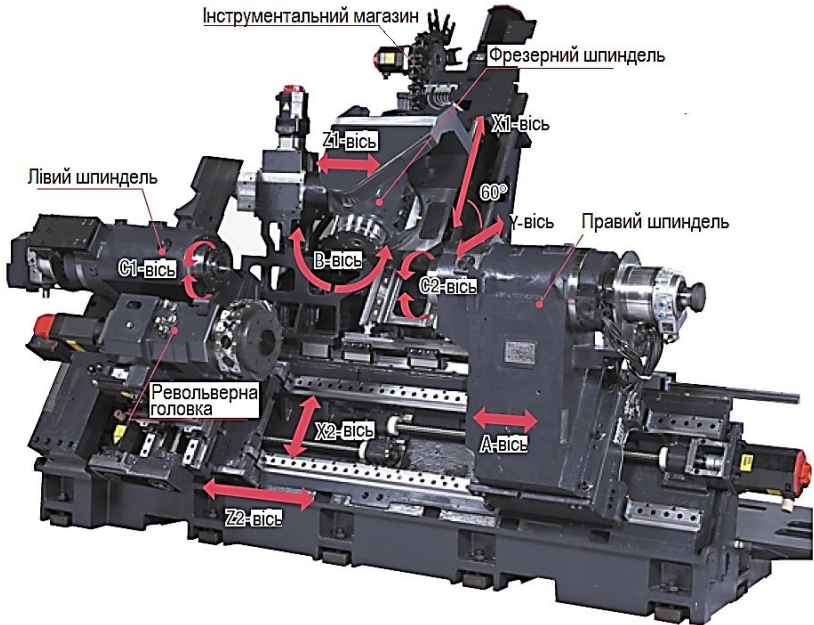


Рисунок 12.5 – Багатоцільовий токарний верстат Puma MX2100ST

Приводи шпинделів деталі та фрезерного шпинделя здійснюється вбудованими електродвигунами без будь-яких додаткових кінематичних елементів.

Шпинделі деталі (основний лівий і допоміжний правий) для усунення впливу температурних деформацій на точність обробки, як на важких режимах та низьких частотах, так і на чистових режимах з високими частотами обертання, оснащені системою охолодження статора та опор шпинделя. Шпинделі можуть працювати як в режимі головного руху, тобто обертання з швидкістю різання, так і в режимі осі С для обох шпинделів (обертання на 360° з приростом 0.001°).

В фрезерному шпинделі може закріплюватися як обертовий інструмент, так і токарні багатопозиційні вставки, що можуть містити від одного до чотирьох інструментів. Інструмент в фрезерному шпинделі встановлюється за допомогою інструментальних оправок Capto C6. Для накопичення та зберігання інструментів для фрезерного шпинделя використовується ланцюговий інструментальний магазин на

40 позицій. Заміна інструмента в фрезерному шпинделі здійснюється автооператором.

Таблиця 12.2 – Технічна характеристика верстата Puma MX2100ST

Параметр	Розмірність	Значення
Найбільший діаметр обробки з фрезерного шпинделя	мм	540
з револьверної головки	мм	300
Найбільша довжина обробки	мм	1020
Переміщення за осями: величина/швидкість X1	мм м/хв.	565/36
X2	мм м/хв.	187/24
Y	мм м/хв.	170/26
Z1/Z2	мм м/хв.	1050/36
A	мм м/хв.	1050/30
B	град.	±120
Шпинделі деталі: частота обертання	хв. ⁻¹	5000
передній кінець	тип	A2-6
потужність двигуна	кВт	22
Фрезерний шпиндель: частота обертання	хв. ⁻¹	12000
передній кінець	тип	Capto C6
потужність двигуна	кВт	18,5
Револьверна головка: число позицій		12
частота обертання обертового інструмента	хв. ⁻¹	5000
потужність двигуна обертового інструмента	кВт	5,5
Інструментальний магазин: число гнізд		40
найбільший діаметр інструмента	мм	90(120)*
найбільша довжина інструмента	мм	300
найбільша вага інструмента	кг	8

* з пропуском сусідніх позицій.

Крім фрезерного шпинделя інструмент може встановлюватися в револьверній головці на 12 позицій. В револьверній головці можуть встановлюватися токарний та обертовий інструмент за допомогою інструментальних оправок і головок BMT55P. Індикація і контроль револьверної головки здійснюється серводвигуном.

Рух виконавчих органів верстата за лінійними осями здійснюється роликowymi напрямними кочення з циркуляцією роликів. Привід лінійних переміщень складається з регульованого синхронного електродвигуна та кулькової гвинтової передачі. Для руху за осями X і

У використовуються гвинтові передачі високої точності (клас С3) з попереднім натягом.

Корпус фрезерного шпинделя установлений на двох опорах: верхній, розміщений в кронштейні, та нижній, розміщений на супорті. В нижній опорі встановлений хрестово-роликовий підшипник, на якому базується корпус шпиндельного вузла, механізм закріплення та фіксації, а також привід повороту шпиндельного вузла (вісь В).

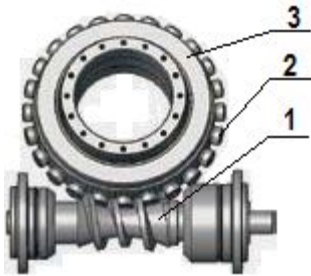


Рисунок 12.6 – Кулачково-роликова передача

Поворот шпиндельного вузла виконується кулачково-роликовою передачею (cam roller gear) (рис. 12.6), ведений диск 3 якої закріплюється на корпусі. Привід роликовою кулачковою передачею забезпечує плавне прискорення і рух гальмування, високу швидкість індексації, мінімальний абразивний знос в елементах роликової передачі.

Закріплення та фіксація корпусу фрезерного шпинделя здійснюється за допомогою муфти з торцевими зубами (Curvic coupling), розкриття та закриття якої виконується гідроциліндром. Принцип дії механізму подібний до дії механізму закріплення револьверної головки, що розглянутий вище.

Закріплення інструментальної оправки в фрезерному шпинделі здійснюється газовою пружиною, розміщеною в отворі шпинделя. Шток газової пружини (поз. 40 рис. 12.7), з'єднаний з розтискною втулкою 24, переміщує втулку вправо і розкриває затискні кулачки 23, які захвачують інструментальну оправку і затягують її в отвір шпинделя. Для розкріплення інструментальної оправки на задньому (правому) кінці шпинделя встановлений гідроциліндр. При переміщенні поршня циліндра 57 вліво стискається газова пружина, її шток разом з розтискною втулкою рухаються вліво, звільняючи затискні кулачки.

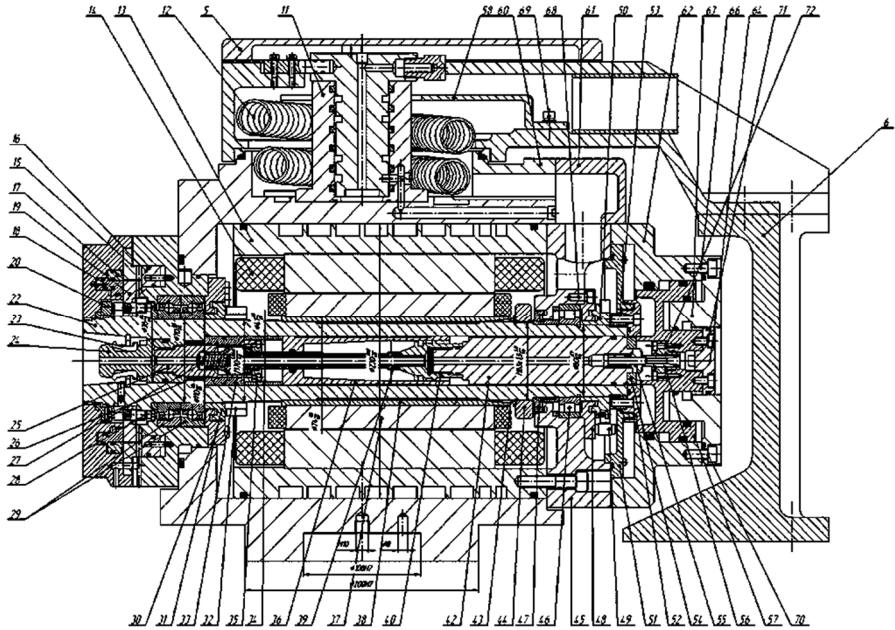


Рисунок 12.7 – Фрезерний шпиндель верстата Puma MX2100ST

Під час роботи токарним інструментом шпиндель повинен займати визначене фіксоване положення і не мати можливості повертатися від дії навантаження. Для забезпечення фіксації і закріплення шпинделя на його передньому кінці встановлена муфта з торцевим зубом, яка складається з зовнішнього вінця 15, закріпленого на корпусі передньої опори, внутрішнього вінця 19, закріпленого на фланці шпинделя 22, та зубчастого вінця, виконаного на плунжері 16 гідроциліндра. Переміщення плунжера вліво замикає муфту, забезпечуючи надійне закріплення шпинделя в фіксованому положенні для токарної обробки. Для роботи обертовим інструментом плунжер 16 переміщується вправо, розмикаючи муфту і забезпечуючи вільне обертання шпинделя.

ЛЕКЦІЯ 13. ТОКАРНІ ВЕРСТАТИ GOODWAY

13.1 Токарний верстат з ЧПК GOODWAY GA-3000

Токарний верстат з ЧПК GOODWAY GA-3000 (рис. 13.1) призначений для високопродуктивної токарної обробки деталей зі

значними перетинами зрізу з високою точністю. На верстаті можуть оброблятися як короткі деталі з закріпленням в патроні, так і довгі деталі, які закріплюються в патроні та підтримуються центром задньої бабки.

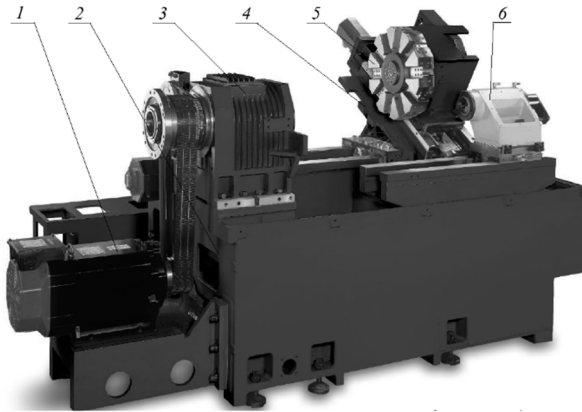


Рисунок 13.1 – Загальний вигляд верстата GOODWAY GA-3000

Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 13.1.

Поєднання високої продуктивності обробки з високою точністю забезпечується використанням приводних електродвигунів значної потужності, застосуванням широких напрямних ковзання (box way), збільшенням діаметра шпинделя.

Верстат побудований за традиційним для токарних верстатів компонуванням, але напрямні каретки супорта підняті під кутом 30° від горизонталі і розміщені позаду деталі. На каретці 4 встановлена револьверна головка 5 для закріплення інструмента на 12 позицій, в гніздах якої можуть встановлюватися інструменти з державками квадратного перетину 25×25 мм та круглого перетину діаметром 40 мм. Конструкція револьверної головки верстата описана в лекції №6. Супорт за віссю Z і каретка за віссю X рухаються напрямними ковзання. Широкі напрямні станини і напрямні супорта (ось X) загартовані і шліфовані, а для забезпечення більшої жорсткості рознесені на значну відстань. Направні рухомих органів покриті антифрикційним матеріалом "Turcite B" для зниження втрат на тертя, усунення стрибків на малих швидкостях та забезпечення високої довговічності.

Таблиця 13.1 - Технічна характеристика верстата GOODWAY GA-3000

Параметр	Розмірність	Значення
Максимальний діаметр заготовки	мм	600
Максимальний діаметр над супортом	мм	500
Максимальний діаметр обробки	мм	500
Типовий діаметр обробки	мм	225
Максимальна довжина обробки	мм	629(929)*
Максимальна вага заготовки	кг	340**
Діаметр отвору в затискній трубі	мм	75
Шпиндель		
Передній кінець шпинделя		A2-8
Діаметр отвору шпинделя	мм	90
Частота обертання шпинделя	хв. ⁻¹	30 – 3000
Потужність двигуна, S1(S6)	кВт	18,5 (22)
Максимальний момент на шпинделі, S1(S6)	Н·м	439 (522)
Координатні осі		
Максимальне переміщення за віссю X	мм	260
Максимальне переміщення за віссю Z	мм	630 (930)*
Швидкість подачі за осями	мм/хв.	1 – 4800
Прискорене переміщення за осями X/Z	м/хв.	20/24
Точність позиціювання за осями	мм	0,005
Повторюваність	мм	0,003
Револьверна головка		
Кількість позицій		12
Розміри інструмента	мм	25×25/ Ø40
Час повороту головки: в сусідню позицію/на 180°	с	0,3/0,5
Конус пінолю задньої бабки		Морзе 5
Переміщення задньої бабки	мм	450
Розміри верстата L×B×H	мм	2845×1965×1910 (3165×1980×1910)*
Вага верстата	кг	5,800/6,500*

*GA-3000L,

Шпиндель верстата 2 (рис. 13.2) встановлений на підшипники високої жорсткості (в передній NN3026K поз. 11, і два радіально упорних поз. 12 для сприйняття осьового навантаження, а в задній опорі NN3024K, поз 13) великого діаметру, в передній опорі встановлені підшипники діаметром 130 мм, що забезпечує можливість обробки на інтенсивних режимах з забезпеченням точності обробки деталей. Привід шпинделя здійснюється пасовою передачею і шківом

від регульованого електродвигуна з високим моментом. Застосування в приводі шпинделя електродвигуна FANUC α P22/6,000i з номінальною частотою $n_{\text{НОМ}}=575 \text{ хв}^{-1}$ та пасова передача з передавальним відношенням 7/10 дає можливість вести обробку деталей на середніх частотах з використанням повної потужності (рис. 13.3).

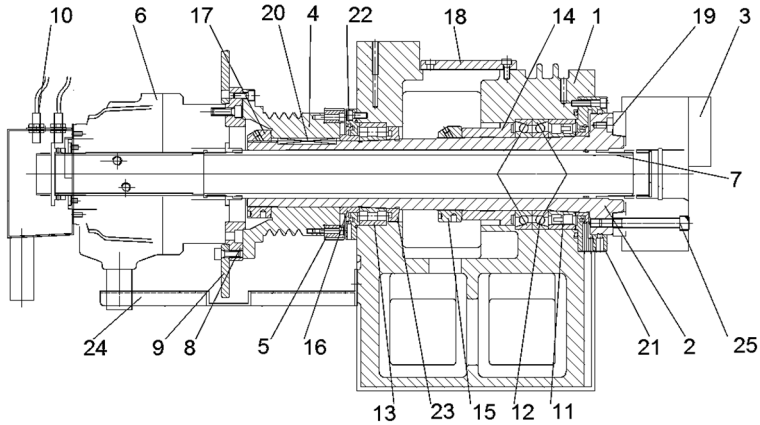


Рисунок 13.2 – Шпиндельна бабка верстата GOODWAY GA-3000

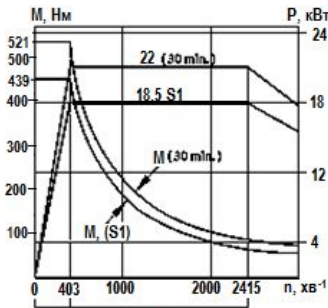


Рисунок 13.3 – Графік потужності приводу шпинделя

На шківу 4 (рис. 13.2) через адаптер 8 закріплений гідроциліндр 6 затиску патрону і гальмівний диск 9 гальмування шпинделя в разі виконання обробки з використанням осі С. На іншому торці шківу 4 встановлений шків 5 зубчастої пасової передачі для передачі руху на датчик осі С.

Обробка довгих заготовок ведеться з закріпленням в кулачковому патроні і задній бабці.

Переміщення пінолю і корпусу задньої бабки програмується. Рух корпусу задньої бабки виконується переміщенням супорта за віссю Z. В робочій позиції корпус затискається на напрямних гідроциліндром за допомогою притискачів. Конструкція задньої бабки наведена на рисунку 13.4.

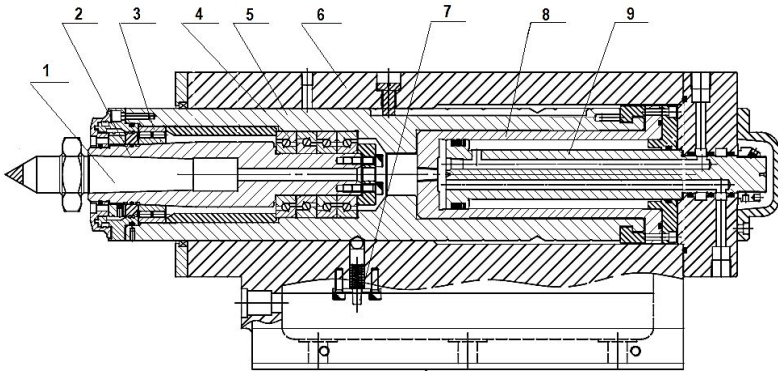


Рисунок 13.4 – Задня бабка верстата GA-3000.

Центр 1 з конусом Морзе 5 закріплюється в гільзі 2, встановленій в підшипниках кочення (спереду роликовий радіальний підшипник 3, а ззаду чотири радіально-упорних кулькових підшипники 4) в пінолю 5 задньої бабки. Переміщення пінолю в корпусі 6 задньої бабки здійснюється гідроциліндром 8. Кінцевий вимикач 7 забезпечує зупинку пінолю в крайніх положеннях.

13.2 Багатофункціональний верстат GOODWAY GMT-2000 series

Верстати серії GMT-2000 поєднують в одній машині функціональні можливості токарних і обробних центрів. На них можна ефективно обробляти різноманітні заготовки складної форми, а також виконувати важке різання. Це універсальна модель, яку можна використовувати у авіаційній, енергетичній, медичній, автомобільній галузях, а також в загальному машинобудуванні.

Для забезпечення високої продуктивності і гнучкості обробки виробів верстат (рис. 13.5) оснащений двома шпинделями для закріплення заготовок (шпиндель 1, лівий і шпиндель 2, правий), інструментальним шпинделем, нижньою револьверною головкою, ланцюговим інструментальним магазином. Для видалення стружки і охолоджуючої рідини передбачений конвеєр, який може пропонуватися в залежності від типу стружки або ланцюговий пасовий, або скребковий.

Нижньою револьверною головкою оснащуються верстати модифікації GMT-2000ST.

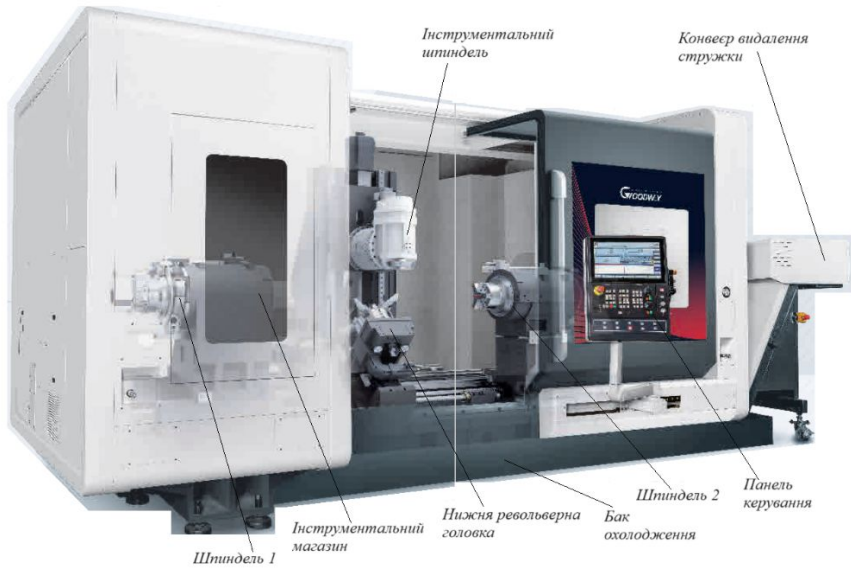


Рисунок 13.5 – Загальний вигляд верстата GMT-2000

Операційна система G.LINC верстата забезпечує контроль за 9-ма осями і можливістю одночасної обробки за 5-ма осями (рис. 13.6). Інструментальний шпиндель з інструментом (як токарним, так і обертовим) здійснює переміщення за 4 осями: трьома лінійними (X_1 , Y , Z_1) і однією круговою B . Нижня револьверна головка переміщується за осями X_2 , Z_2 . Шпинделі заготовок виконують рухи за осями: лівий - C_1 , правий - Z_s і C_2 . Вісь C_2 забезпечується в верстаті GMT-2000ST.

Обробку заготовок в шпинделі 1 або шпинделі 2, можна виконувати як з фрезерного шпинделя, так і з нижньої револьверної головки, що робить технологічний процес більш гнучким, ніж у традиційних моделей. Довгі заготовки малого діаметру або прутки, що потребують обробки, затискається та фіксується на кінцях обома шпинделями. Фрезерний (інструментальний) шпиндель і нижня револьверна головка синхронізовані для збалансованого різання (рис. 13.7), що може значно скоротити час циклу та забезпечити максимальну точність обробки.

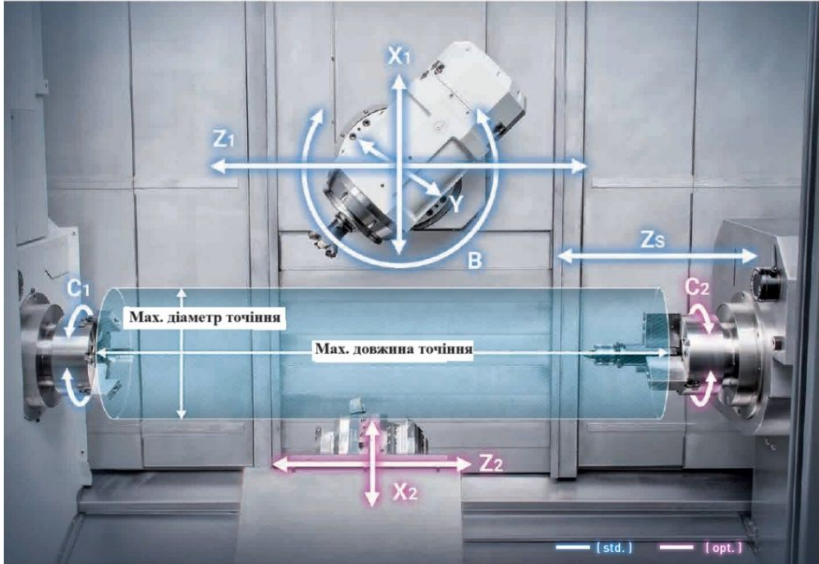


Рисунок 13.6 – Схема рухів за координатними осями

Основа верстата виготовлена з високоміцного чавуну Meehanite з ребрами, що забезпечують високу жорсткість. Конструкція спроектована з забезпеченням балансу теплового потоку в умовах потреби тривалої обробки. Оскільки чавун Meehanite може забезпечити більше демпфування та зменшення деформації, верстат забезпечує не тільки довговічність, але й високу продуктивність.



Рисунок 13.7 – Збалансоване різання

Конструкція колони (рис. 13.8), на якій розміщується інструментальний шпиндель, має низьке розміщення центру ваги що забезпечує стабільну опорну жорсткість каретки осі X , запобігаючи нахилу фрезерного шпинделя, а незначна маса конструкції дозволяє за осями Y і Z мати вищу динамічну продуктивність.

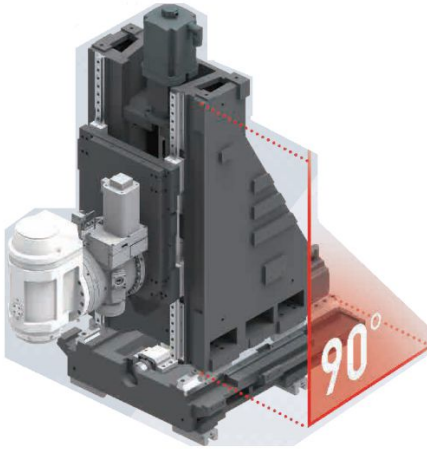


Рисунок 13.8 – Конструкція колони

Переміщення вузлів верстата за лінійними осями здійснюється термообробленими і шліфованими прецизійними кульковими гвинтами класу точності $C3$, що забезпечує високу точність і довговічність. Гвинти за усіма осями попередньо розтягнуті, що зменшує зміщення і суттєво підвищує точність обробки.

Для переміщення за віссю X використовується конструкція порожнистого гвинта. Через отвір гвинта подається охолодження для усунення температурних зсувів і забезпечення прецизійної обробки з високою швидкістю.

Як опори для переміщення рухомих вузлів за усіма осями використовуються роликові лінійні напрямні високої жорсткості.

Напрямні каретки, ходові гвинти і інше обладнання змащується пластичним мастилом від автоматичної системи мащення, яка автоматично вимикається в режимі очікування.

Шпиндельні вузли заготовки оснащені вбудованими електродвигунами з циркуляцією охолодження двигуна і передньої опори. В залежності від потреб обробки різних металів можуть

використовувати як високошвидкісні так і низькошвидкісні електродвигуни. Електродвигуни шпинделів забезпечують рух за віссю C з високою точністю (до $0,0001^\circ$) і швидкістю з високими динамічними характеристиками. Для забезпечення жорсткості і надійності положення заготовки в ході обробки шпинделі оснащуються гідравлічними дисковими гальмами.

Рух за осями C обох шпинделів синхронізований, що важливе для передачі заготовок від одного шпинделя до іншого.

Фрезерний (інструментальний) шпиндель характеризується високою швидкістю, високою потужністю, малими коливаннями. Індукування шпинделя за віссю B складає $0,0001^\circ$ в межах діапазону ходу осі 240° . За допомогою інструментального шпинделя можна виконувати важке різання з фіксованим кутом, а також рух контурного фрезерування за 5 осями одночасно, забезпечуючи високу гнучкість процесу обробки. В шпиндельному вузлі використовується конструкція вбудованого електродвигуна, що знижує вібрації шпинделя, збільшує його довговічність та поліпшує точність обробки в процесі тривалої експлуатації. Конструкція лабіринтних ущільнень надійно захищає шпиндель від попадання забруднення і охолоджуючого середовища в процесі обробки.

В шпинделі можуть використовуватися інструментальні оправки HSK-T63 / Capto C6. Індекс «Т» в позначенні оправки HSK свідчить про те, що це оправка токарна. Така оправка відрізняється значно жорсткішими допусками ведучих пазів (інструмент) і ведучих зубців (адаптер), чим гарантується точність позиціонування, яка має вирішальне значення для точіння.

Поворот шпиндельного вузла виконується кулачково-роlikовою передачею (cam roller gear) (рис. 13.9). Такий привід забезпечує протикрутний момент до 970 Нм, високу точність обертання з мінімальним, практично нульовим мертвим ходом.

Гальмівна система включає гідравлічне гальмо в комбінації з конструкцією триелементної муфти Курвіка, що забезпечує затискну силу 3000 Нм, яка важлива для забезпечення жорсткості обробки в умовах важкого різання з фіксованим кутом.

Одним і тим самим інструментом в інструментальному шпинделі, завдяки обертанню і позиціонуванню, може виконуватися обробка заготовок і в першому і в другому шпинделі, що скорочує час на заміну інструмента та підвищує ефективність обробки.

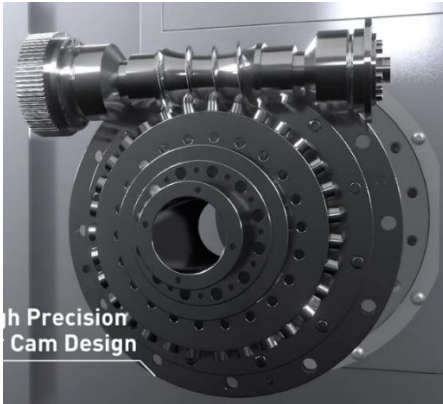


Рисунок 13.9 – Кулачково-роликова привід осі В

Магазин ланцюгового типу (рис. 13.10) поєднується з конструкцією системи автоматичної заміни інструменту з автооператором, має достатню кількість позиції для інструменту, та забезпечує швидку заміну інструменту та надійність закріплення. Така конструкція може заощадити час, необхідний для різання, і задовольнити потреби обробки складних заготовок

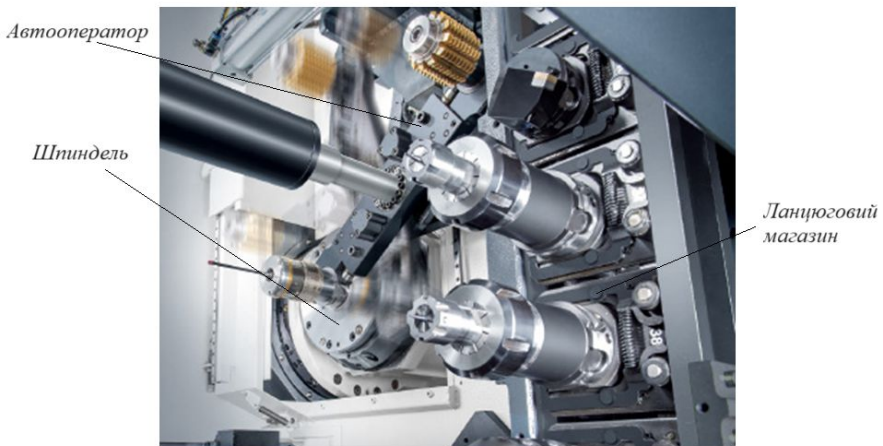


Рисунок 13.10 – Система автоматичної заміни інструмента

Пристрій автоматичної заміни інструмента і інструментальний магазин оснащені високошвидкісними серводвигунами, що забезпечує

суттєве скорочення часу заміни інструмента. Час від інструмента до інструмента складає 1,2 с.

Контроль процесу автоматичної заміни інструменту здійснюється прецизійним кулачком, що забезпечує стабільність і надійність процесу. Двері інструментального магазину відкриваються лише для виконання процесу заміни інструменту, що вберігає магазин від забруднення стружкою та забезпечує надійність роботи пристрою заміни.

Інструментальний магазин і панель керування ним розташовані на передній стороні верстата, що полегшує і робить безпечним процес переоснащення магазину інструментом.

Стандартна ємність інструментального магазину – 40 інструментів, як опція, верстати можуть оснащуватися магазинами ємністю 80 або 120 інструментів.

Застосування *нижньої револьверної головки* (рис. 13.11) забезпечує верстату більшу гнучкість: головка крім всього може використовуватися для встановлення обертового інструменту, як постійна опора, для підтримки заготовок тощо. Так для обробки довгих і тонких заготовок може використовуватися синхронне точіння інструментом із фрезерного шпинделя і нижньої револьверної головки (рис. 13.7), що знижує час обробки і забезпечує високу якість обробленої поверхні.

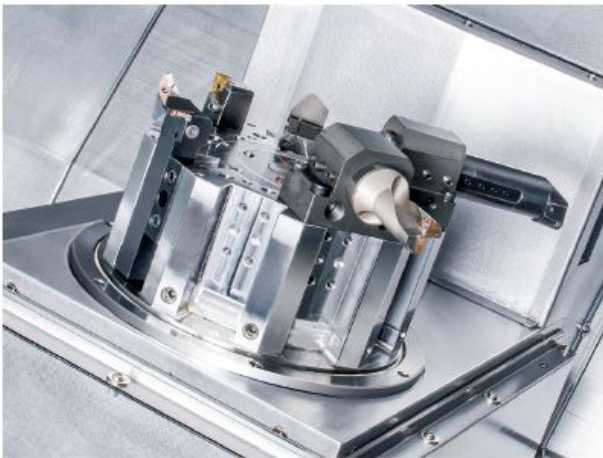


Рисунок 13.11 – Нижня револьверна головка

Таблиця 13.2 - Технічна характеристика верстата GMT-2000ST

Параметр	Розмірність	Величина
Максимальний діаметр заготовки	мм	660
Макс. діаметр обточування: інстр. шп./ниж.гол.	мм	660/420
Максимальний довжина обточування	мм	1520
Діаметр прутка	мм	102
Максимальне переміщення за осями		
X ₁	мм	615
Z ₁	мм	1590
Y ₁	мм	±150
X ₂	мм	240
Z ₂	мм	1400
B	град.	240 (+210 - -30)
Zs		1560
Розмір патрона (шп.1/шп.2)	мм	305/254
Максимальна частота обертання (шп.1/шп.2)	хв ⁻¹	3200/3800
Передній кінець шпинделя		A2-8
Діаметр отвору шпинделя (шп.1/шп.2)	мм	113/91
Діаметр переднього підшипника (шп.1/шп.2)	мм	160/140
Потужність електродвигуна шпинделів заготовки	кВт	30
Фрезерний шпиндель: максимальна частота обертання	хв ⁻¹	12000
Конус переднього кінця шпинделя		HSK-T63 / Capto C6
Електродвигун фрезерного шпинделя: потужність/момент	кВт/Нм	20,8/62
Нижня револьверна головка: число позицій		9
Час індексації в сусідню позицію	с	0,2
Інструментальний магазин: число позицій		40
Максимальні розміри інструмента діаметр/довжина	мм	90(130*)/ 450
Максимальна вага інструмента	кг	12
Швидкість подачі за осями		
X ₁ / Z ₁ / Y ₁	м/хв.	50/50/40
X ₂ / Z ₂	м/хв.	30/40
B/ C	об/хв.	60/100

Головка має 9 позицій, для приводного інструмента використовується серводвигун.

Висока жорсткість револьверної головки в процесі різання забезпечується її базуванням на муфту Курвіка (Curvic) та високим зусиллям затиску.

ЛЕКЦІЯ 14. ВЕРТИКАЛЬНИЙ ТОКАРНИЙ ВЕРСТАТ З ЧПК SCHIESS - VERTIMASTER

Верстат (рис. 14.1) призначений для багатопрофільної обробки деталей великого діаметру і відносно малої довжини. На ньому можна виконувати токарні, свердлильні, розточувальні, фрезерні, шліфувальні роботи та нарізування різі. Верстат оснащений п'ятиосьовою системою ЧПК SINUMERIK 840D: три лінійні координати – рух супорта повзуна горизонтальними напрямними траверси (X); вертикальний рух повзуна (Z); встановлювальний рух порталу (Y) та дві кругові – обертотворний рух планшайби під час фрезерування (C) та поворот фрезерної головки (A).

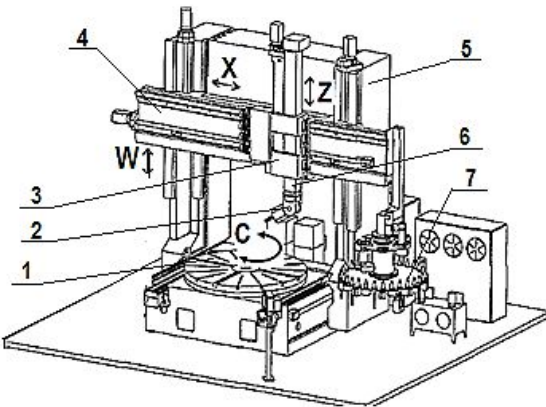


Рисунок 14.1 – Вертикальний токарний верстат з ЧПК SCHIESS

Верстат побудований за компонованням двостоякового токарно-карусельного верстата. Два стояки 5 в верхній частині з'єднані балкою, а в нижній закріплені до основи верстата, в якій розміщується вузол шпинделя заготовки з приводом. В процесі токарної обробки заготовка, встановлена на планшайбі 1, обертається зі швидкістю різання, а під час фрезерування - з швидкістю кругової подачі. На передніх гранях стояків розміщені вертикальні напрямні переміщення траверси 4. Горизонтальними напрямними траверси рухається супорт 3, який несе повзун 6. Повзун переміщується в вертикальному напрямку і несе

інструментальні головки 2 для різального інструменту. Заміна інструментальних головок і інструменту здійснюється автоматично за програмою обробки. Справа і зліва від верстата встановлені інструментальні магазини: справа для різального інструмента (поз. 7), а зліва для інструментальних головок (на рисунку не показаний). На верстаті можуть використовуватися токарні адаптери, розточувальні, фрезерні, шліфувальні головки та спеціальні різцетримачі.

Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 14.1.

Конструктивні особливості верстата

Привід планшайби (рис. 14.2).

Привід обертання заготовки розміщується в основі верстата. Планшайба 5 базується на основі 1 на двох підшипниках: упорному кульковому підшипнику 2, що сприймає осьова навантаження, та радіально-упорному конічному підшипнику 3, який призначений для сприйняття переважно радіальних зусиль. Упорний підшипник установлений під кільцевим ребром планшайби, що забезпечує більшу жорсткість конструкції. Базування планшайби на підшипниках здійснюється через зубчасте колесо 4, що дає можливість в разі потреби знімати планшайбу без розбирання опор. Підшипники установлені з попереднім натягом, величина якого регулюється підгонкою кільця 14.

Таблиця 14.1 - Технічна характеристика верстата

Параметр	Розмірність	Значення
Найбільший діаметр оброблюваної деталі	мм	2000
Найбільший висота оброблюваної деталі	мм	2000
Діаметр планшайби	мм	1600
Максимальна вага заготовки	кг	20000
Горизонтальне переміщення каретки по траверсі (вісь X)	мм	2340
Вертикальне переміщення повзуна (вісь Z)	мм	1600
Вертикальне переміщення траверси	мм	1000
Частота обертання планшайби (обточування)	хв. ⁻¹	0,78 – 250
Частота обертання планшайби (фрезерування, вісь C)	хв. ⁻¹	0 - 7
Кількість ступенів редуктора планшайби		2
Потужність двигуна приводу планшайби	кВт	56
Швидкість подачі (за осями X, Z)	мм/хв.	0,1 – 2000

Прискорене переміщення (за осями X, Z)	мм/хв.	10000
Частота обертання інструментального шпинделя	хв. ⁻¹	2,5 – 1600
Потужність двигуна приводу інструмента	кВт	28
Прискорене переміщення траверси	мм/хв.	2000
Ємність інструментального магазину	шт.	28
Ємність магазину для інструментальних головок	шт.	6
Переміщення порталу (вісь Y)	мм	±1000
Прискорене переміщення порталу (вісь Y)	мм/хв.	8000
Точність позиціонування (за осями X, Y, Z)	мм/м	0,01
Точність повторення (за осями X, Y, Z)	мм	0,005

Привід обертання стола здійснюється від регульованого електродвигуна постійного струму через планетарний редуктор 6 та пару зубчастих коліс 7 та 4. Використання планетарного редуктора дає можливість розширити діапазон регулювання частот обертання стола з постійною потужністю. Перемикання редуктора здійснюється автоматично за програмою, шпиндель в цей час не повинен обертатися.

Обертання шпинделя планшайби може здійснюватися в режимі швидкості головного руху для виконання токарних робіт та в режимі кругової подачі для фрезерних робіт.

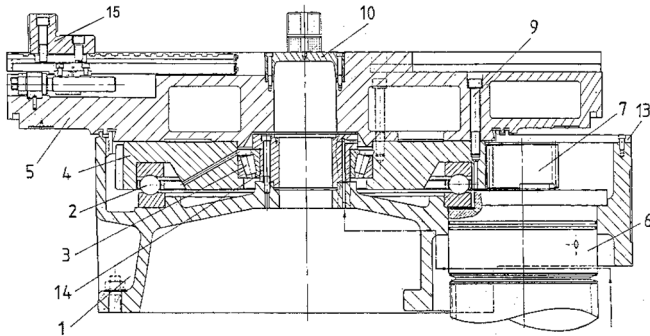


Рисунок 14.2 – Планшайба стола

Привід фрезерної головки (рис. 14.3)

В залежності від обраного виду обробки на верстаті в повзуні можуть встановлюватися токарний адаптер, розточувальна, фрезерна або шліфувальна головка. Привід обертання головок розміщується в верхній частині повзуна. Він складається з регульованого

електродвигуна 7, двоступеневого редуктора 8 та привідного валу 10 від редуктора до гнізда для закріплення різального інструмента. В токарному адаптері, розточувальній та фрезерній головках інструменти встановлюються в конусних оправках з конусом 7/24 №50.

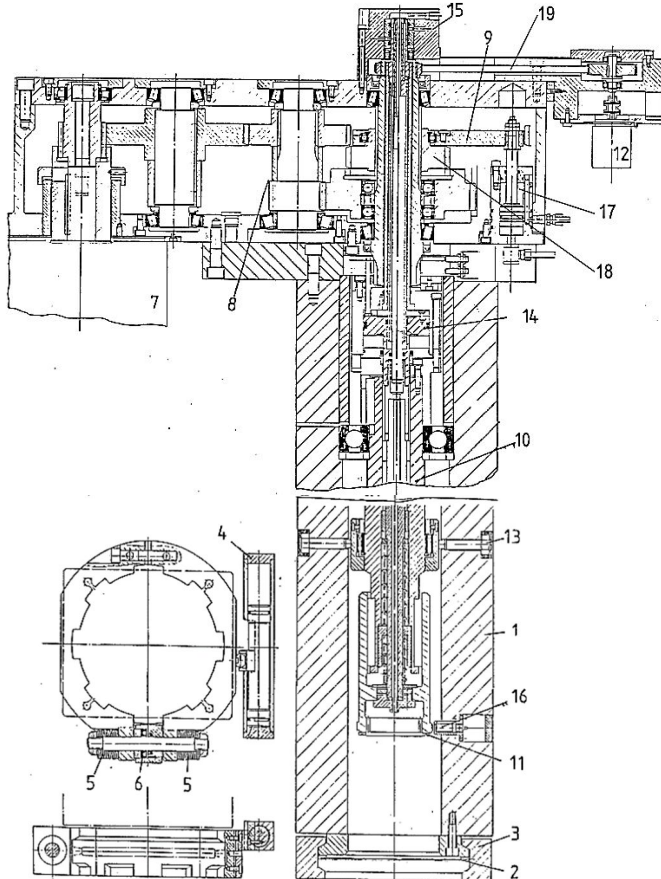


Рисунок 14.3 – Фрезерно-розточувальний привід

Інструментальні головки встановлюються і закріплюються у вузлу закріплення інструментальних систем 2 з затискним кільцем 3 з байонетним профілем. Поворот кільця здійснюється пристроєм повороту 4, встановленим на магазині інструментальних головок. Затискання головок виконується пакетом тарілчастих пружин 5, а розтискання – гідроциліндром 6.

Перемикання редуктора здійснюється гідроциліндром 17, який через важіль 9 пересуває зубчасте колесо 18. Контроль частоти обертання і положення привідного валу (інструментального шпинделя) виконується датчиком 12 через зубчасту пасову передачу 19. Обертання з привідного валу на шпиндель інструментальної головки передається зубчастою муфтою 11. Якщо в інструментальній головці установлений токарний адаптер, то муфта зміщується вгору, а індуктивний датчик 16 вимикає привідний електродвигун 7.

Для розтискання конусних оправок в отворі інструментальної головки використовується гідроциліндр 14.

Інструментальні головки та адаптер

Токарний адаптер (рис. 14.4, а) призначений для закріплення інструментів для виконання токарних робіт без обертання інструмента.

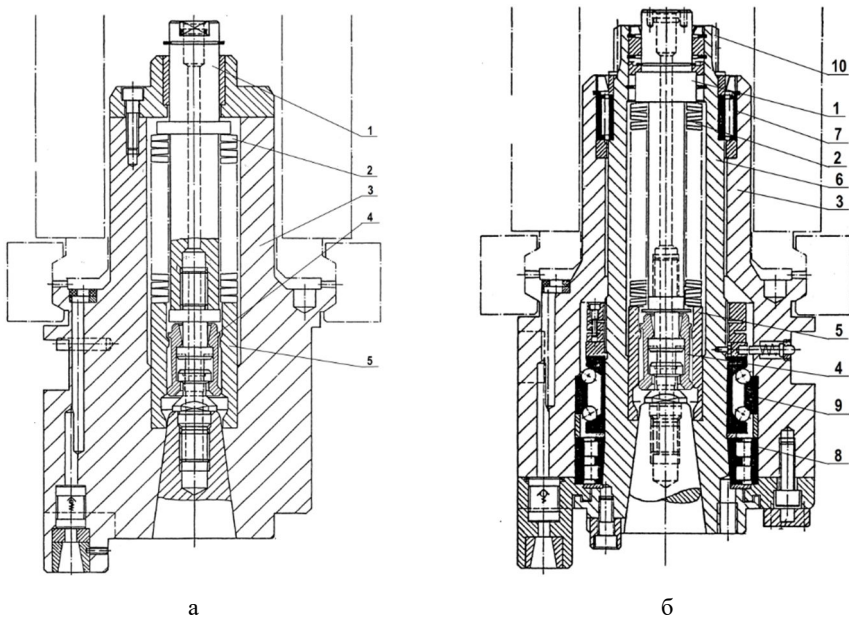


Рисунок 14.4 – Інструментальні головки верстата: а – токарний адаптер; б – розточувально-фрезерна головка

Інструментальні оправки з різцями встановлюються в конусному отворі корпусу 3 адаптера. Закріплення оправки здійснюється пакетом

тарілчастих пружин 2, які переміщують тягу 1 з цангою 4 вгору. Пелюстки цанги виходять з фасонної розточки втулки 5, захвачують кінець оправки і затягують її в кінцевий отвір корпусу. Розтискання оправки відбувається внаслідок переміщення тяги вниз від дії гідроциліндра 14 (рис. 14.3). Пакет тарілчастих пружин стискається, пелюстки цанги заходять в фасонну розточку втулки 5, а тяга своїм нижнім кінцем виштовхує інструментальну оправку.

В розточувально-фрезерній головці (рис. 14.4, б) механізм закріплення інструментальних оправок такий самий як і в токарному адаптері, але він розміщений не в корпусі головки як в адаптері, а в шпинделі 6. На верхньому кінці шпинделя виконаний зубчастий вінець 10, який, при встановленні головки в повзун, входить в зачеплення з півмуфтою 11 (рис. 14.3) привідного валу, з якого на шпиндель передається крутний момент. Шпиндель встановлений в передній опорі в дворядний роликовий підшипник 8, що сприймає радіальне навантаження та кульковий упорно-радіальний підшипник 9, для сприйняття осевого навантаження. В задній опорі шпинделя встановлений голчастий підшипник 7.

Застосовуючи розточувально-фрезерну головку, на верстаті можна виконувати розточування, свердління, зенкерування отворів розміщених зі зміщенням від осі обертання заготовки та фрезерування поверхонь паралельних чи перпендикулярних базовій площині.

Для фрезерування поверхонь розміщених під деяким кутом до базової площини використовується фрезерна головка наведена на рисунку 14.5. Така головка забезпечує поворот осі шпинделя на кут від 0° до 90° з дискретністю $2,5^\circ$.

Обертання на шпиндель 13 передається від муфти (зубчастий вінець 2 на входному валу голівки і півмуфта 11 (рис. 14.3) привідного валу) через кінцеві зубчасті колеса 20 і 19 та кінцеву передачу з колесами 16 і 17. Шпиндель в передній опорі встановлений в кінцевий роликовий радіально-упорний підшипник 14 та кульковий упорний підшипник 15, в задній опорі встановлений голчастий підшипник 6. Механізм затиску інструмента діє подібно до механізмів описаних вище.

Фрезерний шпиндель встановлений в поворотному корпусі 12, обертання якого здійснюється від приводу обертання інструмента.

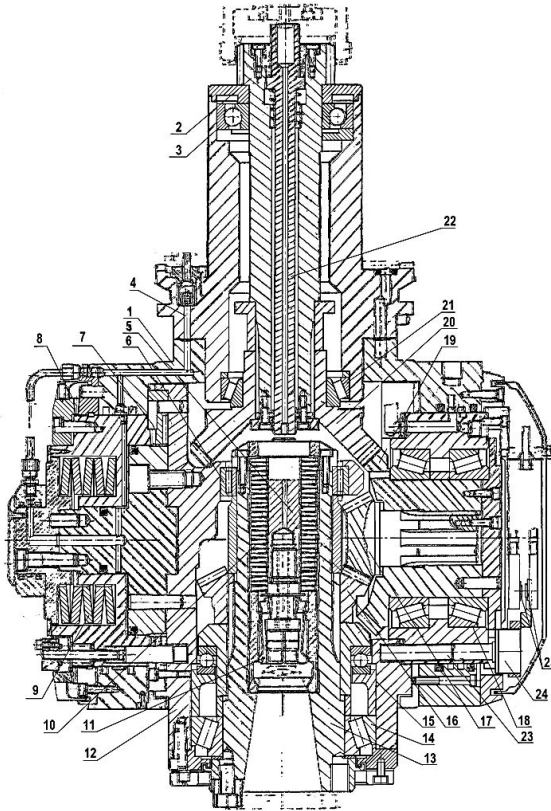


Рисунок 14.5 – Фрезерна поворотна головка

Для виконання циклу повороту корпусу шпинделя каналом 4 масло подається до гідроциліндра, переміщенням якого розмикаються муфти 7 і 8, звільняючи корпус. Поводок 23 переміщується під повідкову штангу 24 і з'єднує інструментальний привід з поворотним корпусом. Двигун інструментального шпинделя повільно обертається, передаючи рух на корпус до досягнення необхідного положення. По встановленню шпинделя в потрібну позицію вимикається подача масла в гідроциліндр і тарілчасті пружини 9 замикають муфти 7 і 8, фіксуючи корпус шпинделя. Контроль затискання та розтискання поворотного корпусу виконується індуктивними датчиками 25.

ЛЕКЦІЯ 15. ВЕРТИКАЛЬНИЙ ТОКАРНИЙ ВЕРСТАТ З ЧПК МОД. SKIQ 16 С-М

Верстат призначений для високопродуктивної токарної обробки заготовок великого діаметра та відносно невеликої довжини в умовах штучного і серійного виробництва. На верстаті можна виконувати токарну обробку циліндричних і конічних зовнішніх та внутрішніх поверхонь, нарізування різі, обробку канавок, шліфування, осьове і позацентричне свердління, розгортання, фрезерування поверхонь. Несуча частина токарно верстата (рис. 15.1) складається зі станина 1 і опорного стояка 6, які в сукупності утворюють жорстку конструкцію. Планшайба, оснащена чотирма кулачками для ручного затиску заготовки 4, встановлена на станині в спеціальному хрестоподібному підшипнику кочення.

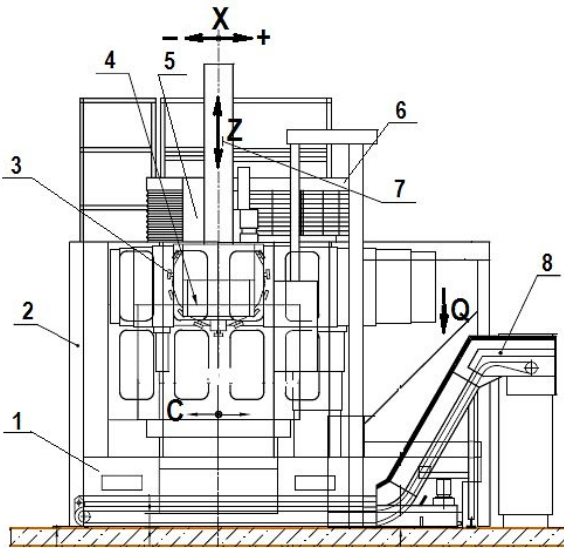


Рисунок 15.1 – Вертикальний токарний верстат SKIQ 16

Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 15.1.

Напрямними ковзання опорного стояка переміщається поперечка. Кріплення поперечки до опорного стояка здійснюється за допомогою гідрозатиску, а її перестановку з кроком 100 мм забезпечує електродвигун через гвинтову передачу. Під час перестановки

поперечки блокується запуск планшайби, її можна запустити лише після закріплення поперечки. Поперечку також не можна переставити, якщо планшайба знаходиться в русі. Поперечний супорт 5, який переміщається загартованими напрямними планками поперечки, виконує рух за віссю X. На поперечному супорті встановлений магазин 3 державок інструментів на п'ятнадцять позицій.

Механізми для обертання магазину і для заміни різцевих державок з магазину в повзун, знаходяться на поперечному супорті. Механізм для закріплення і відкріплення державки вбудований в нижній частині повзуна. Повзун 7 встановлений в поперечному супорті, має жорстку конструкцію і рухається загартованими напрямними поверхнями за допомогою напрямних кочення. Для досягнення необхідної точності напрямні кочення поперечного супорта і повзуна виконані з попереднім натягом. Переміщення поперечного супорта і повзуна здійснюється від електричних серводвигунів кульковими гвинтовими передачами. Через повзун проходить привідний вал для приводу ротаційних інструментів. Вал приводиться в рух електричним регульованим двигуном через триступеневу коробку передач.

Машиння основних вузлів верстата здійснюється автоматично мастильним агрегатом. Для усунення теплових деформацій напрямні верстата, шестірні в коробці передач, а також спеціальний хрестоподібним підшипник змащуються маслом, яке охолоджується в охолоджувальному пристрої.

Таблиця 15.1 - Технічна характеристика верстата

Параметр	Розмірність	Значення
Діаметр планшайби	мм	1600
Максимальний діаметр заготовки	мм	1800
Максимальний діаметр точіння по торцю	мм	1900
Максимальна висота заготовки	мм	1275
Робочий хід повзуна (вісь Z)	мм	1000
Переміщення поперечного супорта (вісь X)	мм	-80/+1165
Максимальний хід поперечки (вісь Q)	мм	800
Робоча подача (режим токарної обробки)	мм/об	(0,001–50)
Робоча подача (нарізування різі)	мм/об	0,01-400
Прискорений рух за осями X і Z	мм/хв.	12000
Швидкість руху поперечки, вісь Q	мм/хв.	287
Частота обертання планшайби:	хв. ⁻¹	2 – 200
1 діапазон	хв. ⁻¹	2 – 50

2 діапазон	хв. ⁻¹	8 - 200
Частота обертання планшайби (вісь С)	хв. ⁻¹	0,01 – 7,4
Потужність двигуна приводу планшайби	кВт	60
Частота обертання ротаційних інструментів	хв. ⁻¹	8 - 3312
Число діапазонів регулювання		3
Потужність двигуна приводу ротаційних інструментів	кВт	20
Максимальна маса заготовки	кг	12000

Відведення стружки з робочого простору верстата здійснюється за допомогою жолобів, які є складовою частиною захисних кожухів, двох бічних вібраційних конвеєрів стружки і торцевого виносного конвеєра стружки 8. З бака торцевого конвеєра охолоджуюча рідина відкачується через фільтрувальну і сепараційну станції в бак охолоджуючої рідини об'ємом 450 л, а звідти за допомогою насоса високого тиску подається до повзуна і інструментів. Охолоджуюча рідина може також подаватися через середину повзуна безпосередньо на інструмент.

Захисні кожухи 2 робочого простору верстата забезпечують безпеку обслуговуючого персоналу під час роботи.

Верстат оснащується системою ЧПК SINUMERIK 840D.

Привід обертання планшайби

Планшайба верстата з встановленою заготовкою може обертатися в режимі швидкості різання для виконання токарних робіт та в режимі обертової осі (вісь С) зі швидкістю кругової подачі для виконання фрезерних та інших робіт з ротаційним інструментом.

Для виконання токарної обробки рух на планшайбу передається від регульованого електродвигуна потужністю 60 кВт пасовою передачею зі шківками 1 і 2 (рис. 15.2) на вал II двоступінчастої коробки швидкостей. З вала II зубчастими колесами 3 і 4 обертання передається на вал III з якого, в залежності від положення зубчастої муфти, колесами 4 і 6, або колесами 5 і 7 передається на вал IV і далі зубчастим колесом 8 на вінець 9, закріплений на планшайбі. Планшайба встановлена на хрестовому роликовому підшипнику з попереднім натягом.

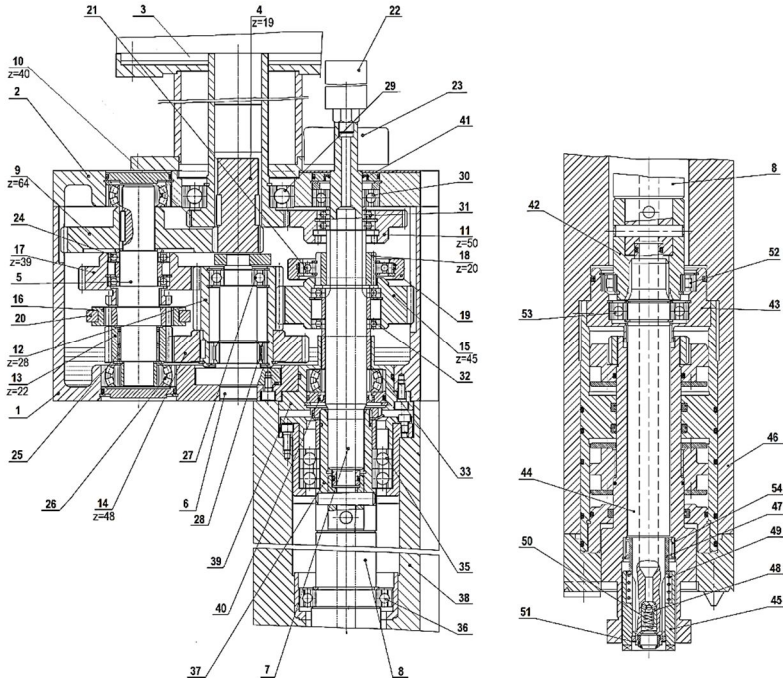


Рисунок 15.4 – Конструкція механізму приводу обертового інструмента

Для отримання середнього діапазону частот обертання муфта 18 пересувається вниз, з'єднуючи зубчасте колесо 15 з валом 7, а муфта 16 пересувається вверх для передачі моменту з вала 5 на зубчасте колесо 17. Нижній діапазон частот обертання одержують перемиканням муфти 16 в нижнє положення, коли вал 5 з'єднується з зубчастим колесом 13. Перемикання муфт здійснюється гідроциліндрами, а їх положення контролюється безконтактними вимикачами.

Вали 7, 8 і 44 приводу виконані порожнистими, через отвори в них подається охолоджуюча рідина до інструментів. На вході до шпинделя обертового інструмента канали подачі рідини ущільнюються кільцем 51.

Інструментальні головки для обертових інструментів використовується для фрезерних, свердильних, розточувальних операцій, розгортання, зенкерування та різенарізування. В шпинделі головки затискаються інструменти з інструментальним конусом ISO 50 (7/24). Закріплення інструментальної головки на торцеву поверхню фланця повзуна відбувається за допомогою Т-подібного паза затискної

головки. На верстаті можуть використовуватися прямі (рис. 15.5) і кутові (рис. 15.6) інструментальні головки. Встановлення і закріплення інструмента в головці, а також його заміна виконуються вручну за межами верстата. Обмін інструментальними головками між магазином і повзуном виконується автоматично за програмою.

Інструментальні головки для обертового інструменту

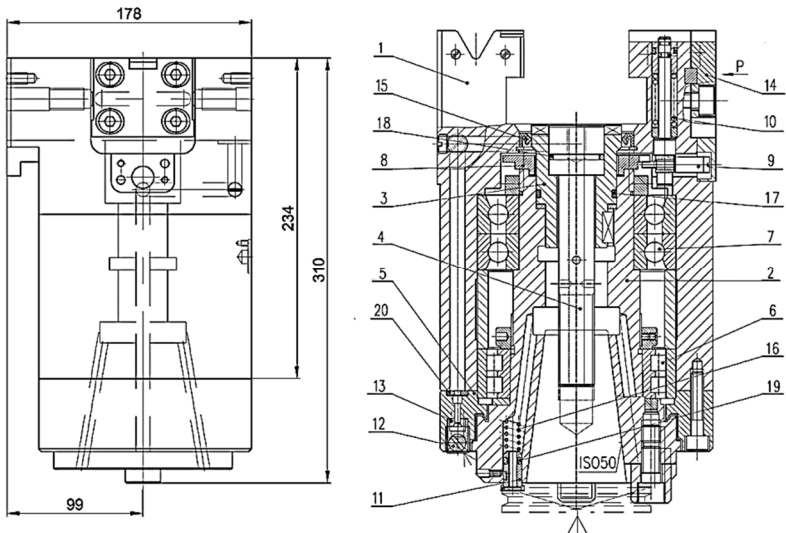


Рисунок 15.5 – Головка для обертового інструмента пряма.

Конструкція шпинделя інструментальної головки передбачає можливість подачі охолодження до інструмента через вісь інструментальної оправки (тип AD DIN69871), через два канали в шпинделі до підпружинених плунжерів 11 і далі через отвори в фланці оправки (тип B DIN69871), та з зовнішнім підведенням через клапани 13 і форсунки 12. В перших двох випадках рідина підводиться з повзуна до отвору в гвинті 4, а в останньому випадку через канали в корпусі інструментальної головки.

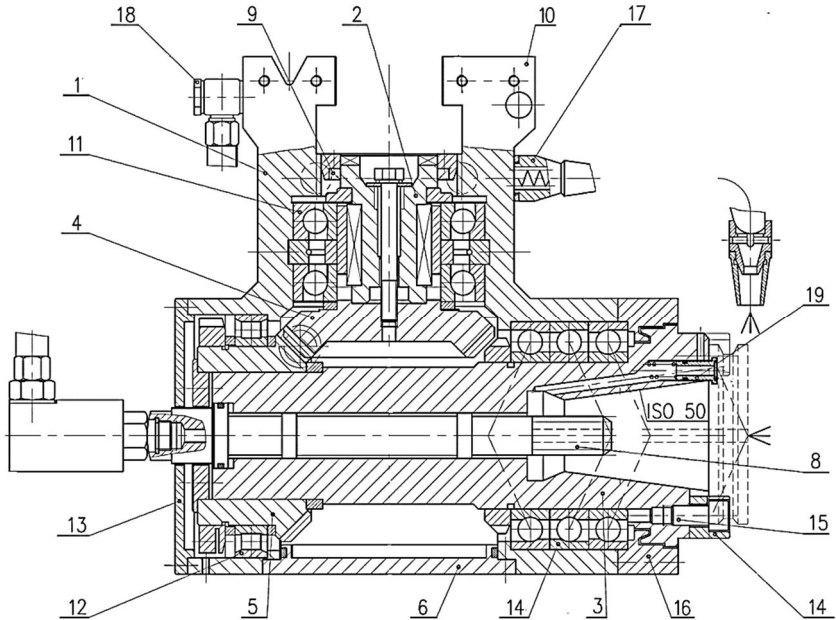


Рисунок 15.6 – Головка для обертового інструмента кутова

Для забезпечення обробки обертовим інструментом поверхонь перпендикулярних площині планшайби на верстаті можуть застосовуватися кутові інструментальні головки (рис. 15.6). Закріплення такої головки на повзуні виконується так само як і прямої інструментальної головки. Рух від вихідного вала повзуна зубчастою муфтою 2 передається через конічні зубчасті колеса 4 і 5 на горизонтальний шпиндель 3. Шпиндель в передній опорі встановлений в три радіально-упорні кулькові підшипники 14, а в задні опорі в однорядний роликовий підшипник 12 з конічним отвором. Захист підшипників передньої опори від попадання охолоджуючої рідини і забруднення забезпечується лабіринтними ущільненнями між фланцем шпинделя і кришкою 16.

Подача охолодження в зону обробки здійснюється так само як і в прямій інструментальній головці.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Обладнання для новітніх технологій [Текст]: навчальний посібник / В.В. Солоха, Л.Й. Іщенко, І.А. Бойко, В.Ю. Коцюба, В.Л. Карнаух. – Запоріжжя: ПАТ «Мотор Січ», 2020. – 210 с.
2. Кузнецов Ю. М. Верстати з ЧПК і верстатні комплекси [Текст] / Ю.М. Кузнецов. — К. — Тернопіль: ООО «ЗМОК», 2001. – 298 с.
3. Stephenson D. A. Metal Cutting Theory and Practice / D. A. Stephenson, J. S. Agapiou. - Third Edition. - CRC Press Taylor & Francis Group, - 2016.- chapter 3.
https://www.researchgate.net/publication/317081872_Metal_Cutting_Theory_And_Practice_3rd_by_D_A_Stephenson
4. Baruffaldi Machine tool components. Two-Speed Gearboxes guide. 2015. – 48 p. (www.baruffaldi.it)
5. Baruffaldi Machine tool components. Radial driven tools turrets type TBMR for tool-holders as per DIN norms 69880. – 24 p. (www.baruffaldi.it).
6. GA SERIES. Ultra Performance CNC Turning Centers. Goodway Machine Corp. 2012. – 28 p. (www.goodwaycnc.com)
7. Hermle C42. Milling at its best. Technical modifications 1/13/C42/2500/EN/ST. – 72 p. (www.hermle.de)
8. HURON KX Large Series. High performance double column machining centres for machining of complex parts. – 8 p. (<http://huron.fr/our-products/kx-100/>).
9. Modular Clamping Technology OTT Spanntechnik Jakob. Каталог. – 102 p. (www.Ott-Jakob.de)
10. Motion Control SINUMERIK 840. Equipment for Machine Tools. Catalog NC 62 2016. Printed in Germany © Siemens AG 2016.- 724 p. (www.siemens.com/automation).
11. Precision Machine Components. NSK Linear Guides, Ball Screws, Monocarriers. CAT. No. E3162c 2013 B-12 Printed in Japan © NSK Ltd. (www.nsk.com)
12. Rexroth IndraDyn T. Synchronous Torque Motors. Project Planning Manual. 5 Edition. 2008. - Printed in Germany © Bosch Rexroth AG.-264p. (www.boschrexroth.com).
13. PUMA 2100/2600/3100 series. High-Performance Turning Center. EX 1007SP Doosan Infracore machine tools. – 72 p. (<http://domss.doosaninfracore.com>).

14. SKF super-precision bearings. Catalogue P1 13383/2 EN. © SKF Group 2016. – 422 p. (www.skf.com).

15. GOODWAY GMT-2000 series. Multi-tasking machine. Goodway Machine Corp. G-GMT-2000-EN-202002. – 28 p. (<https://www.goodwaycnc.com/>)