

## ВСТУП

Сучасне металообробне обладнання – це високо розвинуті машини. За конструкцією і призначенням важко знайти більш різноманітні машини, ніж металорізальні верстати.

Створення оптимальної конструкції сучасного металорізального верстата, можливо тільки у разі автоматизації проектування, оскільки традиційний метод забезпечує лише створення працездатних конструкцій, але не оптимальних. Як відомо, за ручного методу розрахунку і конструювання деталей і конструювання деталей і вузлів верстатів, робиться низка спрощень і не враховуються усі фактори, не розглядаються усі можливі варіанти конструкції. Застосування сучасних обчислювальних машин дає змогу збільшити кількість факторів, які розглядаються і дає можливість досягти оптимальних рішень. Але бажаний ефект досягається внаслідок діалогу конструктора, який володіє достатніми знаннями в області розрахунку і конструювання верстатів, і ЕОМ, оскільки це дасть змогу розглянути значну кількість варіантів вибрати оптимальні розміри і конструкцію.

Під час створення нових верстатів використовуються досягнення верстатобудівної промисловості і наукових досліджень, а також суміжних областей техніки. Наприклад на конструкцію верстата впливає створення нових типів електродвигунів (високомоментних, регульованих), поява нових датчиків положення, вдосконалення електрогідравлічної і оптичної апаратури, створення нових методів керування від спеціалізованих ЕОМ та ін.

Новостворені верстати мають бути суспільно доцільними, технічно і естетично досконалими, економічними тощо. Вдосконалення сучасних верстатів повинно забезпечувати підвищення швидкості робочих і допоміжних рухів. Застосування композиційних матеріалів для інструментів дає змогу вже сьогодні реалізувати швидкості різання до 1500...2000 м/хв, а швидкості установочних рухів до 20...30 м/хв.

У металорізальних верстатах широко використовується гідропривід завдяки суттєвим перевагам над іншими видами приводів: висока швидкодія та гнучкість керування обладнанням, простота одержання прямолінійного руху та висока енергомісткість гідродвигунів; можливість одержання значних зусиль та безступеневе регулювання швидкості виконавчих органів. Гідропривід дає змогу зменшити габарити та масу обладнання, легко здійснювати регульований та переналагоджуваний автоматичний цикл верстатів, здійснювати переміщення виконавчих органів з можливістю

регулювання його параметрів під час руху за високої точності позиціонування. У зв'язку зі зменшенням величин партій виробів, збільшенням гнучкості та скороченням термінів виконання замовлень переосмислюється питання усієї верстатобудівної промисловості, а також створюється нова виробнича стратегія щодо комплексної обробки. Наприклад, токарні багатоцільові верстати оснащуються іншим захватним шпинделем, який розташований напроти головного. Так з'являється можливість завершення обробки деталі з боку відрізання за одночасного початку обробки наступної деталі. Стійкою тенденцією є інтеграція фрезерної, зубонарізної, стругальної, свердлильної та іншої обробки у технологічну токарну комірку. Системи числового програмного керування (ЧПК) такими верстатами дають можливість керувати 5-ма...10-ма координатними осями (а інколи і більше).

Багатоцільові верстати забезпечують високий ступінь точності обробки деталей і продуктивність за постійністю технологічних баз, що дає змогу підвищувати точність взаємного розташування оброблених поверхонь.

## МЕТОДИ УТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ НА МЕТАЛООБРОБНИХ ВЕРСТАТАХ

Тіло будь-якої деталі є замкнутим простором, що обмежений реальними геометричними поверхнями, які утворені в результаті обробки тим чи іншим способом (литтям, штампуванням, різанням тощо). При цьому який би спосіб обробки не був застосований, реальні

поверхні деталі завжди відрізняються від ідеальних геометричних поверхонь, якими ми подумки оперуємо при конструюванні. Поверхні, отримані на металорізальних верстатах різанням, відрізняються від ідеальних формою, розмірами та шорсткістю. Теоретично процес формування реальних поверхонь на верстатах аналогічний процесу утворення ідеальних поверхонь у геометрії, тобто базується на ідеальних геометричних уявленнях.

Просторову форму деталі визначає поєднання різних поверхонь. Для полегшення обробки конструктор прагне використовувати прості геометричні поверхні: плоскі, кругові циліндричні та конічні, кульові, торові, гелікоїдні. Геометрична поверхня є сукупністю послідовних положень слідів однієї виробляючої лінії, яка називається **твірною**, що рухається по іншій лінії виробництва, що називається **напрямною**. Наприклад, для утворення кругової циліндричної поверхні пряму лінію (твірну) переміщують по колу (напрямній).

При обробці поверхонь на металорізальних верстатах твірні і напрямні лінії в більшості випадків відсутні. Вони відтворюються комбінацією рухів заготовки та інструменту, швидкості яких узгоджені між собою. Рухи різання є **формотворчими**. Механічна обробка заготовок деталей машин реалізує чотири методи формоутворення поверхонь.

Утворення поверхонь за **методом копіювання** полягає в тому, що різальна кромка інструменту відповідає формі твірної 1 поверхні оброблюваної деталі (рис. 1.1, а). Напрямна лінія 2 відтворюється обертанням заготовки. Головний рух тут є формотворчим. Рух подачі необхідно для того, щоб отримати геометричну поверхню певного розміру. Метод копіювання широко використовують при обробці фасонних поверхонь деталей на різних металорізальних верстатах.

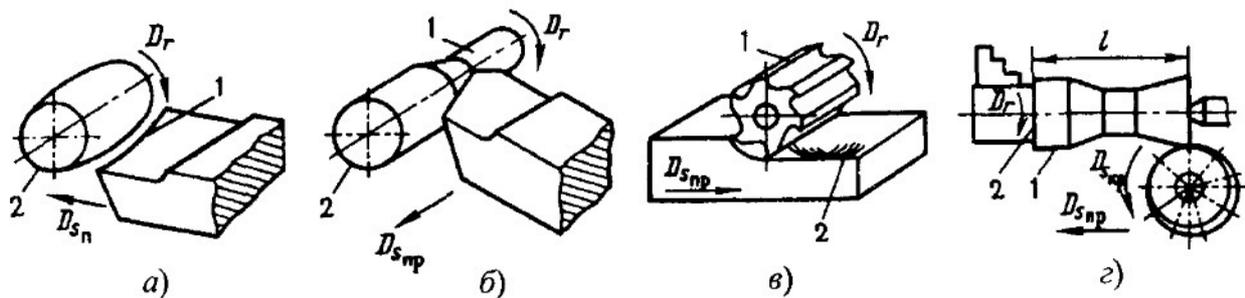


Рис. 1.1. Методи формоутворення поверхонь

Утворення поверхонь за **методом слідів** полягає в тому, що твірна лінія 1 є траєкторією руху точки вершини різальної кромки інструменту, а напрямна лінія 2 – траєкторією руху точки заготовки (рис. 1.1, б). Рухи різання є формотворчими.

Утворення поверхонь за **методом дотику** полягає в тому, що твірною лінією 1 служить різальна кромка інструменту (рис. 1.1, в), а напрямною лінією 2 – дотична до ряду геометричних допоміжних ліній – траєкторій точок різальної кромки інструменту. Тут формотворчим є тільки рух подачі.

Утворення поверхонь за **методом обкатки (обгинання)** полягає в тому, що напрямна лінія 2 відтворюється обертанням заготовки (рис. 1.1, з). Твірна лінія 1 виходить як крива, що огинає, до ряду послідовних положень різальної кромки інструменту щодо заготовки завдяки узгодженню двох рухів подачі. Швидкості рухів узгоджують так, що за час проходження круглим різцем відстані він робить один повний оборот щодо своєї осі обертання.

## РУХИ В МЕТАЛООБРОБНИХ ВЕРСТАТАХ

**Обробка металів різанням** – це процес зрізання різальним інструментом з поверхні заготовки шару металу у вигляді стружки для отримання необхідних геометричної форми, точності розмірів, взаєморозташування та шорсткості поверхонь деталі. Щоб зрізати із заго-

товки шар металу, необхідно різальному інструменту та заготовці надати відносні рухи. Інструмент та заготовку встановлюють та закріплюють у робочих органах верстатів, що забезпечують ці відносні рухи: у шпинделі, на столі, у револьверній головці.

Всі рухи у верстатах, у тому числі й формоутворюючі, називаються **виконавчими**. За цільовою ознакою їх можна поділити на рухи: формоутворення (основні рухи або рухи різання), встановлювальні, ділення, керування, допоміжні тощо.

**Величини, що характеризують основні рухи.** Рухи, які забезпечують зрізання із заготовки шару металу або викликають зміни стану обробленої поверхні заготовки, називають **рухами різання**. До них відносять головний рух різання та рух подачі.

За **головний рух різання  $D_r$** , приймають рух, що визначає швидкість деформування матеріалу і відділення стружки, а за **рух подачі  $D_s$**  – рух, що забезпечує врізання різальної кромки інструменту в матеріал заготовки. Ці рухи можуть бути безперервними або переривчастими, а за своїм характером – обертальними, поступальними або зворотно-поступальними. Швидкість головного руху різання позначають  $V$ , швидкість руху подачі –  $S$ .

У залежності від напрямку руху по відношенню до деталі подачі поділяють на поздовжню  $S$  (рис. 1.2, а), поперечну  $S_n$  (рис. 1.2, б), радіальну  $S_p$  (рис. 1.2, в), кругову  $S_k$  (рис. 1.2, г). Крім того, у свердлильних верстатах подачі можуть бути осьовими (рис. 1.2, ж), а у зубофрезерних верстатах – вертикальними  $S_e$  (рис. 1.2, д).

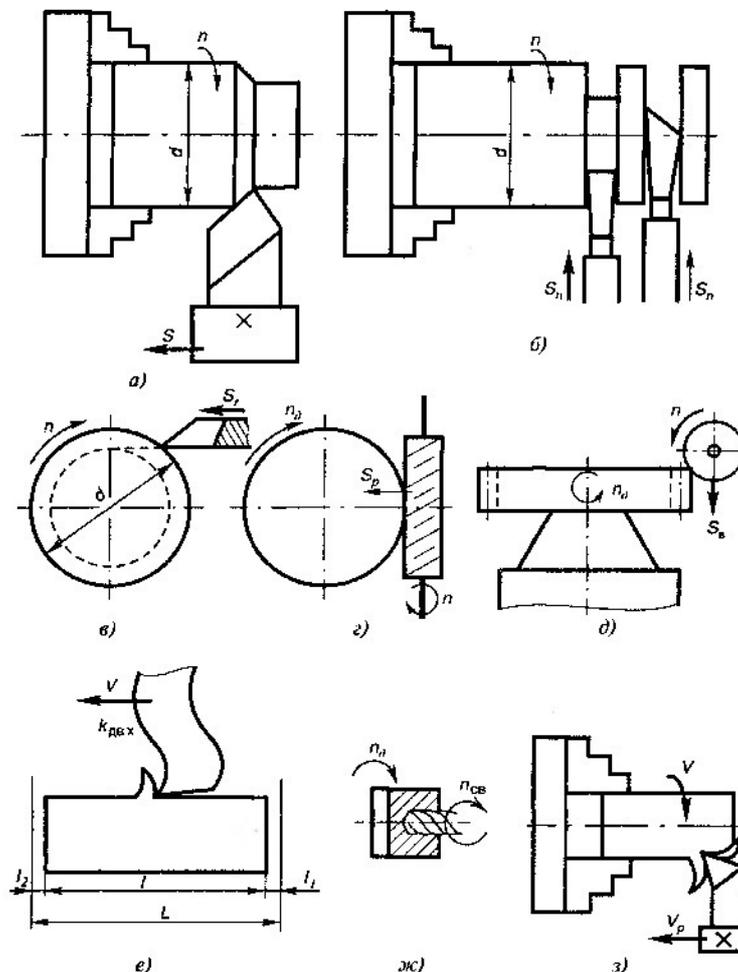


Рис. 1.2. Види основних рухів у металооброблювальних верстатах

**Установлювальні рухи** необхідні для того, щоб привести інструмент і заготовку в положення, яке забезпечило б зняття припуску і отримання заданого розміру. Наприклад, поперечний рух різця для встановлення його у положення, що дає можливість отримати циліндричну поверхню потрібного діаметру  $D$ .

Установлювальний рух, при якому різання не відбувається, називають **налагоджувальним рухом**. Прикладом налагоджувального руху може служити рух столу координатно-свердлувального верстата із заготовкою при переміщенні його після обробки одного отвору в нове положення (на нову координату для свердлування наступних отворів в цій заготовці).

**Ділильний рух** – це рух при якому здійснюється поворот заготовки 1 на необхідний кут (рис. 1.3, а) або лінійне переміщення заготовки щодо інструменту 2 на певну величину, наприклад, на крок  $P$  (рис. 1.3, б).

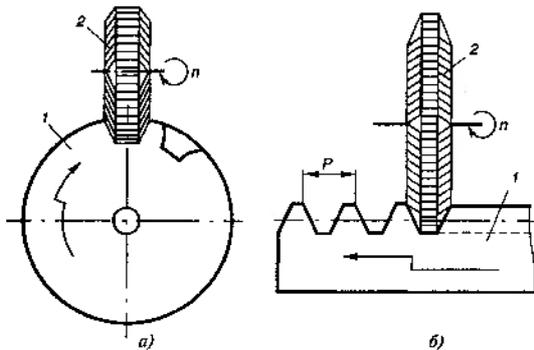


Рис. 1.3. Кругове та лінійне ділення

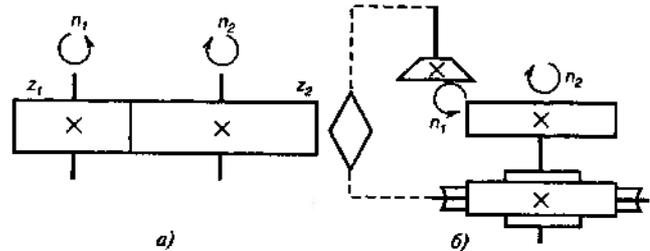


Рис. 1.4. Обкат двох зубчастих коліс (а), інструменту і заготовки (б)

**Рух обкату** – це узгоджений рух між інструментом і заготовкою, що має при формоутворенні необхідне послідовне розташування, наприклад, відповідне зачепленню двох зубчастих коліс (рис. 1.4, а). Цей рух використовується переважно при нарізуванні зубчастих коліс методом обкату на зубофрезерних або зубодовбальних верстатах.

Крім робочих рухів для обробки деталей на верстатах необхідний **допоміжний рух**, який у процесі різання участь не бере. До допоміжних відносяться рухи, пов'язані з установкою та закріпленням заготовки, підведенням та відведенням інструменту, активний контроль, включення та виключення приводів. Допоміжні рухи здійснюються або вручну, або від спеціальних приводів. У верстатобудуванні обов'язковою умовою скорочення ручної праці є автоматизація допоміжних рухів.

## КІНЕМАТИЧНІ ЗВ'ЯЗКИ У ВЕРСТАТАХ

Кожен виконавчий рух у верстатах здійснюється кінематичною групою, що є сукупністю джерела руху, виконавчого органу (органів), кінематичних зв'язків та органів налаштувань, що забезпечують необхідні параметри руху. Назва кінематичної групи аналогічна назві виконавчого руху. Наприклад, група, що створює формоутворювальний рух, називається формоутворювальною групою та ін. Структура кінематичної групи може бути різною і залежить від характеру здійснюваного руху, числа виконавчих органів, потреби регулювання показників руху.

Під **виконавчими органами** розуміють рухливі кінцеві ланки кінематичної групи, які безпосередньо беруть участь в утворенні траєкторії виконавчого руху. Виконавчі органи, що здійснюють абсолютний або відносний рух заготовки або ріжучого інструменту у процесі формоутворення, називають **робочими органами**. Наприклад, робочими органами є такі ланки верстата, як стіл, шпиндель, супорт, повзун тощо.

У більшості випадків виконавчі органи здійснюють обертальний або прямолінійний рух, тобто є рухомими ланками обертальної або поступальної виконавчої кінематичної пари (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Виконавчі кінематичні пари: *a* – обертальна, *б* – поступальна

Залежно від числа виконавчих органів кінематичні групи поділяються на *прості* та *складні*. Прості групи мають один виконавчий орган, а складні – два і більше виконавчих органів. Будь-яка кінематична група включає два якісно різних види кінематичного зв'язку – внутрішній і зовнішній.

Під **кінематичним зв'язком** у верстатах розуміють такий зв'язок між ланками або виконавчими органами верстата, що накладає такі умови обмеження, які не дозволяють займати довільні положення у просторі відносно один одного та мати довільні швидкості.

Під **внутрішнім кінематичним зв'язком** групи розуміють сукупність кінематичних ланок та його з'єднань, які забезпечують якісну характеристику руху, тобто його траєкторію. Внутрішній кінематичний зв'язок групи в верстатах реалізується різними шляхами в залежності від характеру виконавчого руху, числа виконавчих органів у групі, необхідної точності утвореної лінії (траєкторії руху) та інших факторів. Наприклад, у простих кінематичних групах вона здійснюється з'єднанням двох дотичних ланок виконавчої групи, однією з яких є сам виконавчий орган *I* групи, тобто шпиндель, стіл (рис. 1.5, *a*), повзун (рис. 1.5, *б*) та ін.

В складних кінематичних групах з двома і більш виконавчими органами внутрішній кінематичний зв'язок реалізується у вигляді кінематичного ланцюга (ланцюгів), що зв'язує рухомі виконавчі органи групи та забезпечує строгу функціональну узгодженість їх переміщень або швидкостей. Ці ланцюги називають внутрішніми або функціональними. Причому кінематичне з'єднання виконавчих органів складної групи може бути як механічним, тобто ланцюгом механічних передач, так і немеханічним, наприклад, у вигляді електричного кола, як у верстатах з ЧПУ.

Під **зовнішнім кінематичним зв'язком** групи розуміють сукупність кінематичних ланок та його з'єднань, які забезпечують кількісні характеристики руху, тобто його швидкість, напрям, шлях і вихідну точку. Зазвичай зовнішній кінематичний зв'язок складної групи реалізується у вигляді кінематичного ланцюга 3–4 між джерелом руху *M* і однією з ланок внутрішнього зв'язку групи. Для простої кінематичної групи зовнішній кінематичний зв'язок є ланцюг 1–2 між джерелом руху *M* і виконавчим органом групи *I* (рис. 1.6, *б*).

Зовнішній кінематичний зв'язок призначений передачі енергії від джерела руху *M* у внутрішній зв'язок групи.

На рис. 1.6, *в* показана структурна схема кінематичної групи, що забезпечує виконавчий рух ( $V_1V_2P_3$ ) і має три виконавчі органи. Задля більшої функціональної узгодженості переміщень чи швидкостей виконавчих органів *I*, *II*, *III* досить двох функціональних кінематичних ланцюгів, наприклад, 1–5–2 і 2–5–3 або іншого їх поєднання. Зовнішній кінематичний зв'язок групи реалізується кінематичним ланцюгом 4–5.

Зовнішній кінематичний зв'язок здійснюється декількома ланцюгами, і за допомогою органів налагодження і приводиться кінематичне налагоджування на задану швидкість виконавчого руху при незмінній швидкості електродвигуна. Органами налагоджування можуть бути змінні зубчасті колеса (механізм гітари), змінні шківки, коробки швидкостей, подачі. В структурних кінематичних схемах верстатів проміжні ланцюги будемо умовно зображати штриховою лінією, а органи налагоджування – ромбом.

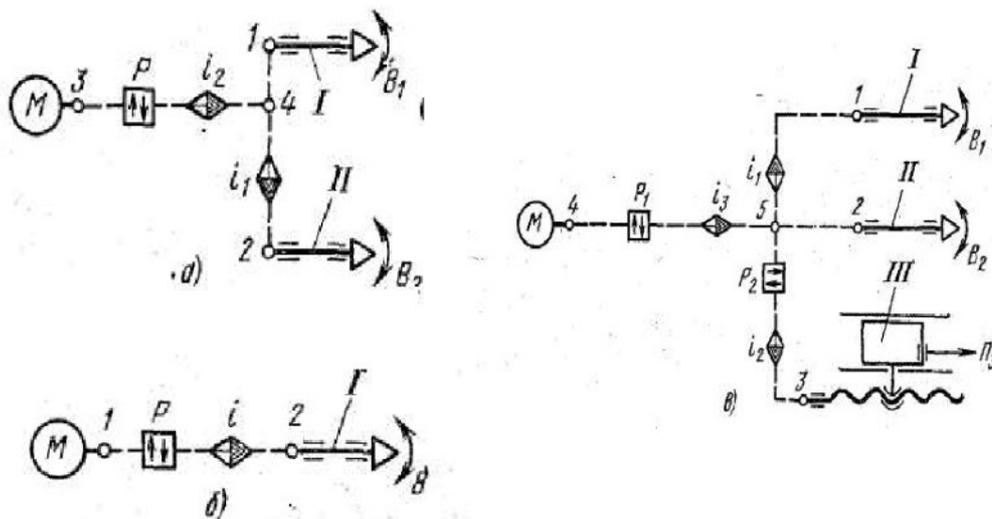
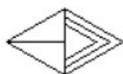


Рис. 1.6. Структурні схеми кінематичних груп: а – складної з двома виконавчими органами; б – простої; в – складної з трьома виконавчими органами

Для зміни та регулювання параметрів руху у верстатах використовують спеціальні пристрої, які називаються **органами налаштування**. Органи налаштування таких параметрів руху, як траєкторія, швидкість, а іноді - шлях, на структурних схемах позначають знаком



з літерою  $i$ , а орган налаштування напрямку руху - знаком -



Заштрихована частина знака  вказує на фактичний напрямок передачі руху

через орган налаштування. Органи налаштування руху на вихідну точку і здебільшого на шлях у структурних схемах не показують, оскільки регулювання цих параметрів зазвичай здійснюється вручну.

Органи налаштування, що регулюють кількісні характеристики руху, тобто змінюють швидкість, напрямок, шлях і вихідну точку, завжди мають у своєму розпорядженні зовнішній зв'язок кінематичної групи (у ланцюзі між джерелом руху і внутрішнім кінематичним зв'язком групи).

Органи налаштування, що регулюють якісну характеристику руху, тобто його траєкторію, мають у своєму розпорядженні тільки у внутрішньому кінематичному зв'язку групи. Причому в простих кінематичних групах, які мають один виконавчий орган і забезпечують обертальний чи прямолінійний рух, потреба в органі налаштування на траєкторію відсутня. Це пов'язано з тим, що траєкторія руху у таких групах незмінна і забезпечується характером з'єднання ланок виконавчої кінематичної пари, одним з яких є сам виконавчий орган.

Складні кінематичні групи мають органи налаштування на траєкторію. Таких органів може бути кілька, але не менше від числа внутрішніх кінематичних ланцюгів у групі. Наприклад, якщо група має два внутрішні кінематичні ланцюги, то органів налаштування на траєкторію має бути, як мінімум, два, тобто по органу налаштування на кожен внутрішній кінематичний ланцюг.

## КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТАЛООБРОБЛЮВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Металорізальні верстати класифікують як по окремих ознаках, так і по комплексу ознак. У якості таких ознак приймають технологічний метод обробки, призначення, ступінь автоматизації, число головних робочих органів, особливості конструкції, точність виготовлення, масу та ін.

За **технологічним методом обробки** класифікацію здійснюють у залежності від виду

ріжучого інструменту, характеру оброблюваних поверхонь і схеми обробки. Відповідно до цього усі верстати поділяють на токарні, свердлильні, шліфувальні, полірувальні і доводочні, зубообробні, фрезерні, стругальні, розрізні, протяжні, різьбообробні.

Класифікація *за призначенням* характеризує ступінь універсальності верстату. Розрізняють верстати універсальні, широкопрофільного застосування, спеціалізовані і спеціальні. На універсальних верстатах виконують різноманітні види робіт, використовуючи заготовки багатьох найменувань (токарно-гвинторізні, горизонтально-фрезерні, консольні та ін.). Верстати широкого застосування призначені для обробки визначених видів заготовок багатьох найменувань (багаторізцові, токарно-відрізні верстати). Спеціалізовані верстати служать для обробки заготовок одного найменування, але різних розмірів (верстати для обробки заготовок колінчатих валів). На спеціальних верстатах виконується обробка визначеного виду однієї визначеної заготовки.

*За ступенем автоматизації* розрізняють верстати з ручним управлінням, напівавтомати, автомати і верстати з програмним управлінням.

*За кількістю головних робочих органів* верстати поділяють на одношпindelьні, багатшпindelьні, односупортні, багатсупортні.

Класифікація *за конструктивними ознаками* виділяє верстати з істотними конструктивними особливостями (наприклад, вертикальні і горизонтальні токарні напівавтомати).

У залежності від *ступеню точності* встановлено п'ять класів верстатів: Н – нормальної точності, П – підвищеної, В – високої точності, А – особливо високої точності, О – особливо точні верстати.

Класифікація *за комплексом ознак* приведена в таблиці 1. Вона побудована у такий спосіб: усі металорізальні верстати розбиті на десять груп, кожна група – на десять типів, а кожен тип – на десять типорозмірів. У групу об'єднані верстати по спільності технологічного методу обробки чи близькі по призначенню (наприклад, свердлильні і розточувальні). Типи верстатів характеризують такі ознаки, як призначення, ступінь універсальності, число головних робочих органів, конструктивні особливості. У середині типу верстати розрізняють по технічних характеристиках. Резервні групи 0 і 4 призначені для верстатів, що працюють по нових технологічних методах.

Відповідно до цієї класифікації кожному верстату присвоюють визначений шифр. Перша цифра шифру визначає групу верстата, друга – тип, третя (іноді третя і четверта) – умовний розмір верстата. Буква на другому чи третім місці дозволяє відрізнити верстати одного типорозміру, але з різними технічними характеристиками. Буква наприкінці шифру означає модифікацію верстата однієї базової моделі. Наприклад, шифром 2Н135 позначають вертикально – свердлильний верстат (група 2, тип 1), модернізований (Н), з найбільшим умовним діаметром свердління 35 мм (35).

Шифр верстатів із програмним управлінням містить букву Ф і цифру після неї. У залежності від характеру руху виконавчих органів відрізняють наступні різновиди верстатів: з числовим позиційним програмним управлінням (індекс Ф2); з безперервним програмним управлінням (індекс Ф3); багатоцільові верстати з числовим позиційним програмним управлінням (індекс Ф4); багатоцільові верстати з числовим програмним управлінням (індекс Ф5).

При наявності пристрою цифрової індексації з преднабором у шифрі верстата вказують індекс Ф1.

Таблиця 1. Класифікація по комплексу ознак

Верстати	Група	Т и п и			
		0	1	2	3
токарні	1	<b>АВТОМАТИ ТА НАПІВАВТОМАТИ</b>			токарно-револьверні
		спеціалізовані	одношпиндельні	багатошпиндельні	
свердлильні та розточні	2	-	настільно- та вертикально-свердлильні	Напівавтомати	
				одношпиндельні	багатошпиндельні
шліфувальні, полірувальні, доводочні, заточні	3	-	круглошліфувальні, безцентровошліфувальні	внутрішньошліфувальні, координатношліфувальні	обдирношліфувальні
електрофізичні та електрохімічні	4	-	-	світлопроменеві	-
зубо- й різьбо-обробні	5	різьбо-нарізні	зубодовбіжні для циліндричних коліс	зуборізні для конічних коліс	зубофрезерні для циліндричних коліс і шліцьових валів
фрезерні	6	барабанно-фрезерні	вертикально-фрезерні кон-сольні	фрезерні безперервної дії	подовжні одностійкові
стругальні, довбальні, протяжні	7	-	подовжні		поперечно-стругальні
			одностійкові	двостійкові	
розрізні	8	-	відрізні, які працюють		
			різцем	шліфувальним кругом	гладким або насічним диском
різні	9	-	трубо- та муфтообробні	пилонасічні	правильно- та безцентровообдирочні

в е р с т а т і в					
4	5	6	7	8	9
токарно-револьверні напівавтомати	карусельні	токарні та лоботокарні	багаторізцеві та копіювальні	спеціалізовані	інші токарні
координатно-розточні	радіально- та координатно-свердлильні	розточні	алмазно-розточні	горизонтально-свердлувальні	інші свердлувальні
спеціалізовані шліфувальні	подовжньо-шліфувальні	заточні	плоскошліфувальні	притирочні, полірувальні, хонінгувальні, доводочні	інші верстати, які роблять абраз. інструментом
електрохімічні	-	-	електроерозійні, ультразвукові, прошивочні	анодно-механічні відрізні	-
для нарізання черв'ячних коліс	для обробки торців зубів коліс	різьбофрезерні	зубодоводочні, перевірочні та обкатні	зубо- і різьбошліфувальні	інші зубо- і різьбообробні
копіювальні та гравірувальні	вертикально-фрезерні без-консольні	подовжні двостійкові	консольно-фрезерні широкоуніверсальні	горизонтально-фрезерні консольні	інші фрезерні
довбальні	протяжні горизонтальні		протяжні вертикальні	-	інші стругальні
правильно-відрізні	стрічково-пилісні	відрізні з дисковою пилою	отрезные ножовочные	-	-
-	для випробування інструменту	ділильні машини	балансувальні	-	-

**КІНЕМАТИЧНІ СХЕМИ ВЕРСТАТІВ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ**

Кінематична схема верстата являє собою умовне позначення окремих його елементів (ланок) і механізмів, що беруть участь у передачі рухів виконавчим органам.

У загальному випадку зв'язки у верстаті складаються з різноманітних видів передач, у тому числі механічних, розташованих у певній послідовності.

**Передачею** називають механізм, що передає рух від одного елемента до іншого (з валу на вал) або перетворює один рух в інше (обертальний у поступальний). У передачі елемент, що передає рух, називають ведучим, а елемент, що отримує рух, - веденим.

У коробках швидкостей та подач верстатів використовують передачі: ремінні, ланцюгові, зубчасті, черв'якові, рейкові, гвинтові. На кінематичних схемах верстатів їх позначають умовними символами. Умовні позначення елементів кінематичних схем наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Умовні позначення елементів кінематичних схем

Найменування	Позначення	Найменування	Позначення
1	2	3	4
Вал			
З'єднання двох валів:			
глухе			
шарнірне		Передача ланцюгом	
телескопічне			
плавальна муфта			
зубчаста муфта		Передачі зубчасті:	
З'єднання деталей з валом:		циліндричними колесами	
вільне для обертання			
рухливе без обертання			
за допомогою витяжної шпонки		конічними колесами	
глухе			
Підшипники ковзання:		гвинтові	

Лекція 1

радіальний			
радіально-упорний однобічний		Передача черв'ячна	
радіально-упорний двобічний			
Підшипники кочення:			
радіальний		Передача зубчаста рейкова	
радіально-упорний однобічний			
радіально-упорний двобічний			
Пасова передача:		Передача ходовим гвинтом з гайкою:	
плоским пасом		пероззімшою	
		рознімною	
плоским пасом перехресна		Муфти:	
		кулачкова однобічна	
клиновим пасом		кулачкова двобічна	
конусна		Кінці шпинделів верстатів:	
дискова одностороння		центрових	
		патрошних	
дискова двостороння		пруткових	
		свердлувальних	

обгінна одностороння		розточувальних з планшайбою	
		фрезерних	
		шлифувальних	
Гальма:		Електродвигуни:	
конусне		на лапках	
колодочкове		фланцеві	
стрічкове		вбудовані	
дискове			

Кожна передача характеризується передаточним відношенням.

**Передаточним відношенням** називають число, що показує, у скільки разів частота обертання веденого елемента менше або більше частоти обертання ведучого елемента:

$$i = \frac{n_2}{n_1},$$

де  $n_2$  - частота обертання веденого вала;  $n_1$  - частота обертання ведучого вала.

**Пасова передача** (рис. 1.7, а) здійснюється плоскими 3, клиновими або коловими пасами через шківів 1, 2, що закріплені на веденому та ведучому валах. Передаточне відношення передачі:

$$i = \frac{n_2}{n_1} \cdot \eta_p = \frac{d_1}{d_2} \cdot \eta_p,$$

де  $d_1$  та  $d_2$  - діаметрів шківів ведучого та веденому валів;  $\eta_p$  - коефіцієнт прослизання пасу ( $\eta_p = 0,96 \dots 0,99$ ).

**Ланцюгова передача** (рис. 1.7, б) здійснюється роликівим 1 або безшумним ланцюгом, що з'єднує ведену 2 та ведучу 3 зірочки. Передаточне відношення передачі:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2},$$

де  $z_1$  та  $z_2$  - числа зубів ведучої та веденої зірочок.

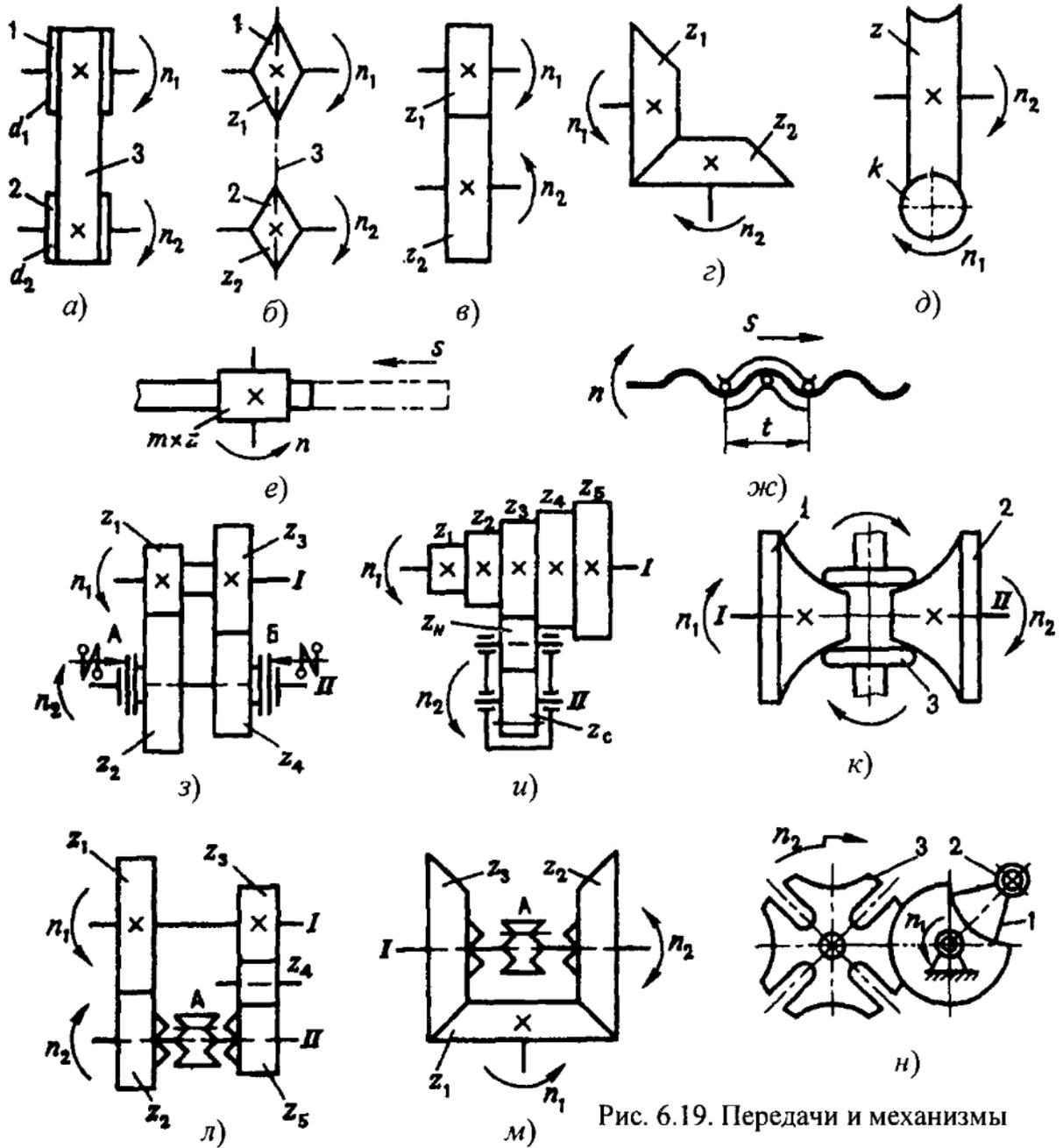


Рис. 6.19. Передачі та механізми

Рис. 1.7. Передачі та механізми

**Зубчаста передача** (рис. 1.7, в, г) складається з циліндричних (прямозубих або косо-зубих) або конічних зубчастих коліс. Передаточне відношення передачі:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2},$$

де  $z_1$  та  $z_2$  - числа зубів ведучого та веденого зубчастих коліс.

**Черв'ячна передача** (рис. 1.7, д) складається з ведучого черв'яка (гвинта) і веденого зубчастого черв'ячного колеса і призначена для різкого зниження частоти обертання ведено-

го валу. Якщо витки черв'яка мають  $k$  заходів, а черв'ячне колесо має  $z$  зубів, то передач тоне відношення передачі:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{k}{z}$$

**Рейкова передача** (рис. 1.7, *е*) перетворює обертальний рух реечного зубчастого колеса або черв'яка в поступальний рух зубчастої рейки. Якщо рейкове колесо має  $z$  зубів, а модуль зубів рейки дорівнює  $m$ , мм, то за  $n$  обертів рейкового колеса рейка переміщується на величину

$$s = n \cdot \pi \cdot m \cdot z$$

**Гвинтова передача** (рис. 1.7, *ж*) складається з гвинта і гайки та служить для перетворення обертального руху гвинта у поступальний рух гайки. Якщо крок різьби гвинта дорівнює  $t$ , мм, число заходів різьби  $k$ , то за  $n$  обертів ходового гвинта гайка переміститься у осьовому напрямі на величину  $s$ , мм:

$$s = n \cdot t \cdot k$$

Для ступінчастої зміни швидкості руху використовують дво-, три- або чотиришвидкісні асинхронні електродвигуни або різні механізми на основі зубчастих передач. Рух з валу *I* (рис. 1.7, *з*), який обертається з постійною частотою, передається на вал *II* двома парами зубчастих коліс  $z_1/z_2$  та  $z_3/z_4$ . Вмикають одну з передач за допомогою електромагнітних фрикційних однібічних муфт *A* і *B*. Передатні відношення передач різні тому вал *II* має дві частоти обертання. Такі механізми використовують у верстатах з програмним керуванням.

«Конус» зубчастих коліс з накидним зубчастим колесом (рис. 1.7, *и*) використовують в універсальних верстатах. Зубчасті колеса  $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5$  жорстко закріплені на валу *I*. Рух на вал *II* передається зубчастим колесом  $z_n$ , що вільно розташоване на проміжному валу, і зубчастим колесом  $z_c$ , яке рухається на валу *II* на шпонці. Механізм забезпечує п'ять передач з різними передавальними відношеннями:  $z_1/z_c, z_2/z_c, z_3/z_c, z_4/z_c, z_5/z_c$ . Вал *II* має п'ять частот обертання.

Для безступінчастої зміни частоти обертання шпинделів верстатів застосовують **регульовані електродвигуни** або **фрикційні варіатори**. Для безступінчастого регулювання частоти обертання у верстатах з ЧПК застосовують електродвигуни постійного струму з тиристорною системою керування. Діапазон регулювання їх знаходиться у межах 2,5...6. Тому у верстатах з ЧПК одночасно з регульованим електродвигуном використовують дво-... чотиришвидкісні механічні коробки передач, що значно розширює діапазон регулювання.

В універсальних верстатах для безступінчастого регулювання частоти обертання шпинделя застосовують **фрикційні варіатори**. У варіаторі (рис. 1.7, *к*) шків *1* і *2*, що мають криволінійну твірну, закріплені відповідно на ведучому *I* і веденому *II* валах. Вісі роликів *3*, що притиснуті до поверхонь шківів, встановлюють під різними кутами до осі валів. Цим забезпечують плавну зміну частоти обертання веденого валу.

**Реверсування** – зміну напрямку обертання всього приводу – виконують переключенням фаз асинхронного електродвигуна або полярності електродвигуна постійного струму. Реверсування гідравлічних механізмів здійснюється гідро розподільвачами. В механізмах із зубчастими колесами (рис. 1.7, *л, м*) для реверсування перемикають кулачкову муфту *A* вправо або вліво.

Для отримання переривчастого руху у багатошпиндельних верстатах-автоматах використовують «мальтійський хрест» (рис. 1.7, *н*). Безперервний обертальний рух водила *1* закріпленого на ведучому валу, через палець *2* перетворюється у переривчастий обертальний рух мальтійського хреста *3*. Поворот здійснюється доти, поки палець не вийде із зачеплення з пазом мальтійського хреста. Якщо мальтійський хрест має  $z$  пазів, то передавальне відношення механізму  $i = 1/z$ .

Розглянемо спрощену кінематичну схему патронно-центрального токарного верстату з ЧПК мод. 16K20Ф3С32 (рис. 1.8).

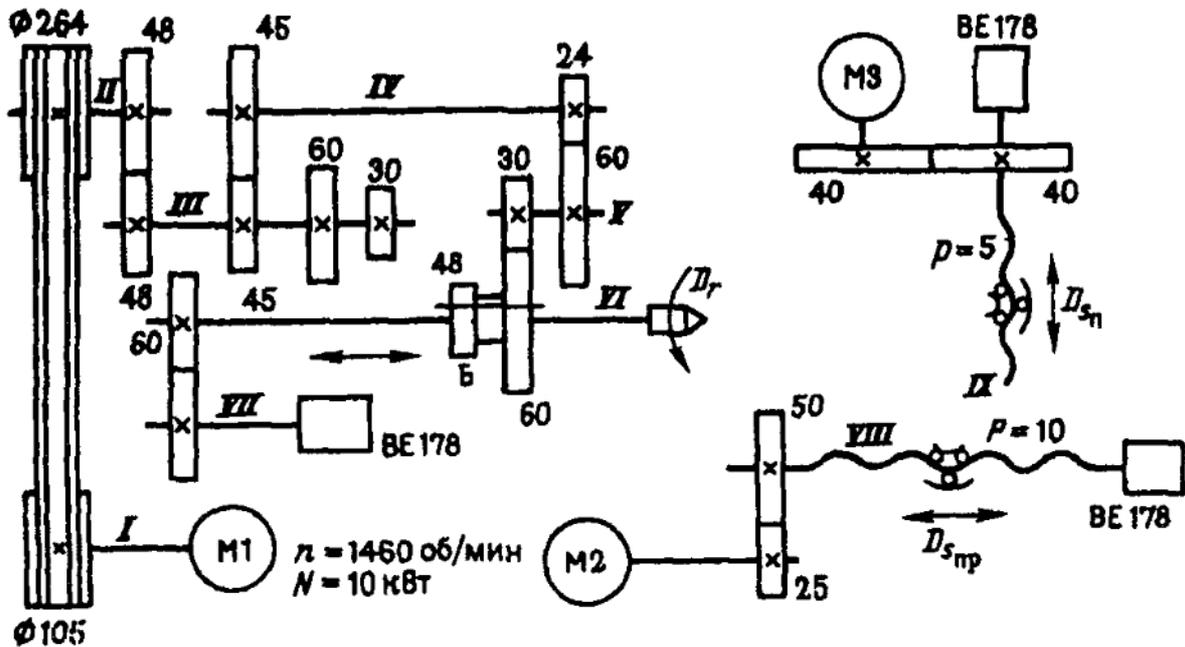


Рис. 1.8. Кінематична схема патронно-центрального токарного верстату з ЧПК мод. 16K20ФЗС32

**Головний рух.** Обертання шпинделю здійснюється від високомоментного електродвигуна постійного струму  $M1$  ( $N = 10\text{кВт}$ ,  $n = 1460\text{ хв.}^{-1}$ ). В шпиндельній бабці переключенням зубчастого блоку  $B$  вручну можна отримати три безступінчасті діапазони частот обертання шпинделю;  $12,5 \dots 200$ ;  $50 \dots 800$ ;  $125 \dots 800\text{ хв.}^{-1}$ . Рух з валу  $I$  на вал  $VI$  (шпиндель) передається трьома можливими варіантами:

$$1460 \cdot \frac{105}{264} \cdot 0,95 \cdot \frac{48}{48} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{24}{60} \cdot \frac{30}{60};$$

$$1460 \cdot \frac{105}{264} \cdot 0,95 \cdot \frac{48}{48} \cdot \frac{30}{60};$$

$$1460 \cdot \frac{105}{264} \cdot 0,95 \cdot \frac{48}{48} \cdot \frac{60}{48}.$$

Частоти обертання шпинделя в одному діапазоні частково перекриваються частотою обертання шпинделя в іншому діапазоні.

**Рух подачі.** Приводами рухів поздовжньої та поперечної подач служать високомоментні електродвигуни постійного струму: для руху поздовжньої подачі  $M2$ , для руху поперечної  $M3$ . Електродвигуни працюють у поєднанні з датчиками  $BE178$ . Регулювання швидкостей подач – безступінчасте. Переміщення супорта за один імпульс: поздовжнього  $0,005\text{ мм}$ ; поперечного  $0,002\text{ мм}$ . Як приводи супортів, що перетворюють обертальний рух у поступальний, використані безззорні кульково-гвинтові пари з кроком різьби гвинтів: поздовжнього  $10\text{ мм}$ , поперечного  $5\text{ мм}$ .

При нарізанні різьб необхідно строго узгоджувати частоту обертання шпинделя і швидкість переміщення поздовжнього супорта виходячи з умови: за один оберт шпинделя переміщення поздовжнього супорта (різця) повинно дорівнювати кроку різьби, що нарізується. Для узгодження рухів у верстаті використаний датчик  $BE178$  із приводом від шпинделя через зубчасту пару  $60/60$ .

Крім зазначених кінематичних ланцюгів верстат має привід автоматичного закріплення і відкріплення оброблюваної заготовки; привід автоматичного повороту шестипозиційно-

## *Лекція 1*

---

го дискового різцетримача, привід подачі мастильно-охолоджувальної рідини, привід системи змащування.

Верстат може працювати в парі з промисловим роботом, що забезпечує автоматичне встановлення заготовок в патроні верстата і зняття з верстата оброблених деталей. Поєднання верстата, робота і тактового столу для переміщення заготовок і деталей утворює гнучкий виробничий модуль.