

## Лекція 7

### Основи кінематичного налагодження технологічного обладнання на прикладі металорізальних верстатів

#### 7. 1. Поняття кінематичної групи

Кожен виконавчий рух в верстатах здійснюється *кінематичної групою*, що являє собою сукупність:

- джерела руху;
- виконавчого органу;
- кінематичних зв'язків;
- органів налаштувань (налагоджень).

Вказана сукупність забезпечує необхідні параметри руху.

Назва кінематичної групи аналогічна назві створюваного нею виконавчого руху. Наприклад, групу, яка створює формотворний (формоутворюючий) рух, називають формотворною (формоутворюючою) групою і т.п.

*Структура* кінематичної групи може бути різноманітною і залежить від:

- характеру здійснюваного руху;
- числа виконавчих органів;
- потреби регулювання параметрів руху.

Під *виконавчими органами* розуміють рухомі кінцеві ланки кінематичної групи, які безпосередньо беруть участь в утворенні траєкторії виконавчого руху.

Виконавчі органи, які здійснюють абсолютний або відносний рух заготовки або різального інструменту в процесі формоутворення, називають *робочими*. Наприклад, робочими органами є такі ланки МРВ:

- стіл;
- шпиндель;
- супорт;
- повзун і т.п.

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

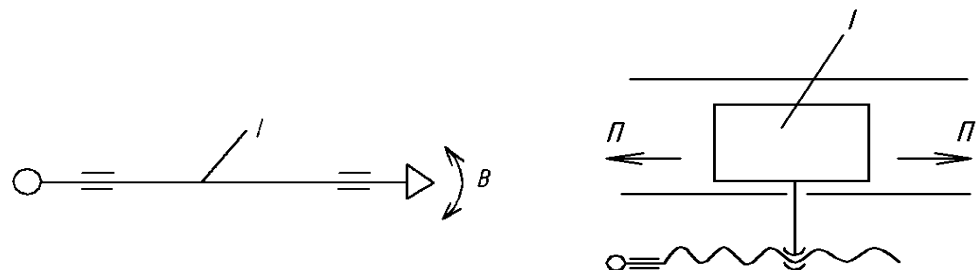


Рис. 7.1. До поняття кінематичної групи:  
а – обертальна; б - поступальна

Залежно від числа виконавчих органів кінематичні групи діляться на прості і складні.

*Прості* групи мають один виконавчий орган, а *складні* - два і більше виконавчих органів.

Будь-яка кінематична група включає в себе два якісно різних види кінематичного зв'язку - внутрішній і зовнішній.

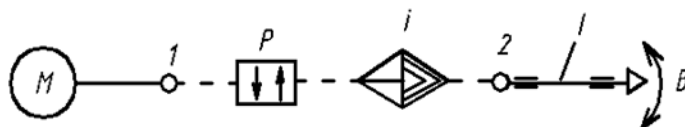
*Кінематичний зв'язок* в верстатах - це зв'язок між ланками або виконавчими органами верстата, який накладає умови обмеження, що не дозволяють займати довільні положення в просторі відносно один одного і мати довільні швидкості.

Під *внутрішнім кінематичним зв'язком* групи розуміють сукупність кінематичних ланок і їх з'єднань, що забезпечують якісну характеристику руху, тобто його траєкторію.

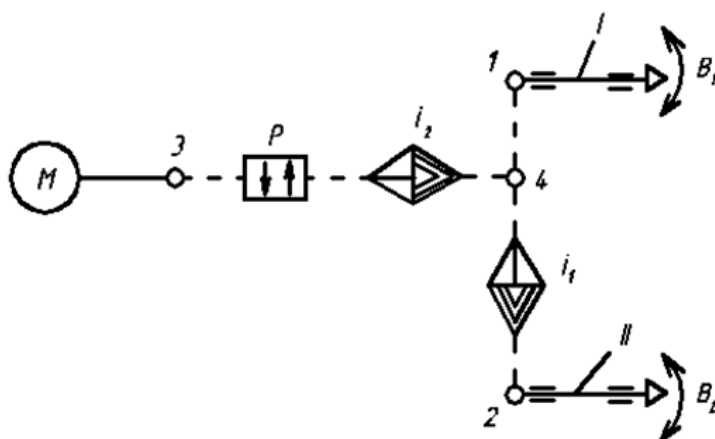
*Внутрішній кінематичний зв'язок* групи в верстатах реалізується різними шляхами в залежності від:

- характеру виконавчого руху;
- числа виконавчих органів в групі;
- необхідної точності формоутворюючої лінії (траєкторії руху) та інших факторів.

Наприклад, в простих кінематичних групах внутрішній кінематичний зв'язок здійснюється з'єднанням двох дотичних ланок виконавчої групи, одним з яких є сам виконавчий орган 1 групи, тобто шпиндель, стіл і т. д. (див рис. 7.2, а, б).



а)



б)

Рис. 7.2. До пояснення кінематичних зв'язків

У складних кінематичних групах з двома і більше виконавчими органами внутрішній кінематичний зв'язок реалізується у вигляді кінематичного ланцюга (ланцюгів), що зв'язує рухомі виконавчі органи групи і 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 не механічним, наприклад, у вигляді електричного кола, як в верстатах з ЧПУ.

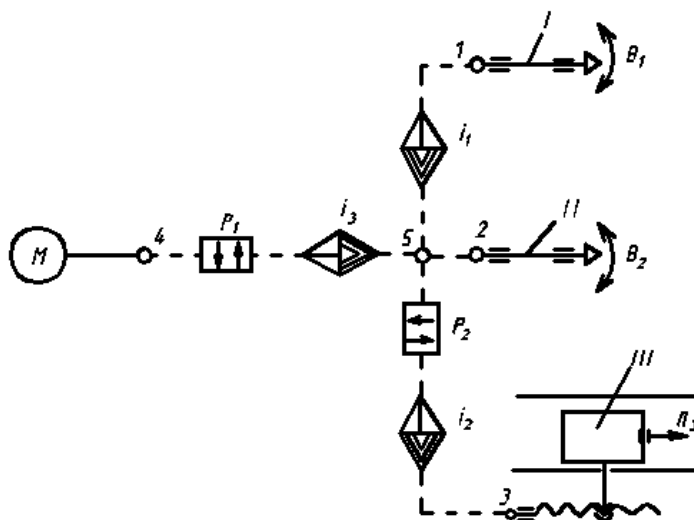
Наприклад, рис. 7.2, б, група, що забезпечує складний рух (В1В2) і має два виконавчих органи I і II, містить у своїй структурі, як мінімум, один внутрішній кінематичний ланцюг 1-4-2 між виконавчими органами.

Під зовнішнім кінематичним зв'язком групи розуміють сукупність кінематичних ланок і їх з'єднань, що забезпечують кількісні характеристики руху, тобто його:

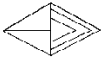
- швидкість;
- напрямок;
- шлях;
- вихідну точку.

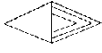
Зазвичай зовнішній кінематичний зв'язок складної групи реалізується в вигляді кінематичного ланцюга 3-4 між джерелом руху М і одним з ланок внутрішнього зв'язку групи. Для простої кінематичної групи зовнішнім кінематичним зв'язком є ланцюг 1-2 між джерелом руху М і виконавчим органом групи I. Зовнішня кінематична зв'язок призначений для передачі енергії від джерела руху М у внутрішню зв'язку групи.

На рис. 7.3 показана структурна схема кінематичної групи, що забезпечує виконавче рух (В1В2П3) і має три виконавчих органу. Для забезпечення функціональної узгодженості переміщень або 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 кінематичної ланцюгом 4-5.



7.3. Кінематична структура верстатів (приклад)

Для зміни і регулювання параметрів руху в верстатах використовують спеціальні пристрої, які в загальному випадку називаються *органами настройки*. Органи настройки таких параметрів руху, як траєкторія, швидкість, а іноді і шлях, на структурних схемах позначаються знаком  з буквою **i**, а органи настроювання напрямку руху – знаком , що вказує на механізми реверсування руху.

Заштрихована частина знаку  вказує на фактичний напрямок передачі руху через орган настройки. Органи настройки, що регулюють *кількісні* характеристики руху, тобто:

- змінюють швидкість,
- напрямок,
- шлях,
- вихідну точку

завжди розташовують у зовнішньому зв'язку кінематичної групи (в ланцюзі між джерелом руху і внутрішнім кінематичним зв'язком групи).

Органи настройки, що регулюють *якісну* характеристику руху, тобто його траєкторію, розташовують тільки у внутрішньому кінематичному зв'язку групи.

*Кінематична структура* верстатів являє собою сукупність кінематичних груп. Групи можуть бути з'єднані між собою різними способами; їх з'єднання залежить від багатьох факторів.

Найбільший вплив на з'єднання кінематичних груп надають:

- спільність їх виконавчих органів;
- джерела руху;
- необхідність координації в часі створюваних групами рухів.

Будь-яке з'єднання двох кінематичних груп здійснюється спеціальними додатковими пристроями, такими, як:

- підсумовуючі механізми;
- реверсивні механізми;
- муфти і т.д.

З урахуванням формотворної частини МРВ все різноманіття кінематичних структур металорізальних верстатів можна розділити на три класи.

1. Клас елементарних структур **Е**, до якого відносяться верстати з кінематичною структурою, що містить тільки прості групи формоутворення, тобто групи, що створюють рух  $\Phi$  (В) і  $\Phi$  (П).

2. Клас складних структур **С**, до якого відносяться верстати з кінематичною структурою, що містить тільки складні групи формоутворення, тобто групи, що створюють руху  $\Phi$  (В1В2),  $\Phi$  (В3П4П5) і т.д.

3. Клас комбінованих структур **К**, до якого відносяться верстати з кінематичною структурою, що містить одночасно і прості і складні групи формоутворення.

Кожен клас містить певну кількість типових кінематичних структур верстатів, які можна умовно записати буквою з подальшими двома цифрами:

- буква вказує на клас;

- перша цифра - на число формотворчих груп;
- друга цифра - на сумарне число (іноді поточний порядковий номер того чи іншого руху) простих обертальних і прямолінійних рухів, що складають всі формотворчі рухи верстата.

Наприклад, *запис K24* означає, що верстат має:

- комбіновану структуру;
- дві групи формоутворення;
- чотири простих рухи.

Як відомо максимально можливе число груп формоутворення в структурі верстата дорівнює трьом.

При складанні та аналізі кінематичної структури МРВ слід чітко уявляти собі виріб в цілому і ті його поверхні, які повинні бути оброблені різанням. Це означає, що оброблювану поверхню необхідно охарактеризувати як в поперечному, так і в поздовжньому перетинах, тобто встановити відповідні твірні лінії, при відносному русі яких може бути утворена дана поверхню.

В результаті аналізу схеми різання, розташування оброблюваних поверхонь і конструкції інструменту встановлюють потребу в рухах поділу (ділення) і врізання, і, якщо вони необхідні, то визначають їх характер. Після того як визначені всі рухи формоутворення, ділення і врізання, які визначають кінематику верстата в основному, можна приступати до складання та аналізу структур кінематичних груп, що забезпечують ці рухи.

Складання та аналіз структур кінематичних груп верстата проводять послідовно від однієї до іншої в наступному порядку:

1. встановлюють число виконавчих органів; як правило, воно відповідає числу простих рухів, що утворюють виконавчий рух;
2. визначають внутрішній кінематичний зв'язок групи; для простих груп - це зв'язок між ланками кінематичної пари, а для складної групи - функціональні ланцюги (ланцюг) між виконавчими органами;
- 3 визначається джерело руху і зовнішній кінематичний зв'язок групи;
4. встановлюють число і розташування органів настройки параметрів руху.

## **7.2. Кінематичне налагодження (настройка) верстатів**

(див. приклади виконання лаб.робіт)

Під *кінематичним налагодженням* (настройкою, налаштуванням) МРВ розуміють настройку його ланцюгів, що забезпечує необхідні швидкості рухів виконавчих органів верстата, а також, при необхідності, умови кінематичного узгодження переміщень або швидкостей виконавчих органів між собою (приклад див. лабораторну роботу № 3).

Мета таких погоджень - утворення поверхні із заданими формою, розмірами, точністю і шорсткістю. Кінематична настройка є складовою частиною налагодження верстата.

У більшості металорізальних верстатів з механічними зв'язками для настройки кінематичних ланцюгів застосовують *органи кінематичної настройки* у вигляді:

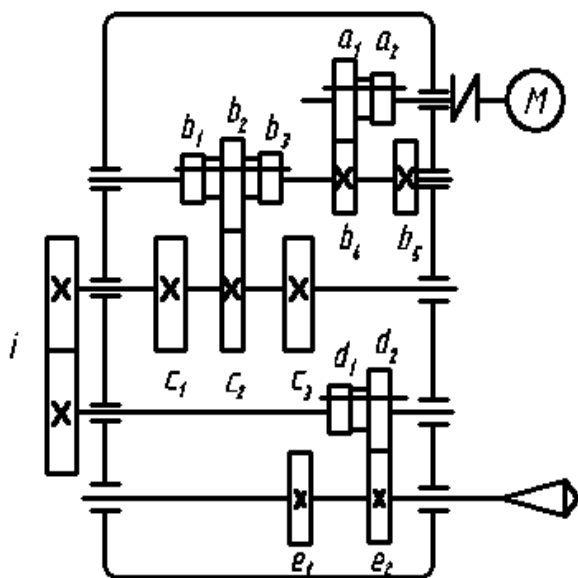
- гітар змінних зубчастих коліс;
- ремінних передач;
- варіаторів;
- регульованих електродвигунів;
- коробок швидкостей і подач, характеристикою яких є загальне передатне відношення і цього органу (див. лабораторні роботи 1, 2, 3).

Значення передатного відношення органу настройки визначають за формулою настройки.

Для виведення формули настройки будь-якого органу кінематичного ланцюга необхідно по кінематичній схемі верстата:

- намітити такий ланцюг передач, в якому розташований даний орган і відомі переміщення або швидкості кінцевих ланок цього ланцюга, пов'язані функціональною або необхідною залежністю.

Бажано, щоб такий ланцюг передач, названий надалі ланцюгом узгодження, включала в себе тільки один орган настройки, для якого виводять формулу 1410 об/хв. ел.дв. → 80 об/хв. шп. (приклад).



$$1410 \cdot \frac{a_1}{b_4} \cdot \frac{b_2}{c_2} \cdot i \cdot \frac{d_2}{e_2} = 80 \text{ об.шп.};$$

$$i = \frac{80}{1410} \cdot \frac{b_4 \cdot c_2 \cdot e_2}{a_1 \cdot b_2 \cdot d_2}.$$

Для вибраного ланцюга узгодження встановлюють умову кінематичного налагодження (балансу) переміщень її кінцевих ланок, що відбуваються протягом певного проміжку часу, або їх швидкостей.

Ці переміщення можуть бути:

- кутовими;
- лінійно-кутовими;
- лінійними.

З урахуванням умови узгодження переміщень або швидкостей складають рівняння кінематичного балансу ланцюга узгодження, в якому невідомим є передатне відношення органу настройки.

Рівняння балансу (кінематичного балансу) можна записувати від будь-якого кінця ланцюга узгодження. Рішення рівняння балансу щодо передатного відношення органу настройки є *формулою настройки* (див. лабораторні роботи 1, 2, 3).

Розглянемо деякі елементи методики аналізу кінематичної структури верстата і його кінематичну настройку на прикладі зубошліфувального верстата для обробки прямозубих циліндричних коліс. На даному верстаті проводиться шліфування бічних поверхонь зубів прямозубих циліндричних коліс дисковим обкатним кругом. У процесі формоутворення осі оброблюваного колеса і

шліфувального круга взаємно перпендикулярні. Бічні поверхні зубів оброблюваного колеса в поперечному перерізі характеризується евольвентою, а в поздовжньому - прямою лінією.

Для формування бічної поверхні зубів колеса в поздовжньому напрямку використовують метод торкання (дотику), який в даному випадку реалізується двома рухами формоутворення - обертанням шліфувального круга  $\Phi V$  (ВШ.КР) і зворотно-поступальним рухом повзуна  $\Phi S1$  (ПШ.КР) уздовж зуба колеса.

Профіль шліфувального круга має форму профілю зуба прямозубої рейки. Тому бокова поверхня зубів колеса в поперечному напрямку утворюється методом обкатування, для чого необхідним є один складний рух кочення  $\Phi S2$  (ПЗАГ. ВЗАГ.). так як шліфувальний круг має вигляд диска, шліфування бічних поверхонь зубів колеса ведеться послідовно від однієї западини до іншої. Тому в верстаті повинно бути рух поділу  $D$  ( $V_{\text{под}}$ ), що реалізовується поворотом колеса на певний кут.

Таким чином, кінематична структура аналізованого верстата повинна містити три групи формоутворення і одну групу ділення, причому три з них прості і одна - складна.

#### Група руху $\Phi V$ (ВШ.КР).

Виконавчий орган - шпindel шліфувального круга. Внутрішній кінематичний зв'язок групи здійснюється через зв'язок обертальної кінематичної пари, рухомою ланкою якої є шпindel круга, а нерухомим - опори шпинделя. Зовнішній кінематичний зв'язок групи складається з пасової передачі, що з'єднує електродвигун з шпинделем шліфувального круга.

#### Група руху $\Phi S1$ (ПШ.КР).

Виконавчий орган - повзун з встановленим шліфувальним кругом. Внутрішня повзун - напрямні стійки. Зовнішній кінематична зв'язок являє собою ланцюг між електродвигуном Д2 і повзуном.

Формула настройки виводиться так:

$$n_{\text{ел.дв.}} \rightarrow K_{\text{дв.х.повз.}}$$

де -  $K_{\text{дв.х.повз}}$  - число подвійних ходів повзуна;

$\rightarrow$  - символ, що означає "відповідає".

$$n \cdot \frac{22}{75} \cdot \frac{28}{120} = k; n = \frac{k \cdot 1125}{77},$$

#### Група руху $\Phi S2$ (ПЗАГ. ВЗАГ.).

Ця кінематична група складна. Група має два виконавчих органи:

- шпindel столу із заготовкою;

- каретка, на якій змонтований кінематична зв'язок групи здійснюється через поступальну кінематичну пару поворотний стіл. Поворотний стіл обертається ( $V_{\text{ЗАГ.}}$ ), а каретка рухається поступально ( $P_{\text{ЗАГ.}}$ ).

Внутрішній кінематичний зв'язок групи здійснюється через функціональний ланцюг між кареткою і столом.

Зовнішній кінематична зв'язок групи являє собою ланцюг між електродвигуном ДЗ і ланкою приєднання до внутрішнього зв'язку групи.

Формула настройки:

1 об. заг.  $\rightarrow \pi m z$  (1 об. заг.  $= \pi D$ , де  $D = m z$ ;

і т.д.