

Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**В.П. Гугнін, Г.О. Оборський, Г.М. Голобородько**

# **МАШИНИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ**

Конспект лекцій

Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**В.П. Гугнін, Г.О. Оборський, Г.М. Голобородько**

# **МАШИНИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ**

Конспект лекцій  
для студентів бакалаврів спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

Затверджено  
на засіданні Вченої ради Інституту  
цифрових технологій, дизайну  
та транспорту  
Протокол № 2 від 28.10.2022

Машини та технологічне обладнання. Конспект лекцій для бакалаврів спеціальності: 131 – «Прикладна механіка» / укладачі: В.П. Гугнін, Г.О. Оборський, Г.М. Голобородько. – Одеса: «Одеська політехніка», 2022. – 147 с.

Викладено методику аналізу і синтезу кінематики металорізальних верстатів на основі схем взаємозв'язку рухів робочих органів верстатів у процесі формоутворення оброблюваних деталей. Такі схеми, іменовані структурними, дозволяють розглядати принципи дії верстатів поза залежністю від їхніх конкретних конструкцій, що важливо як для вивчення верстатів, так і для їхнього проектування. Наведені описи основних типів верстатного устаткування і промислових роботів, що застосовуються у сучасному машинобудівному виробництві. Надані завдання для виконання задач контрольних робіт для студентів заочної форми навчання.

Конспект лекцій становить короткий виклад дисципліни «Металорізальні верстати» і призначений для студентів - бакалаврів напрямку «Інженерна механіка» очної та заочної форм навчання.

Укладачі: В.П. Гугнін, канд. техн. наук, доц.  
Г.О. Оборський, д-р техн. наук, проф.  
Г. М. Голобородько, канд. техн. наук, доц.

Рецензенти: В.М. Тіхенко, д-р техн. наук, проф.  
Л.М. Перпері, канд. техн. наук доц.

## СПИСОК ЗАСТОСОВУВАНИХ СКОРОЧЕНЬ

а – точка позиціювання.

l – шлях.

q – траєкторія.

v – швидкість.

w – напрямок.

A – автоматизація.

Агр – агрегат.

АЗД – система автоматичної зміни деталі.

АЗІ – система автоматичної зміни інструмента.

АЗП – автоматичний завантажувальний пристрій.

АЛ – автоматична лінія.

АМП – агрегатно-модульний принцип.

АО – автооператор.

АРЛ – автоматична роторна лінія.

АСІЗ – автоматична система інструментального забезпечення.

АСК – автоматична система керування.

АСКВ – автоматична система керування виробництвом.

АСТПВ – автоматична система технологічної підготовки виробництва.

АТСС – автоматична транспортно-складська система.

БЗП – бункерно-завантажувальний пристрій.

ВиК. – виробляюче колесо.

ВК – верстатний комплекс.

ВС – виконавча (маніпуляційна) система.

ГАВ – гнучкі автоматизовані виробництва.

ГАД – гнучка автоматизована ділянка.

ГАЗ – гнучкий автоматизований завод.

ГАЛ – гнучка автоматична лінія.

ГАЦ – гнучкий автоматизований цех.

ГВМ – гнучкий виробничий модуль.

ГВС – гнучка виробнича система.

Д – деталь.

ДВ – двигун.

ДЗЗ – датчик зворотного зв'язку.

Дл – ділильні рухи.

ДЦ – датчик циклу.

ЗвП – завантажувальний пристрій.

ЗП – захватний пристрій.

І – інструмент.

КГ – кінематична група.

КЗ – кінематичний зв'язок.

КЛ – кінематичний ланцюг.

КЛК – кінематичні ланки.

К° – компонування.

КП – кінематична пара.  
КрС – керуюча система.  
КС – кінематична структура.  
МВ – металорізальний верстат.  
МІ – магазин інструментів.  
МОР – мастильна-охолоджуюча рідина.  
НЛ – направляюча лінія.  
НС – несуча система.  
Нс – рух настройки.  
ОН – орган настройки.  
ОП – оброблювана поверхня.  
ОЦ – обробний центр.  
П – пристосування.  
ПК – програмне керування.  
ПР – промисловий робот.  
ПрР – процес різання.  
РЗ – робоча зона.  
РК – ручне керування.  
РКБ – рівняння кінематичного балансу.  
РО – робочий орган.  
РТК – роботизований технологічний комплекс.  
САК – система автоматичного керування.  
СК і К – система керування і контролю.  
СКС – структурно-кінематичні схеми.  
СМ – система маніпулювання.  
СР – ступінь рухливості.  
ТЕП – техніко-економічні показники.  
ТУ – технологічне устаткування.  
УЛ – утворююча лінія.  
Ус – установчий рух.  
Ф – формотворний рух.  
Ф<sub>S</sub> – рух подачі.  
Ф<sub>V</sub> – головний рух.  
ЦПК – циклове програмне керування.  
ЧПК – числове програмне керування.

## Лекція 1

Мета лекції засвоєння основних понять що формують принципи побудови засобів виробництва. Для чого слід вивчити способи обробки металів, та на їх підґрунті навчитися складати узагальнену структуру металорізального верстата.

### 1. МЕТАЛОРИЗАЛЬНІ ВЕРСТАТИ ЯК СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

#### 1.1. Місце металорізальних верстатів у структурі машинобудівного виробництва

В основі будь-якої діяльності людини лежить задоволення матеріальних чи духовних потреб, що відбувається відповідно наступній спрощеній схемі (рис.1.1):

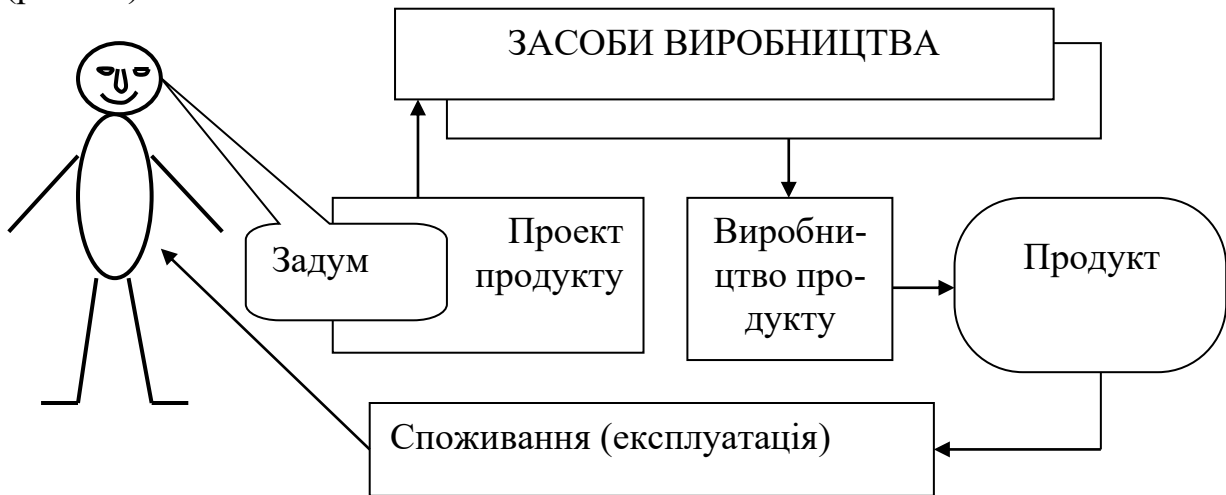


Рис. 1.1

Для виробництва, тобто процесу виробництва кінцевого продукту необхідні певні засоби виробництва, що спрощено можна розділити на наступні типи (рис.1.2).

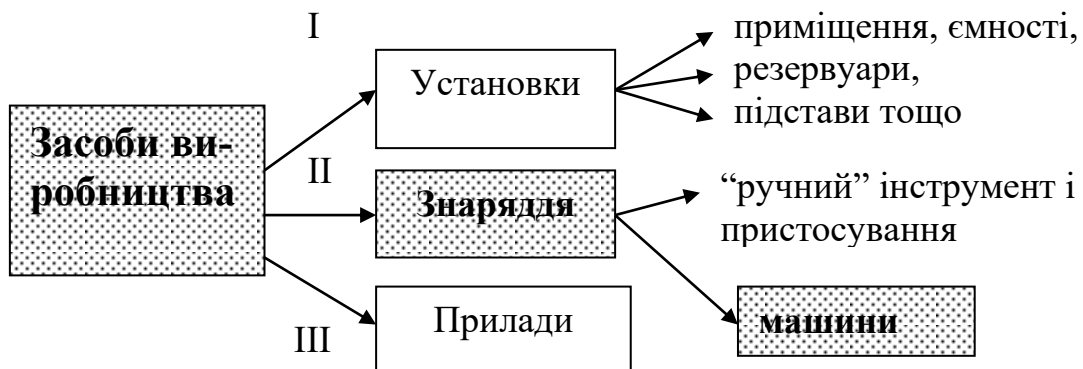


Рис. 1.2

Розходження понять «установки» і «знаряддя», полягає в тому, що «установка» зберігають вхідне діяння (X), а «знаряддя» її перетворює у якісно інший стан (Y). При цьому на вході X може бути три типи діянь (енергія (E), матеріал (M) і інформація (I) (у різних комбінаціях (рис. 1.3), тобто для знаряддя характерно:

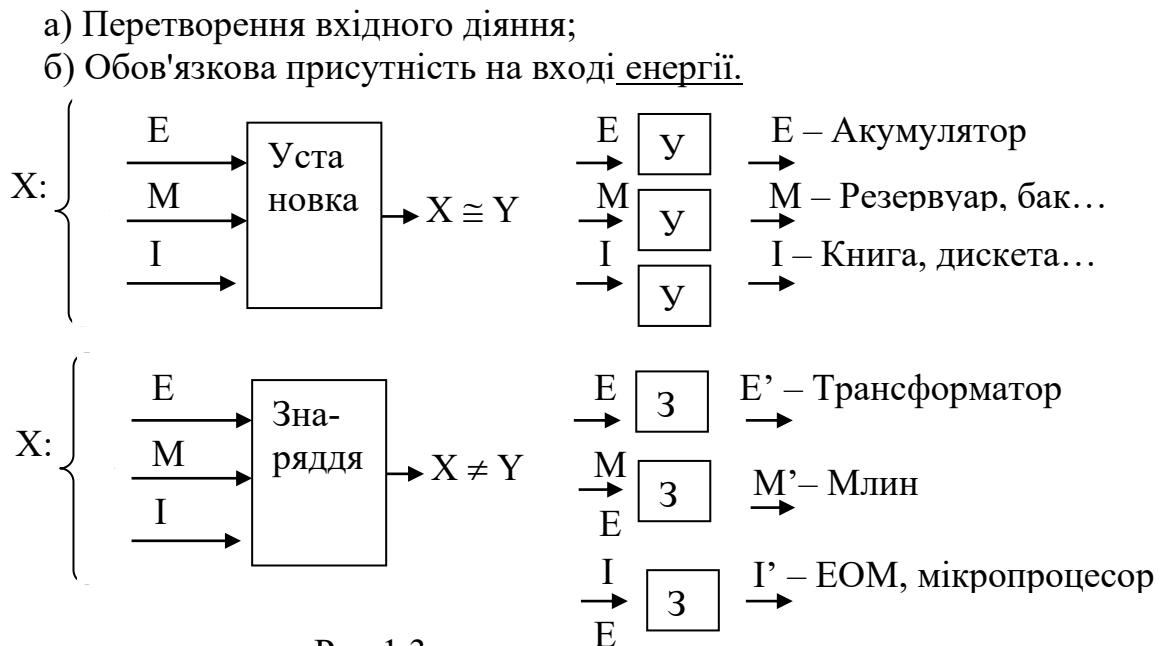


Рис.1.3.

Якщо енергія не мускульна сила, то таке знаряддя називають машиною.

Виробництво машин називається машинобудуванням. Продукція машинобудування – це машини різного роду як для безпосереднього задоволення потреб людини (автомобілі), так і «чисті» засоби виробництва – технологічні машини. Вироби машинобудування роблять в основному з металів, при цьому використовують такі способи обробки металів (рис. 1.4).



Рис.1.4

У процесі різання металів поверхневий шар металу видаляється у вигляді стружки. Це приводить до значних безповоротних утрат металу. У цілому у світі до 25 % виплавленого металу безповоротно втрачається при обробці на металорізальних верстатах. Але численні спроби замінити обробку різанням більш цивілізованими методами одержання деталей машин ні до чого не приве-

ли. Порошкова металургія, одержання заготовок по виплавленим моделям, штампування, зварювання й інші методи виявляються або занадто енергоємними, або не забезпечують необхідну точність обробки, а найчастіше і те і інше одночасно. Необхідна точність обробки деталей сучасних машин становить 1 – 4 мкм при обов'язковому забезпеченні високої якості поверхневого шару.

Без обробки металів різанням не може обійтися жодна галузь народного господарства. Тому серед усіх видів устаткування машинобудівного виробництва особливе місце займають металорізальні верстати (МВ).

## 1.2. Металорізальні верстати як машини технологічного призначення

Принципова схема різання металів має наступний вигляд (рис .1.5).

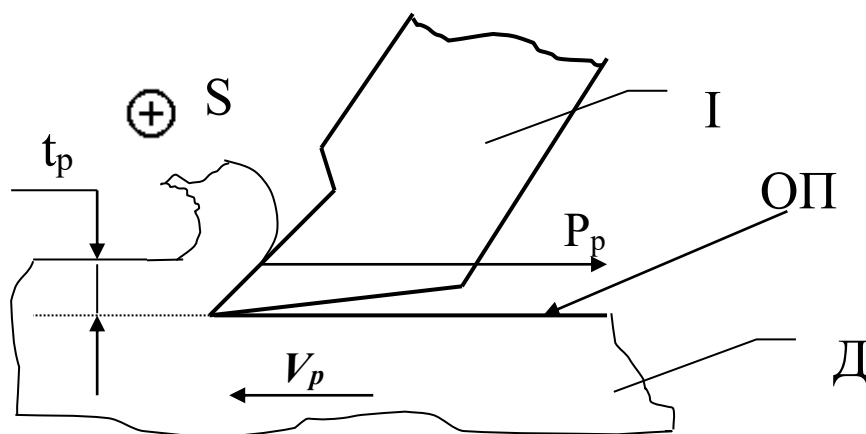


Рис.1.5. Схема різання:  $P_p$  – сила різання;  $V_p$  – швидкість різання;  $S$  – подача;  $t_p$  – глибина різання; Д – деталь; ОП – оброблена поверхня; І – різнальний інструмент.

Зі схеми видно, що в процесі різання діє ряд факторів:

Е – енергетичний – ( $P_p$  – сила різання);

Н – просторовий – (геометрія Д и І, їхнє взаємне положення і рух);

Т – часовий – ( $V_p$  – швидкість різання, тривалість обробки; дискретність процесу).

Е, Н, Т – об'єктивні фактори і характеристики властиві будь-якій штучній чи природній системі. Крім того, для повного опису системи необхідна група суб'єктивних характеристик – структурно-функціональних (S), що відображають функцію – призначення системи і її структуру, склад системи (розподіл її на компоненти) і взаємини цих компонентів.

Структура металорізального верстата як машини технологічного призначення повинна містити елементи, що забезпечують фактори Е, Н, Т.

При цьому МВ варто розглядати як систему, а складові її функціональні елементи – як підсистеми. На рис. 1.6 прийняті наступні позначення: ПР – процес різання; ДВ – двигун; П – пристосування; СК і К – система керування і контролю; НС – несуча система; СМ – система маніпулятора; ВК – верстатний комплекс.



З позицій розгляду МВ як знаряддя можна, наприклад, виділити наступні три підсистеми: підсистема перетворення енергії (рис. 1.7,а), підсистема перетворення матеріалу (рис.1.7,б), підсистема перетворення інформації (рис.1.7,в).

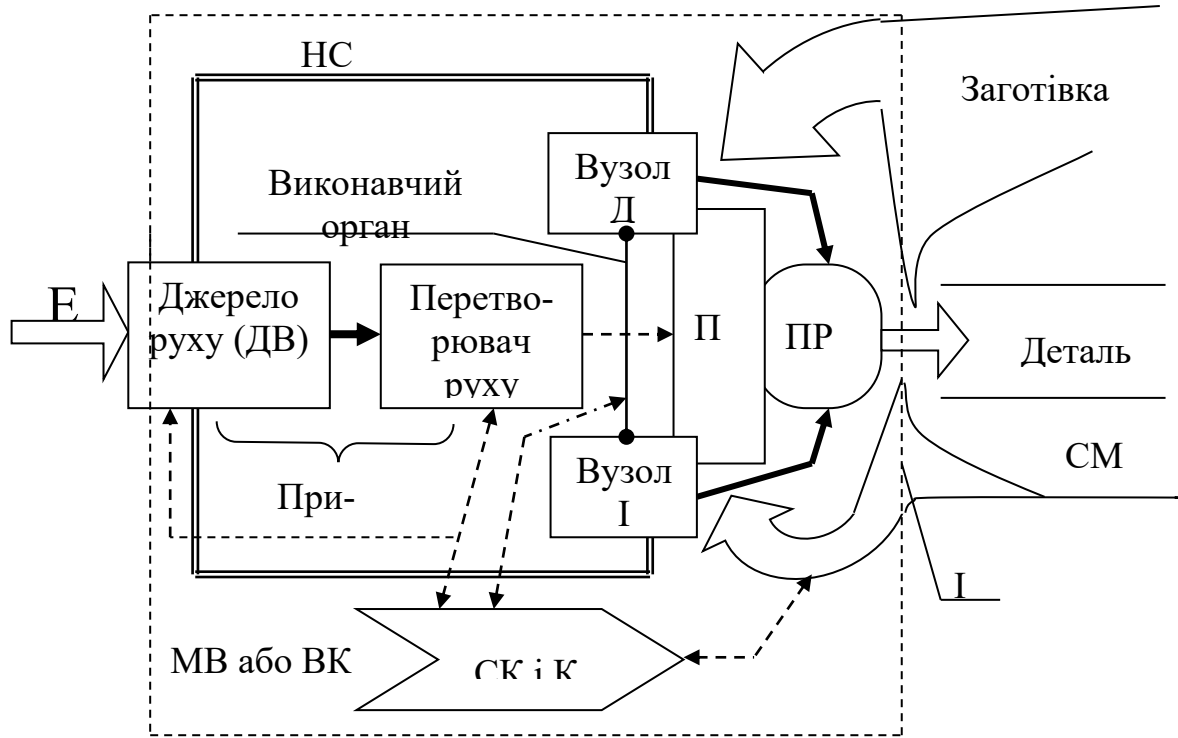


Рис. 1.6.

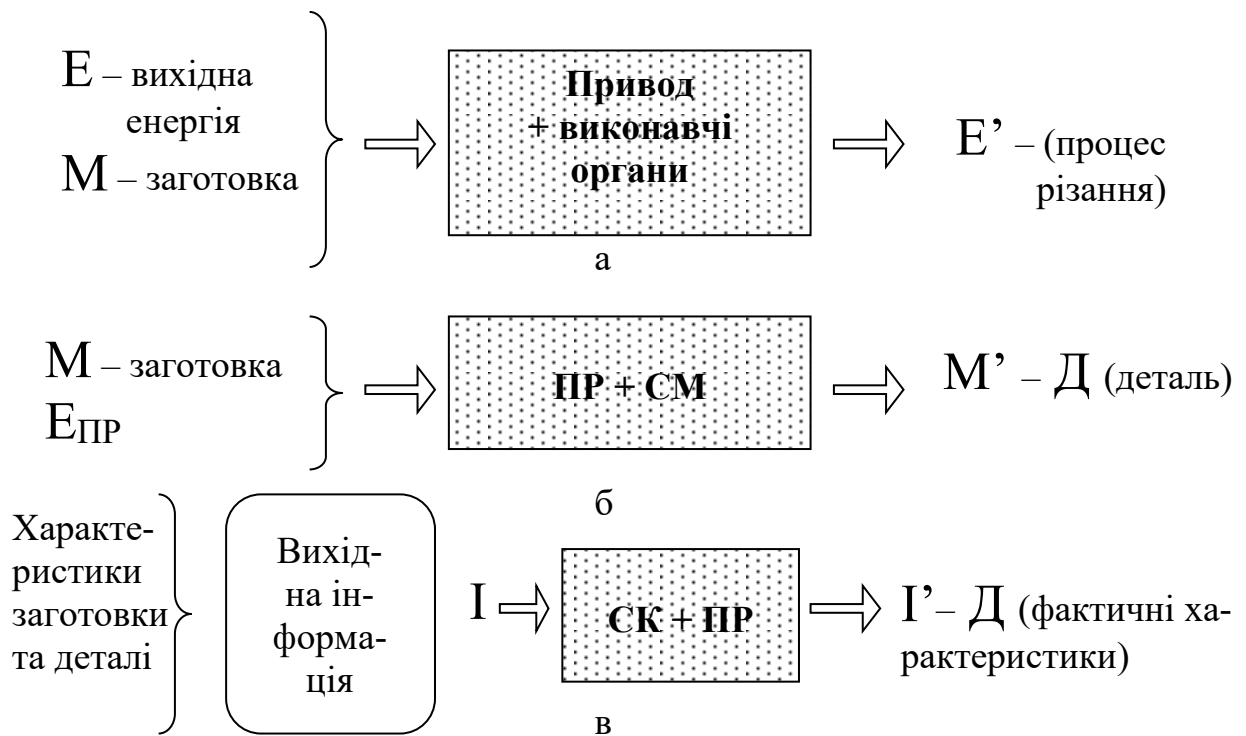


Рис. 1.7

НС – несуча система (чи підсистема) представляє із себе сукупність

базових конструкцій верстата, що забезпечують необхідні взаємні розташування і взаємні рухи вузлів інструмента і деталі (І/Д), а також можливість обслуговування МВ.

Розглянемо приклад компоновання спеціального розточувального верстата (рис. 1.8).

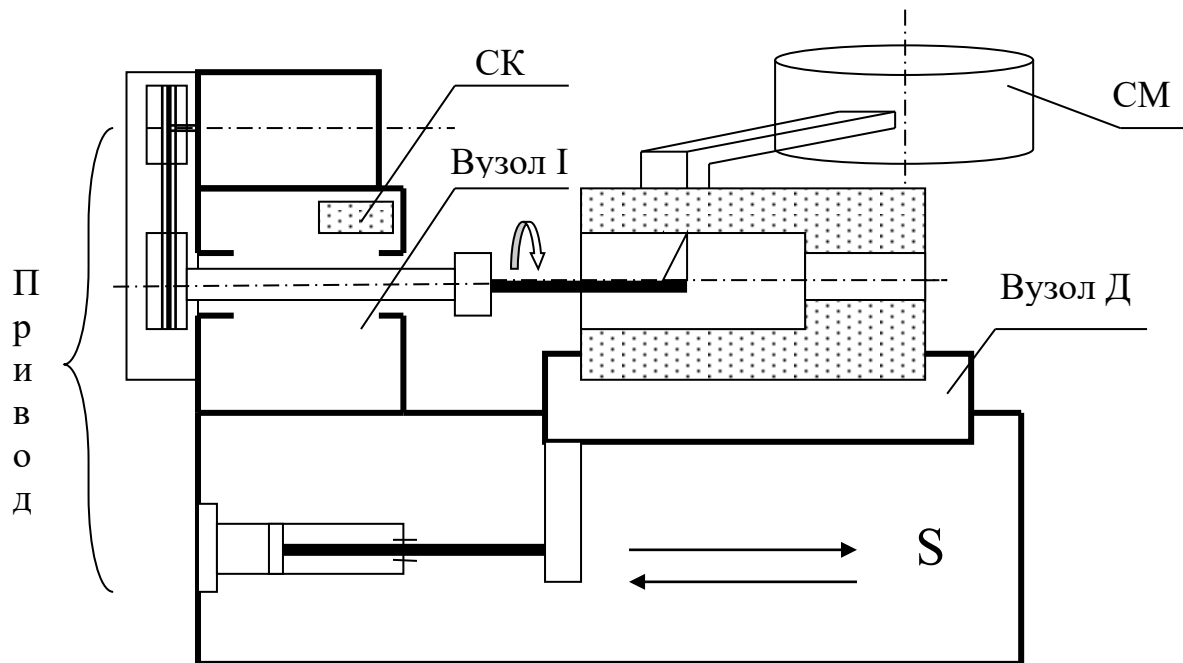


Рис.1.8

Наведений приклад – не єдиний варіант компоновання верстата для точної обробки даної деталі чи подібної деталі. Так може бути:

- одношпиндельне чи багатшпиндельне (тобто одномісне чи багатомісне) компоновання;
- рухлива по осі Д при нерухомому І чи навпаки;
- горизонтальне чи вертикальне розташування осі Д;
- різний тип приводу на кожен рух і т.д.

Усе це приводить до того, що існує величезне число різновидів МВ чи моделей верстатів. Кожен верстат, що випускався раніше мав своє позначення – буквено-цифровий код.

*Питання для самоперевірки до першої лекції*

1. Сформулюйте поняття: «Засоби виробництва», «Знаряддя», «Машина». Чим вони відрізняються один від одного?
2. Які вам відомі способи обробки металів? Місце обробки різанням серед них.
3. Яка узагальнена структура металорізального верстата? Що таке компоновання верстата і які її складові?

## Лекція 2

Метою лекції засвоєння принципів системи класифікації МВ. На цьому підґрунті студент повинен вміти розшифровувати позначення МВ.

### 1.3. Класифікація металорізальних верстатів

Класифікація металорізальних верстатів, тобто розташування їх по характерних ознаках чи по характеристиках повинна спиратися на зіставлення характеристик оброблюваних деталей (Д) як об'єкта дії МВ із відповідними характеристиками самого МВ, при цьому слід зазначити, що однозначної відповідності характеристик деталі і МВ немає, а є складна взаємодія цих характеристик. Так просторові характеристики Д, наприклад форма, розміри і параметри якості обробленої поверхні, визначають вибір інструмента, що ріже, і схеми різання (тобто просторові характеристики Н), а також потужність приводу рухів виконавчих органів (енергетична характеристика Е), тощо. Проте зіставлення характеристик деталі і МВ корисно для їхнього упорядкування.

Будь-яка багатofакторна класифікація спирається на універсальні і доступні показники, до яких можна віднести:

- якість (Q) – ознаки, що складають основні, явні відмінності одного об'єкта від інших. Це може бути стан об'єкта, явно відмінний від стану інших чи подібних об'єктів;

- кількість (K) – ознаки, які можна визначити використовуючи фізичні міри. Сюди ж відноситься число об'єктів.

Кожна їх Q чи K характеристика, що відноситься до будь-якої групи (S, H, T, E), у свою чергу може розглядатися з Q чи K сторони.

Так наприклад, Q характеристик групи H – форма оброблюваної поверхні (ОП) деталі описується геометричним видом ОП (Q характеристика) і їхнім числом, розмірами і точністю (K характеристики). Число кроків (рівень) розподілу характеристик на Q і K сторони безмежне, воно обумовлено конкретною задачею, ступенем розробленості даної характеристики. У більшості методологічних задач стосовно до технічних систем досить двох чи трьох-рівневого розподілу.

Описана система групування і розподілу характеристик об'єктів і процесів широко використовується в описі оброблюваних деталей і відповідних їм характеристик МВ (табл.1.1).

Підкреслені в табл.1.1 характеристики наводяться у функціональних описах верстатів – у паспорті верстата і називаються техніко-економічними показниками (ТЕП).

Технологічний тип МВ закладається в ключове слово назви МВ (токарний, свердлильний і т.д.), що визначається основним видом технологічної операції, виконуваної на даному МВ (точіння, свердління і т.д.). Це у свою чергу, залежить від основного виду різального інструмента I, застосовуваного на даному МВ, що обумовлено формою ОП, тобто призначенням деталі.

Таблиця 1.1

## Комплекс характеристик оброблюваних деталей і верстатів для їхньої обробки

Характеристики оброблюваних деталей (Д)					№	Характеристики МВ				
S	Q	Функції Д	Q	Службове призначення Д	Складні пересічні характеристики	1	<u>Технологічний тип</u>	Q	Призначення	S
			K	Клас Д, її відповідальність		2	<u>Рівень автоматизації</u>	K		
	K	Структура Д	K	Склад і кількість ОП		3	<u>Конструктивний склад</u>	K	Конструкція	
			Q	Ступінь розмаїтості ОП		4	<u>Рівень універсальності</u>	Q		
H	Q	Форма ОП	Q	Геометрія ОП		5	<u>Метод формоутворення ОП</u>	Q	Структурно-кінематична схема (СКС)	H
			K	Розміри, точність, шорсткість ОП		6	<u>Склад виконавчих рухів і параметрів</u>	K		
	K	Форма Д	K	Габаритні р-ри і конфігурація Д		7	<u>Типорозмір МС, клас точності</u>	K	Характеристики розмірів та компонування	
			Q	Компонування ОП на Д		8	<u>Компонування (дизайн форми, соматографічна схема)</u>	Q		
T	Q	Програма випуску Д	Q	Стабільність виробництва Д		9	<u>“Гнучкість”</u>	Q	Мобільність	T
			K	Серійність виробництва Д		10	<u>Надійність роботи</u>	K		
	K	Регламент випуску Д	K	Тривалість обробки Д		11	<u>Продуктивність, режимні характеристики</u>	K	Режим роботи	
			Q	Алгоритм техпроцесу		12	<u>Алгоритм керування, цикл роботи</u>	Q		
E	Q	Витрати матеріалу	Q	Вид матеріалу, хім. властивості (оброблюваність)		13	<u>Потужність приводів, вид енергії приводів</u>	Q	Витрати матеріалу й енергії	E
			K	Маса заготівлі і маса Д		14	<u>ККД, металоємність, маса</u>	K		
	K	Фінансові	Д	Вартість заготівлі		15	<u>Експлуатаційні витрати</u>	Д	Фінансові витрати	
			О	Припустима вартість Д		16	<u>Вартість, що допускається</u>	О		

Існує незлічена безліч геометричних форм ОП, однак і їх можна класифікувати. Для початку можна розділити їх на дві великі групи:

- ◆ А – тіла обертання (включаючи гвинтові поверхні);
- ◆ Б – тіла, що не є тілами обертання (плоскі, лінійчаті, фасонні).

С другого боку, відрізняють 4 види різального інструмента:

I – однолезовий (різці, довбачі, шабери, ножі...);

II – багатолезовий (фрези, протягання, пилки, кругові довбачі...);

III – осьовий (свердла, зенкери, розвертки, мітчики...);

IV – абразивний (шліфувальні круги, бруски, стрічки...).

Чіткої відповідності між формою ОП і видом різального інструмента немає. Так, зовнішню циліндричну поверхню можна одержати точінням, фрезеруванням, шліфуванням, протяганням і навіть довбанням. А площину – точінням, фрезеруванням, шліфуванням, протяганням, струганням і, звичайно, довбанням. Тому «технологічне найменування» верстата, наприклад «токарний», не цілком відображає його призначення, але все-таки є найважливішою функціональною характеристикою верстата.

У стандартній класифікації верстатів, прийнятої в країнах СНД, цій характеристиці відповідає так звана група верстатів, що утворює вертикаль класифікаційної матриці 9×9, у якій по вертикалі розміщені групи МВ і позначаються цифрами від 1 до 9, а по горизонталі – типи МВ даної групи позначаються цифрами від 0 до 8. Наприклад, 1-а група – токарні верстати (індекс 1 назви верстата), 3-й тип – револьверні (індекс 3), одержимо позначення токарно-револьверного верстата 13. Крім того в індекс входять гранично припустимі розміри оброблюваних деталей на даному верстаті (3-я і 4-а цифри). При модернізації верстата в його індекс між 1-ю і 2-ю цифрами ставлять букву. Модернізація базової моделі відрізняється введенням букви наприкінці індексу. Завод-виготовлювач – буквою між 2-ю і 3-ю цифрами.

Наприклад, 1616 – токарно-гвинторізний (1-а група, токарні; 6-й тип, гвинторізний; 16 см висота центрів), 1А616 – теж саме після модернізації, 16К20ПФ1 – токарно-гвинторізного (1-я група, токарний; 6-й тип, гвинторізний; К – завод-виготовлювач; 20 см – висота центрів; П – підвищеної точності, Ф – система ЧПК, 1 – тип ЧПК).

Класифікатор МВ, приведений у будь-якому підручнику по МВ, тому обмежимося лише перерахуванням груп:

- 1- токарні;
- 2- свердлильні і розточувальні;
- 3- шліфувальні, полірувальні, доводочні, заточувальні;
- 4- комбіновані і фізико-хімічний обробки;
- 5- зубо - і різьбообробні;
- 6- фрезерні;
- 7- стругальні, довбальні, протяжливі
- 8- розрізні;
- 9- різні.

У такий спосіб класифікатор охоплює функціональні і частково геометричні характеристики верстата.

Верстати з ЧПК мають букву Ф і цифру після неї, що означає прийняту систему керування:

Ф1 – з цифровою індикацією і перед набором координат;

Ф2 – з позиційною системою керування;

Ф3 – з координатною системою керування;

Ф4 – з універсальною системою для позиціонування і контурної обробки.

Буква М перед буквою Ф позначає наявність інструментального магазину.

Наприклад, 65А60МФ4 – вертикально-фрезерний верстат з максимальним розміром деталі 600 мм, зі змішаною системою керування і магазином інструментів.

*Питання для самоперевірки до другої лекції*

1. Які характеристики покладені в основу системи класифікації МВ?

2. Розшифруйте позначення МВ: 6М82.

### Лекція 3

*Мета лекції продовження вивчення техніко-економічних параметрів МВ.*

*Після чого студент повинен вміти визначати рівні автоматизації МВ, мінімальний конструктивний склад МВ, клас точності МВ та записати компоновочну формулу МВ.*

#### 1.4. Характеристики і техніко-економічні показники металорізальних верстатів

**Рівень автоматизації металорізальних верстатів.** Як і в будь-якій машині технологічного призначення, в МВ здійснюється наступний замкнутий цикл (рис. 1.9).

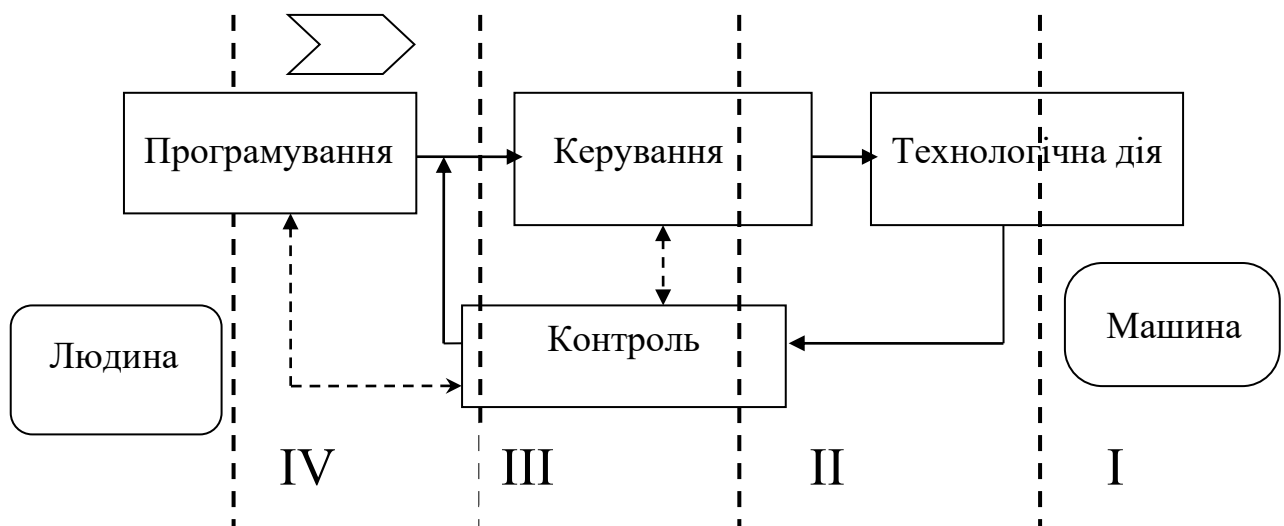


Рис. 1.9

Розподіл функцій між людиною-оператором і машинними ланками верстата по границях I – IV визначають рівень автоматизації МВ.

I – верстат – знаряддя, наприклад електродриль. У цьому випадку машина здійснює рух обертання шпинделя дреля, все інше виконує людина. Людина реалізує послідовність своїх дій (програмування), включає і вимикає

дриль, переключає його швидкості, робить осьову подачу (керування). До цього класу можна віднести механізований інструмент різного призначення.

*II – верстат з ручним керуванням* здійснює всі рухи процесу різання. Частково машина бере на себе функцію керування (маються пересувні кінцеві вимикачі, що зупиняють привод подач) і контролю (запобіжники максимального осьового зусилля і моменту, що крутить). Програмування й основні дії керування і контролю здійснює людина.

*III – верстат автомат*, машинні ланки якого цілком реалізують цикл, закладений у програмі, складеної людиною і введеної у верстат за допомогою програмоносія. За людиною залишаються тільки часткові функції контролю.

*IV – адаптивна верстатна система*, що має елементи само програмування з можливостями оперативної реакції на зміни в процесі різання і в стані самого верстата.

У країнах, що розвиваються найбільш численними є верстати II рівня, а в розвинутих країнах – III рівня.

**Конструктивний склад металорізальних верстатів** дуже різноманітний і залежить від конкретного типу МВ. Розглянемо, наприклад, свердлильно-фрезерний верстат із ЧПК (рис. 1.10). Несуча система верстата містить у собі станину верстата 1, стійку 2 і корпуси вузлів. Вузол інструмента виконаний у виді шпиндельної бабки 3 (головки). Вузол деталі містить у собі поперечні ползки 5 і подовжню каретку 6 (стіл). Привод головного руху 8 приводить в обертання шпиндель. Привод подач 4 забезпечує переміщення шпиндельної бабки по координаті Y, а приводи 7 і 9 - стола по координаті Z і X відповідно.

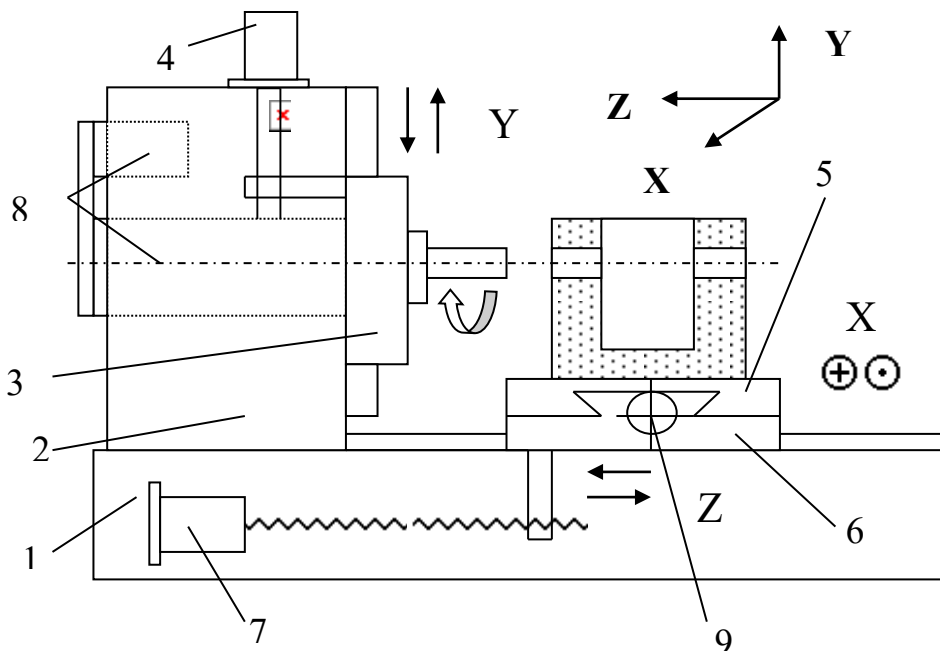


Рис.1.10

У будь-якому випадку необхідна наявність:

1. Вузла інструменту і деталі – виконавчі органи верстата (у вузлі I(Д) нерухомим виконавчим органом може бути шпиндель, що надає обертання I(Д)).
2. Приводу відповідних рухів (у найпростішому випадку вузол Д(I) може бути нерухомим).

3. Несучої системи (від найпростішої балки – станини до просторово складного порталу), до неї також відносяться і «внутрішні» несучі елементи – корпуси відповідних вузлів.

**Рівень універсальності металорізальних верстатів** передбачає в порядку зростання універсальності такі типи:

*I – спеціальні верстати*, призначені для обробки строго визначених деталей або однотипних деталей у вузькому діапазоні розмірів. Наприклад, спеціальний верстат для шліфування карданних валів автомобілів. Спеціальні верстати застосовуються у крупносерійному і масовому виробництві і мають високий рівень автоматизації (III).

*II – спеціалізовані верстати*, призначені для обробки деталей вузької номенклатури – однотипних за формою, але з більш широким діапазоном розмірів. Застосовуються в крупносерійному виробництві, при обробці партій деталей, потребуючих рідкого переналагодження (шліфування кілець підшипників кочення). Рівень автоматизації, як правило, високий (до III рівня).

*III – універсальні верстати*, призначені для обробки деталей широкої номенклатури в умовах серійного і дрібносерійного виробництва. Рівень автоматизації може коливатися від II до IV рівнів.

**Метод формоутворення ОП і склад виконавчих рухів і їхніх параметрів** визначається кінематичною структурою верстата і буде вивчатися пізніше в окремій темі дисципліни.

**Типорозмір верстата** визначається габаритами робочого простору МВ і тим самим визначеним діапазоном розмірів оброблюваних деталей. Так, у групі токарних верстатів типорозмір характеризується висотою центрів, тобто радіусом оброблюваної деталі. Для багатоцільових верстатів, наприклад свердлильно-фрезерно-розточувальних, типорозмір характеризується стороною куба або паралелепіпеда робочої зони верстата. Для свердлильних верстатів типорозмір визначається діаметром застосовуваного інструмента.

Типорозміри верстатів, що серійно випускаються, найбільш розповсюджених технологічних груп утворюють розмірні ряди на основі рядів переважних чисел.

**Точність металорізального верстата** визначається точністю і якістю обробленої поверхні деталі. Стандарт установлює 5 класів точності МВ (табл. 1.2).

Погрішності розмірів, що допускаються, обробленої поверхні зменшуються по геометричній прогресії із знаменником  $\phi = 1.6$  (ряд R5)

Точність металорізального верстата визначається наступними параметрами.

1. *Геометрична точність верстата* складається з помилок при конструюванні і виготовленні МВ, неточності монтажу, зносу деталей при експлуатації і втраті точності при ремонті і т.ін.

2. *Кінематична точність* визначається:

- погрішностями кінематичного настроювання (погрішність передатних відносин або неточність розрахунку настроювання);



- накопиченою погрішністю ходових гвинтів і погрішністю профілю зубів зубчасто-рейкових передач і т.ін.

Таблиця 1.2

Клас точності МВ	Ступінь точності форми поверхонь	Погрішність роз- міру для $\varnothing \leq 120$ мм
Н – нормаль- ний; П – підвище- ний; В – високий; А – особливо високий; С – понадви- сокий.	6 – 7	10 – 16 мкм
	5 – 4	6 – 10 мкм
	4 – 3	4 – 6 мкм
	3 – 2	2,5 – 4 мкм
	3 – 1	1 – 2,5 мкм

3. Точність вимірювальних і відлікових пристроїв, у тому числі через помилки зчитування їх оператором.

Фактори 1 – 3 визначають *точність позиціювання*, тобто виводу рухомого виконавчого органу в задану позицію з однією або декількома координатами при установчих рухах (без робочого навантаження).

На точність робочих переміщень, тобто рухів під навантаженням, впливають, крім вищеперерахованих, наступні фактори.

1. *Жорсткість* несучої системи і приводів виконавчих рухів – здатність протидіяти появі пружних (і пластичних контактних) деформацій під дією постійного чи перемінного (але не ударного) навантаження. Жорсткість  $k$ -го вузла визначається як відношення приросту сили  $\Delta P$  до його деформації  $\Delta \delta$ :

$$J_k = \frac{\Delta P}{\Delta \delta} k.$$

2. *Вібростійкість* МВ чи його динамічна характеристика визначається здатністю системи верстата протистояти виникненню коливань, серед яких:

- коливання інструмента щодо деталі (чи навпаки);
- коливання в пружній системі МВ;
- фрикційні коливання і т.ін.

3. *Термостійкість* МВ - опірність тепловим деформаціям при виділенні тепла в процесі різання і тертя в рухомих з'єднаннях елементів верстата.

**Компонування МВ.** Компонування ( $K^\circ$ ) - це взаєморозташування елементів просторової структури матеріальної системи, прив'язане до визначеного орієнтира або системи координат.

Так, у першому наближенні компонування МВ визначається взаєморозташування інструмента щодо деталі, розрізняють чотири типи компонування:

I – інструмент перед чи позад деталі, рух інструмента в горизонтальній площині (рис. 1.11,а), наприклад токарні, круглошліфувальні й інші МВ;

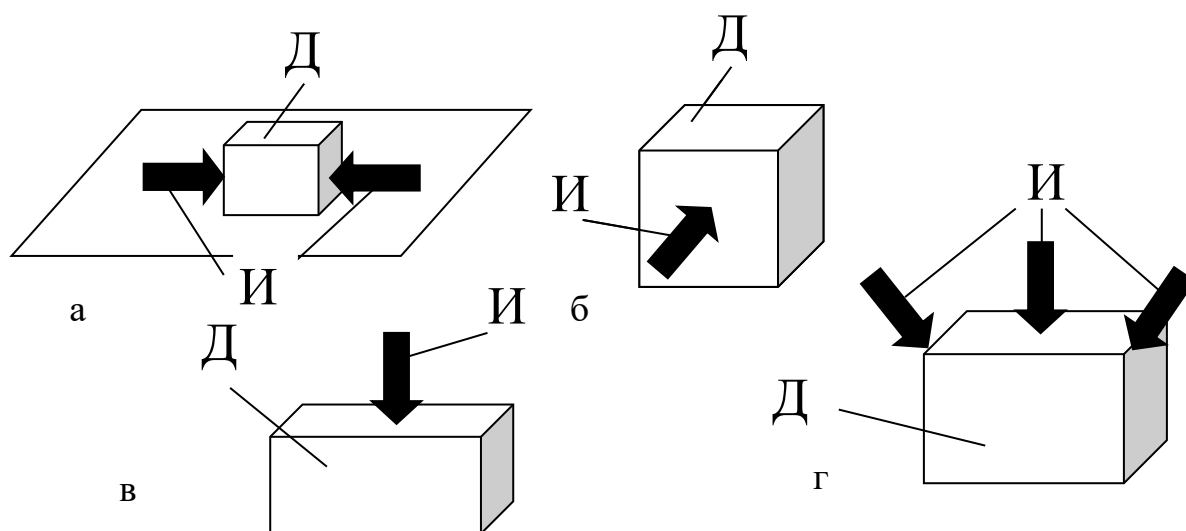


Рис.1.11

II – інструмент із торця деталі, компоновання головним чином горизонтальне (рис. 1.11,б), наприклад горизонтально-розточувальні, зубофрезерні, протяжливі й інші МВ;

III – інструмент над деталлю, компоновання головним чином вертикальне (рис 1.11,г), наприклад свердлильні, горизонтально-фрезерні, плоскошліфувальні й інші МС;

IV – інструмент віялоподібно розташований навколо деталі (рис. 1.11,г), наприклад координатно-розточувальні, агрегатні й інші МВ.

Більш точний опис компоновання провадиться за допомогою компоновочної формули, що фіксує координати рухів вузлів МВ, починаючи з вузла деталі по системі координат ISO (рис.1.12).

Відповідно до системи позначення осей координат і координатних рухів ISO:

1. Вісь Z сполучається з віссю головного руху, якщо на верстаті мають два шпинделі, тоді в якості головного приймається шпиндель деталі або високошвидкісний шпиндель. За позитивний напрямок осі Z завжди приймається напрямок від деталі до інструменту.

2. Вісь X завжди горизонтальна і належить першому руху Д(I).

3. Індокси координат руху вузлів у компоновочній формулі записуються послідовно від деталі до інструменту. Останній символ повинен відповідати інструмента.

4. Знаком 0 (нуль) відзначають нерухомі (базові) елементи (несучу систему, наприклад, станину). Для верстата зображеного на рис. 1.10, компоновочна формула буде мати вигляд XZ0YC.

Число варіантів компоновання верстата, що складається з  $m$  елементів (включаючи несучу систему), дорівнює  $K_K = m!$

Для приведенного прикладу  $m=5$  (число вузлів = числу індексів  $K^o$  формули), тоді

$$K_k = 5! = 1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 = 120.$$

Більшість з цих варіантів  $K_o$  недоцільно і навіть абсурдно. Раціональний вибір  $K_o$  буде розглянутий далі.

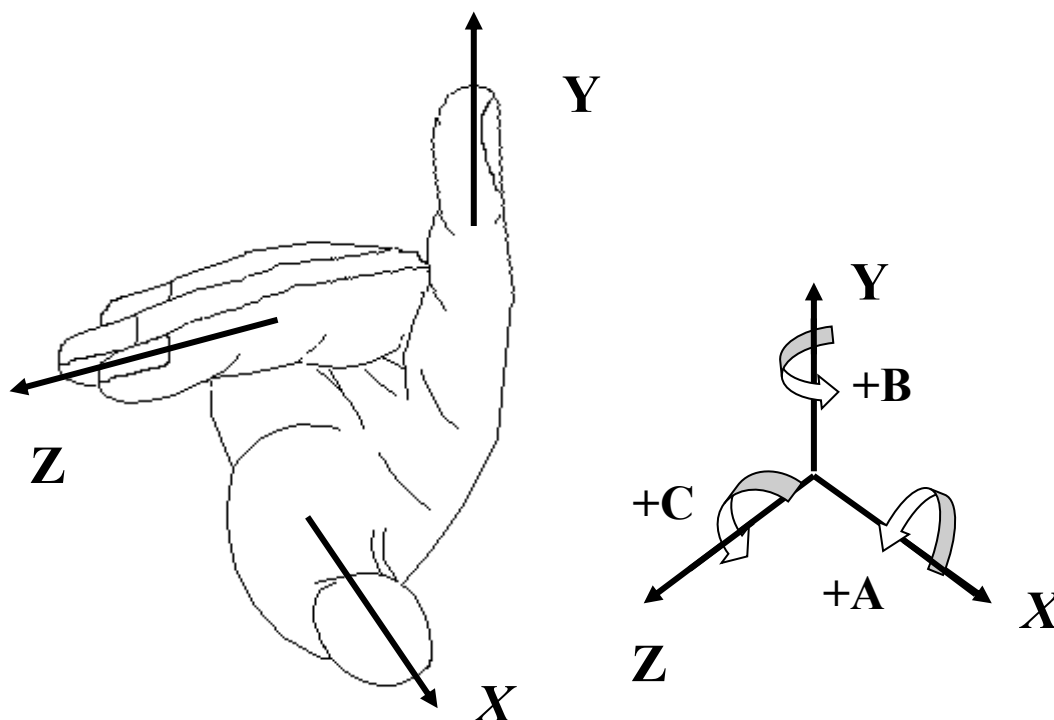


Рис. 1.12

**Гнучкість MB** - здатність до швидкого переналадження для виготовлення інших деталей.

Гнучкість MB визначається номенклатурою оброблюваних деталей і сталістю їхнього виробництва, тобто серійністю виробництва деталей. Серійність виробництва, у свою чергу, залежить від складності деталі і партії її випуску. Для деталей середньої складності при  $N < 100$  шт. має місце індивідуальне виробництво. При  $N = 100-500$  шт. – серійне виробництво. При  $N = 500 - 1000$  шт. – крупносерійне виробництво. При  $N > 1000$  шт. – масове виробництво.

Можна розглядати такий розподіл устаткування для оснащення виробництва в залежності від серійності виробництва (рис. 1.13), де по вертикальній осі кількість виробів у рік, а по горизонтальній – кількість типів деталей у партії. На рисунку прийняті наступні скорочення: АЛ – автоматична лінія; ГАЛ – гнучка автоматична лінія; ГВС – гнучка виробнича система; РТК – роботизований технологічний комплекс (верстат із ЧПК з завантажувальною системою інструментів і деталей); МВ – металорізальний верстат загального призначення.

**Надійність MB** – його здатність забезпечувати безперебійний випуск продукції в заданій кількості і з визначеною якістю у течії гарантованого періоду служби верстата.

Надійність характеризується безвідмовністю, довговічністю, ремонтно-придатністю і технічним ресурсом. Порушення працездатності верстата називається *відмовленням*. При відмовленні продукція або не видається, або видається з недотриманням вимог до якості виготовлених деталей.

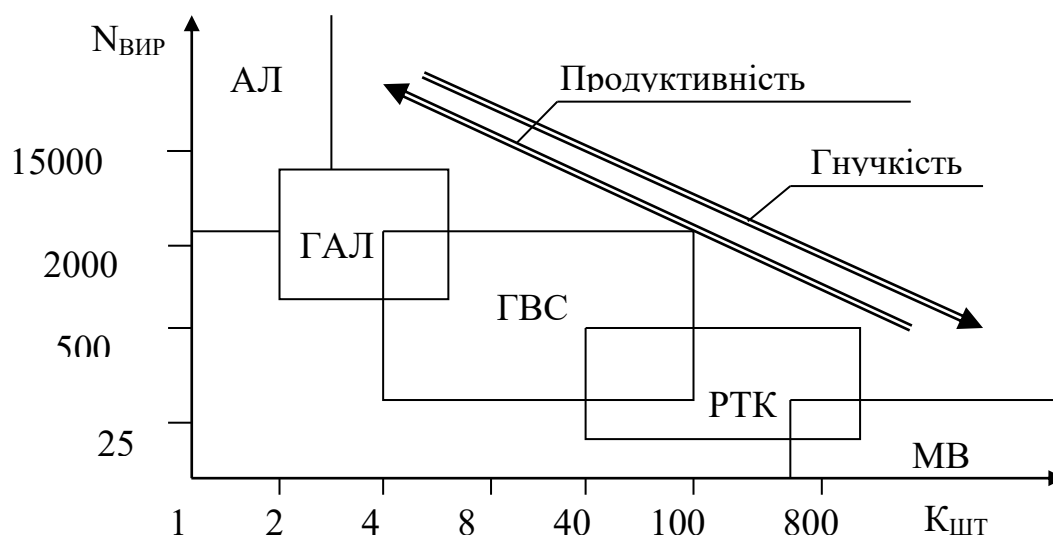


Рис.1.13

*Безвідмовність МВ* – його властивість безупинно зберігати працездатність у течії визначеного часу. Імовірність безвідмовної роботи визначається за формулою

$$P(t) = \frac{N_{и}}{N_{о}},$$

де  $N_{и}$  – кількість справних елементів верстата,  $N_{о}$  – загальна кількість елементів верстата підданих іспиту.

*Імовірність безвідмовної роботи верстата* як складної системи, що складена з  $n$  елементів, з'єднаних послідовно і незалежних один від одного за критерієм надійності, визначається як

$$P_{МС}(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t),$$

де  $P_i(t)$  – імовірність безвідмовної роботи  $i$  – го елемента.

*Довговічність МВ* – властивість зберігати працездатність у течії визначеного часу до досягнення граничного зносу механізмів.

*Ремонтпридатність МВ* – властивість, що дозволяє легко знайти і виправити відмовлення будь-якого елемента верстата.

*Технічний ресурс* – наробіток від початку експлуатації або ремонту до моменту переходу в неробочий стан.

Слід зазначити, що в сучасних умовах автоматизованого виробництва, коли дуже швидко відбувається відставання технічних характеристик експлуатованого обладнання від знову створюваного, доцільно проектувати і робити

МВ із довговічністю і технічним ресурсом не перевищуючим термін «морального» старіння обладнання.

**Продуктивність МВ** – здатність робити обробку визначеної кількості деталей в одиницю часу.

Розрізняють такі показники продуктивності:

- продуктивність способу обробки –  $Q_{с.обр.} = M/t$ , де  $M$  – обсяг (маса) матеріалу, що зрізується,  $t$  - одиниця часу;

- штучна продуктивність –  $Q_{шт.} = 1/T$ , де  $T$  – повний час обробки деталі на даному верстаті;

- технологічна продуктивність –  $Q_{тех.} = 1/t_p$ , де  $t_p$  – затрачуване тільки на зрізання металу.

**Вид енергії приводів** може бути електричний, гідравлічний, пневматичний і комбінований.

**Коефіцієнт корисної дії МВ** визначається за формулою

$$\eta = \frac{N_{різ.}}{\sum N_{пр.}}$$

де  $N_{різ.}$  – потужність затрачувана на зняття металу з заготовки різанням,  $\sum N_{пр.}$  – потужність затрачувана на надавання руху всім приводам верстата.

Звичайно,  $\eta = 0,75...0,8$ . Максимальне значення ККД у вузлів МВ, оснащених безпосереднім приводом, наприклад електродвигун-шпиндель, стіл-мотор, повзун з лінійним електродвигуном. Мінімальний ККД мають приводи з довгим кінематичним ланцюгом.

**Металоємність МВ** визначається відношенням маси станини до сумарної маси приводів. Відповідно масі верстата поділяють:

- на легкі – масою до 1 т;
- на середні – масою від 1 до 10 т;
- на великі – масою від 10 до 30 т;
- на важкі – масою від 30 до 100 т;
- на особливо важкі (унікальні) – масою понад 100 т.

*Питання для самоперевірки до третьої лекції*

1. Які рівні автоматизації МВ вам відомі?
2. Який є мінімальний конструктивний склад МВ?
3. Що таке типорозмір МВ?
4. Які встановлені класи точності МВ і від чого залежить точність верстатів?
5. Перерахуйте основні типи компоновання МВ.
6. Як записується компоновочна формула МВ?
7. Що таке гнучкість МВ і від чого вона залежить?
8. Які основні параметри надійності МВ?
9. Як підрозділяють верстати в залежності від маси?

## Лекція 4

Мета лекції вивчення методів формоутворення оброблюваних поверхонь на МВ та параметрів виконавчих рухів, що використовують для оброблення поверхонь. Після їх вивчення, студент повинен знати, як настроюють параметри виконавчих рухів відповідно їх типам.

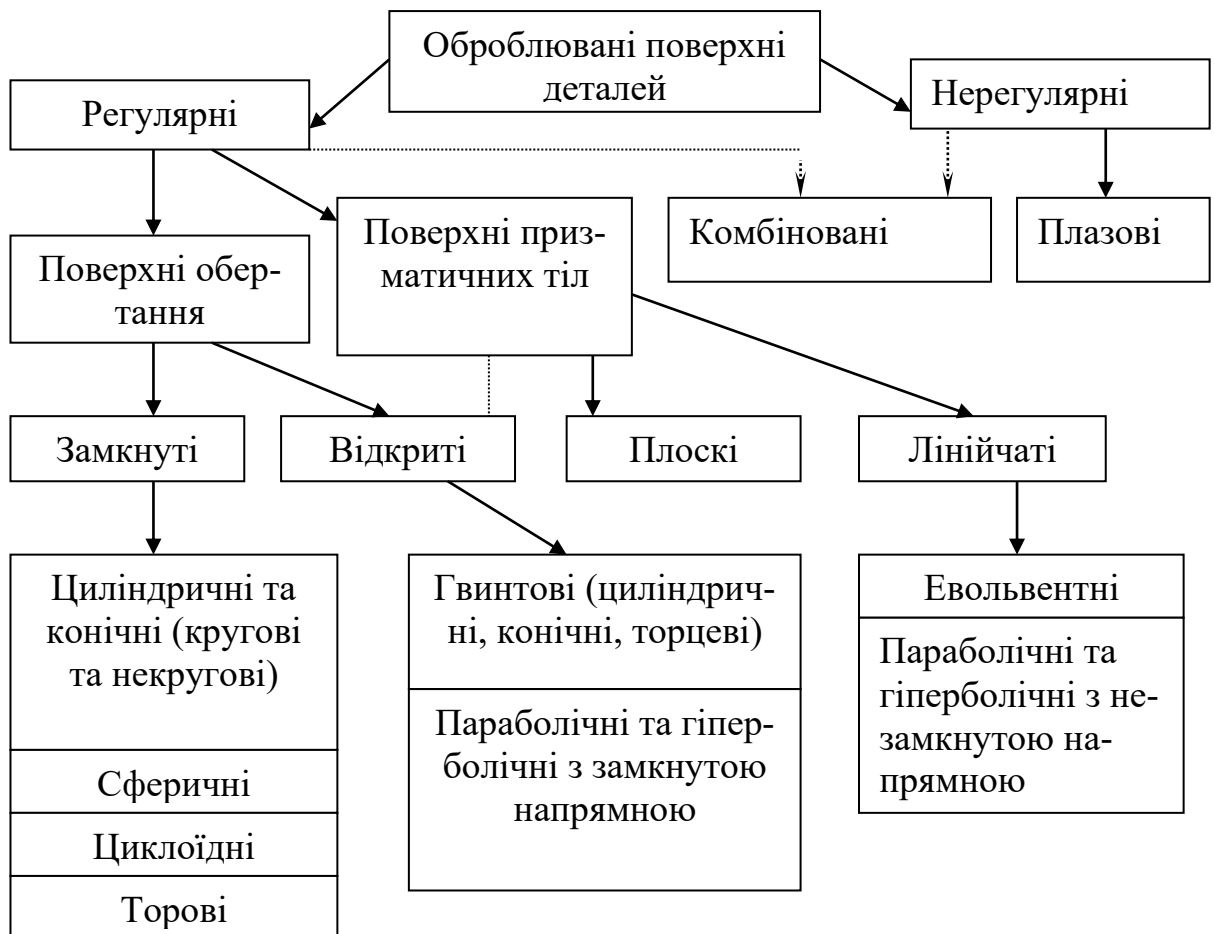
## 2. КІНЕМАТИЧНА СТРУКТУРА МЕТАЛОРИЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

### 2.1. Кінематика процесу різання на металорізальних верстатах

Кінематика – розділ механіки, в якому вивчаються геометричні властивості механічного руху тіл без обліку їхньої маси і діючих сил, тобто лише просторові характеристики. При аналізі і синтезі кінематики МВ у деяких випадках будуть використовуватися і Е характеристики.

Основою кінематичної структури (КС) металорізальних верстатів є кінематика самого процесу різання, тобто взаємодія інструмента і деталі, що приводить до формоутворення деталі.

Способів цієї взаємодії безліч, тому що існує безліч видів ОП і видів інструмента. Однак різноманіття можливостей обробки ОП можна звести до раціонального мінімуму, якщо їхнє упорядкування починати з розгляду геометрії ОП деталей, оброблюваних на МВ (рис. 2.1).



Поверхні оброблюваних на МВ деталей, як правило, більше ніж площа перетину ділянки ріжучого інструмента, що впливає на деталь. Тому для обробки всієї площі ОП необхідна взаємодія інструмента і деталі. До визначення цих рухів можна підійти абстрагуючи від процесу різання і розглядати ОП як ідеальні геометричні поверхні. Тоді їхнє формоутворення відбувається завдяки переміщенню однієї лінії, що зветься *утворюючою лінією (УЛ)*, по іншій лінії, що зветься *напрямною лінією (НЛ)*. Пари цих ліній іменуються *формоутворюючими лініями* (рис. 2.2).

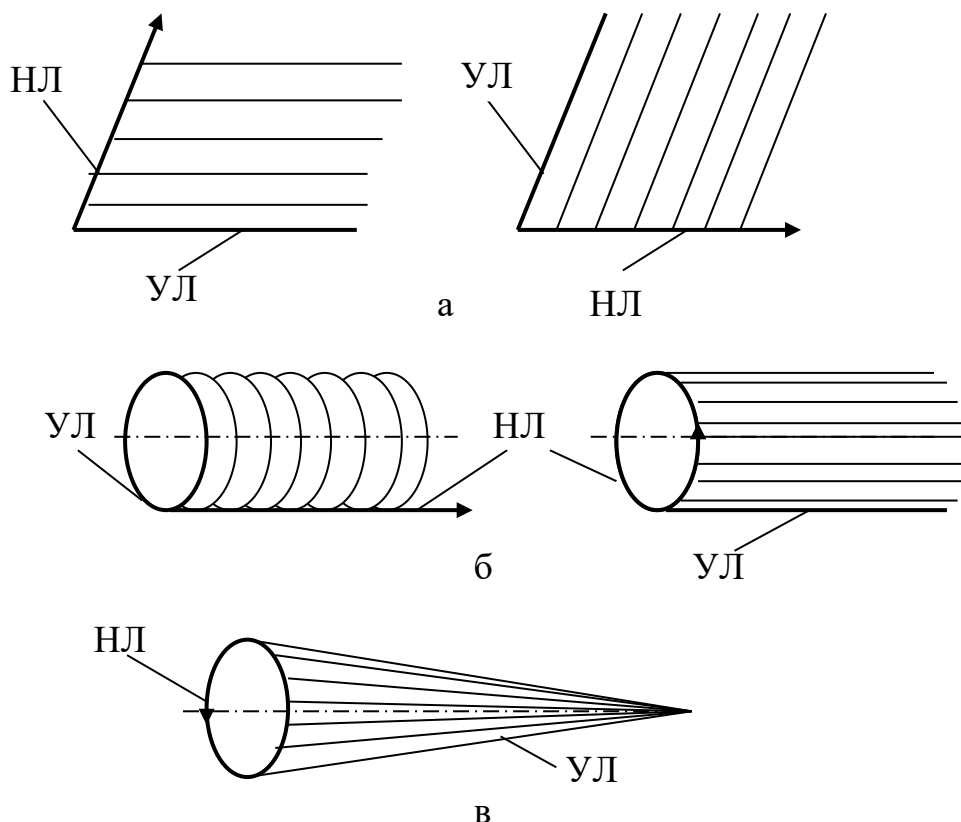


Рис. 2.2. Схема геометричного утворення поверхонь

Формоутворюючі лінії, що беруть участь у процесі формоутворення поверхонь, можуть мінятися місцями і тоді вони називаються оберненими (рис.2.2,а,б). Поверхня конуса (рис. 2.2,в) необернена.

У кожній стадії процесу різання УЛ повинна мати повний розмір, а ОП поступово нарощуватися уздовж НЛ. Ця повна довжина УЛ може бути отримана двома способами:

- міститися у формі леза інструмента;
- «прокреслюватися» точкою - вершиною інструмента зі швидкістю значно перевищуючу швидкість руху УЛ по НЛ.

Виходячи з вищевикладеного можна, виділити 4 способи одержання виробляючих ліній, що дають обмежене число методів формоутворення ОП на МВ.

1. *Метод копіювання* – УЛ укладена в конфігурації різальної кромки інструмента, а тоді для одержання повної ОП потрібно лише один рух інструмента щодо деталі (чи навпаки) (рис. 2.3,а).

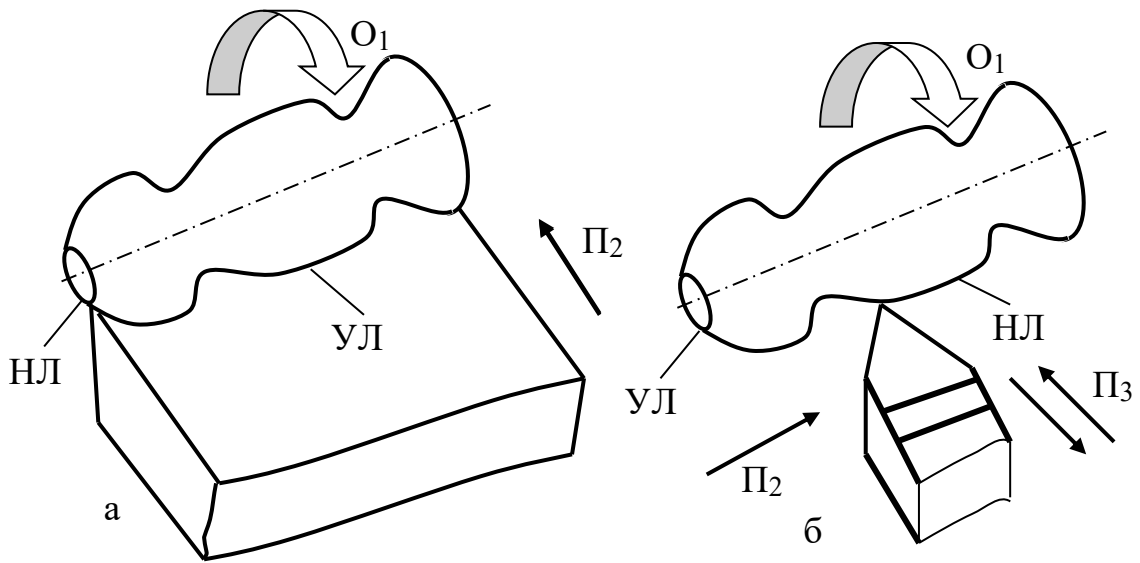


Рис.2.3

2. *Метод сліду* – УЛ виникає як слід фізичної точки (вершини різця), що рухається з великою швидкістю відносно деталі (чи навпаки). Для одержання всієї ОП необхідний рух виникаючої УЛ уздовж НЛ (НЛ може бути отримана іншим способом) (рис. 2.3,б і 2.4,а).

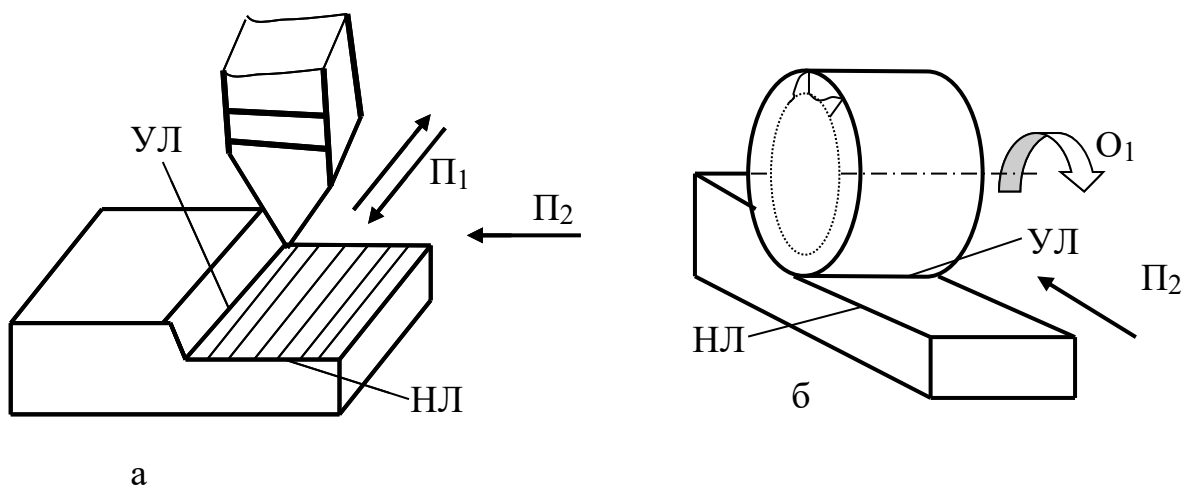


Рис. 2.4

3. *Метод дотику* – УЛ виникає як дотична до безупинного ряду траєкторій ріжучих точок (лез), інструмента, що обертається при його русі щодо деталі. Для одержання неперервної УЛ цим методом потрібно, як правило, щоб інструмент мав множину ріжучих точок, а значить, точок торкання. Повна ОП забезпечується переміщенням отриманої УЛ вздовж будь-якої НЛ (рис. 2.4,б).



4. Метод обкату (обводу) – УЛ виникає у формі обвідної безперервного ряду послідовних положень леза ріжучого інструмента при його обкатуванні без ковзання. Лезо інструмента за формою відрізняється від одержуваної УЛ і при різних положеннях інструмента є дотичною до нього (рис. 2.5).

Поєднання методів одержання виробляючих ліній дає різні способи фор-

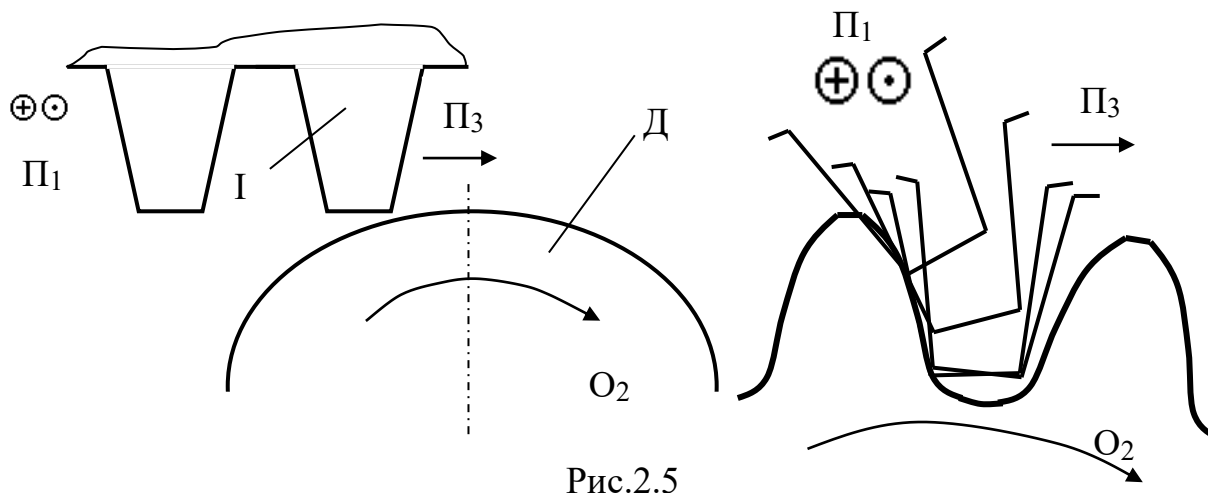


Рис.2.5

моутворення ОП. Теоретично їх  $16 = 4 \times 4$ , фактично менше (13).

Зіставлення форми ОП і типів інструментів не може приводити до однозначного вибору способу формоутворення ОП, тому що її можна одержати в багатьох випадках по різному. Цей вибір залежить від всього комплексу вимог до деталі і буде розглядатися надалі.

Коли ж вибір способу формоутворення ОП зроблений, то це служить відправним моментом для подальшого аналізу і синтезу кінематичної структури МВ, першим кроком якого є визначення рухів інструмента і деталі необхідних для формоутворення ОП і всіх допоміжних дій.

## 2.2. Класифікація рухів у металорізальних верстатах

Класифікація рухів у металорізальних верстатах будується за принципом розбивки характеристик рухів на вже відомі групи S, H, T, E (рис.2.6).

Класифікація рухів у металорізальних верстатах по призначенню виконавчих рухів ( $S_Q$ ) представлена на рис. 2.7.

Формотворні рухи ( $\Phi$ ) створюють виробляючі лінії і забезпечують одержання повної ОП.  $\Phi_V$  – головний рух різання, що забезпечує зрізання поверхневого шару деталі з певною швидкістю різання  $V_P$ . Рух  $\Phi_S$  – рух подачі, що забезпечує переміщення одержаної в результаті руху  $\Phi_V$  ділянки контакту I з Д і утворення повної ОП. Якщо для утворення ОП необхідно більш двох рухів, то лише один з них, що має більшу швидкість, буде рухом  $\Phi_V$ , а інші - рухами  $\Phi_S$ . Якщо рух  $\Phi_V$  є складним, тобто складається з двох і більш рухів, тоді лише один з них буде рухом, що забезпечує швидкість різання (більшим з його складових).

Установчі рухи ( $U_c$ ) забезпечують вихідне відносне положення виробляючих ліній (тобто положення інструмента щодо деталі) перед початком процесу формоутворення. Якщо рух  $U_c$  супроводжується зняттям стружки, то це врізання ( $V_p$ ), якщо цього не відбувається, то це рух настройки ( $H_c$ ).

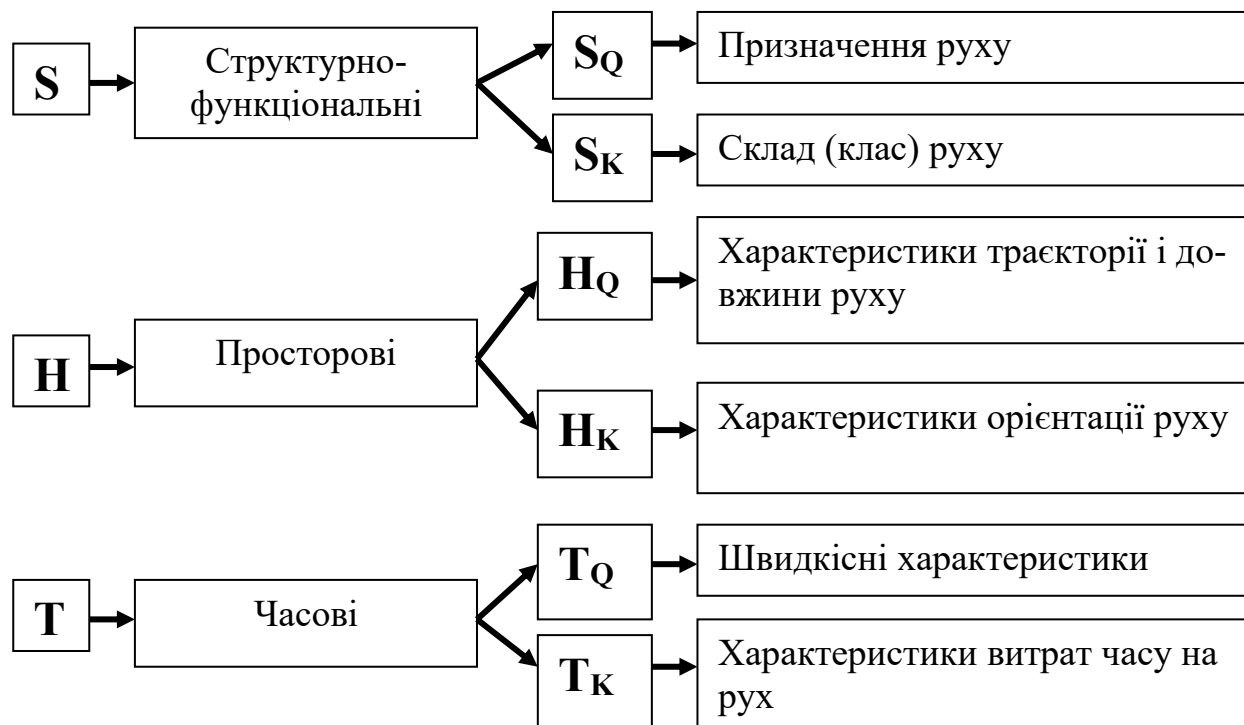


Рис. 2.6

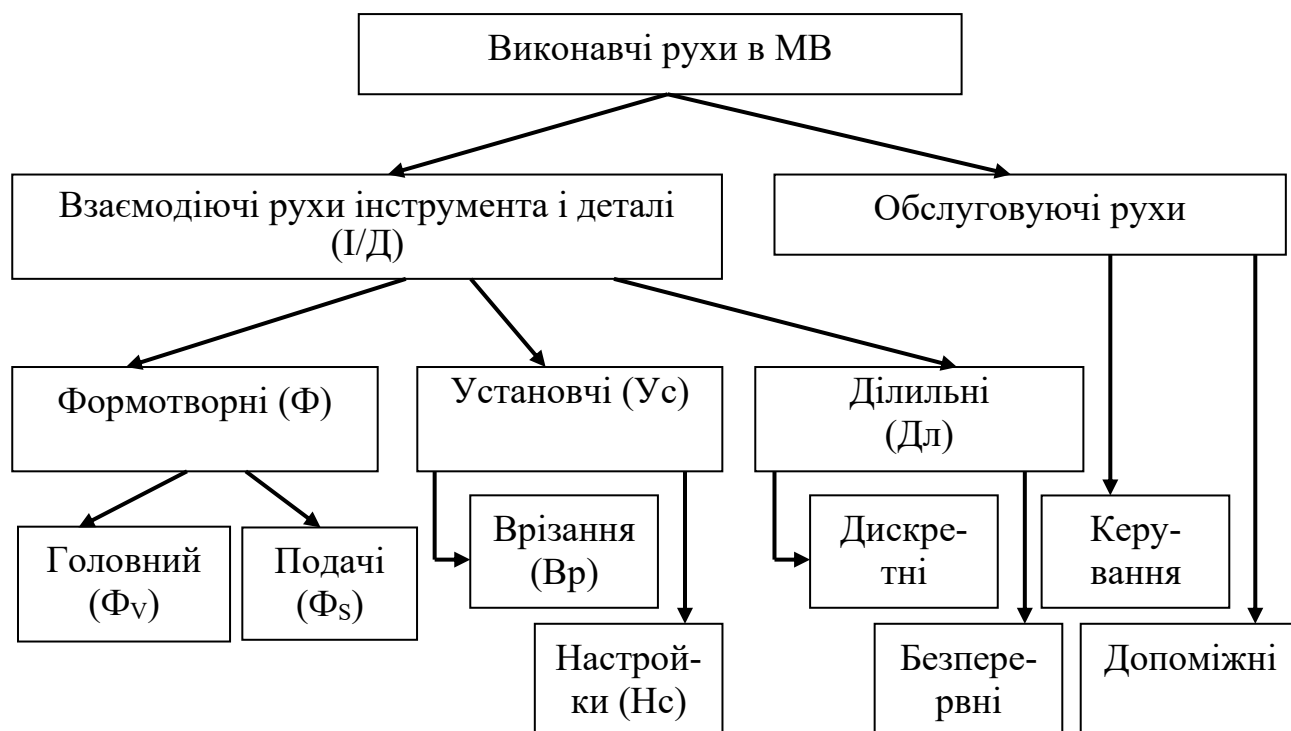


Рис.2.7

Ділильні рухи (Дл) служать для переносу процесу формоутворення на нові (найчастіше еквідистантні) ділянки деталі з метою його повторення на новому місці. Найчастіше Дл дискретні (не співпадають за часом з рухами ( $\Phi$ )), іноді безупинні (збігаються за часом з рухами ( $\Phi$ )).

По характеристиці  $S_K$  (складу і класу рухів (рис. 2.6)) виконавчі рухи поділяються на *прості і складні*.

Прості рухи складаються тільки з *елементарних* рухів, до яких у МВ відносяться *рухи по прямій* - поступальні рухи ( $\Pi$ ) і *обертальні* рухи ( $O$ ) по круговій траєкторії.

Складні виконавчі рухи являють з себе кінематичне складення двох і більш елементарних рухів. Ознаками належності елементарних рухів до складного є:

- одночасність початку і тривалість (синхронність);
- строга закономірність взаємозв'язку параметрів елементарних рухів.

Приклад (рис. 2.8):

а) точіння «гладкої» ОП. У цьому випадку  $\Phi_V(O_1)$  і  $\Phi_S(\Pi_2)$  – прості, що складаються з одного елементарного руху. Тому що будь-яка, навіть довільна зміна їхніх швидкостей відіб'ється лише на реальній якості ОП, але не на теоретичній формі ОП – круглому циліндрі  $\rho$ ;

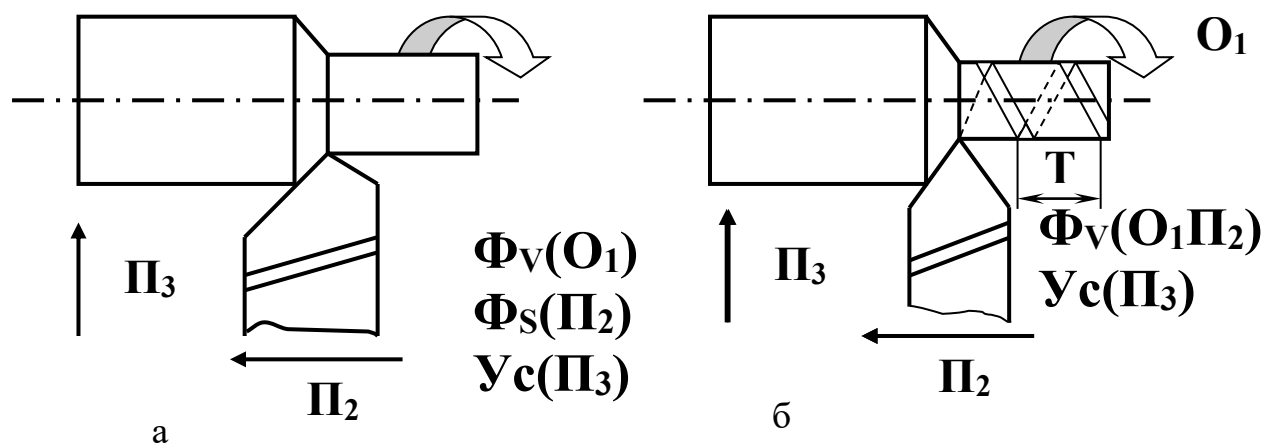


Рис.2.8

б) та ж кінематична схема використовується для нарізування різьби. У цьому випадку головний рух  $\Phi_V(O_1\Pi_2)$ , тобто складається з двох рухів. На один повний оборот деталі  $O_1$  різець повинен переміститися на величину кроку різьби  $T$  за напрямком  $\Pi_2$  і так само в течії всього процесу формоутворення.

В обох випадках рух  $Uс(\Pi_3)$  є установчим переміщенням інструмента на глибину різання.

*Параметрами* рухів називають точно визначені значення об'єктивних (тобто просторово-часових, незалежних від призначення і класу рухів) характеристик рухів як кількісних, так і якісних. Для їхнього виявлення продовжимо схему класифікації рухів у МВ представлену на рис. 2.6 на ще один рівень розподілу (рис. 2.9).

Виділені параметри рухів можуть змінюватися, тобто *регулюватися*, що може виконуватися:

- *кількісно* – коли задається визначене число значень з ряду безупинних чи дискретних значень у визначеному діапазоні застосування параметра;
- *якісно* – коли задається визначений закон зміни параметра під час здійснення руху;
- *альтернативно* – коли задається одне з двох можливих значень параметра (наприклад напрямок обертання).

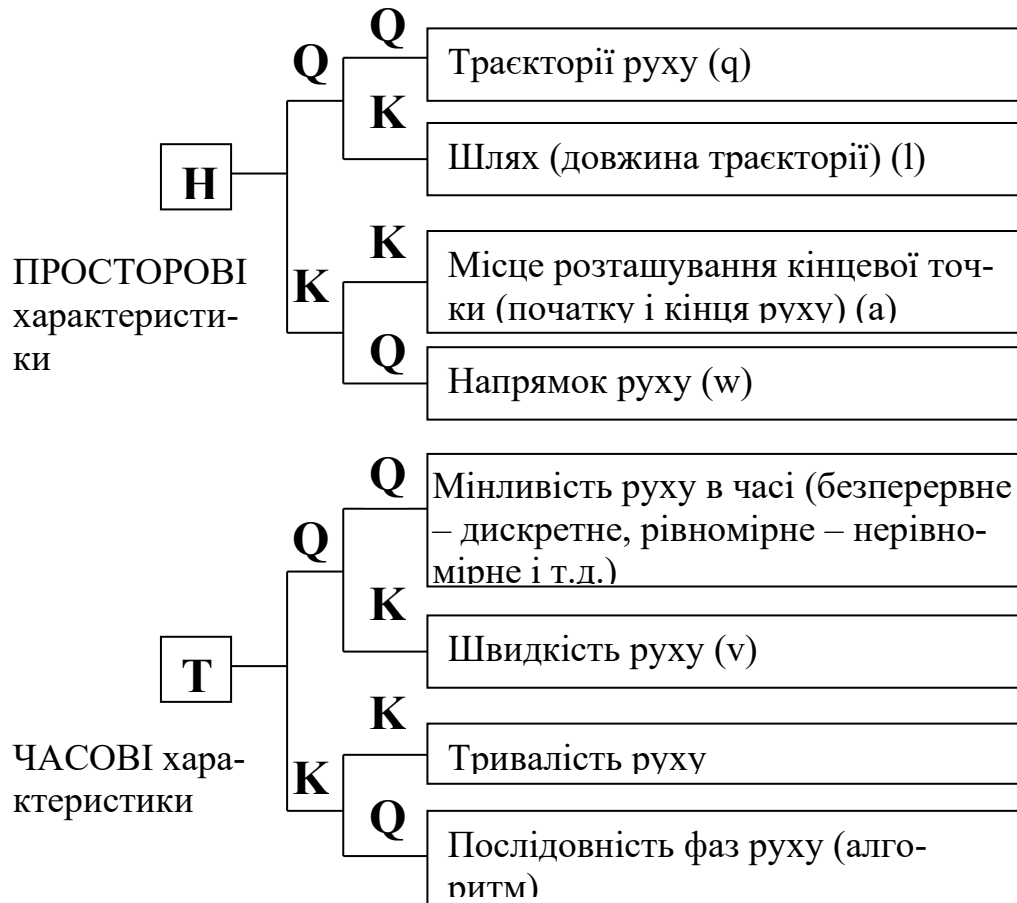


Рис. 2.9

Регулюватися можуть усі 8 виділених параметрів, але мінливість руху в часі і послідовність фаз руху залежать не стільки від кінематики, скільки від програми і типу керування, тому вони не є кінематичними параметрами. Тривалість руху є похідною від швидкості і шляху руху. Залишається 5 регульованих параметрів виконавчих рухів.

Установка або введення необхідних значень регульованих параметрів іменується *настройкою* (табл. 2.1).

Так, при простому замкнутому русі (по круговій траєкторії) вид траєкторії забезпечується конструктивно – опорами в обертальній кінематичній парі, а настроювання шляху і точки позиціонування позбавлені смислу. Для складного замкнутого руху потрібно забезпечити певну траєкторію шляхом регулювання параметрів (як правило, швидкостей) елементарних рухів, що входять у складний рух. Незамкнута траєкторія простого руху забезпечується напрямними вер-

стата, інші чотири параметри (початкова чи кінцева точка, шлях, швидкість і напрямок) вимагають настройки. Для складного незамкнутого руху необхідна настройка всіх п'яти параметрів.

Таблиця 2.1

Параметри виконавчих рухів, що настроюються	Замкнутий рух		Незамкнутий рух	
	простий	складний	простий	складний
Точка позиціювання – а	-	-	+	+
Шлях – l	-	-	+	+
Траєкторія – q	-	+	-	+
Швидкість – v	+	+	+	+
Напрямок – w	+	+	+	+
Число параметрів, що настроюються	2	3	4	5

Точність настройки регульованих параметрів залежить від призначення руху. Так, у складних рухах формоутворення точно настроюється траєкторія (q), наприклад, у зубофрезерних верстатах погрішність регульованого передатного відношення в кінематичних ланцюгах забезпечення траєкторії складає  $\pm 0,00002$ . У рухах ділення точно встановлюється шлях (l), у установчих рухах – точка позиціювання (a).

Пристрої, що забезпечують регулювання параметрів виконавчих рухів у МВ, називаються органами настройки (ОН).

Настройка складного руху складається в установці точної залежності між значеннями параметрів елементарних рухів, що входять у складне, така настройка називається кінематичною настройкою верстата.

Практично настройка складної траєкторії забезпечується установкою відповідного співвідношення швидкостей елементарних рухів, що входять у складний, тому швидкість руху – найбільш важливий параметр виконавчого руху будь-якого призначення.

*Питання для самоперевірки до четвертої лекції*

1. Які типи оброблюваних на МВ поверхонь вам відомі?
2. Сформулюйте поняття направляючої та утворюючої ліній.
3. Перелічить методи отримання виробляючих ліній.
4. Сформулюйте сутність методу копіювання.
5. Сформулюйте сутність методу сліду.
6. Сформулюйте сутність методу дотику.
7. Сформулюйте сутність методу обкату.
8. Які виконавчі рухи в МВ вам відомі?
  9. Як класифікують параметри виконавчих рухів?
  10. Як регулюють виконавчі рухи?
  11. Як настроюють параметри виконавчих рухів відповідно з їх типами?

## Лекція 5

Мета лекції вивчення складових кінематичної структури та порядку кінематичної настройки МВ, що дає можливість записати рівняння кінематичного балансу для будь-якого кінематичного ланцюга МВ.

### 2.3. Кінематичні зв'язки в металорізальних верстатах

Взаємозв'язок рухів і узгодження їхніх параметрів у будь-якій системі, що рухається, називається кінематичним зв'язком (КЗ). В МВ розрізняють *внутрішні* і *зовнішні* кінематичні зв'язки.

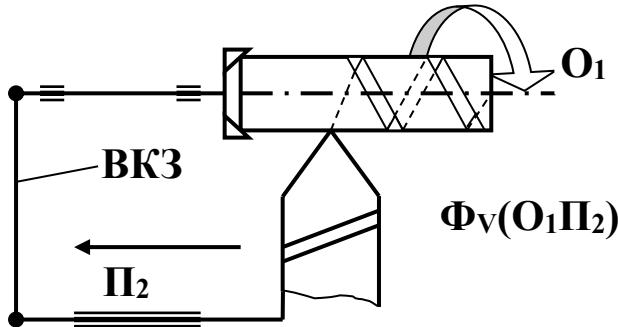


Рис.2.10

Внутрішній кінематичний зв'язок (VKZ) – сукупність кінематичних ланок і їхніх з'єднань, що забезпечують якісну характеристику виконавчого руху – його траєкторію. Для простих рухів це рухливе з'єднання двох кінематичних ланок, що складають виконавчий орган верстата. Наприклад, це зв'язок “шпиндель – опори” (для обертального руху), “повзун – напрямні” (для поступального руху).

Для складних рухів VKZ забезпечує узгодження параметрів елементарних рухів, які входять у складний, що приводить до одержання необхідної траєкторії складного руху. Наприклад, це зв'язок між обертанням шпинделя і лінійним переміщенням інструментального супорта в токарному верстаті при нарізуванні різьби (рис. 2.10).

Сам по собі VKC не створює руху, для цього його потрібно підключити до джерела руху за допомогою зовнішнього кінематичного зв'язку. Тобто зовнішній кінематичний зв'язок (ЗКЗ) зв'язує виконавчі органи з джерелом руху – двигуном того чи іншого типу. Відзначимо, що для складного виконавчого руху, у якому ЗКЗ забезпечується механічним шляхом, ЗКЗ – загальний для елементарних рухів, що входять у складний рух (рис.2.11).

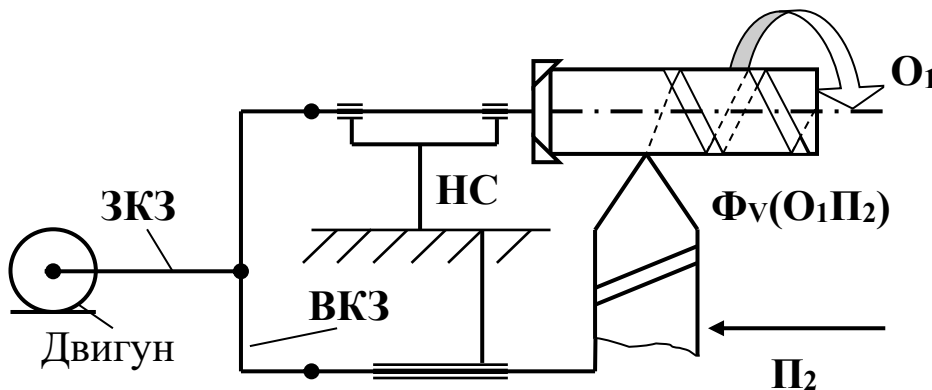


Рис 2.11

В зовнішньому кінематичному зв'язку настраюються кількісні параметри виконавчих рухів - швидкість, шлях і точка позиціонування, також якісний пара-

метр - напрямок руху ( $v, l, a, i, w$ ), органи настроювання яких можуть бути встановлені в ряді випадків і у ВКЗ.

Усі пристрої, що входять у зовнішні і внутрішні КЗ і в підсумку надають рух робочому органу верстата, утворять привод цього руху. Відповідно до призначення руху може бути *привод головного руху, привод подачі, привод розподілу* і т. д.

Привод поняття енергетичне, з кінематичної точки зору сукупність внутрішнього і зовнішнього КЗ одного функціонального призначення утворять кінематичну групу (КГ).

*Кінематичною групою* (КГ) називається сукупність джерела руху і пристроїв, що з'єднують внутрішні і зовнішні КЗ для реалізації загальної функції - створення певного виконавчого руху з заданими параметрами.

КГ для створення простого виконавчого руху називається *простою* КГ, а для складного – *складною* КГ. У будь-якому випадку число КГ дорівнює числу формотворних рухів.

Наприклад, за схемою рис. 2.8,а для гладкого точіння є дві прості КГ:  $\Phi_V(O_1)$  – головного руху і  $\Phi_S(P_2)$  – подачі. А за схемою рис. 2.8,б – тільки одна складна КГ –  $\Phi_V(O_1 P_2)$  – головного руху.

Кожна з КГ може складатися з 1-го, 2-х і більш *кінематичних ланцюгів* (КЛ), сукупностей пристроїв і механізмів, що забезпечують узгодження специфічних окремих параметрів, що визначає більш загальний параметр складного руху, або специфічна ділянка привода простого руху.

Наприклад (рис. 2.12), при нарізанні різьби на конічній поверхні працює одна складна КГ триелементного руху  $\Phi_V(O_1 P_2 P_3)$ . Вона складається з двох КЛ,

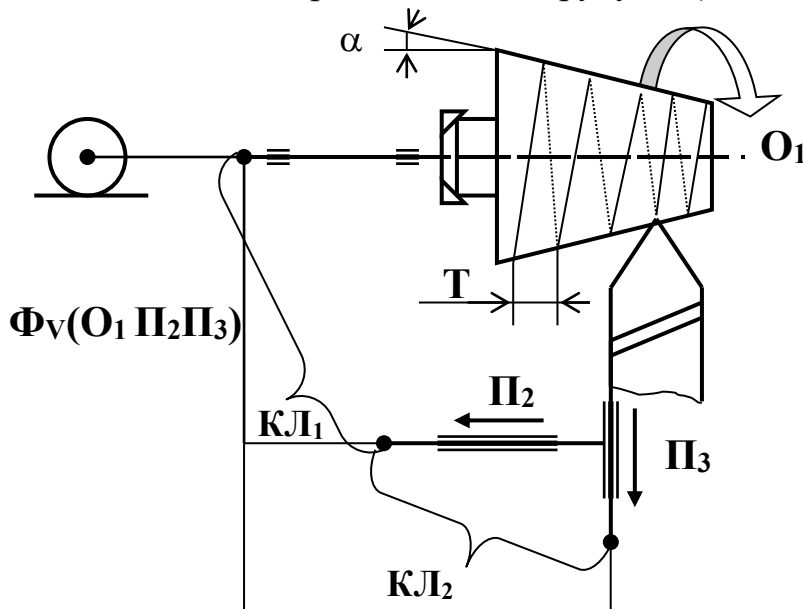


Рис 2.12

перший з них узгоджує рух  $O_1$  і  $P_2$  з кроком різьби  $T$ , а другий КЛ - рух  $P_2$  і  $P_3$  - з конусністю (з кутом  $\alpha$ ), тобто траєкторія визначається не 1-м, а 2-ма числовими параметрами.

У свою чергу, КЛ складаються з конструктивних елементів, що з погляду кінематики називаються *кінематичними ланками* (КЛК). Дві такі кінематичні ланки, з'єднані безпосередньо КЗ, іменуються *кінематичною парою* (КП). Для позначення КЛК використовують

стандартні позначення (ГОСТ 2.770-68), які вивчаються в курсі лабораторних робіт.

Сукупність КГ, у яку входять КЛ і КП, способи їхнього з'єднання за допомогою КЗ у різні функціональні утворення називається *кінематичною структурою* МВ (рис. 2.13).

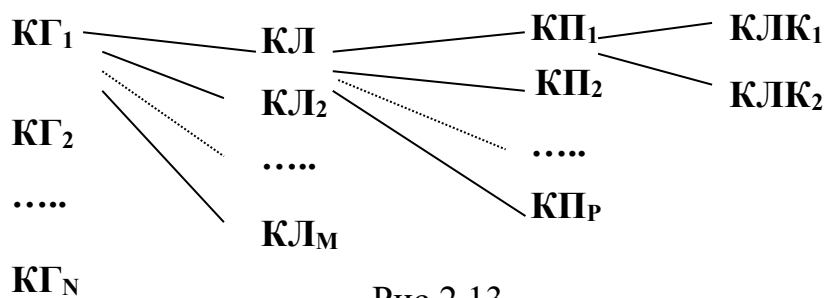


Рис.2.13

Способи з'єднання КГ різноманітні, вони залежать не тільки від кінематичних факторів, але і впливають з техніко-економічних розумінь. Так, у верстаті, кінематична структура якого складається лише з простих КГ, може бути загальний двигун. Або робочі органи, елементарні рухи яких входять у складні виконавчі рухи, що мають автономні приводи (тобто на кожен рух – свій двигун), а КЗ здійснюється не механічно, а з допомогою електричних зв'язків системи ЧПК.

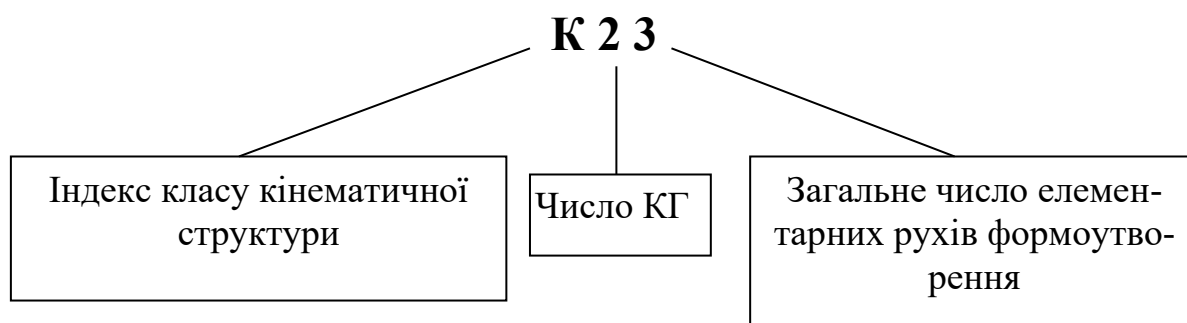
Однак конструктивні варіації МВ не змінюють суті КЗ і класу *кінематичної структури*. Таких класів три:

I – клас *елементарних кінематичних структур*, позначається індексом Е, складається лише з простих КГ;

II – клас *складних кінематичних структур*, позначається індексом С, складається тільки зі складних КГ;

III – клас *комбінованих кінематичних структур*, позначається індексом К, складається як із простих, так і зі складних КГ.

Прийнято записувати індекс кінематичної структури за наступною схемою:



Приклади запису різних структур:

Е11 - протягання -  $\Phi_V(\Pi_1)$ ;

Е33 – шліфування циліндричної поверхні -  $\Phi_V(O_1), \Phi_{S1}(O_2), \Phi_{S2}(\Pi_3)$ ;

С13 – нарізання конічної різьби різцем -  $\Phi_V(O_1, \Pi_2, \Pi_3)$ ;

С15 – затилування зубів конічної черв'ячної фрези зі спіральною роздільною канавкою -  $\Phi_V(O_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5)$ ;

К23 – зубодовбання круговим довбляком -  $\Phi_V(\Pi_1), \Phi_S(O_2, O_3)$ ;

К34 – фрезерування чи шліфування кругового конуса –  $\Phi_V(O_1), \Phi_{S1}(O_2), \Phi_{S2}(\Pi_3, \Pi_4)$ .



## 2.4. Кінематичне настроювання металорізальних верстатів

Кінематичне настроювання, тобто установка взаємопогоджуваних параметрів виконавчих рухів, виконується спеціальними пристроями – органами настройки (ОН).

ОН може бути механічним, електричним, гідравлічним, пневматичним і комбінованим.

У будь-якому випадку основною кінематичною характеристикою ОН є безрозмірна величина – *передатна функція*, що обумовлена як відношення значення регульованого параметра ( $P_2$ ) на виході ОН до значення цього параметра на вході ( $P_1$ ). Така передатна функція називається передатним відношенням ( $i$ ):

$$i_j = P_2/P_1.$$

При цьому кількісним параметром руху може бути або швидкість  $v$ , або шлях  $l$  (точка  $a$  регулюється через шлях від  $a_1$  до  $a_2$ ).

Величина  $i_j$  для різних ОН варіюється в певному діапазоні регулювання  $R_i = i_{\max} / i_{\min}$ , по номіналу  $R_i$  може бути від 4...6 – для механічних передач, до  $R_i = 3000...10000$  і більш - для регульованого електропривода.

Привод будь-якого виконавчого руху складається з джерела руху, органів настроювання (якщо необхідно регулювати вихідні параметри рухів у широкому діапазоні), а також ряду кінематичних пар з постійними передатними відносинами, крім того, можуть бути перетворювачі виду руху (з обертового в поступальний і навпаки). Такі перетворювачі також характеризуються певним передатним відношенням  $i_{\text{пр}}$  (наприклад для ходового гвинта  $i_{\text{пр}} = t_{x,r}$ ). Загальне передатне відношення привода

$$i_{\text{пр}} = \prod_{j=1}^k i_j,$$

де  $j$  - порядковий номер кінематичної пари;  $k$  - число кінематичних пар послідовно з'єднаних у привод.

Зв'язок між значенням вхідного параметра привода (тобто параметром руху, створюваним джерелом руху - двигуном або органом верстата, що рухається,) і вихідним параметром виконавчого руху, вираженого через передатні відносини привода ( $i_{\text{пр}}$ ) називається *рівнянням кінематичного балансу* привода (РКБ):  $P_{\text{дж}} \times i_{\text{пр}} = P_{\text{в.о}}$ , де  $P_{\text{в.о}}$  – параметр руху виконавчого органу. РКБ для різних параметрів виконавчих рухів мають вид

$$v_{\text{дж}} \times i_{\text{пр}} = v_{\text{в.о}} - \text{для настроювання швидкості руху};$$

$$l_{\text{дж}} \times i_{\text{пр}} = l_{\text{в.о}} - \text{для шляху};$$

$v_{\text{дж}} \times \tau \times i_{\text{пр}} = l_{\text{в.о}} - \text{для шляху (у цьому випадку в привод необхідно включити перетворювач руху і визначити час роботи привоу } \tau).$

Метою складання і рішення РКБ є відшукування такого значення передатного відношення органу настройки, що забезпечить необхідне значення вихідного параметра виконавчого руху.

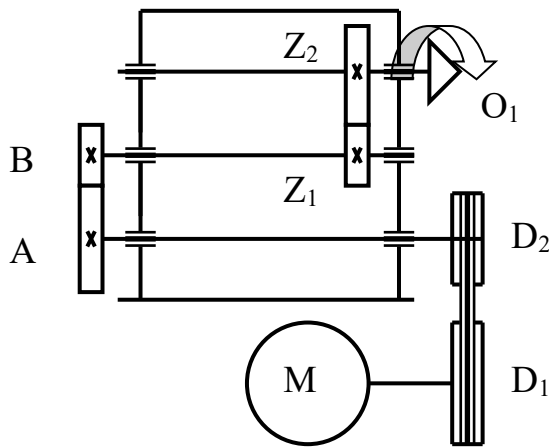


Рис.2.14

РКБ вирішують щодо *перемінного* члена рівняння. Наприклад, розглянемо найпростіший привод обертання шпинделя (рис. 2.14),

Виконавчий рух  $\Phi_V(O_1)$  відповідно до табл. 2.1 вимагає регулювання двох параметрів  $w$  і  $v$ , перший з них регулюється переключенням напрямку обертання двигуна, другий вимагає настроювання гітари А/В. Початкові умови РКБ<sub>V</sub>:  $n_M \rightarrow n_{шп}$ , тоді повне РКБ буде мати вид

$$n_M \times \frac{D_1}{D_2} \times f \times \frac{Z_A}{Z_B} \times \frac{Z_1}{Z_2} = n_{шп} [x \epsilon^{-1}]$$

де  $D_1/D_2$  – передатне відношення постійних передач,  $f$  – коефіцієнт проковзування пасової передачі,  $Z_A/Z_B$  – передатне відношення гітари.

З огляду на те що постійна кінематичного ланцюга дорівнює

$$n_M \times \frac{D_1}{D_2} \times f \times \frac{Z_1}{Z_2} = C_{O1} = \text{const},$$

одержимо рішення РКБ або *рівняння (формулу) настройки* приводу, у даному випадку за швидкістю

$$i_{\text{гит.}} = \frac{Z_A}{Z_B} = \frac{n_{шп}}{C_{O1}}$$

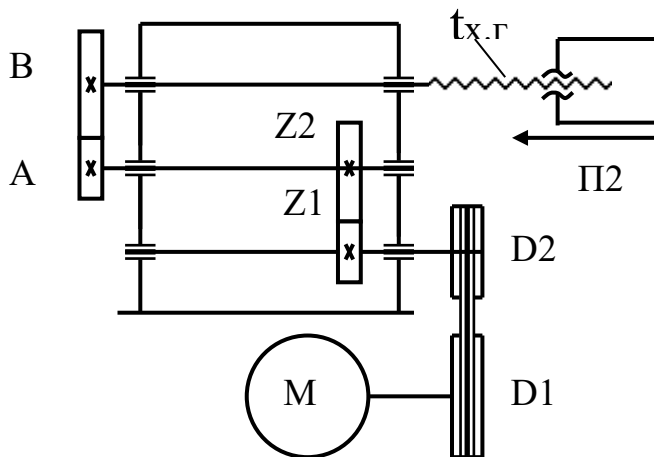


Рис.2.15

Розглянемо приклад поступального виконавчого руху (рис. 2.15).

Виконавчий рух  $\Phi_S(\Pi_2)$  відповідно до табл. 2.1 вимагає регулювання чотирьох параметрів  $w$ ,  $a$ ,  $l$ ,  $v$  і  $i$ , перший з них регулюється переключенням напрямку обертання двигуна, другий і третій можна забезпечити розмиканням у потрібний момент КЛ за допомогою муфти і кінцевого вимикача. Останній параметр вимагає настроювання гітари А/В. Початкові умови РКБ:  $n_M \rightarrow V_S$ , тоді повне

РКБ буде мати вигляд:

$$n_M \frac{D_1}{D_2} f \frac{Z_1}{Z_2} \frac{Z_A}{Z_B} t_{x,\Gamma} = V_S \left[ \frac{MM}{XB} \right]$$

За аналогією одержимо рівняння настроювання приводу, у даному випадку по швидкості подачі:

Загальний порядок кінематичної настройки МВ:

- 1) виявити кінцеві ланки КЛ і всі КП, що входять у цей КЛ;
- 2) визначити вид і розмірність початкового і кінцевого рухів і їхню взаємозалежність, тобто визначити вихідні умови РКБ ;
- 3) скласти повне РКБ;
- 4) виявити перемінний член РКБ і вирішити рівняння настройки.

Настроювання МВ за описаною схемою роблять лише в тому випадку, коли в якості ОН використовують гітару змінних коліс (тобто для спеціальних і спеціалізованих верстатів, верстатів-автоматів і напівавтоматів і ін.). Найчастіше ОН у МВ з'єднані зі спеціальними системами керування і за допомогою органів керування (механічних, електричних і ін.) і відповідних шкал (показчиків, індикаторів і ін.). Необхідне значення параметра вводиться до ОН або оператором, або відповідно програмі керування - автоматизованих МВ.

*Питання для самоперевірки до п'ятої лекції*

1. Як розрізняють кінематичні зв'язки в МВ?
2. Як звать приводи відповідно призначення рухів?
3. Сформулюйте поняття кінематичної групи.
4. Як складаються кінематичні ланцюги?
5. Що зветься кінематичною ланкою?
6. Які класи кінематичної структури вам відомі?
7. Як прийнято записувати індекс кінематичної структури?
8. Для чого призначений орган настройки МВ?
9. Як визначити передатне відношення?
10. Що називається рівнянням кінематичного балансу?
11. Як здійснюється загальний порядок кінематичної настройки МВ?

*Лекція 6*

*Метою лекції є навчання складати структурно-кінематичні схеми МВ.*

### **3. СТРУКТУРНО-КІНЕМАТИЧНІ СХЕМИ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ**

#### **3.1. Синтез структурно-кінематичних схем**

У наведених прикладах кінематичні ланцюги складаються з елементарних двох валових механізмів, що визначають собою конструктивні варіанти елементів кінематики. З погляду кінематики, конкретна конструкція її елементів не настільки значна, важливіше її функції. Тому традиційні кінематичні схеми, що відображають конкретну конструкцію МВ, мають обмежені можливості для узагальненого аналізу і синтезу кінематики. Потрібні більш загальні – структурно-кінематичні схеми (СКС) і відповідні умовні позначки їхніх елементів.

В табл. 3.1 представлені такі позначення, які істотно доповнюють знаки, що зустрічаються в літературі [7].

На рис. 3.1 показані СКС для прикладів показаних на рис. 2.14, 2.15 і 2.11.

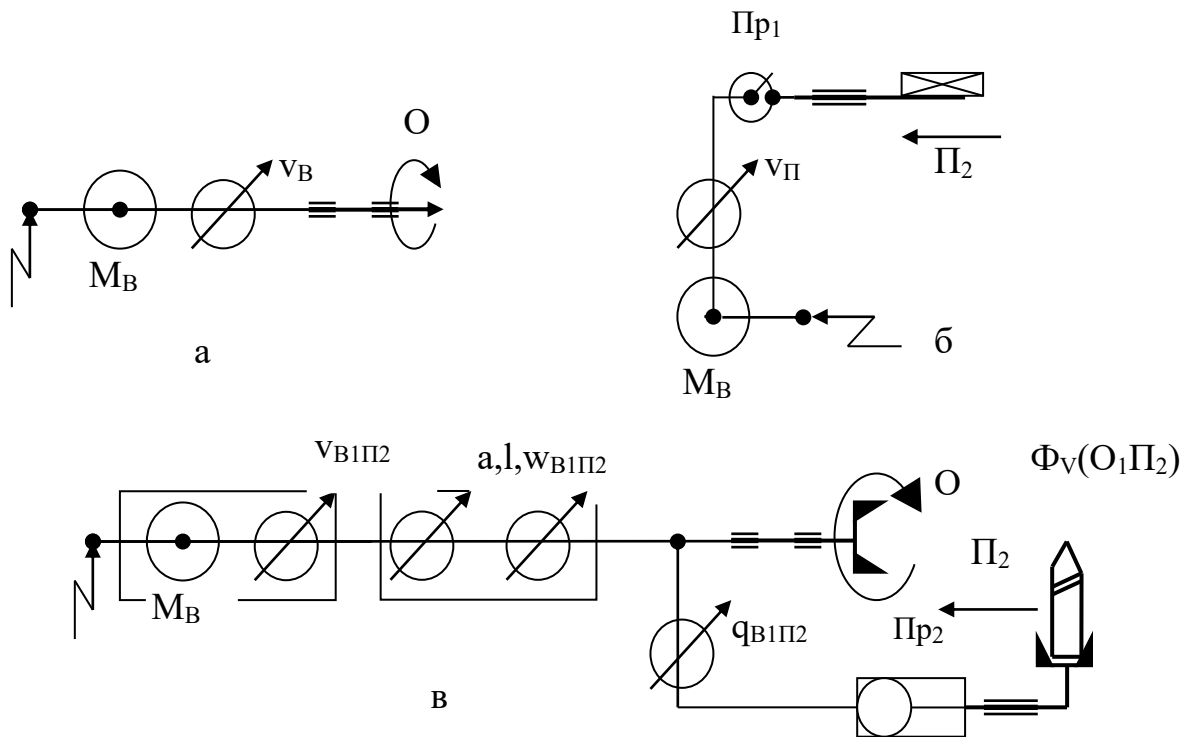


Рис. 3.1

Слід зазначити, що побудова СКС не є стандартизованим етапом проектування, тому в літературі зустрічається неоднозначність у зображенні елементів і в рекомендаціях з їх побудови.

Побудові СКС повинний передувати вибір схеми різання, тобто визначення найбільш раціонального для оброблюваної поверхні методу її формоутворення і відповідного ріжучого І. Будемо виходити з того, що такий вибір уже зроблений. Тоді побудова СКС включає наступні етапи:

1. Відповідно за обраною раніше схемою побудувати ортогональний ескіз взаємного положення оброблюваної Д та ріжучого І в процесі формоутворення ОП, при цьому Д треба розташовувати так, як вона звичайно розташовується на верстатах аналогах і прототипах. Якщо таких немає і немає явних переваг по розташуванню Д, що впливають з її форми і форми І, то розташування Д на ескізі може бути довільним.

2. Визначити вид і число елементарних рухів Д та І, необхідних для формоутворення ОП.

2.1. Провести аналіз і розподіл елементарних рухів між І та Д. Підставою для вибору можуть бути конструктивні рішення верстатів-аналогів і прототипів, передбачувана складність рухів.

## Графічні позначення для побудови СКС

Група	Функціональний елемент кінематичної структури	Мне-мознак	Група	Функціональний елемент кінематичної структури	Мне-мознак
Носій енергії ви-конавчого руху	Електрика		Органи налаштування регульованих параметрів виконавчих рухів	Кінцевої (початкової) точки	
	Гідравліка			Шляху (розрахункового переміщення)	
	Пневматика			Траєкторії	
	Мускульна сила			Швидкості	
Джерела руху	Обертального	Електродвигун	Перетворювачі виду руху	Напрямку	
		Гідромотор		3 обертального – в посту-пальний	
		Пневмомотор		3 обертального – в зворот-но-поступальний	
	Поступального	Мотор-гвинт		3 безупинно–обертального в дискретно-обертальний	
		Гідроциліндр		3 безупинно-поступального в дискретно-поступальний	
		Пневмоциліндр		3 безупинно–обертального в дискретно-поступальний	
Вид руху	Обертальне		Верстатні механізми і пристосування (знаки багатоланкових при-строїв комбінуються з елементарних знаків)	Кінематична пара елементар-ного обертального руху	
	Поступальне			Кінематична пара елемен-тарного поступ. руху	
Функ-ціональ-льні зв'язки	Кінематичні			Те саме, перпендикулярно площині креслення	
	Зв'язок керування			Кінематична пара руху по дузі кола	
Елементи сис-теми ЧПК	Круговий датчик			Вузол двокоординатний по-ступального руху (хресто-вий супорт)	
	Лінійний датчик			Вузол обертального і пос-тупального рухів (рухлива шпindelна голівка)	
	Орган відпрацювання команд керування			Передній кінець шпинделя, обертальний центр	
	Пристрій введення ін-формації (програми)			Затискний патрон, власник інструмента	
Трансформатори рухів	Орган замикання - розми-кання кінематичного ланцю-га			Пристрій фіксації рухливих органів	
	Орган переключення кі-нематичних ланцюгів			Кисть робота чи маніпуля-тора	
	Механізм обгону				
	Орган підсумовування рухів				
	Ділильний механізм				

2.2. Позначити елементарні рухи відповідними стрільцями і проставити їх біля зображення Д та І.

2.3. У тому випадку, коли елементарні рухи можуть виконуватися як Д, так і І визначений вибір ускладнений, варто намітити стрілками взаємопротилежні напрямки руху як біля зображення Д, так і біля зображення І.

3. Визначити розташування Д та І в просторі щодо осей координат і позначити координати елементарних рухів. Відповідно до системи позначень осей координат і координат рухів ISO (див. підрозділ 1.4).

Для подальшої побудови СКС зручно, щоб у площині ескізу розташовувалося б як можна більше число елементарних рухів, у протилежному випадку варто скорегувати вихідний ескіз.

4. Визначити клас і склад виконавчих рухів, тобто виявити необхідність злиття елементарних рухів у складні, або прийняти елементарні в якості простих виконавчих.

4.1. Скласти умовний запис кінематичної структури позначивши рухи формоутворення символами (рис. 2.7), а в дужках навести елементарні рухи, що входять у виконавчі.

4.2. Визначити число і вид регульованих параметрів (табл. 2.1). Записати буквені символи регульованих параметрів поруч із записом кінематичної структури виконавчого руху.

5. Розподілити виконавчі рухи між Д та І.

5.1. Остаточнo вибрати належність елементарних рухів до вузла Д чи до вузла І. Підставою для вибору можуть бути конструктивні рішення верстатів-аналогів, аналіз складності рухів і вимог до настроювання.

5.2. Дорисувати до зображень Д та І зображення виконавчих органів (шпинделів, супортів, столів, затискних патронів і т.д. (табл. 3.1)).

5.3 У записі кінематичної структури над символами координатних рухів, виконуваних Д, проставити штрихи.

5.4. Записати компоновочну формулу верстата (підрозд. 2.14).

6. Попередньо побудувати кінематичні ланцюги, тобто з'єднати вузли Д та І лініями внутрішніх і зовнішніх кінематичних зв'язків, для чого:

а) починаючи з головного руху провести лінії внутрішніх КЗ між виконавчими органами, що виконують елементарні рухи та входять в один складний рух;

б) визначити точки приєднання зовнішніх КЗ до внутрішніх, так щоб основний потік потужності минав органи настроювання, які необхідно буде установити у внутрішніх КЗ. Це значить, що потрібна точка повинна знаходитися ближче до виконавчого органу, на елементарні рухи якого витрачається більше потужності. Для простих виконавчих рухів точка приєднання зовнішнього КЗ розташовується впритул до відповідного виконавчого органу;

в) провести лінії зовнішніх КЗ від точок їхнього приєднання до джерела руху, позначивши його базовим знаком без уточнення виду двигуна;

г) проаналізувати можливості використання загальних джерел руху для різних КГ, намітивши точки запозичення руху від конструктивно загальних КЛ;

д) вибрати вид двигуна на основі аналізу кінематичної структури виконавчих рухів і якісної оцінки необхідної для них потужності, у базові знаки джерел руху ввести уточнення типів двигунів. При необхідності біля виконавчих органів установити перетворювачі виду рухів (наприклад, з обертального в поступальний).

7. Установити органи настройки регульованих параметрів виконавчих рухів відповідно до числа і виду визначених у п.4.2. При цьому:

7.1. Органи настройки траєкторії складного руху встановлюються тільки у внутрішніх КЗ, органи настройки інших регульованих параметрів можуть установлюватися як у внутрішньому, так і на відрізку зовнішнього КЗ, але у відповідній КГ даного складного руху.

7.2. Кожен параметр повинний настроюватися окремим і незалежним органом настройки, тобто перенастроювання якого-небудь параметра відповідним органом не повинна викликати перенастройки іншого органа (у зв'язку з цим правилом не слід поєднувати кінематичні ланцюги).

7.3. Як правило, в КЛ органи настройки заданої точки, шляху і напрямку встановлюють ближче до джерела руху, ніж орган настройки швидкості.

7.4. При використанні регульованих електродвигунів і гідродвигунів органи настройки установлюють відповідно до конструктивного виконання комплексних приводів.

7.5. У тому випадку, коли виконавчі рухи можуть реалізовуватися по різних КЛ (наприклад, через коробку подач або гітару змінних коліс), у точках розгалуження КЛ установити органи переключення. При необхідності передбачити також органи розмикання КЛ, що відключають їх від електродвигунів.

7.6. Проставити буквені позначення біля всіх елементів СКС. Арабськими цифрами позначити характерні точки (початок і кінець КЗ, КЛ, КГ) починаючи від джерела руху.

Графічно СКС повинна виконуватися так, щоб лінії зв'язків були як можна коротше, мали якнайменше перетинань і поворотів. Для додання СКС більшої наочності треба:

- позначення заготовки, інструмента і виконавчих органів викреслюють основною лінією креслення товщиною  $\delta = 0,5 \dots 1,5$  мм, КЗ і знаки органів настройки та ін. - тонкою лінією креслення від  $\delta/3$  до  $\delta/2$ .

- для ріжучого інструмента використовувати спрощені і стилізовані зображення, прагнучи до дотримання пропорції з зображенням заготовки.

- розміри позначень Д та І приймати в 1,5-2 рази більше розмірів інших знаків, останні повинні бути однаковими по розмірах і вписуватися в квадрати або прямокутники зі співвідношенням сторін 2:1.

- якщо орган настройки виконує дві функції, то знаки цих функцій варто розміщати поруч з основним, а потім укласти всі знаки в тонку прямокутну рамку.

У ряді випадків при складанні СКС можна використовувати комбінацію умовних позначок (табл. 3.1) і стандартних позначень кінематичних схем. СКС можна будувати в ізометрії, при цьому зручно поміщати на поле систему координат.

Після побудови СКС треба скласти в загальному виді розгорнуті рівняння кінематичного балансу для усіх виконавчих рухів і проаналізувати можливості скорочень КЛ і органів настройки шляхом їхнього об'єднання, перевірити правильність і раціональність розміщення всіх елементів кінематики.

### 3.2. Приклади складання структурно-кінематичних схем

Розглянемо приклад послідовного складання СКС для випадку обробки зовнішньої циліндричної поверхні.

1. Вихідними параметрами для побудови СКС є креслення оброблюваної деталі і технічні вимоги до неї. Нехай нам дана деталь (рис. 3.2,а), із креслення видно, що шорсткість зовнішньої циліндричної поверхні і точність розмірів деталі можуть бути отримані точінням. Тоді ОП буде отримана методом подвійного сліду і схема обробки деталі буде мати вид (рис.3.2,б).

2. Визначимо вид і число елементарних рухів і позначимо їх стрілками (рис .3.2,в).

3. Визначимо розміщення Д та І в просторі щодо осей координат (рис.3.2,г).

4. Визначимо, що головним рухом буде рух обертання деталі  $\Phi_V(O_1)$ , рухом подачі  $\Phi_S(\Pi_2)$  і настановним рухом –  $Ус(\Pi_3)$ . Напишемо буквені символи регульованих параметрів кожного руху (рис. 3.2,д).

5. За аналогією з існуючими токарними верстатами розподілимо виконавчі рухи між Д та І, зобразимо умовні позначки шпинделя і супорта, напишемо кінематичну структуру і компоновочну формулу (рис. 3.2,д).

6. Оскільки головний рух  $\Phi_V(O_1)$  – простий, то внутрішній КЗ реалізується тут між рухливим шпинделем і нерухомими підшипниками. Зовнішній КЗ незалежний, тому проводимо лінію КЗ від шпинделя до двигуна. Рух подачі  $\Phi_S(\Pi_2)$  – простий і теж може мати окремий двигун, але за аналогією з існуючими МВ приєднаємо зовнішній КЗ до шпинделя, а внутрішній КЗ буде реалізовуватися напрямними супорта. Рух установки  $Ус(\Pi_3)$  – простий, але за аналогією з існуючими верстатами як джерело руху для нього виберемо мускульну силу оператора МВ, а внутрішній КЗ буде реалізовуватися напрямними супорта. Як двигун для рухів  $\Phi_V(O_1)$  і  $\Phi_S(\Pi_2)$  виберемо електродвигун (рис. 3.2,е).

7. Відповідно до кількості і виду органів настройки, визначених у п.4, установимо їх у внутрішніх і зовнішніх КЗ. Підставимо буквені і цифрові індекси всіх елементів і характерних точок СКС (рис. 3.2,ж).

Перевіряємо правильність побудови СКС шляхом складання РКБ для усіх формотворних рухів.

1.  $\Phi_V(O_1)$ , де  $w, v$  – параметри, що настроюються;  $n_{MV} \rightarrow n_{шп}$  - вихідні умови РКБ; КЛ =  $M_V$  -1-2-3-4-шпиндель-Д, тоді РКБ:

$$n_{MV} \times i_{шп} \times i_v = n_{шп} = \frac{1000V}{\pi D_D} [xv^{-1}].$$



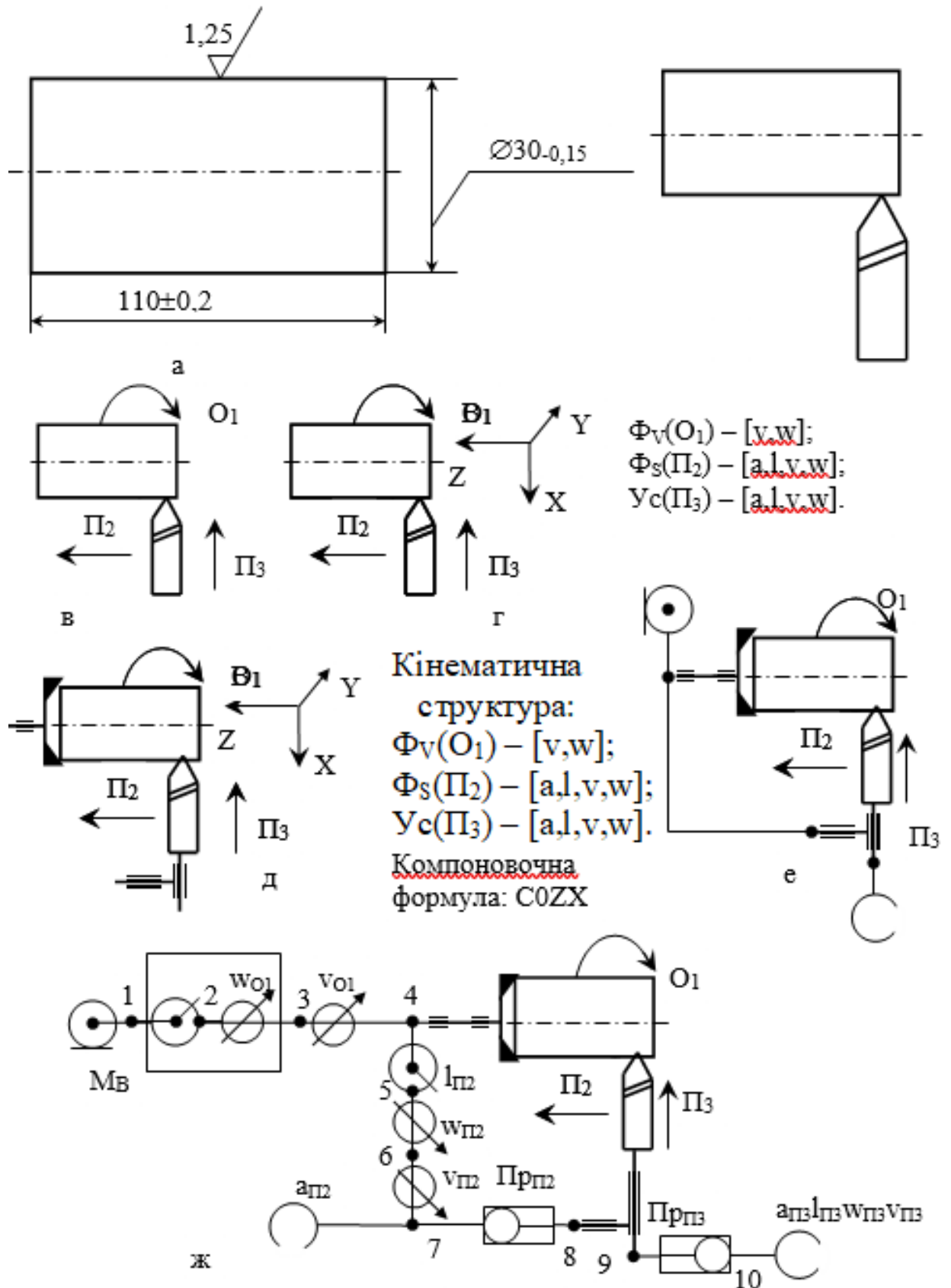


Рис.3.2

2.  $\Phi_S(\Pi_2)$ , де  $l, w, v, a$  – параметри, що настраюються;  $n_{шп} \rightarrow V_S$  – вихідні умови РКБ; КЛ = 4-5-6-7-х.г-8-І, тоді РКБ:

$$1 \text{ об.д.} \times i_{\text{ПП}} \times i_{\text{V}} \times t_{\text{Х.Г}} = V_S \left[ \frac{\text{ММ}}{\text{ХВ}} \right],$$

де  $i_{\text{ПП}}$  – передатне відношення постійних передач,  $i_{\text{V}}$  – розрахункове передатне відношення органу настройки.

Таким чином, всі регульовані параметри рухів настраюються автономними органами настройки, тобто СКС побудована вірно.

*Питання для самоперевірки до шостої лекції:*

1. Складіть СКС для свердління внутрішнього отвору порожнього валу.

*Лекція 7*

*Мета лекції вивчення способів регулювання параметрів виконавчих рухів та механізмів, що використовують для цього.*

### 3.3. Органи кінематичного настроювання і механізми металорізальних верстатів

Застосовувані в МВ способи і засоби регулювання швидкості виконавчих рухів представлені на рис. 3.3.

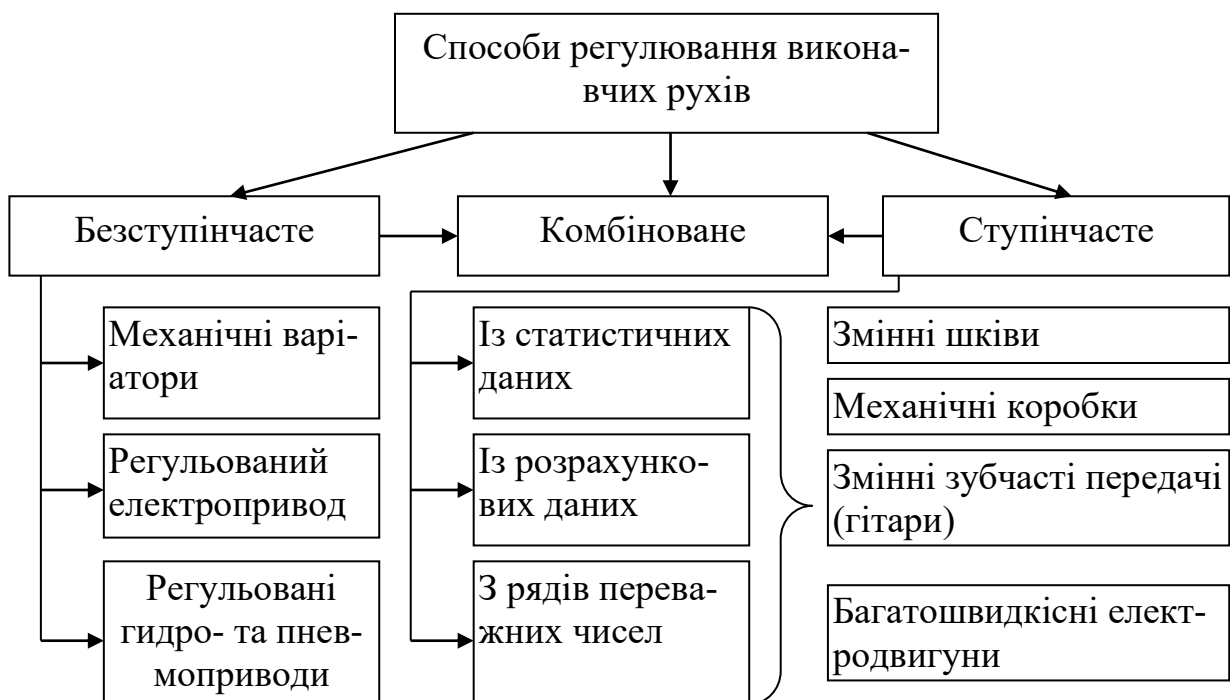


Рис.3.3

Основним параметром, що характеризує регулювання швидкості виконавчих рухів МВ, є *діапазон регулювання* - це відношення максимального значення швидкості виконавчого органу до його мінімального значення. Наприклад, для частот обертання діапазон регулювання дорівнює  $R_n = n_{\text{max}}/n_{\text{min}}$ .

Підставимо у формулу значення частот обертання шпинделя приводу головного руху:

$$n = 1000 \times V / \pi \times d, \text{ получимо: } R_n = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \times \frac{d_{\max}}{d_{\min}} = R_V \times R_d,$$

де  $R_n$  і  $R_d$  – діапазони регулювання швидкості і діаметрів відповідно.

Для різних груп верстатів  $R_n$  мають значення:

- токарні – 40...170;
- фрезерні – 20...70;
- карусельні – 25...50;
- радіально-свердлильні – 20...100;
- стругальні – 4...16...16

Виходячи з РКБ для приводу головного руху  $n = C \times i \times n_{\text{дв}}$ , одержимо

$$R_n = i_{\max} / i_{\min}.$$

Зміни передатних відносин усередині діапазону регулювання визначають спосіб регулювання (рис. 3.3).

*Безступінчасте регулювання* має наступні переваги:

- можливість точного забезпечення відповідності швидкості різання умовам обробки;
- можливість зміни швидкості без переривання процесу обробки;
- висока придатність для пристроїв зворотного зв'язку адаптивного керування;
- простота керування.

Розглянемо способи безступінчастого регулювання.

*Механічні варіатори* – пристрої з фрикційною кінематичною парою, у якій можна у визначеному діапазоні плавно змінювати радіус контакту веденої і (чи) ведучої ланок.

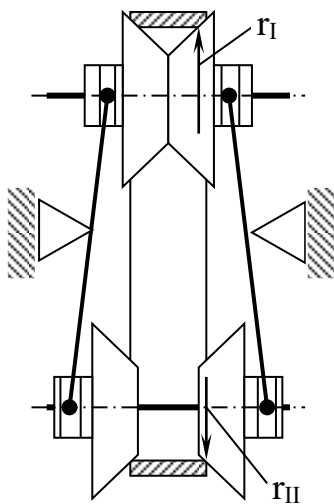


Рис.3.4

Діапазон регулювання швидкості  $R_n = 4...6$  Малій також і ККД  $\eta = 0,6...0,7$

Принцип дії численних конструкцій варіаторів можна пояснити на прикладі (рис. 3.4). Передатне відношення варіатора дорівнює

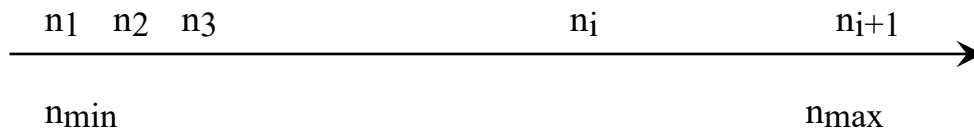
$$i = \frac{r_I}{r_{II}},$$

де  $r_I$  і  $r_{II}$  радіуси контакту плоского ремня з ведучим і відомим розсувними конусами варіатора.

Варіатори широко використовуються в МС малій і середній потужності (і навіть у комбінації з перебором у токарному верстаті з ЧПК). Загальний недолік механічних варіаторів, крім малого діапазону регулювання і низького ККД – неточність регулювання. Причини цього – утрати на тертя і значне прослизання. Усі варіатори мають значну ціну через високі вимоги до точності виготовлення.

Інші способи безступінчастого регулювання: електричний, гідравлічний і пневматичний - будуть розглядатися у відповідних спеціальних дисциплінах.

*Ступінчасте регулювання* застосовується в МВ, коли частоти обертання приймають одне з ряду дискретних значень  $n_i$  від  $n_{\min}$  до  $n_{\max}$  - ступінчасте.



Число ступенів позначається буквою  $Z$  з відповідним індексом ( $Z_n, Z_s, Z_{дв}$ ).

Для економічної роботи МВ зі ступінчастим регулюванням на кожному ступені необхідно, щоб при переході зі ступеня на ступінь падіння швидкості було постійним. Російський академік А.В. Годолін у 1876 р. запропонував для цієї мети геометричну прогресію (ряди переважних чисел). Для переважного ряду зі знаменником прогресії  $\varphi$ :

$$n_1 = n_{\min}; n_2 = n_1 \times \varphi; n_3 = n_2 \times \varphi = n_1 \times \varphi^2 \dots n_Z = n_{Z-1} \times \varphi = n_1 \times \varphi^{Z-1}.$$

Значення  $\varphi$  для верстатобудування стандартизовані і мають значення: 1,06; 1,12; 1,26, 1,41; 1,58; 1,78; 2.

Пристрої ступінчастого регулювання в МВ іменуються *коробками передач* – швидкостей і подач. У будь-якому випадку коробки швидкостей і подач складаються з елементарних двох валових механізмів, кожний з яких може передавати відомому (вихідному) валу кілька швидкостей -  $P_j$ . При з'єднанні таких механізмів у послідовний чи послідовно-паралельний КЛ на виході виходить визначене число швидкостей, яке дорівнює добутку  $P_j$

$$Z_n = \prod_{j=1} P_j.$$

### 3.4. Типові елементарні механізми ступінчастого регулювання швидкостей

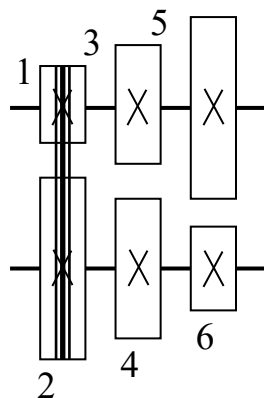


Рис.3.5

Змінні *шків* (рис. 3.5) використовують круглі і клинові ремені (рідше плоскі).  $R_n = 4 \dots 10$ , число ступенів  $Z_n$  залежить від числа пар шківів ( $\leq 5$ ).

$$i_1 = \frac{d_1}{d_2}; i_2 = \frac{d_3}{d_4} \dots$$

Використовують в заточувальних верстатах і верстатах малої потужності. Умови функціонування  $d_1 + d_2 = d_3 + d_4 = d_5 + d_6$ . Переваги: простота, високі передані швидкості, відсутність вібрації. Недоліки: мала передана потужність, незручність переключення, значне прослизання.

Механізми зі змінними зубчастими колесами (гітари) підрозділяються на

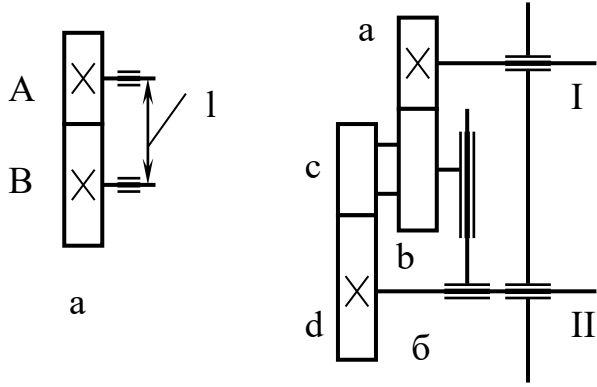


Рис.3.6

однопарні (рис.3.6,а) і двопарні (рис.3.6,б). Для однопарного  $R_n = 8 \dots 12 \dots 12$  і умови роботи:  $i = Z_A/Z_B$ ;  $1/4 \leq i \leq 2$  – для  $\Phi_V$  і  $1/4 \leq i \leq 2,5$  для  $\Phi_S$ ;

$$l = const = \frac{(Z_A + Z_B)}{2} \times m \Rightarrow$$

$$Z_A + Z_B = const.$$

Для двопарного  $R_n = 64 \dots 100$  Умови роботи:  $i = (Z_a/Z_b) \times (Z_c/Z_d)$ ;  $Z_a + Z_b \geq Z_c + 15$ ;  $Z_c + Z_d \geq Z_b + 15$ . Забезпечує високу

точність настройки КЛ  $\Delta i = 0.01 \dots 0,0001$ , що важливо для настройки КЛ розподілу і настроювання траєкторії. Переваги – простота конструкції. Недоліки: мала передана потужність через низьку жорсткість, великий час налагодження.

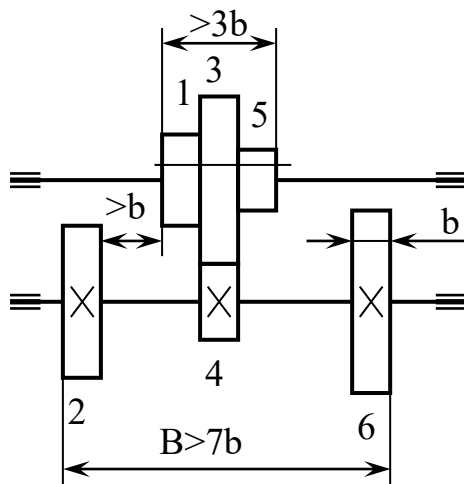


Рис.3.7

Пересувні блоки зубчастих коліс містять 2,3 рідше 4 пари зубчастих коліс. Кількість передач в елементарному двоваловому механізмі (групі передач) позначається  $P_i$ . Для зображеного на рис. 3.7 механізму  $P_i = 3$ . Передатні відносини:

$$i_1 = \frac{Z_1}{Z_2}; i_2 = \frac{Z_3}{Z_4}; i_3 = \frac{Z_5}{Z_6}.$$

Кінематичні обмеження:  $1/4 \leq i \leq 2$  – для  $\Phi_V$ , тобто  $R_n = 8$  і  $1/4 \leq i \leq 2,5$  для  $\Phi_S$ ,

тобто  $R_n = 12,5$ . Конструктивні обмеження:

а)  $(Z_1 + Z_2) = (Z_3 + Z_4) = (Z_5 + Z_6)$ .

б) осьові габарити:

- для 2-х блоків  $V > 4b$ ;
- для 3-х блоків  $V > 7b$ ;
- для 4-х блоків  $V > 12b$ .

в) діаметральні, щоб колесо 4 не чіплялося за блок:

$$(Z_3 - Z_4) \geq 5 \text{ і } (Z_3 - Z_1) \geq 5$$

Переваги: простота конструкції, колеса беруть участь у зачепленні по черзі, тобто мало зношуються. Недоліки: не можна переключати передачі без зупинки приводу, великі осьові габарити.

Механізми з муфтами бувають односторонні (рис.3.8,а) і двосторонні (рис.3.8,б). Торцеві зубцюваті односторонні муфти (рис. 3.8,а) мають два передатних відношення, коли колесо 1 зрушене вліво  $i_1 = Z_1/Z_2$ , коли колесо 1 зрушене вправо  $i_2 = Z_3/Z_4$ . Конструктивні обмеження:  $(Z_1 + Z_2) = (Z_3 + Z_4)$ . Переваги: – компактність.

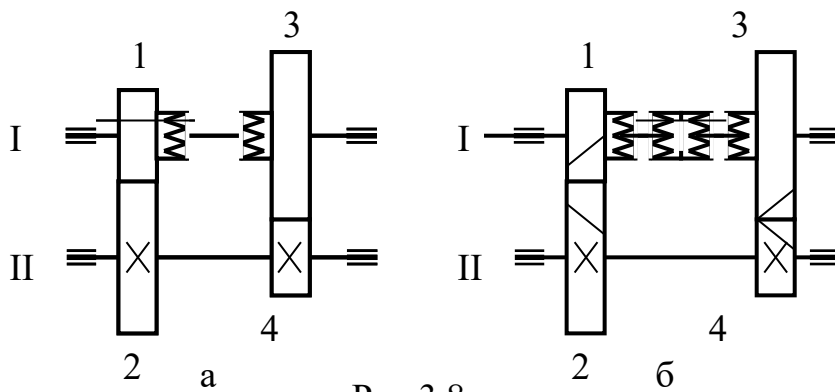


Рис.3.8

Недоліки: колеса завжди в зачепленні, що приведе до підвищеного зносу, підвищений знос зубів муфти при влученні «зуба на зуб».

Застосування двосторонньої муфти (рис. 3.8, б) дозволяє

робити переключення «на ходу», якщо використовується не зубцювата, а фрикційна муфта, і застосовувати косозубі колеса.

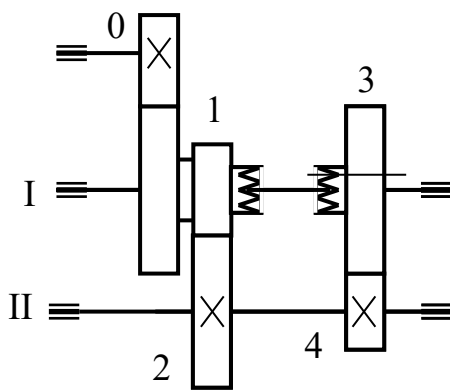


Рис.3.9

усередину порожнього валу I

Має два передатних відношення, коли колесо  $Z_3$  зрушено вліво  $i_1 = 1$ , і коли колесо  $Z_3$  зрушено вправо  $i_2 = (Z_1/Z_2) \times (Z_4/Z_3)$ , обертання передається через «ступінь повернення».

Вище перераховані механізми використовують як у приводах головного руху, так і в приводах подач. Для останніх характерні наступні механізми.

*Механізм із витяжною шпонкою* (рис.3.10) має групу коліс що знаходяться в постійному зачепленні. На вал I колеса установлені вільно, а на вал II – жорстко. Витяжна шпонка вмонтована і, виступаючи з прорізу валу, входить у шпонковий паз колеса (наприклад 1). Висуваючи або всуваючи шпонку, послідовно включаються пари коліс. Переваги – компактність, однорукояточне керування. Недоліки: мала передана потужність, через проріз у валі, підвищений знос завжди обертючих коліс. Застосовують у верстатах невеликої потужності (свердлильних, револьверних і ін.).

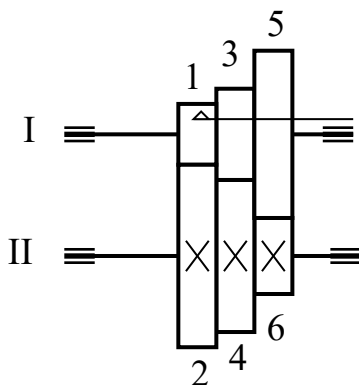


Рис.3.10

рухливу обойму. Механізм має передатні відношення:

$$i_1 = \frac{Z_1}{Z_{II}} \times \frac{Z_{II}}{Z_{Iр}}; i_1 = \frac{Z_1}{Z_{II}}; \quad i_2 = \frac{Z_2}{Z_{II}}; i_j = \frac{Z_j}{Const},$$

тоді  $i_j$  визначається  $Z_j$  конуса Нортонна. При цьому ряд  $Z_1 - Z_2 - Z_3 \dots Z_m$  можна побудувати за законом арифметичної прогресії, що зручно для нарізування різьби, тому що стандартний ряд кроків різьби арифметичний. При нарізуванні

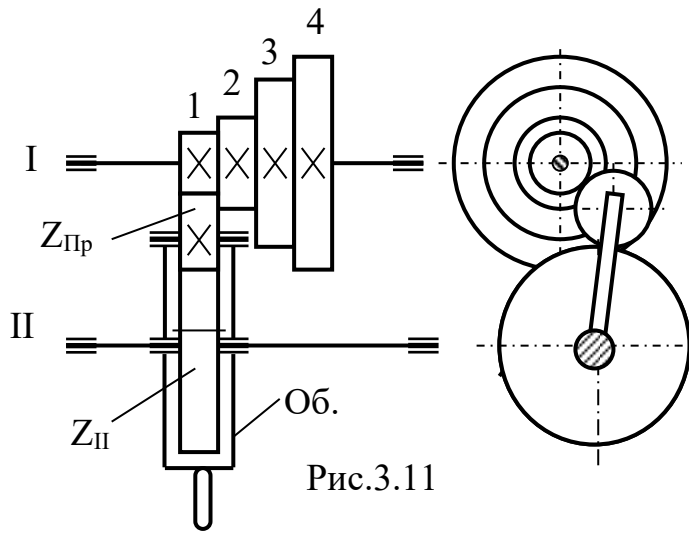


Рис.3.11

різьби РКБ для настройки швидкості руху супорта має наступні вихідні умови:  $1 \text{ об.д} \rightarrow T_p$  різьби, тоді

і можна набирати  $Z_j$  пропорційно  $T_{pj}$ . Число ступіней  $P_i$  може

$$1 \text{ об.д} \times i_{\text{III}} \times \frac{Z_j}{C} \times t_{\text{х.г.}} = T_p \Rightarrow Z_j = \frac{T_{pj}}{C},$$

бути 8...10. Переваги: зручне однорукояточне керування, компактність. Недоліки: мала жорсткість зчеплення.

Механізм меандру використовують (рис. 3.12,а) у токарно-гвинторізних

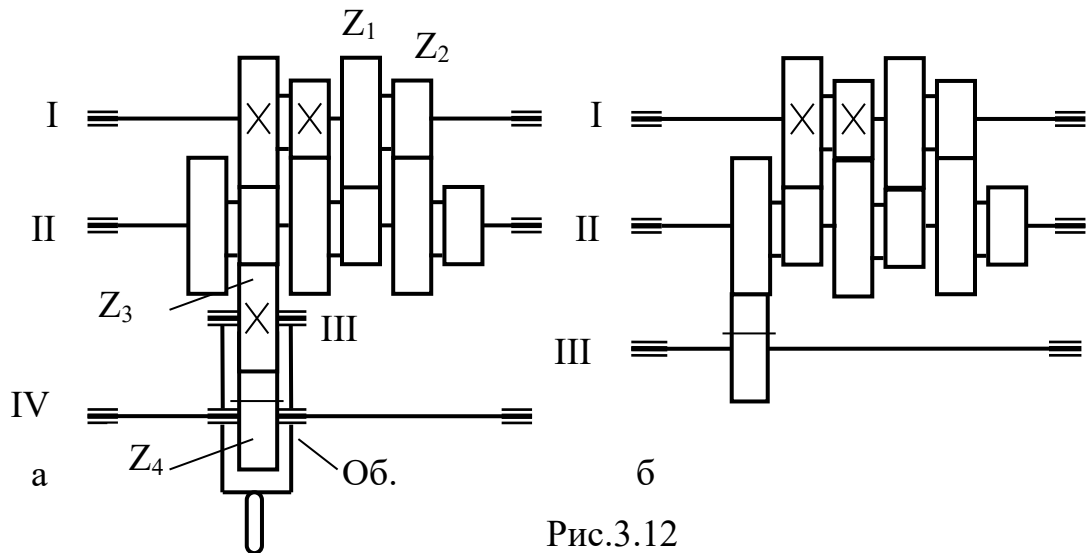


Рис.3.12

верстатах в з'єднанні з іншими множними механізмами. Як правило,  $Z_1 = 2Z_2$  і  $Z_3 = Z_4$ , тоді  $i = 2^{±n}$ , де  $n = 1, 2, 3, \dots$ . Переваги і недоліки такі ж, як і в механізмі Нортон. Для збільшення жорсткості застосовують конструкцію приведену на рис. 3.12,б.

Механізми зміни напрямку руху (реверсивні механізми - трензелі) можуть бути з циліндричними (рис.3.13,а і б) і конічними (рис.3.13,в) зубчастими колесами. Наявність паразитних зубчастих коліс дозволяє змінювати напрямок обертання вала II переключенням блока коліс  $Z_1 - Z_3$  (рис.3.13,а) чи переключенням муфти вправо або вліво (рис.3.13,б). Конструкції муфт можуть бути різними. Крім механічних зубчастих, широко застосовують дискові фрикційні муфти. Їхнє застосування дозволяє робити переключення обертання напрямку руху не виключаючи двигуна.

Підсумовуючі механізми застосовуються в складних з кінематики верстатах (зубообробних, доводочних, координатно-розточувальних і ін.) для підсумовування (вирахування) рухів переданих одночасно від декількох кінематичних кінематичних ланцюгів одному виконавчому органу, а також для одержан-

ня великих передатних відносин. У якості підсумовуючих застосовують планетарні, диференціальні і гвинтові механізми.

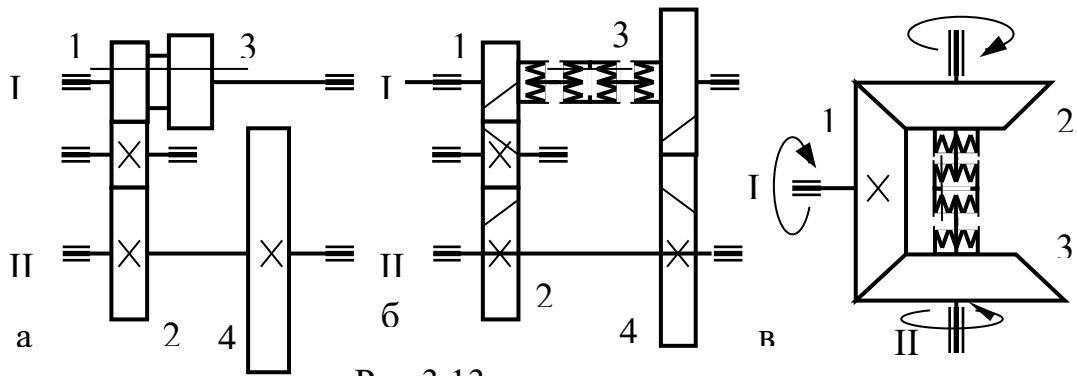


Рис.3.13

*Планетарні механізми* (рис. 3.14,а) передають рух з валів I і III на вал IV. Частоти обертання  $\omega_1$  і  $\omega_2$  подають з різних КЛ, а  $\omega_3$  є сумарним рухом. Колеса  $Z_1$  і  $Z_4$  є основними, а колеса  $Z_2$  і  $Z_3$  – сателітами. Вал III називається водило.

*Диференціальні механізми* (рис.3.14,б) підсумовують рухи  $\omega_1$  і  $\omega_2$  які подаються з різних КЛ, а  $\omega_3$  є сумарним рухом.  $\omega_1$  – через колесо  $Z_1$  обертає колеса  $Z_2$  сидячі на Т - образному валу II.  $\omega_2$  – через колесо  $Z'_1$  передається колесам  $Z_2$  і через Т - образний вал утворює сумарний рух  $\omega_3$ .

*Гвинтовий механізм* служить для корекції місцевих помилок кроку ходового гвинта при нарізуванні і шліфуванні точної різьби (рис. 3.15). Якщо валу I і валу II надати

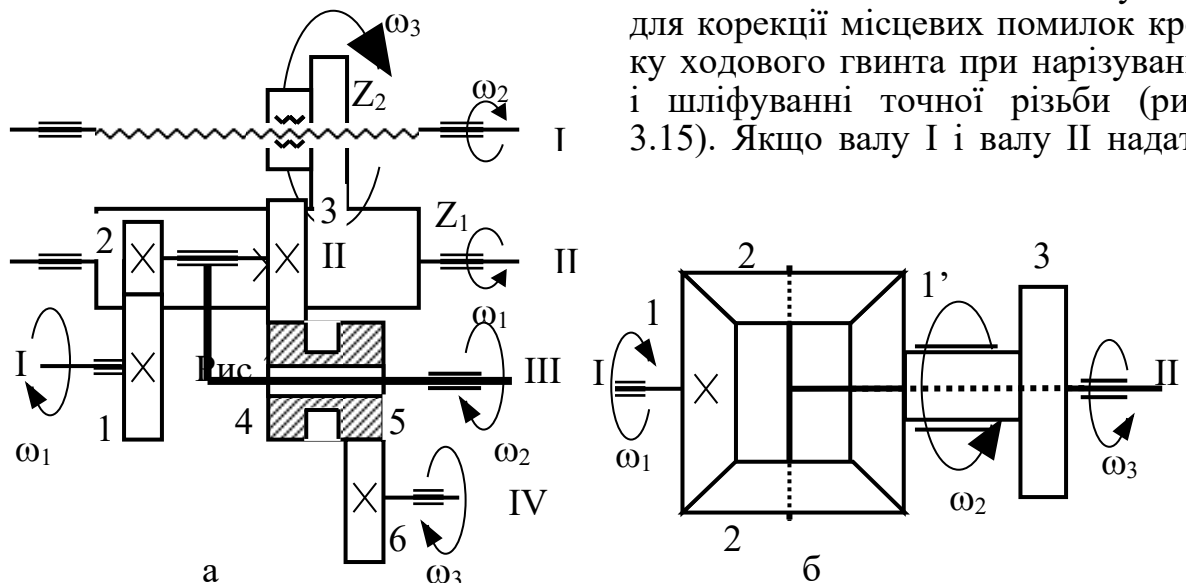


Рис.3.14

відповідно кутові швидкості  $\omega_1$  і  $\omega_2$ , то колесо  $Z_2$  буде поступально переміщатися уздовж вала II від сумарного впливу валів I і II так, ніби воно переміщалося під впливом сумарного руху  $\omega_3$ .

*Механізми переривчастого руху* здійснюють періодичні обертальні рухи в МВ.

Мальтійський хрест використовують для здійснення періодичного повороту через тривалі відрізки часу. Мальтійський хрест складається з кривошипа 1 з цівкою 2 на кінці і диска 3 (рис. 3.16,а). За один оборот кривошипа диск повернеться на  $1/Z$  обороту, де  $Z$  - число пазів у диску.



Храповий механізм із зовнішнім зачепленням складається із собачки 1 (рис. 3.16,б), храпового колеса 2, важеля 3, кривошипа 4 і шатуна 5. За один оборот кривошипа собачка пересуне колесо на  $K$  зубів храпового колеса і передатне відношення механізму:

$$i_{х.п.} = \frac{K}{Z},$$

де  $Z$  число зубів храпового колеса.

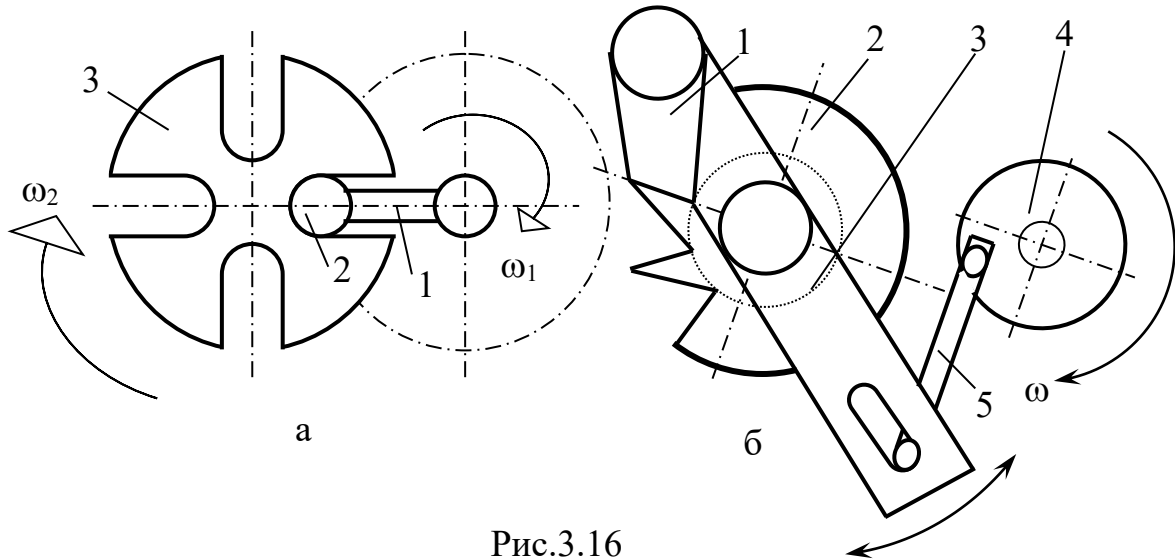


Рис.3.16

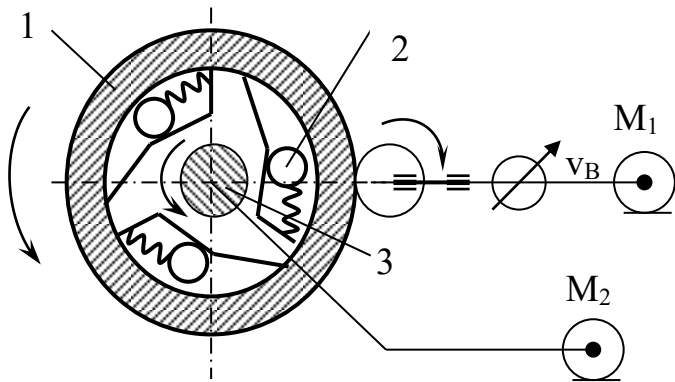


Рис.3.17.

Механізми обгону (обгінні муфти) (рис. 3.17), служать для підключення до КЛ іншого джерела руху ( $M_2$ ) без відключення першого джерела  $M_1$ . Використовують найчастіше для прискорення установчих рухів. Механізм складається з обойми 1, роликів 2 і вала 3. При відключеному двигуні прискореного переміщення  $M_2$  крутячий момент від обойми 1 віддається валу 3. При включеному двигуні прискореного переміщення  $M_2$  вал 3 одержує рух безпосередній від  $M_2$ , ролики розклинюються, а обойма продовжує повільне обертання.

Комбінації розглянутих вище механізмів утворюють *множні структури*. Множні структури бувають прості і складні. Розглянемо просту множну структуру МВ.

У загальному виді число ступенів швидкостей приводу дорівнює:  $Z = P_a \times P_b \times P_c \times P_d \dots P_m$ , де  $P_a, P_b, P_c, P_d \dots P_m$  числа передач в 1-й, 2-й, 3-й... $m$ -й групах передач. Наприклад (рис. 3.18) між I і II валами розташована група передач  $P_a = 3$ , а між II і III  $P_b = 2$ , тоді :  $Z = P_a \times P_b = 3 \times 2 = 6$ .

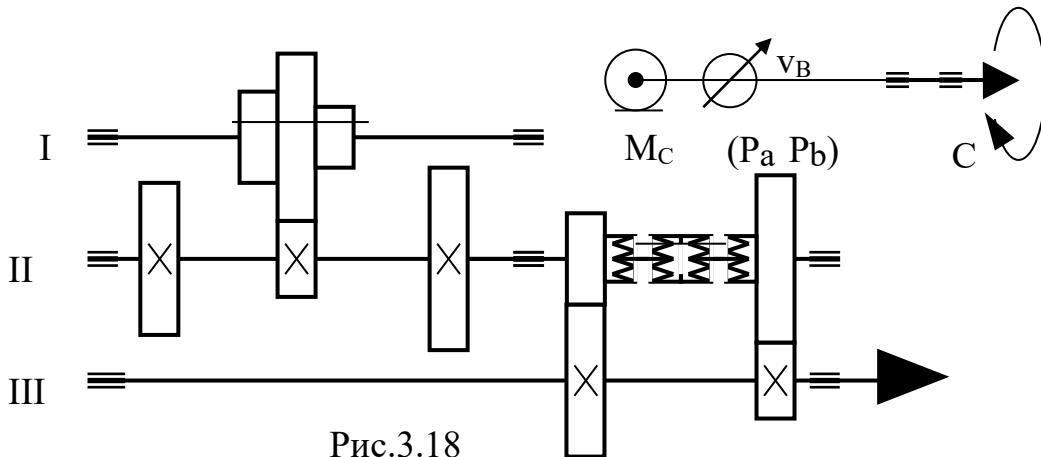


Рис.3.18

Розглянемо складну множну структуру, для якої СКС буде мати вид (рис.3.19)

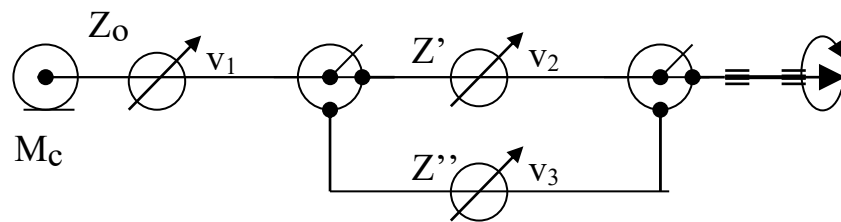
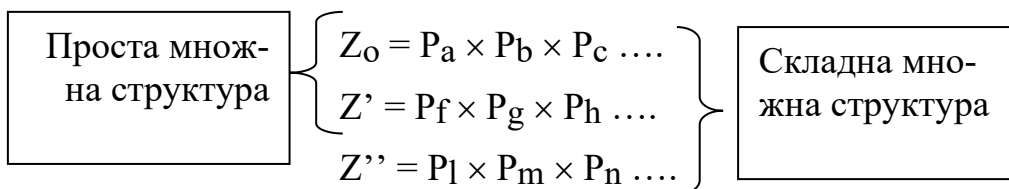


Рис. 3.19

Для неї число ступенів швидкостей приводу дорівнює:  $Z = Z_0 \times (Z' + Z'')$ , де  $Z_0'$  – короткий кінематичний ланцюг;  $Z_0''$  – довгий кінематичний лан-



цюг, а число ступенів забезпечуваних кожною кінематичною частиною:

*Питання для самоперевірки до сьомої лекції*

1. Перерахуйте способи регулювання виконавчих рухів.
2. Як визначається діапазон регулювання і як він змінюється для різних типів верстатів?
3. Які переваги безступінчастого регулювання і який приклад його реалізації ви можете навести як приклад?
4. Як складаються ряди крапчиків для визначення значень швидкостей і подач?
5. Перерахуйте типові елементарні механізми ступеневого регулювання швидкостей та їх переваги та недоліки.
6. Які множні структури металорізальних верстатів вам відомі?

## Лекція 8

Мета лекції вивчення особливостей використання токарних верстатів, кінематики токарно-револьверних, токарно-гвинторізних, токарно-карусельних верстатів. Внаслідок студент повинен вміти записати РКБ для здійснення будь-якої операції на цих верстатах.

### 4. ВЕРСТАТИ ДЛЯ ОБРОБКИ ТІЛ ОБЕРТАННЯ

#### 4.1. Верстати токарної групи

У загальному обсязі деталей машинобудівного виробництва обробка тіл обертання на МВ складає приблизно 30...35 %. Пропорційно цьому частка верстатів токарної групи у верстатних парках індустріально розвинутих країн складає 25...32 %.

Типи верстатів токарної групи

1. Токарні автомати і напівавтомати одношпиндельні.
2. Токарні автомати і напівавтомати багатошпиндельні.
3. Токарно-револьверні.
4. Токарні свердлильно-відрізні.
5. Токарні карусельні.
6. Токарні і лобові.
7. Токарні багаторізцеві і гідрокопіювальні.
8. Токарні спеціалізовані, затилувальні та ін.
9. Різні токарні.

Метод формоутворення ОП деталей на верстатах токарної групи єдиний для всіх типів. Це може бути метод:

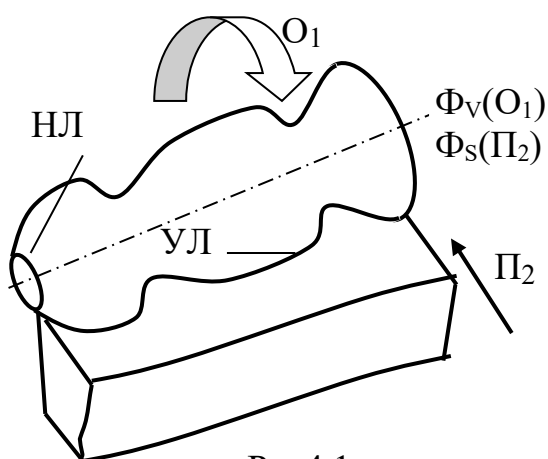


Рис4.1

- а) копіювання (рис. 4.1);
- б) подвійного сліду (рис. 4.2,а);
- в) сполучення методу подвійного сліду і копіювання (рис. 4.2.б).

На токарних МВ можна робити наступні технологічні операції на ОП деталей:

- 1) обточування зовнішніх циліндричних поверхонь;
- 2) обточування зовнішніх конічних поверхонь;
- 3) обточування торців і уступів;
- 4) прорізання канавок і відрізка деталей;
- 5) розточування отворів;
- 6) свердління, зенкерування, розвертання отворів;
- 7) нарізування зовнішньої і внутрішньої різьби різцем;
- 8) нарізування торцевої різьби різцем;
- 9) нарізування зовнішньої і внутрішньої різьби мітчиком;
- 10) вихрове нарізування різьби різцем;

- 11) фасонне обточування;
- 12) накручування рифлених поверхонь;
- 13) затилування інструментів;
- 14) обточування гранованих тіл і т.ін.

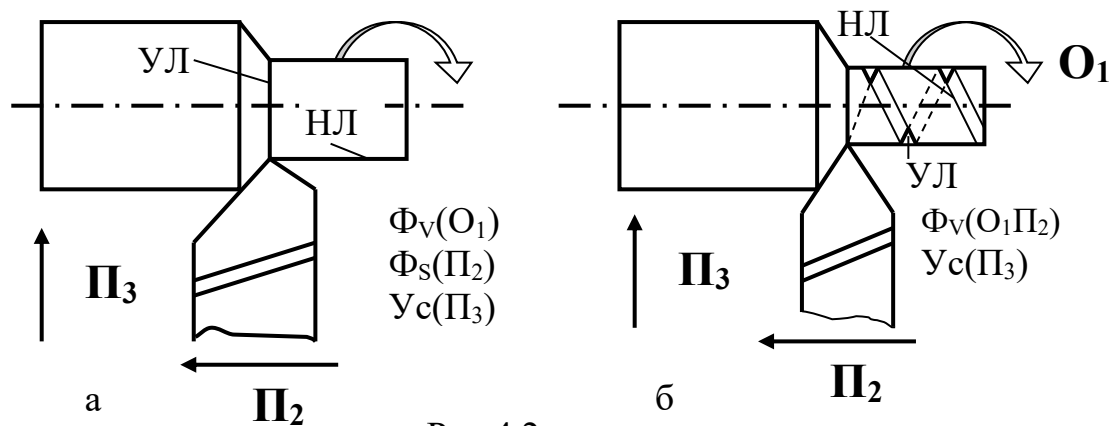


Рис.4.2

Токарні верстати загального призначення, а також автомати і напівавтомати випускаються в широкому діапазоні типорозмірів. Токарно-гвинторізні і токарні верстати мають типорозмірний ряд для обробки деталей наступних розмірів:  $\varnothing D_{\max} = 85 \dots 5000$  мм;  $L_d = 125 \dots 24000$  мм, при цьому типорозмірний ряд будується за геометричною прогресією зі знаменником  $\varphi = 1,26$ . Верстати, що серійно випускаються, конструктивно об'єднані в *гами* верстатів (гами моделей верстатів мають 3...5 членів), тобто набори моделей приблизно однакової конструкції, і відрізняються від базової моделі лише розмірами базових деталей і деякими конструктивними особливостями. З вищеперерахованих 9 типів токарних верстатів розглянемо найбільш характерні.

#### 4.2. Токарні автомати і напівавтомати

Автоматом називається МВ, в якому механізовані всі основні і допоміжні рухи необхідні для технологічного циклу обробки деталей, включаючи завантаження і видачу готової продукції.

Автомати призначені для багатоінструментальної обробки тіл обертання складної конфігурації в серійному і масовому виробництві і можуть бути наступних типів за:

- призначенням токарні автомати і напівавтомати бувають універсальними і спеціалізованими;
- видом заготовки – для виготовлення деталей з бухти дроту, із пруткового матеріалу і штучних заготовок;
- числом шпинделів – одне- і багатошпиндельні;
- компонуванням шпинделів - горизонтальні і вертикальні;
- розміщенням осей револьверних інструментальних голівок - горизонтальні і вертикальні;
- характером робочого циклу:
- а) з постійною швидкістю обертання єдиного розподільного валу;

- б) з одним розподільним валом, що має дві швидкості обертання – повільну для робочих рухів і прискорену для холостих рухів;
- в) із двома валами – повільним для робочих рухів і швидкохідним для холостих рухів.

Загальною характерною рисою для одно- і двошпindelних токарних автоматів і напівавтоматів є наявність кулачкового розподільного валу, що являє собою твердий програмоносій циклу обробки деталей. Кожний з кулачків розподільного валу перетворює обертальний рух від приводу головного руху або подачі у поступальний рух автономного інструментального супорта на величину визначеного робочого ходу (тобто  $l$  – шлях). Отже, у профілі кулачка закладена інформація про настройку одного з регульованих параметрів руху супорта, а саме шляху  $l$  (вихідної точки  $a$ , траєкторії руху інструмента  $q$ , напрямку обертання  $w$ , що забезпечуються конструктивно, а також настройкою). Швидкість руху інструментального супорта  $V_s$  забезпечується визначеною швидкістю обертання розподільного валу. Оскільки будь-яка точка кулачка робить рух по замкнутій траєкторії, то тим самим забезпечується повернення інструмента у початкове положення.

Кулачки розподільного валу і механізми передачі їх рухів на інструментальний супорт можуть мати різну конструкцію, наприклад представлену на рис. 4.3, де супорт 1 рухається важільною системою 2 під дією кулачка 3, що

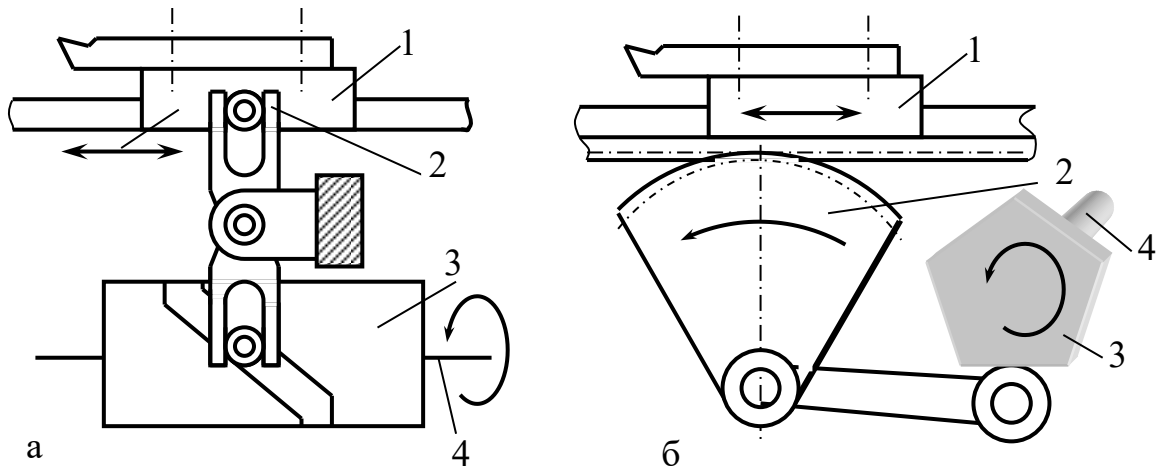


Рис.4.3

перетворює обертальний рух розподільного валу 4. У будь-якому випадку з погляду кінематики розподільний вал і його кулачки виконують схожу функцію (тобто одночасне перетворення й орган настроювання по параметрі  $l$ ) і його можна представити у вигляді рис. 4.4. Розподільний вал також керує й іншими рухами в автоматах і напівавтоматах.

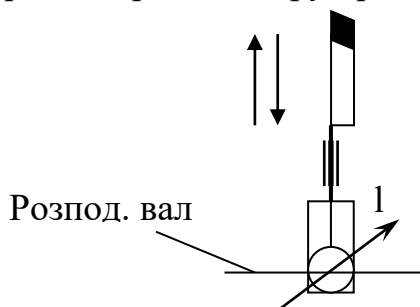


Рис.4.4

револьверного автомата (рис. 4.5).

Для прикладу вищесказаного побудуємо СКС одношпindelного токарно-

Переналагодження автомата на обробку нової деталі вимагає перестановки і заміни кулачків керування відповідно до циклограми роботи автомата, побудованої за техпроцесом обробки деталі. Найчастіше переналагодження вимагає попереднього профілювання і виготовлення кулачків (хоча є набір кулачків для обробки типових поверхонь). У ряді випадків величина ходу і інструментальних супортів або револьверної головки регулюється шляхом зміни довжини важелів у передавальному механізмі.

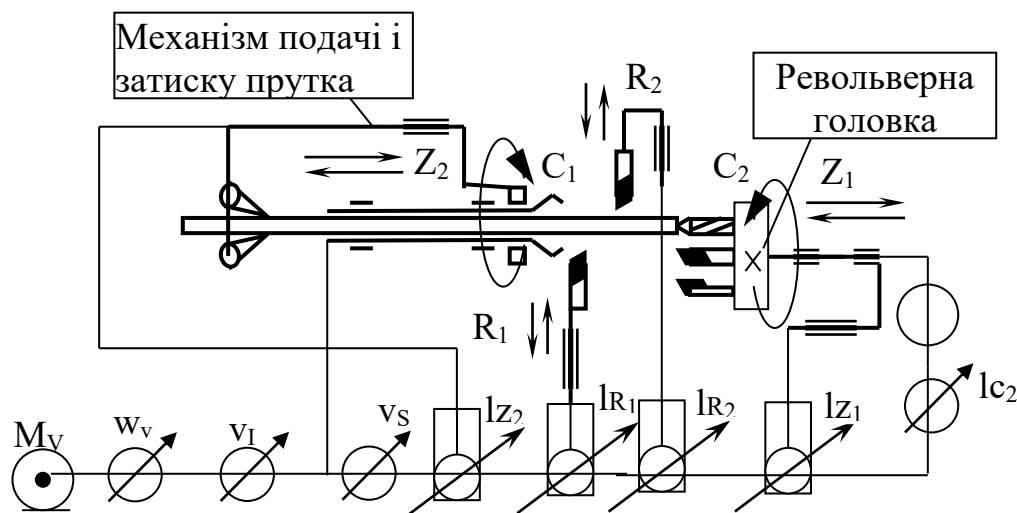


Рис.4.5

Використовуються токарно-револьверні автомати і напівавтомати (як і більшість токарних автоматів і напівавтоматів) у серійному і крупносерійному виробництві деталей досить складної конфігурації, в умовах високої стабільності виробництва (тобто рідкої зміни форми деталі, а значить – рідкого переналагодження верстатів). Типовими деталями є штуцери, клапани, деталі гідропаливної апаратури, пробки і т.ін.

### 4.3. Токарно-револьверні верстати

Токарно-револьверні верстати використовують в серійному і крупносерійному виробництві для обробки деталей із пруткового матеріалу чи штучних заготовок. На токарно-револьверних верстатах можна виконувати практично всі токарні операції. Застосування цих верстатів раціонально тоді, коли технологічний процес обробки деталі вимагає використання різних інструментів – різців, свердлів, розгорнень, мітчиків, плашок і т.і., інструменти в необхідній послідовності кріплять у відповідних гніздах револьверної головки й у різцетримачах поперечного супорта. Але у відмінності від токарно-револьверних автоматів і напівавтоматів, поворот револьверної головки і переміщення різцетримача супорта робиться вручну оператором.

Приклад компоновочної схеми токарно-револьверного верстата наведено на рис. 4.6, де зображені: 1 – несуча система; 2 коробка подач; 3 - коробка швидкостей; 4 – пульт керування; 5 – патрон шпинделя; 6 револьверна головка; 7 – подовжній супорт (револьверної головки); 8 – барабан упорів; 9 поперечний

супорт. Крім наявності револьверної головки токарно-револьверні верстати мають наступні особливості: а) відсутність задньої бабки; б) відсутність гвинторізного ланцюга (різьба нарізується за допомогою мітчиків і плашок).

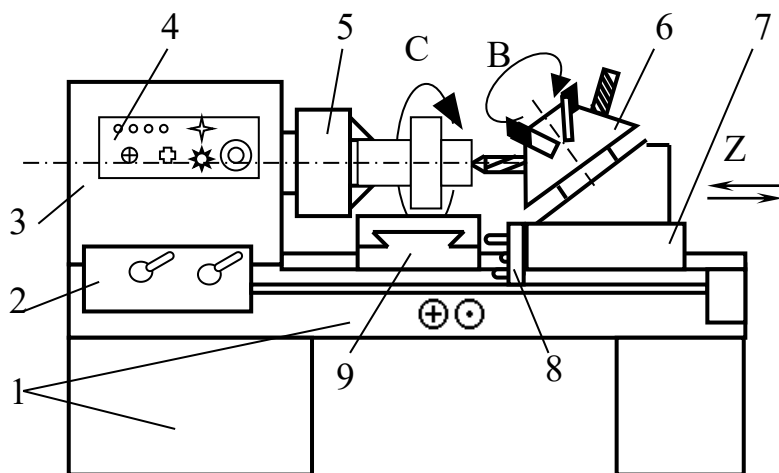


Рис.4.6

Револьверна головка може бути з вертикальною, горизонтальною чи схиленою віссю обертання (в останньому випадку – паралельно осі обертання шпинделя чи перпендикулярно їй). Число позицій у револьверній головці може бути від 6 до 12 (рідко 18).

Шпиндель токарно-револьверного верстата для пруткової обробки оснащений цанговим патроном і механізмом подачі прутка (керується оператором).

У коробках швидкостей і подач часто використовують електромагнітні фрикційні муфти, тому що часте переключення режимів вимагає застосування саме таких муфт, які можна переключати «на ходу».

Переваги токарно-револьверних верстатів: а) скорочення часу різання за рахунок об'єднання операцій за допомогою багатоінструментальних налагоджень; б) застосування елементів автоматизації; низька кваліфікація робітників.

#### 4.4. Токарно-гвинторізні верстати

Верстати цього типу одні з найбільш кінематичних складних МВ. Разом з тим токарно-гвинторізний верстат – один із самих універсальних типів верстатів загального призначення. Висококваліфікований токар-універсал завжди був і залишається дотепер елітою операторів-верстатників.

На токарно-гвинторізних МВ можна здійснювати всі перераховані вище операції токарної обробки. Оснащення токарно-гвинторізного МВ додатковими пристроями, наприклад копіювальними, накатними і т.ін роблять токарно-гвинторізний верстат незамінним типом верстатів в умовах індивідуального і дрібносерійного виробництва.

Наприклад, випускалася гама серійних токарно-гвинторізних верстатів (індекс К): 16К16; 16К20; 16К25 і їх модифікації підвищеної точності часто оснащені системою програмного керування (16К20ПФ).

За компонованням токарно-гвинторізні МВ (рис. 4.7) поділяються:

- на верстати з розділеним приводом, тобто з винесеною коробкою швидкостей і окремою шпиндельною бабкою, де може бути переборна група (звичайно це верстати підвищеної точності);

- з нерозділеним приводом, тобто коли коробки швидкостей і шпиндель змонтовані в одному корпусі.

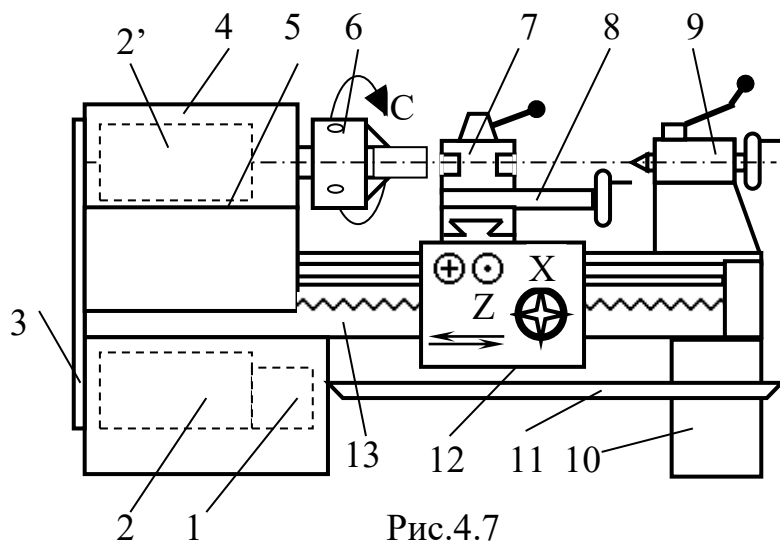


Рис.4.7

Токарно-гвинторізні МВ звичайно складаються: 1—двигун; 2 – коробка швидкостей з розділеним приводом; 2' – коробка швидкостей з нерозділеним приводом; 3 – пасова передача; 4 – шпиндельна бабка; 5 – коробка подач; 6 – затискний патрон; 7 – різцетримач супорта; 8 - каретка супорта; 9 – задня бабка; 10 – задня тумба станини; 11 – корито для збору стружки; 12 – фартух і полозки супорта; 13 – станина з напрямними.

На рисунку 4.8 показано верстат токарно-гвинторізний Jet GH-1640ZX.



Рис. 4.8

Токарно-гвинторізні МВ можуть бути з горизонтальним компонуванням супорта (рис. 4.9,а), з похилим (рис. 4.9,б) і вертикальним (рис. 4.9,в).

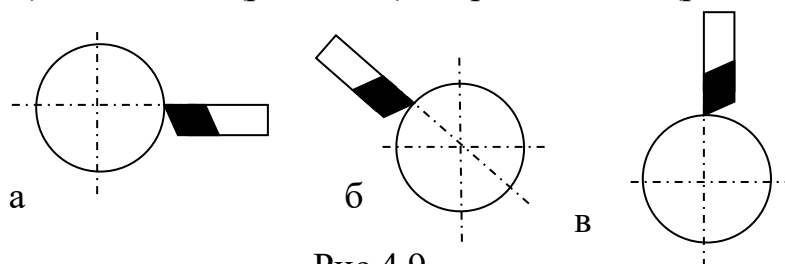


Рис.4.9



СКС токарно-гвинторізного верстата представлена на рис. 4.10, де на схемі:  $q'$  – гітара настроювання МВ на нарізання виду різьби і її крок;  $q_v^m$  – ланка збільшення кроку різьби;  $M_{Б.Х.}$  – електродвигун прискореного ходу.

Кінематична структура верстата складається з декількох КЛ, з'єднаних за допомогою перемикачів кінематичних зв'язків, що включаються в залежності від виконуваної верстатом роботи. Тобто, у загальній кінематичній структурі закладено декілька окремих структур, причому дві з них стосовні до різних класів, реалізуються тим самим набором елементарних рухів, а саме:

- |   |   |   |
|---|---|---|
| 1) Э22:<br>$\Phi_V(C_1)$ ;<br>$\Phi_S(Z_2)$ або $\Phi_S(X_3)$ ; | } | Точіння та розточування, відріка,<br>прорізування канавок |
| 2) С12:<br>$\Phi_V(C_1Z_2)$<br>або $\Phi_V(C_1X_3)$             |   |   |
|   | → | Обробка циліндричних різьб                                |
|   | → | Обробка архімедової спіралі – торцевої різьби             |

Формотворні рухи  $\Phi_V(C_1)$  і  $\Phi_S(Z_2)$  – прості, автономні, але мають загальне джерело руху – електродвигун  $M_V$ , тому що нераціонально розділяти ці приводи, оскільки верстат використовується так само при нарізуванні різьби, де рухи  $C$  і  $Z$  ( $C$  і  $X$ ) кінематично взаємозалежні.

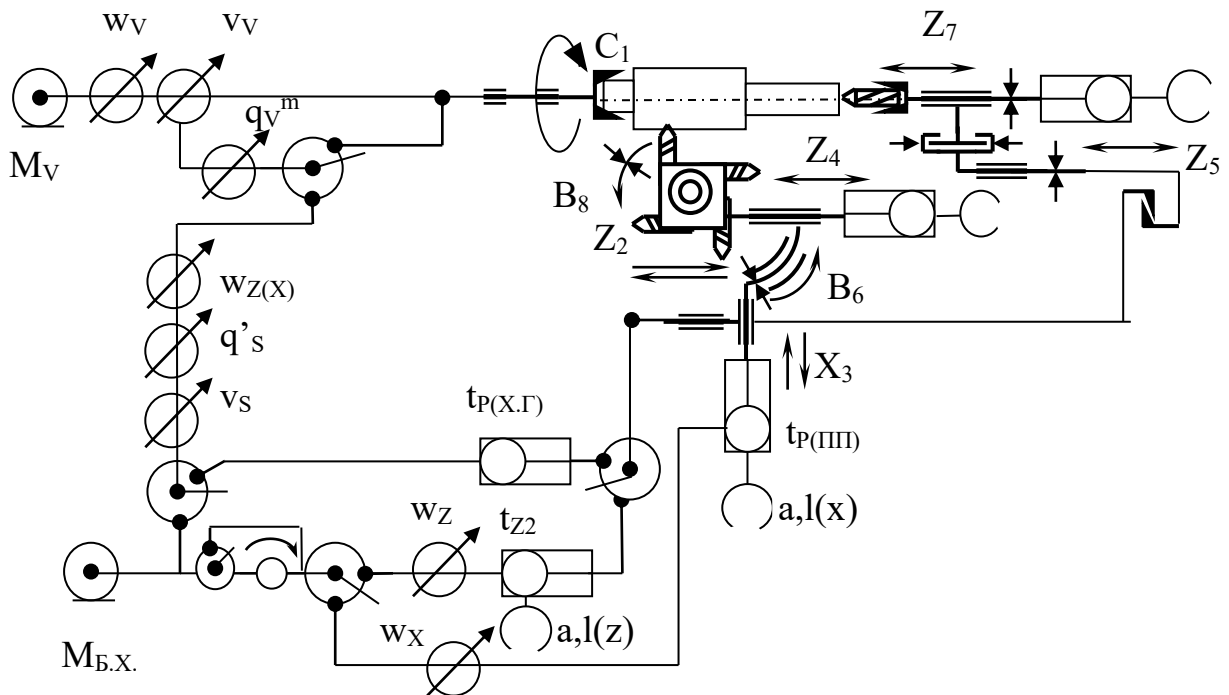


Рис.4.10

При реалізації  $\Phi_V(C_1Z_2)$  внутрішній кінематичний зв'язок, у який встановлюється орган настроювання траєкторії  $q_v$ , йде від шпинделя на ходовий гвинт  $t_{P(X,Г)}$ .

При реалізації  $\Phi_V(C_1X_3)$  – від  $q_v$  по “містку”, минаючи муфту обгону (для установлення жорсткого зв'язку між  $C_1$  і  $X_3$ ), на ходовий вал, далі на фартух супорта, на гвинт поперечної подачі  $t_{P(III)}$ .

Розглянемо обробку циліндричної поверхні. При цьому реалізується структура  $E22[\Phi_V(C_1); \Phi_S(Z_2); U_C(X_3)]$ , тобто реалізується метод подвійного сліду.

Кінематична схема токарно-гвинторізного МВ буде розглянута в курсі лабораторних робіт, а поки розглянемо спрощену «кістякову» схему кінематики верстата моделі 16К20 (рис.4.11).

$\Phi_V(C_1)$  простий замкнутий рух, вимагає регулювання по двох параметрах - напрямку і швидкості. Регулювання по напрямку здійснюється за допомогою муфти  $M_1$  і встановленого між валами I-II проміжного валу. Регулювання по швидкості здійснюється приводом головного руху з числом частот обертання  $Z_n = 2 \times 3(2+2) = 24.2$  (2 числа збігаються). На шпindel (вал IV) обертання можна подати прямо (I-II-III-IV) і через перебір (I-II-III-VI-V-IV). Напишемо РКБ, нехай  $n_{M_V} \rightarrow n_{III}$  – вихідні умови ; КЛ =  $M_V$  -I-II-III-VI-V-IV- шпindel -Д чи КЛ =  $M_V$  -I-II-III-IV- шпindel -Д, тоді

$$n_{\min} = n_{M_V} \times i_{III} \times i_{\min} \times i_{\text{пер}} = 12,5[\text{об/хв}],$$

$$n_{\max} = n_{M_V} \times i_{III} \times i_{\max} = 1600[\text{об/хв}].$$

Рух  $\Phi_S(Z_2)$ ; здійснюється від шпинделя через проміжний вал VIII – передається по ланцюгу: гітара змінних коліс (X - XI - XII), уніфікована коробка передач (XII – XIII – XIV) з муфтами  $M_2, M_3, M_4$ , множинний механізм (XV – XVI – XVII) і механізм переключення обертання на ходовий вал або гвинт (XVIII – XIX – XX). Тут є муфти переключення виду подачі – на подовжню  $Z_2$  чи поперечну  $X_3$ , а також муфти, що реверсують подачу (на рис.4.10 не показані).

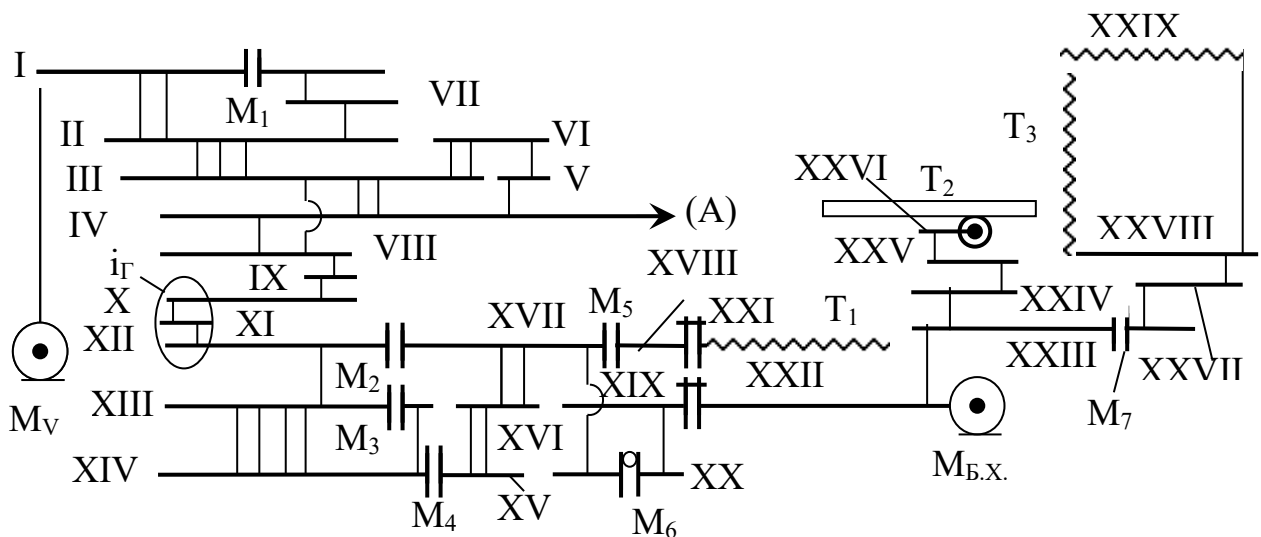


Рис.4.11

Напишемо РКБ, де  $l, w, v, a$  - параметри, що настроюються;  $n_{III}$  ( $V_S$  – вихідні умови; КЛ = VI... – ...-XXVI – х.г. – I, тоді РКБ:

$$1 \text{ об.шп} \times i_{III} \times i_{\Gamma} \times i_S \times i_{\text{МН.М}} \times \pi \times m \times z = S[\text{мм/об}],$$

де  $m$  і  $z$  – модуль і число зубів ведучої шестерні.

Розглянемо настроювання токарно-гвинторізного МВ для нарізування різьби. При цьому реалізується структура  $C12[\Phi_V(C1Z2); U_C(X3)]$ , тобто реалізується метод копіювання в сполученні з методом сліду.

$\Phi_V(C1Z2)$  – рух складний, розімкнутий і вимагає регулювання по 5 параметрам. При цьому  $a, l$  – настроюється конструктивно за допомогою органів настроювання і їх лімбів;  $w$  – «права» чи «ліва» різьба встановлюється органом настроювання. Залишаються два кінематичних параметри, що на-строюються:  $q$  та  $v$ .

РКБ:  $nMv \rightarrow n_{шп} = 1000V/\pi d$ , через мале значення кута підйому різьби його значення у формулі не враховується, тоді формула настроювання буде мати вид

Для настроювання траєкторії РКБ<sub>q</sub> = 1 об.шп. → ТР:

$$1 \text{ об.шп} \times i_{шп} \times i_{Г} \times i_{S} \times i_{МН.М} \times t_{Х.Г.} = T[\text{мм}], i_{Г} = \frac{T}{C_Z}$$

Оскільки стандартні кроки різьби утворюють числа арифметичної прогресії, то орган настройки траєкторії повинний забезпечити наявність у ланцюзі різьбонарізування передатних відносин, що змінюються теж відповідно арифметичному ряду. Для цього використовують механізм Нортон.

#### 4.5. Токарні карусельні верстати

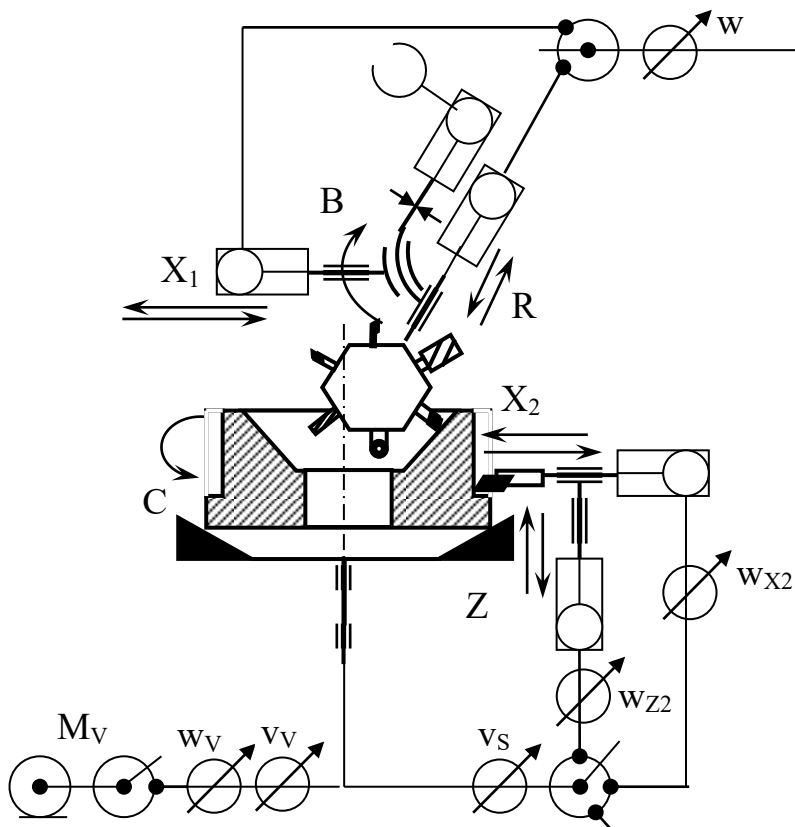


Рис.4.12

Карусельні верстати застосовують для обробки важких деталей великого діаметра і порівняно невеликої довжини (типу диска) в індивідуальному і дрібно-серійному виробництві. На них можна робити майже усі види токарних робіт. Види робіт і кінематичну структуру карусельного верстата видно зі СКС (рис.4.12).

Горизонтальне розташування площини круглого столу (планшайби), на якому кріпиться заготовка, значно полегшують її установку. Осьові вертикальні навантаження і діючі на планшайбу вага заготовки і

сили різання сприймаються напрямними, що робить конструкцію дуже жорсткою і точною.

Карусельні верстати випускають одностійковими з планшайбами діаметром до 1,6 м і двостійковими з більш великими планшайбами для обробки деталей діаметром до 16 м і більш. Існують карусельні верстати для обробки деталей до 24 м. На рис. 4.13 зображено токарно-карусельний двостійковий верстат 1525



Рис. 4.13

На рис. 4.14 наведена конструктивна схема двостійкового карусельного верстата. Верстат складається з наступних вузлів і елементів:

- 1 – планшайба (“карусель”);
- 2 – стійка;
- 3 – траверса;
- 4 – портал;
- 5 – револьверна голівка;
- 6 – вертикальний поворотний супорт;
- 7 – бічний супорт;
- 8 – станина;
- 9 – стіл з коробкою швидкостей;
- 10 – пульт керування.

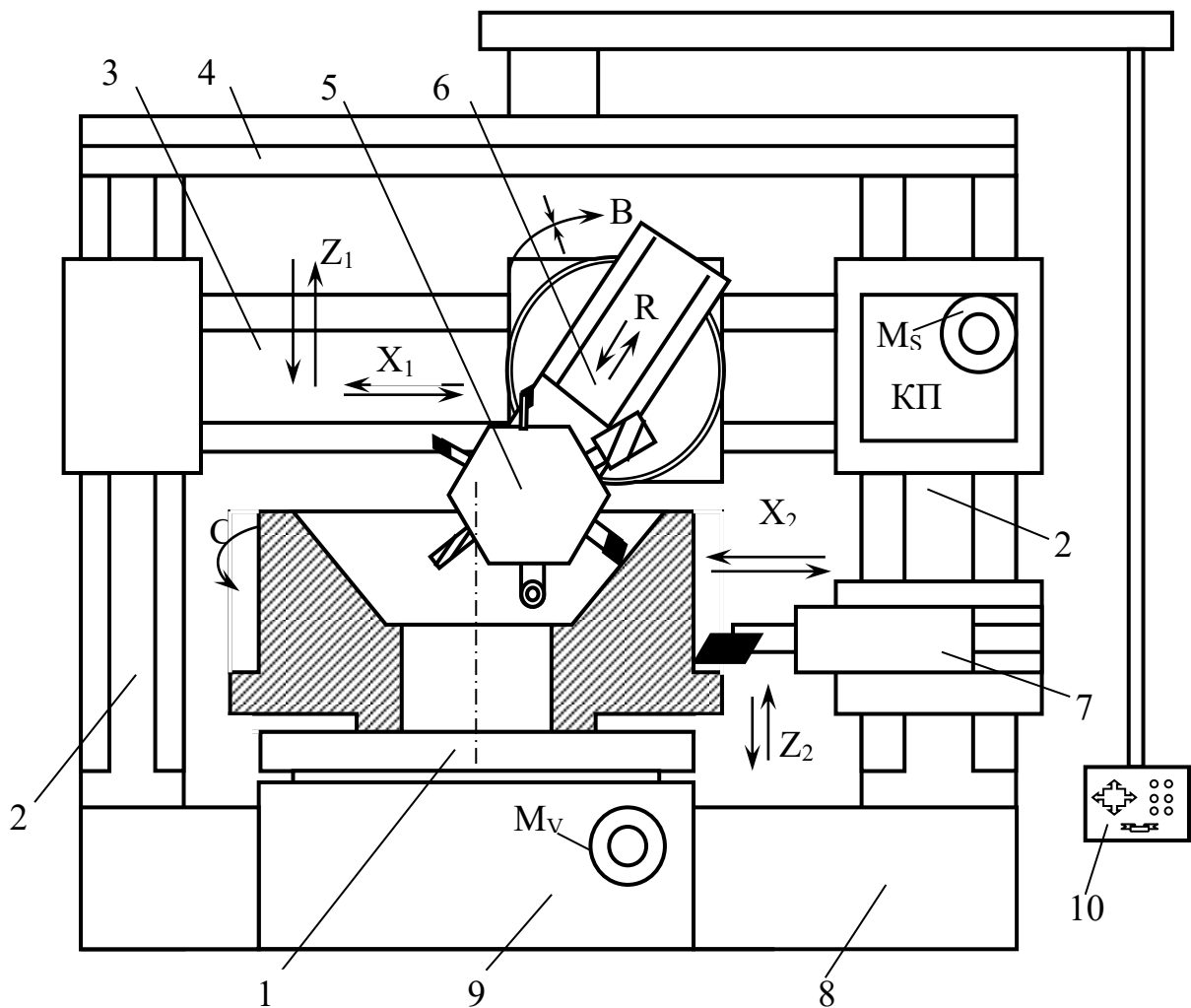


Рис.4.14

*Питання для самоперевірки до восьмої лекції*

1. Які операції можна виконувати на токарних верстатах?
2. Які типи токарних автоматів вам відомі?
3. Наведіть приклади конструкцій механізмів передачі рухів від розподільних валів на супорт токарних автоматів.
4. Наведіть приклад СКС токарного напівавтомата.
5. Які особливості використання токарно-револьверних верстатів?
6. Приведіть приклад компонування токарно-гвинторізного верстата.
7. Які особливості СКС токарно-гвинторізного верстата?
8. Запишіть РКБ для нарізування різьби на токарно-гвинторізному верстаті.
9. Які особливості компонування токарно-карусельних верстатів?

*Лекція 9*

*Мета лекції вивчення верстатів 2-ї групи. Внаслідок вивчення студент повинен вміти побудувати СКС вертикально-свердлильного, радіально-свердлильного, горизонтально-розточувального, обробно-розточувального вер-*

статів та компоновку радіально-свердлильного, горизонтально-розточувального, координатно-розточувального верстатів.

## 5. ВЕРСТАТИ ДЛЯ ОБРОБКИ ОТВОРІВ

### 5.1. Типи верстатів 2-ї групи

Металорізальні верстати 2-ї групи (свердлильні і розточувальні) підрозділяються на типи:

- 1 – вертикально-свердлильні;
- 2 – одношпиндельні напівавтомати;
- 3 – багатошпиндельні напівавтомати;
- 4 – координатно-розточувальні;
- 5 – радіально-свердлильні;
- 6 – розточувальні;
- 7 – алмазно-розточувальні (викінчувальні);
- 8 – горизонтально-свердлильні;
- 9 – різні свердлильні і розточувальні.

Основний параметр – максимальний діаметр свердління – для усіх крім горизонтально-розточувальних і координатно-розточувальних.

Ряд максимальних діаметрів свердління:

3-6-12-16 – для настільних свердлильних МВ;

18-25-35-50-75-100 – для вертикально і радіально-свердлильних МВ.

Типорозмір розточувальних верстатів визначається діаметром висувного шпинделя  $\varnothing_{\text{шп}} = 62 \dots 200$  мм, а також довжиною консольного вильоту (величиною висування) шпинделя.

Робота усіх верстатів 2-ї групи заснована на методі подвійного сліду (ОЛ і НЛ отримані методом сліду).

### 5.2. Вертикально- і радіально-свердлильні верстати

Ці МВ призначені для обробки глухих і наскрізних отворів, розсвердлювання, зенкерування, розгортання і нарізування різьби у всіх видах виробництва стандартними інструментами. Розточування отворів (рис. 5.1,а) і вирізання отворів великого діаметра в листовому матеріалі (рис. 5.1,б) виробляється спеціальним інструментом.

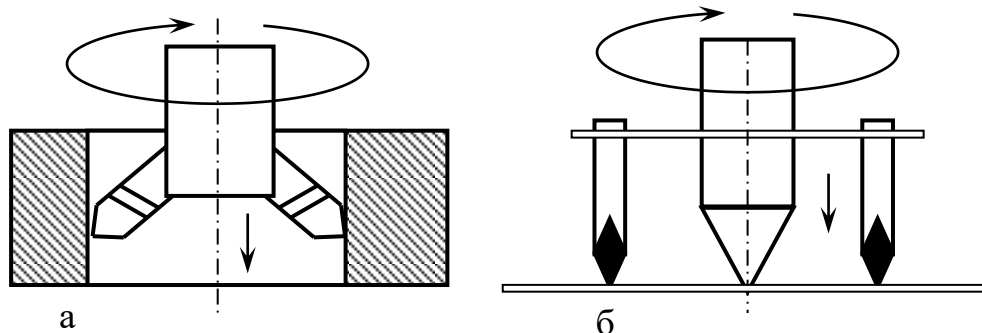


Рис.5.1

На рис. 5.2, а показано вертикально свердлильний верстат 2Н125. Верстат складається з наступних вузлів і елементів: 1 – станина, 2 – двигун, 3 – свердлильна головка, 4 – рукоятки для перемикавання швидкостей та подач, 5 – штурвал ручної подачі пінолі, 6 – лімб настроювання ходу пінолі, 7 – шпиндель, 8 – шланг для подачі МОТС, 9 – стіл, 10 – рукоятка керування столом, 11 – основа, 12 – електрошафа, 13 – піноль, 14 – напрямні, 15 – пристрій вертикального переміщення головки.

СКС вертикально-свердлильного МВ представлена на рис. 5.2, б. Вона реалізує дві структури, що відносяться до різних класів, здійснювані тим самим набором елементарних рухів, а саме: 1)  $E22 \rightarrow \Phi_V(C), \Phi_S(Z_1), U_C(Z_2) \Rightarrow$  обробка отворів; 2)  $S12 \rightarrow \Phi_V(C, Z_1), U_C(Z_2) \Rightarrow$  нарізування різьби.

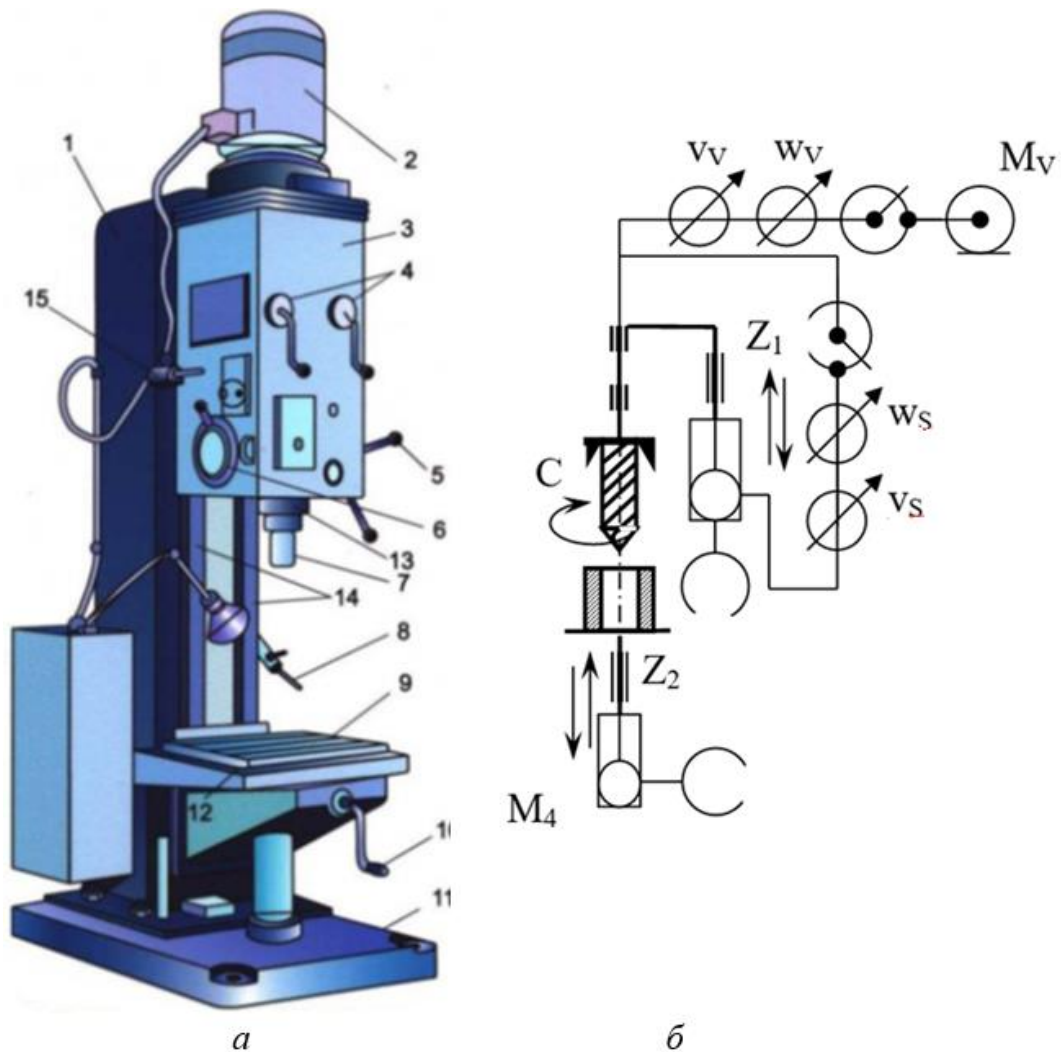


Рис.5.2

Радіально-свердлильні верстати використовуватися для свердління, розсвердлювання, зенкерування та нарізування різьби. На рисунку 5.3, показано: а – радіально свердлильний верстат Z3032X7 Holzmann, б – компоновка радіально-свердлильного верстата 0Z2C2Z1C. Набір рухів дозволяє обробляти отвори у великогабаритних деталях. Для підвищення жорсткості несучої системи іноді використовують стяжки (Ст). Компоновка включає: колону, що повертається

навколо вертикальної осі на підшипниках цоколя. Рукав з можливістю вертикального переміщення колоною і з можливістю обертання навколо вертикальної осі разом з колоною. Свердлильна головка з можливістю горизонтального переміщення по напрямних рукавах. Шпиндель, змонтований в циліндричній гільзі, з можливістю вертикального переміщення в корпусі свердлильної головки. Подача забезпечується гільзою шпинделя. Решта всіх переміщень – установчі (позиціонуючі). Усі частини радіально-свердлильних верстатів переміщуються з мінімальним зусиллям і фіксуються в робочому положенні за допомогою гідравлічних затискачів.

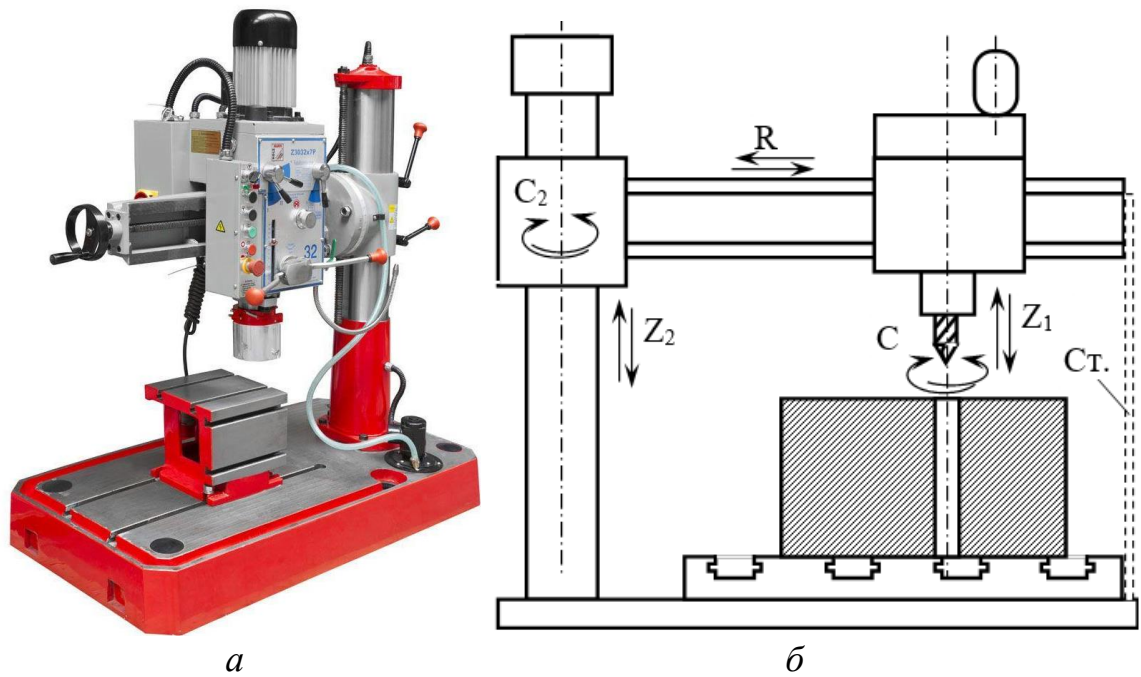


Рис. 5.3

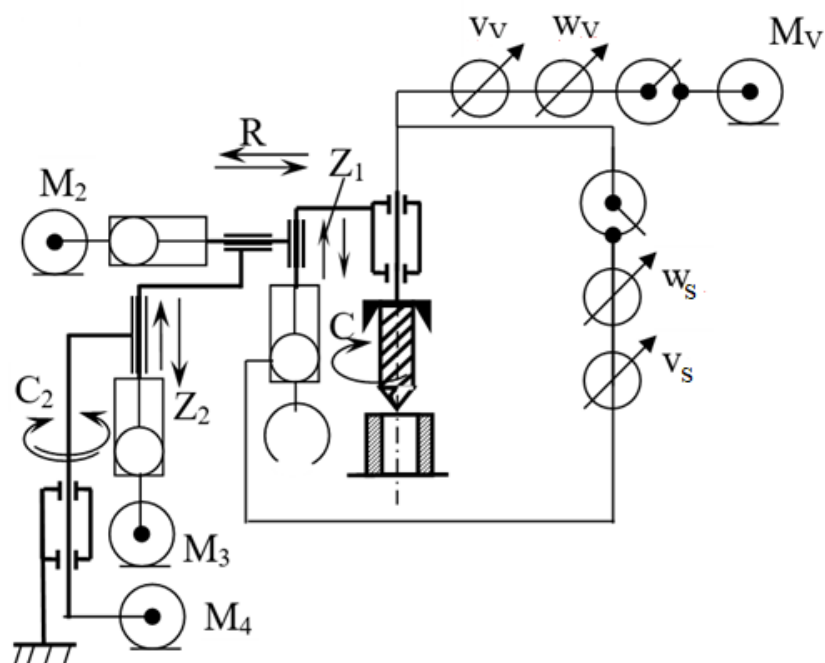


Рис. 5.4



СКС радіально-свердлильного МВ, що представлена на рис. 5.3, реалізує структуру  $E22 \rightarrow \Phi_V(C), \Phi_S(Z_1), U_C(Z_2);(R);(C_2) \Rightarrow$  обробка отворів. Нарізування різьби відбувається за допомогою мітчика «самозатягуванням», тобто при відключенні приводу примусової подачі ( $Z_1$ ).

### 5.3. Горизонтально-розточувальні верстати

Верстати цього типу призначені для обробки отворів з горизонтальними осями у великогабаритних деталях. На рис. 5.5 показано Горизонтально-розточувальний верстат з цифровою індикацією, який складається з наступних вузлів і елементів: 1 – задня стійка, 2 – рукоятка вертикального переміщення задньої бабки, 3 – задня бабка, 4 – поворотний стіл, 5 – планшайба з радіальним супортом, 6 – різцетримач, 7 – висувний шпиндель, 8 – передня стійка, 9 – коробка швидкостей, 10 – пристрій цифрової індикації, 11 – пульт керування, 12 – станина.

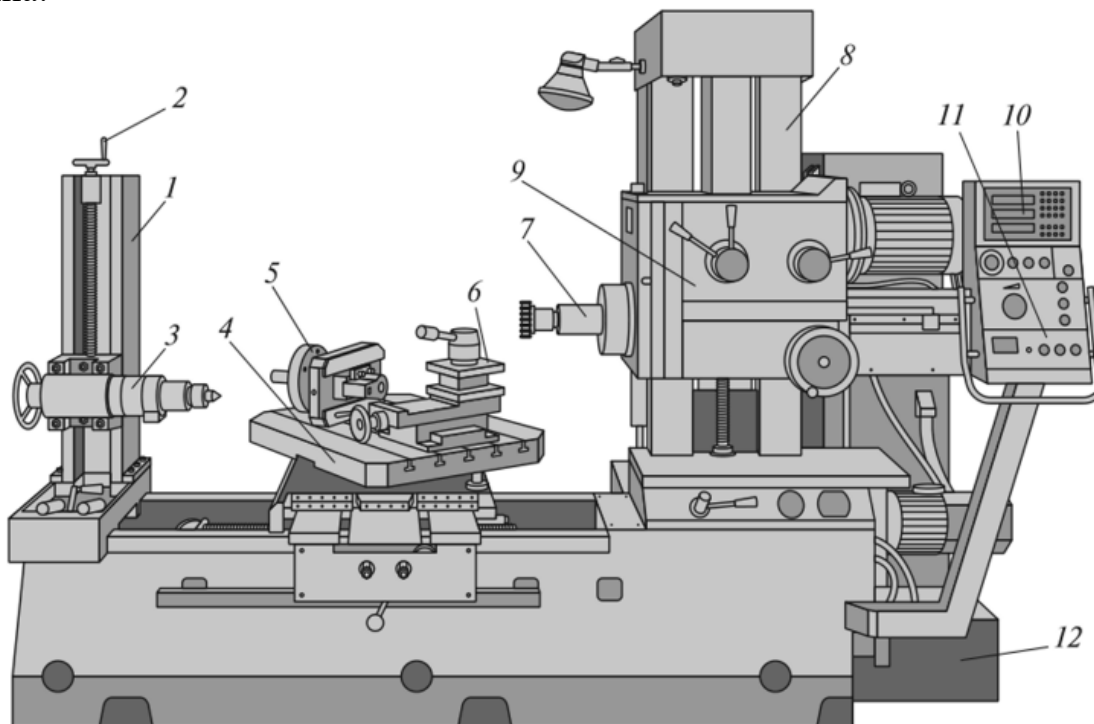
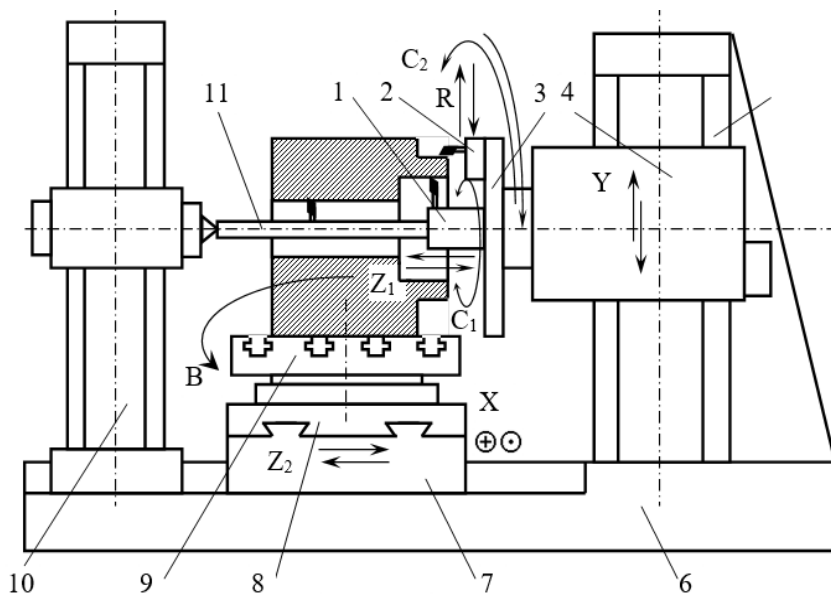


Рис.5.5

Компоновочна схема  $BXZ_20Y(Z_1C_1+C_2R)$  горизонтально-розточувального верстата представлена на рис.5.6. КЛ верстата реалізують дві структури що відносяться до різних класів та здійснюються тим самим набором елементарних рухів, а саме:

1)  $E22 \rightarrow$  а)  $\Phi_V(C_1), \Phi_S(Z_1), U_C(X),(Y),(Z_2) \Rightarrow$  розточування отворів різцем, свердління; б)  $\Phi_V(C_1), \Phi_S(Z_2), U_C(X),(Y),(Z_2) \Rightarrow$  розточування отворів борштангою; в)  $\Phi_V(C_2), \Phi_S(Z_1), U_C(X),(Y),(R),(Z_2) \Rightarrow$  обточування; г)  $\Phi_V(C_2), \Phi_S(R), U_C(X),(Y),(Z_2),(R) \Rightarrow$  обробка торця різцем;

2)  $C12 \rightarrow \Phi_V(C_1,Z_1), U_C(X),(Y),(R),(Z_2) \Rightarrow$  нарізування різьби різцем.



- Висувний шпindelь.
1. Радіальний супорт.
  2. Планшайба.
  3. Шпindelьна бабка.
  4. Стька.
  5. Підставка.
  6. Подовжній стіл.
  7. Поперечний стіл.
  8. Поворотний стіл.
  9. Контрпідпора.
  10. Інструментальна оправка (борштанга).

Рис. 5.6

Горизонтально-розточувальний верстат дозволяє обробляти наскрізні і глухі отвори, короткі зовнішні циліндричні поверхні, підрізати торці, нарізати внутрішню різьбу, фрезерувати площини.

СКС горизонтально-розточувального верстата наведена на рис. 5.7. Кінематична настройка структури  $S_{12}$  для настроювання траєкторії  $RKB_q = 1 \text{ об.шп.} \rightarrow T_p$ :

$$1 \text{ об.шп.} \times i_{\text{шп}} \times i_{\Gamma} \times t_{Z_1} = T[\text{мм}], \Rightarrow i_{\Gamma} = T / C_{Z_1},$$

де  $i_{\Gamma}$  – передатне відношення гідари різьбонарізування, що розташована на торці шпindelьної бабки.

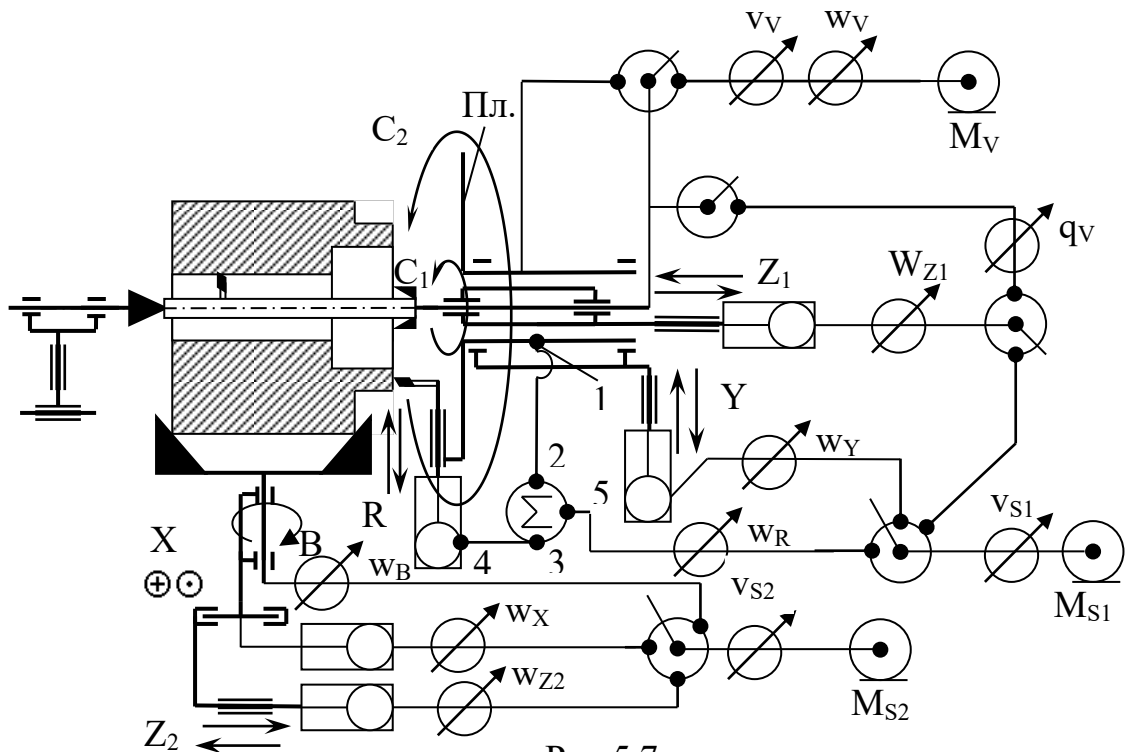


Рис.5.7

Рух R запозичений від гільзи планшайби (Пл.). При цьому передатні відносини в ланцюгу постійних передач 1-2-3-4 підібрані так щоб радіальний супорт залишався нерухомим при роботі за схемою  $\Phi_V(C_2), \Phi_S(Z_1), U_C(X),(Y),(R),(Z_2)$ . Для реалізації схеми  $\Phi_V(C_2), \Phi_S(R), U_C(X),(Y),(Z_2),(R)$  у КЛ руху R необхідно підвести регульований по швидкості і напрямку рух, що здійснюється через диференціал.

Схема роботи приводу радіальної подачі (рис. 5.8):

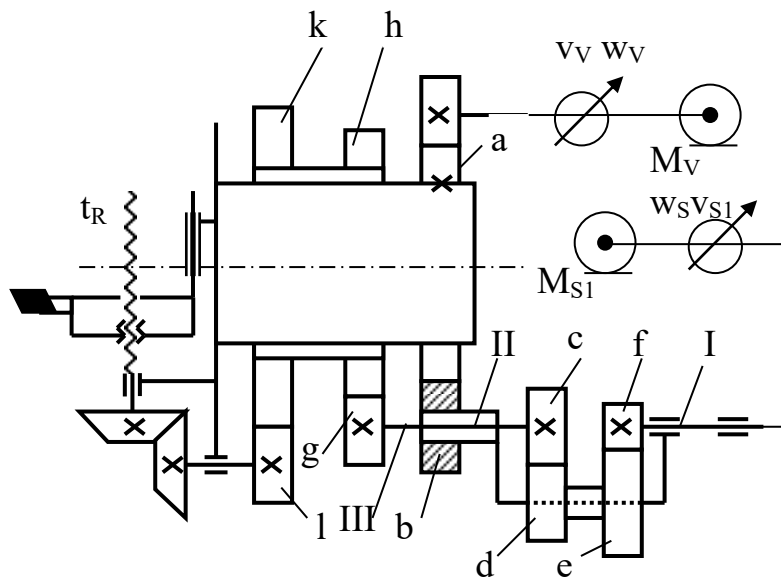


Рис.5.8

1) При  $V_S = 0$  і при  $n = 0$  (привод R відключений). Якщо  $n_k = n_a$ , колесо k обертається синхронно з планшайбою і не передає руху на ходовий гвинт t. Диференціальний механізм працює як жорсткий механізм із передатним відношенням  $i_{a-1} = 1$ :

$$i_{a-1}$$

$$= a/b \times f/e \times d/c \times g/h \times k/l = 1.$$

2) При  $V_S \neq 0$  привод радіальної подачі від  $M_{S1}$  підключений через диференціал до

ХОДОВОГО ГВИНТА t:

$$n_{III} \times g/h \times k/l \times 1/1 \times t = V_{SR},$$

$$n_{III} = \underbrace{n_{M_{S1}} \times i_{V_S}}_{n_I} \times i_{\text{диф.}} \pm \underbrace{n_{\text{Пл.}} \times \frac{a}{b}}_{n_{II}} \times (1 - i_{\text{диф.}}).$$

#### 5.4. Обробно-розточувальні (алмазно-розточувальні) верстати

Обробно-розточувальні (алмазно-розточувальні) верстати відносяться до спеціалізованих і спеціальних верстатів (рідко до універсальних). Призначені для тонкого розточування точних циліндричних і конічних отворів деталей крупносерійного і масового виробництва, а також для зовнішнього тонкого обточування і підрізування торців. Типові СКС і відповідна їй компоновка представлені на рис. 5.9. СКС реалізує структуру  $E22 \rightarrow \Phi_V(C), \Phi_S(Z), U_C(X)$ .

Діапазон режимів різання, що забезпечують алмазно-розточувальні верстати:

$$V_P = 150 \dots 500 \text{ м/хв};$$

$$S = 0,01 \dots 0,1 \text{ мм/об};$$

$$t = 0,05 \dots 0,3 \text{ мм}.$$

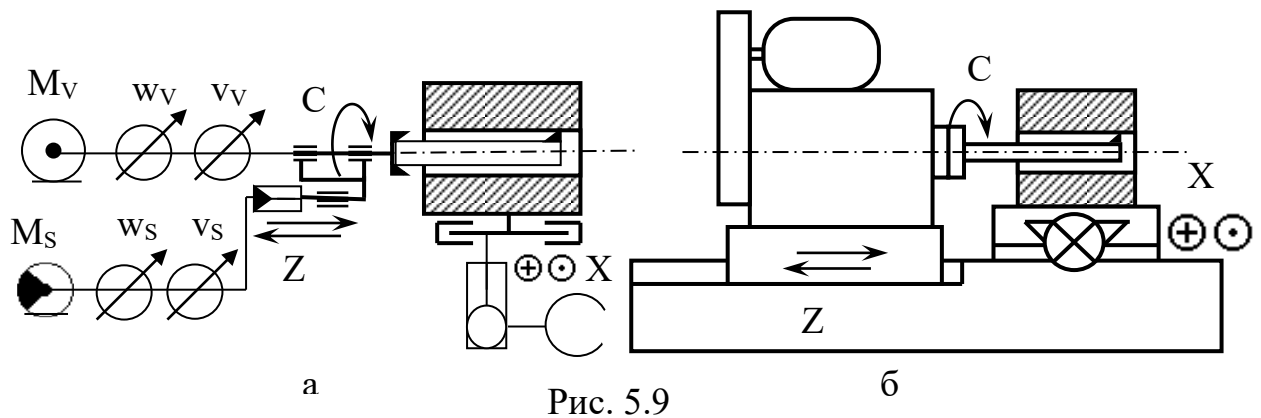


Рис. 5.9

Компоновка обробно-розточувальних верстатів залежить від конфігурації деталі, вимог до точності і продуктивності обробки і т.ін. Можуть бути наступні компоновання:

- рухливі головки – нерухомий стіл деталі;
- рухливий стіл деталі – нерухомі головки;
- одношпindelне - багатошпindelне виконання;
- однобічний – багатобічний;
- с висувними пінолями;
- вертикальна – горизонтальна – похила вісь шпинделя;
- поворотний стіл;
- похило-поворотний стіл і т.ін.

Обробно-розточувальні верстати проектують з агрегатного типу із широким використанням уніфікованих вузлів – шпindelних головок, столів, стійок, станин і, як правило, з гідравлічним приводом подач.

Спеціальні обробно-розточувальні (алмазно-розточувальні) багатошпindelні напівавтомати високої точності одно- та двосторонні призначені для фінішної обробки циліндричних поверхонь, підрізування внутрішніх та зовнішніх торців, прорізання канавок, розточування та обточування конічних та фігурних поверхонь корпусних деталей та тіл обертання при серійному та масовому виробництві. Робота верстатів заснована на принципі тонкого точіння, що характеризується різанням на високих швидкостях при помірній глибині та подачі. Висока чистота, стабільність розмірів та точність взаємного розташування поверхонь оброблюваних деталей досягається за рахунок особливостей конструкції верстата: жорстких корпусних деталей, виготовлених із високоякісного чавуну, комплексного контролю якості виготовлення вузлів та складання верстатів.

### 5.5. Координатно-розточувальні верстати

Призначені для обробки отворів з точним розташуванням осей, розміри між якими задані в прямокутній системі координат. На верстаті можна виконувати свердління, тонке розточування, (чистове) фрезерування, розмітку та перевірку лінійних розмірів, зокрема і міжцентрових відстаней.

Використовується для робіт в інструментальних цехах (обробка кондукторів та пристроїв) і в виробничих цехах для точної обробки деталей без спеці-

ального оснащення. Верстат обладнаний оптичними екранними відліковими пристроями, що дозволяють відраховувати цілу і дробову частини координатного розміру. В умовах нормальної експлуатації верстат забезпечує точність установки міжцентровою відстаней в прямокутній системі координат — 0,004 мм.

Верстат 2A450 - одноколонного типу, має прямокутний стіл з поздовжнім і поперечним переміщенням (рис 5.10, а). На верстаті передбачено установче переміщення шпиндельної бабки. Робочі і прискорені переміщення столу в подовжньому і поперечному напрямках здійснюються електричними приводами з широким діапазоном регулювання.

Точна установка столу на задану координату проводиться вручну, маховичком. Верстат забезпечений пристроєм цифрової індикації, що дає можливість оператору проводити встановлення координат з дискретністю 0,001 мм.

Типова компоновка одностоякового координатно-розточувального верстата XY0ZC представлена на рис. 5.10, б.

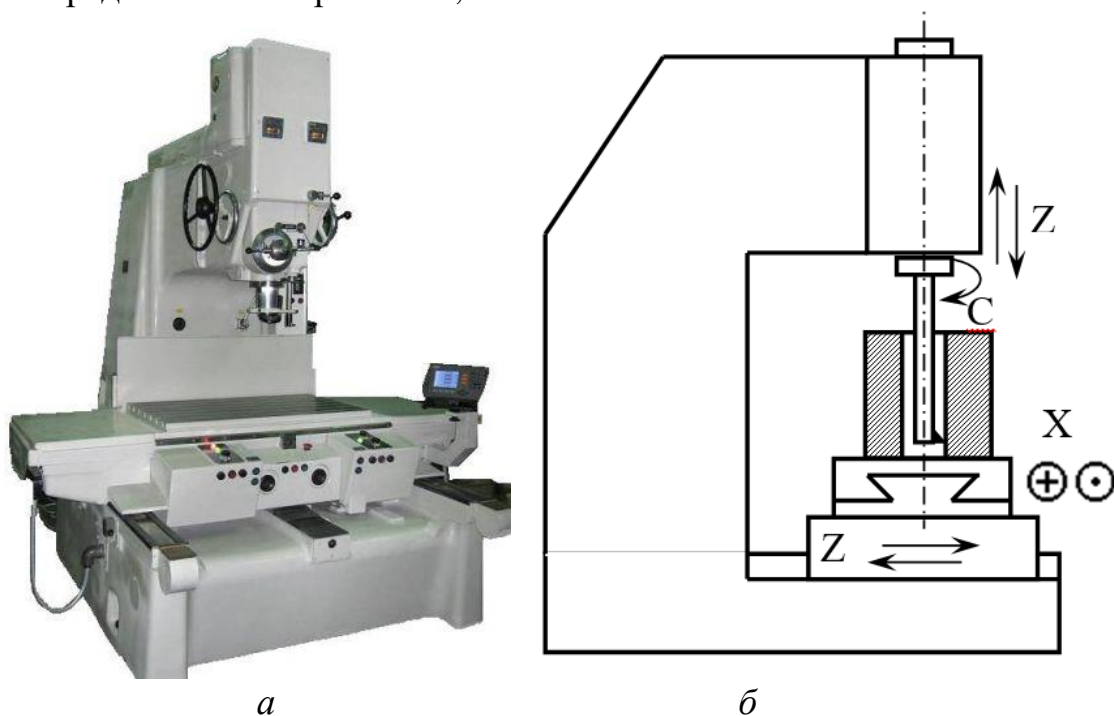


Рис. 5.10

Точне позиціонування на осі отворів здійснюють без кондукторів і інших пристосувань для напрямку інструмента, а лише за рахунок точної кінематики приводів позиціонування, точних ходових гвинтів, лімбів і ноніусів, жорстких і складальних кінцевих мір довжини, індикаторних пристроїв, прецизійних масштабних валиків, оптичних і спеціальних приладів.

*Питання для самоперевірки до дев'ятої лекції*

- 1. На які типи підрозділяють верстати 2-ї групи?*
- 2. Побудуйте СКС вертикально-свердлильного верстата.*
- 3. Побудуйте СКС радіально-свердлильного верстата.*
- 4. Яка компоновка радіально-свердлильного верстата?*
- 5. Яка компоновка горизонтально-розточувального верстата?*

6. Перелічить основні особливості СКС горизонтально-розточувального верстата.

7. Побудуйте СКС обробно-розточувального верстата.

8. Які компонування обробно-розточувальних верстатів вам відомі?

9. Яка компоновка координатно-розточувального верстата?

### Лекція 10

Мета лекції вивчення верстатів 3-ї групи. Внаслідок вивчення студент повинен вмти побудувати СКС круглошліфувального, різбошліфувального, доводочного верстатів та компоновочні схеми плоскошліфувальних верстатів.

## 6. ВЕРСТАТИ ДЛЯ АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ

### 6.1. Типи верстатів 3-ї групи

Металорізальні верстати 3-ї групи підрозділяються на типи:

1 – круглошліфувальні;

2 – внутрішньо-шліфувальні;

3 – обдирно-шліфувальні;

4 – спеціалізовані шліфувальні для валів;

5 – (немає);

6 – заточувальні;

7 – плоскошліфувальні;

8 – притиральні і полірувальні;

9 – різні.

*Призначення* – чистова обробка. А також різного роду обдирні, зачисні і заточувальні роботи.

При різних видах робіт використовують і одержують такі режими різання і якість обробленої поверхні:

◆ Обдирання – деталь без попередньої обробки,  $V_p = 50...60$  м/с, шорсткість поверхні  $R_a = 2,5 \dots 5,0$  мкм.

◆ Попереднє шліфування – деталь після токарної обробки чи фрезерування до термообробки,  $V_p = 40...60$  м/с, шорсткість поверхні  $R_a = 1,25...2,0$  мкм.

◆ Остаточне шліфування – деталь після попереднього шліфування, тонкої токарної обробки або чистового фрезерування до термообробки чи після неї,  $V_p = 35...100$  м/с, шорсткість поверхні  $R_a = 0,2...1,2$  мкм.

◆ Тонке шліфування – деталь після шліфування і після термообробки,  $V_p = 60...100$  м/с,  $t = 0,05...0,1$  мм, шорсткість поверхні  $R_a = 0,025...0,1$  мкм.

Абразивний інструмент, який являє собою тіло обертання (диск, циліндр, конус, чашу і т.ін. зветься «абразив», «коло» чи «камінь») чи абразивні бруски (рис. 6.1)

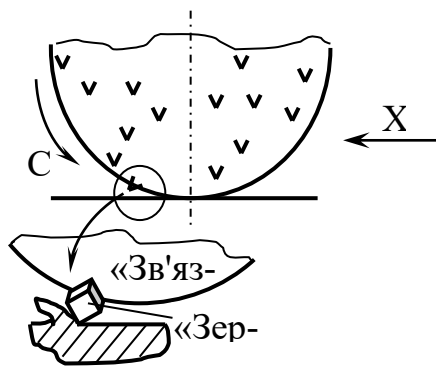


Рис.6.1

Тверді включення абразиву в зв'язку абразивного інструмента утворюють як би «зерна», хаотично розташовані і маючі випадкову геометрію. Ріжучі властивості «зерна», як правило, низькі і тому стружка, що знімається, має малий перетин. Але в сумі робоча поверхня абразивного інструмента має достатньо велику поверхню. Шліфувальні верстати працюють методами копіювання і сліду, торкання й обкату в залежності від типу верстата.

## 6.2. Круглошліфувальні верстати

Круглошліфувальні верстати (КШ) бувають центрові і безцентрові.

Центрові круглошліфувальні верстати (рис. 6.2) призначені для обробки циліндричних і конічних зовнішніх ОП, гладких і ступеневих. Верстат складається з наступних деталей та вузлів: 1 – панель гідравлічного керування верстатом; 2 – станина; 3 – маховичок ручного переміщення столу; 4 – стіл; 5 – передня бабка;

6 – шліфувальна бабка; 7 – механізм поперечної подачі; 8 – панель керування пуском насоса, шліфувального круга, обертанням заготовки та регулюванням подачі, роботою сигнальних ламп; 9 – задня бабка; 10 – рукоятка швидкого підвода-відводу шліфувальної бабки, пуска гідравлічного переміщення столу з зони шліфування в зону правки та відводу столу.

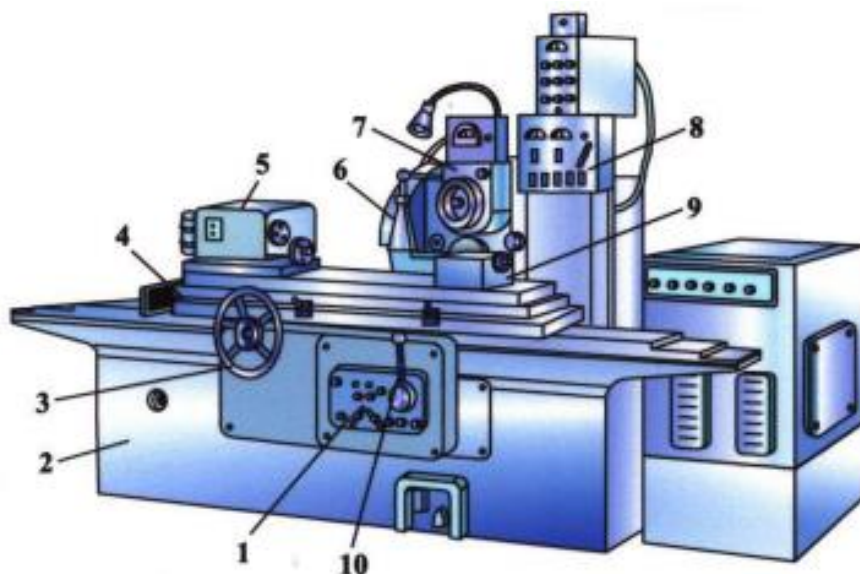


Рис. 5.2

Кінематична структура КШ верстатів  $E33 \rightarrow \Phi_v(C_2), \Phi_{S1}(C_1), \Phi_{S2}(Z), V_p(Y)$  (рис. 6.3). Частота обертання круга:  $n_{C2} = (1000 \times V_p) / (\pi \times d_{кр.})$  – часто

величина постійна. Величина кругової подачі:  $n_{C1} = (1000 \times V_{Skp.}) / (\pi \times d_{Det.})$  і кількість подвійних ходів:  $n_{Дв.х.} = (1000 \times V_{Sz}) / (2 \times LZ)$ .

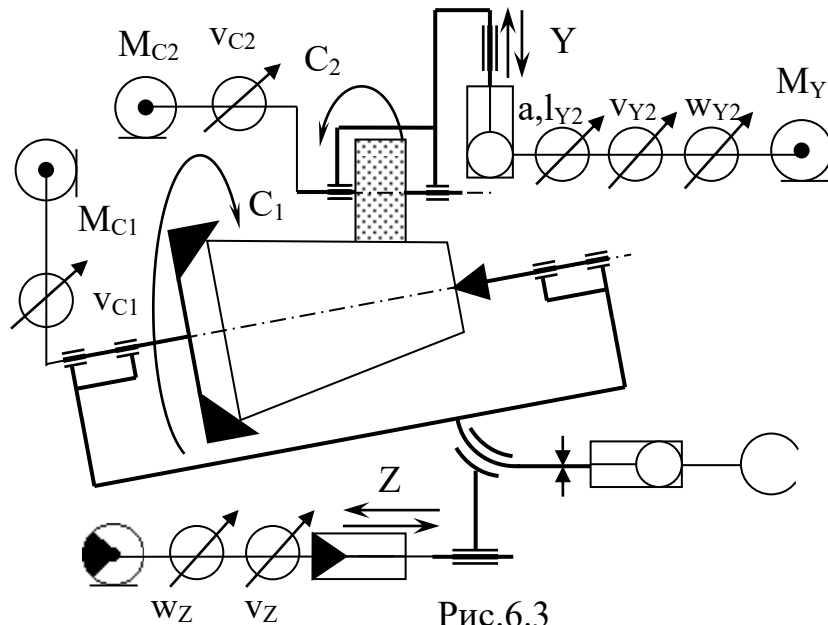


Рис.6.3

Інші методи круглого шліфування:

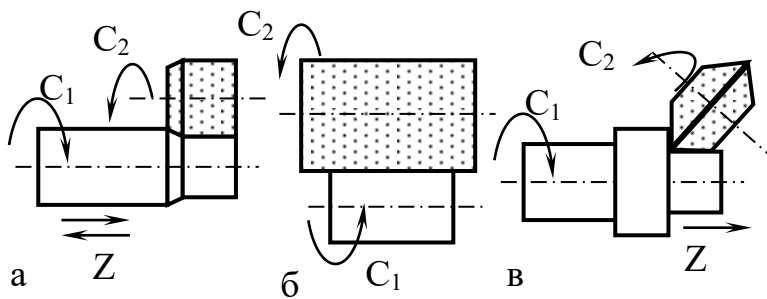


Рис.6.4

а) глибоке шліфування – для обробки твердих коротких деталей з  $t_p \leq 0,4$  мм за один прохід (рис.6.4, а); основну роботу різання виконує кінцева частина круга, а діаметральна зачищає ОП;

б) врізне шліфування – для обдирного і чистового

шліфування широким кругом безперервним по всієї ОП деталі (рис. 6.4, б);

в) шліфування кутовими кругами (рис. 6.4, в) і ін.

*Безцентрові круглошліфувальні верстати* призначені для обробки гладких і ступеневих зовнішніх поверхонь валів, гільз, поршневих пальців, осей великих розмірів, прутків і ін. у крупносерійному і масовому виробництві.

Існує два способи безцентрового шліфування:

а) напрохід чи наскрізне шліфування (рис. 6.5, а);

б) врізанням (рис. 6.5, б).

Для забезпечення контакту ведучого круга 3 з деталлю 2 (рис. 6.5) по прямій лінії форма круга виконана у виді однопорожнинного гіперболоїда. Величина зсуву нагору осі деталі над віссю круга, що різє,  $l$  дорівнює  $0,15 \dots 0,25$  мм. З рисунка випливає, що  $V_D = V_B \cdot D_O \times \cos(\alpha)$  – лінійна швидкість обертання деталі, а  $V_S = V_B \cdot D_O \times \sin(\alpha)$  – швидкість лінійної подачі деталі. Якщо,  $n_{P.K.} \gg n_{B.До}$ , тертя між колом, що різє, і деталлю багато менше ніж між ведучим колом і деталлю, що змушує деталь робити кругову і лінійну подачі зі швидкостями  $V_D$  і  $V_S$  відповідно.



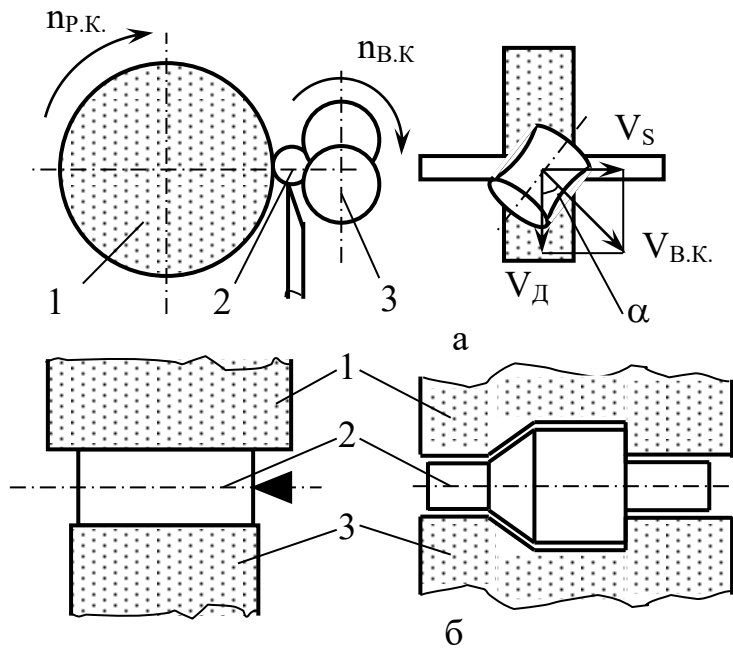


Рис.6.5

ведучий круг, 6 – ролик, 7 – опорний ролик.

Схема обробки на внутрішньошліфувальному верстаті з круговою подачею (рис. 6.6,а) реалізує рухи:  $\Phi_V(C_2)$ ,  $\Phi_{S1}(C_1)$ ,  $\Phi_{S2}(Z)$ ,  $U_C(X),(Y)$ .

Схема обробки на внутрішньошліфувальному верстаті з нерухомою деталлю і планетарним обертанням інструмента представлена на рис. 6.6, в.

Схеми обробки на внутрішньошліфувальному верстаті внутрішнього конуса і циліндра з одночасною обробкою торця представлені на рис. 6.6, г та 6.6, д відповідно.

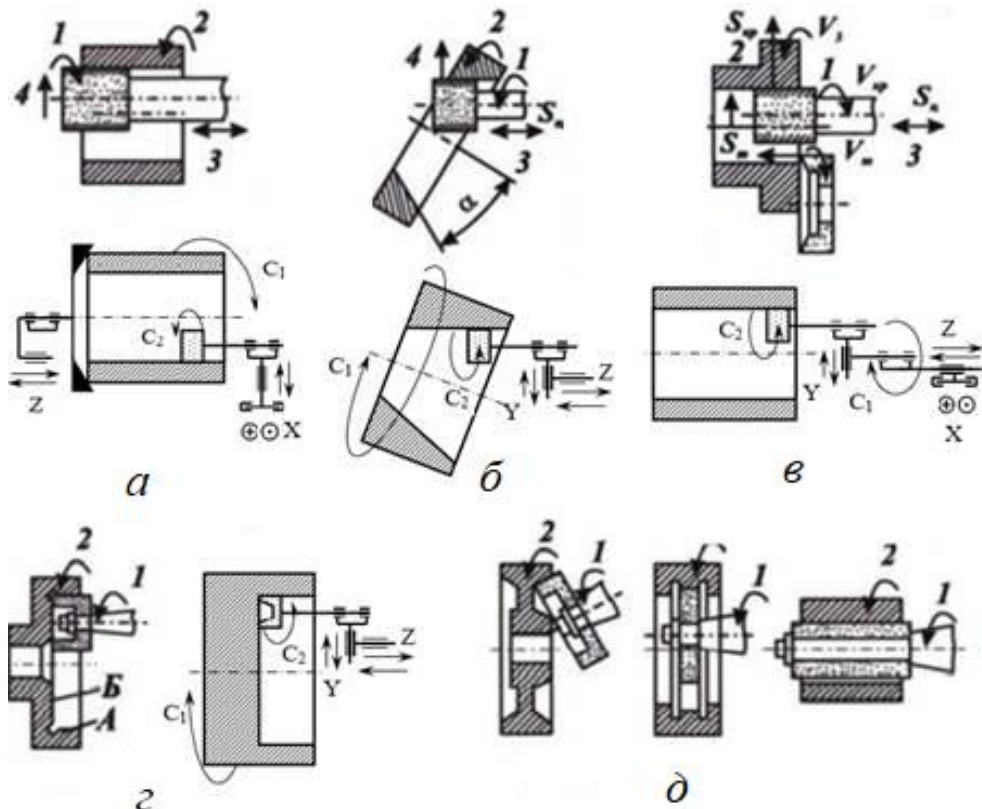


Рис. 6.6

При безцентровому шліфуванні методом врізання ведучий круг має циліндричну чи фасонну поверхню, подовжня подача деталі  $V_s$  відсутня.

### 6.3. Внутрішньошліфувальні верстати

Внутрішньошліфувальні верстати кінематично подібні центровим круглошліфувальним верстатам. Можливі різні способи внутрішнього шліфування (рис. 6.6): 1 – круг ; 2 – заготовка, 3 – зворотно-поступальний рух, 4 – поперечна подача, 5 –

На рисунку 6.7 показано внутрішньо-шліфувальний верстат, який складається з наступних вузлів та елементів: 1 – станина, 2 – маховичок поздовжньої подачі шліфувальної бабки, 3 – насосна станція, 4 – стіл, 5 – шпиндельна бабка, 6,7 – маховички, 8 – торцешліфувальне пристосування, 9 – пульт керування, 10 – шліфувальна бабка, 11 – електрошафа, 12 – стіл поздовжній, 13 – маховичок поперечної подачі шліфувальної бабки.

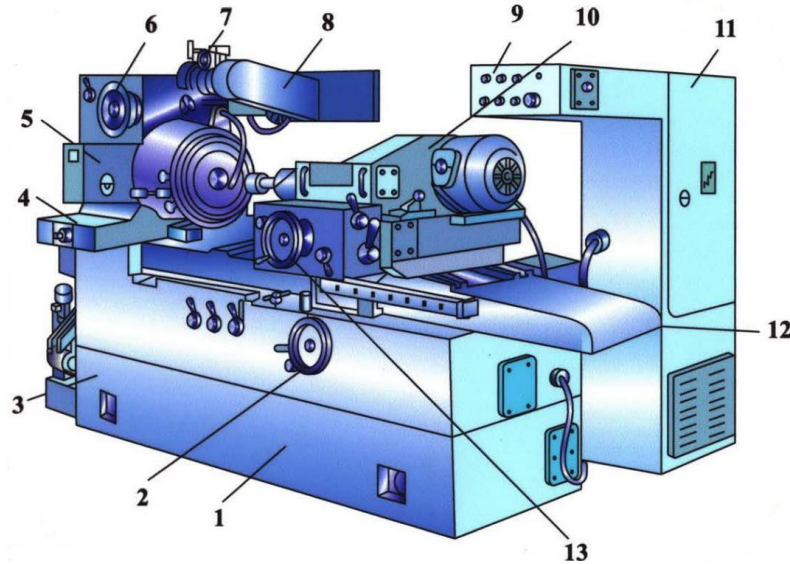


Рис. 6.7

#### 6.4. Різьбошліфувальні верстати

Різьбошліфувальні верстати використовують в основному в інструментальному виробництві для чистової обробки різьби на мітчиках, різьбових калібрах, точних гвинтах, різьбових фрезах, гвинтових кулачках і т.ін.

Профіль шліфувального круга, як правило, фасонний (тобто використовується сполучення методу копіювання (УЛ) і сліду (НЛ)). Кінематична структура різьбошліфувального верстата K23 і включає рухи:  $\Phi V(C2)$ ,  $\Phi S(C1, Z)$ ,  $Uc(X), (Y)$  (рис. 6.8).

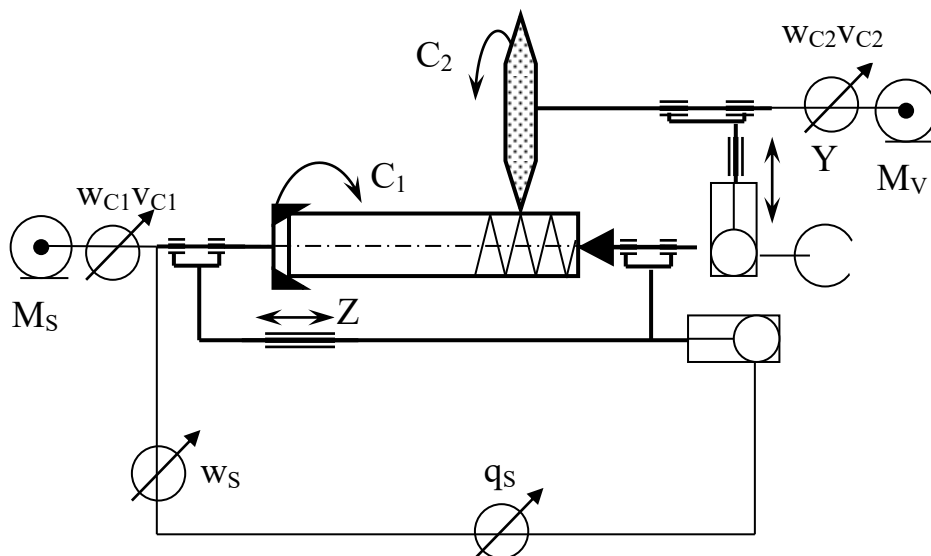


Рис.6.8

Вихідні умови складання РКБ для настроювання траєкторії:

1 об.д.  $\rightarrow t_d$ , де  $t_d$  – крок різьби, що шліфується. Шліфування може бути одно - і багатонитковим кругом, у другому випадку процес більш продуктивний, але виникають неточності різьби.

### 6.5. Плоскошліфувальні верстати

На плоскошліфувальних верстатах обробляють лінійні горизонтальні, вертикальні, нахилені і фасонні поверхні завдовжки до 2000 мм і завширшки до 630 мм.

Плоскошліфувальні верстати з круглим столом дозволяють обробляти деталі діаметром від 20 до 1000 мм. Закріплення деталей здійснюється за допомогою круглого магнітного стола, який дає змогу встановлювати і знімати деталі без зупинення верстата.

Плоскошліфувальні верстати працюють периферією або торцем круга. Кінематична структура плоскошліфувального верстата, працюючого периферією з магнітним подовжнім столом, ЕЗЗ включає рухи:  $\Phi_V(C)$ ,  $\Phi_{S1}(X)$ ,  $\Phi_{S2}(Z)$ ,  $U_C(Y)$ , але може бути  $\Phi_V(C)$ ,  $\Phi_{S1}(X)$ ,  $\Phi_{S2}(Y)$ ,  $U_C(Z)$  (рис. 6.9, а). Для верстата з

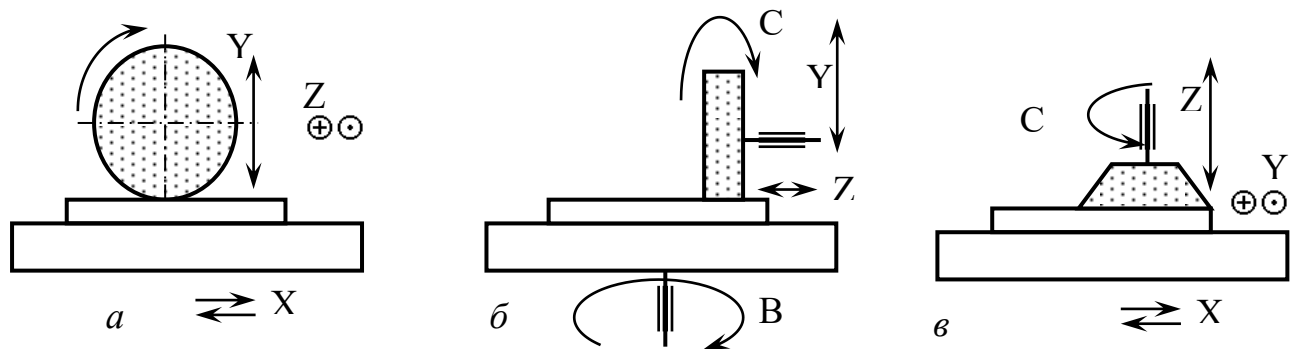


Рис. 6.9

круговим столом –  $\Phi_V(C)$ ,  $\Phi_{S1}(Y)$ ,  $\Phi_{S2}(Z)$ ,  $U_C(Y)$  (рис. 6.9, б). Для верстата працюючого тором кола з магнітним подовжнім столом –  $\Phi_V(C)$ ,  $\Phi_{S1}(X)$ ,  $\Phi_{S2}(Y)$ ,  $U_C(Z)$  (рис. 6.9, в). Можуть бути й інші схеми обробки.

Для зворотно-поступальних подовжніх подач, як правило, використовують гідропривід.

Компоновки плоскошліфувальних верстатів можуть бути

- ◆ Консольні і безконсольні.
- ◆ Одностоякові і двостоякові.
- ◆ Однобічні і двосторонні.
- ◆ З лінійним і круговим столом.
- ◆ З горизонтальною і вертикальною віссю інструмента;
- ◆ Одношпindelними і багатошпindelними.

Наприклад, двошпindelний двостояковий двосторонній з вертикальними осями шпindelів круговим столом плоскошліфувальний верстат представлений на рис. 6.10

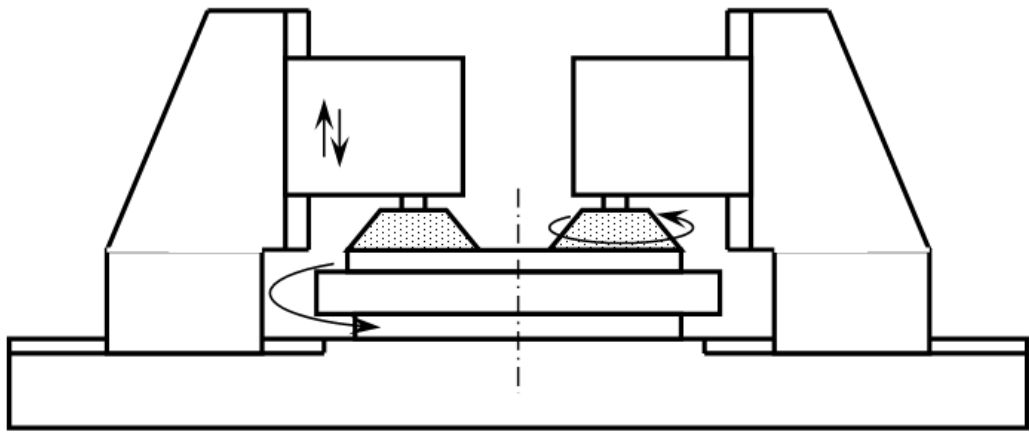


Рис. 6.10

### 6.6. Доводочні верстати

Доводочні відносяться до верстатів 8 типу, тобто до притиральних і полірувальних верстатів.

Хонінгувальні верстати призначені для доведення точних отворів. Доведення ОП при хонінгуванні здійснюється при спільному, але кінематично не взаємозалежному, вертикальному й обертальному русі ріжучого інструмента, що зветься хонінгувальною головкою. Головка представляє із себе циліндричне тіло з рівномірно розташованими радіальними парами вмонтованих абразивних брусків (хонів). Хонінгувальна головка складається з корпусу 3, у який уставлені хони 2, що розтискуються конусом 4 при обробці ОП деталі 1 (рис. 6.11, а).

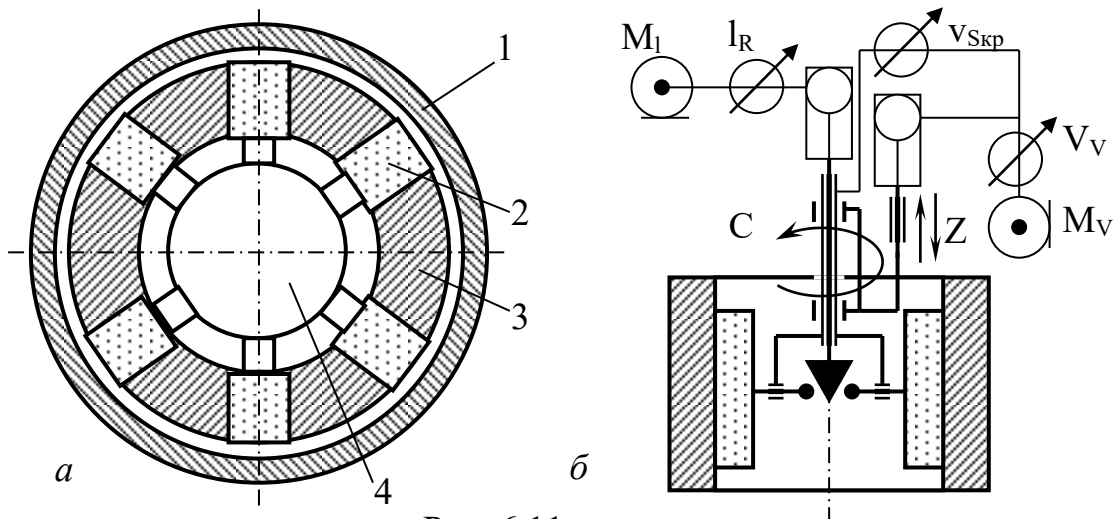


Рис. 6.11

Кінематична структура хонінгувального верстата E33 і включає рухи:  $\Phi_{V1}(C)$ ,  $\Phi_{V2}(Z)$ ,  $\Phi_S(R)$ , у цьому випадку  $V_C \approx V_Z$  і форма рисок шорсткості ОП деталі має приблизно X-образну форму. Частіше використовують рухи:  $\Phi_{V1}(Z)$ ,  $\Phi_{V2}(C)$ ,  $\Phi_S(R)$ , при цьому форма рисок може довільно регулюватися. СКС хонінгувального верстата представлена на рис. 6.11, б.

Суперфінішна обробка має кінематичну структуру E44 і містить у собі рухи:  $\Phi_V(z')$ ,  $\Phi_{S1}(C)$ ,  $\Phi_{S2}(Z)$ ,  $\Phi_{S3}(Y)$  (рис 6.12). Рух  $z'$  створюється спеціальним пристосуванням і представляє із себе високочастотний зворотно-поступальний

рух, за рахунок якого відбувається зняття переважної кількості металу. Подача в напрямку  $Y$  створюється силами дії пружини  $P$ .

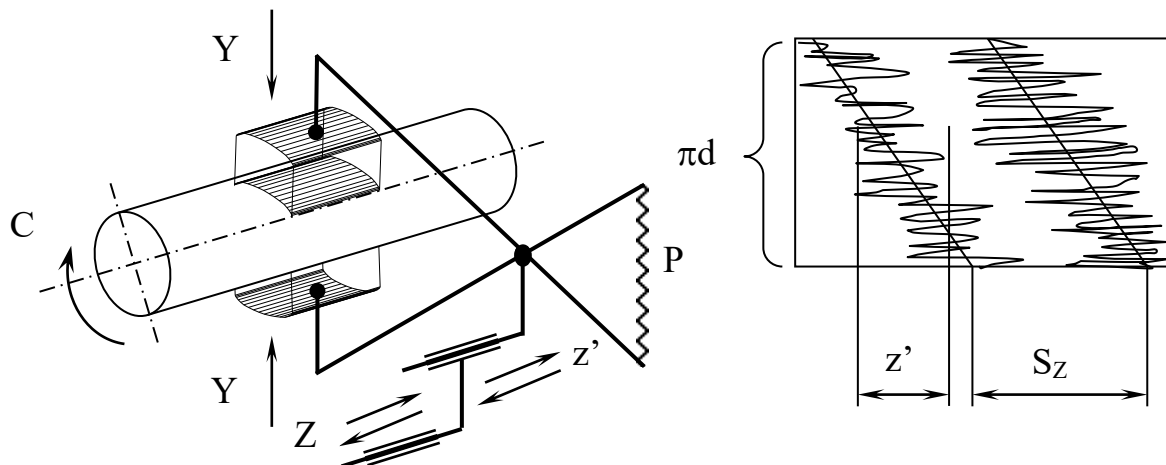


Рис. 6.12

Схема руху абразивних зерен створює на ОП сітку. Застосовується для надточної фінішної обробки деталей до одержання дзеркальної поверхні твердими дрібнозернистими брусками.

Існують спеціальні суперфінішні верстати, а також суперфінішні головки, що можуть установлюватися на супорт токарного верстата.

*Питання для самоперевірки до десятої лекції*

1. На які типи підрозділяють верстати 3-ї групи?
2. Для яких видів обробки призначені верстати 3-ї групи?
3. Побудуйте СКС круглошліфувального верстата.
4. Які методи круглого шліфування вам відомі?
5. Зобразіть схеми роботи внутрішньошліфувальних верстатів.
6. Побудуйте СКС різьбошліфувального верстата.
7. Які компоновочні схеми плоскошліфувальних верстатів вам відомі?
8. Побудуйте СКС доводочного верстата.

*Лекція 11*

*Мета лекції вивчення верстатів 5-ї групи. Внаслідок вивчення студент повинен вміти побудувати СКС різьбонакатного та різьбофрезерного і знати методи одержання різьби звичайної та підвищеної точності*

## 7. ЗУБО- І РІЗЬБООБРОБНІ ВЕРСТАТИ

Типи верстатів 5-ї групи за класифікацією МВ:

0. Різьбонарізні.
  1. Зубостругальні для циліндричних коліс.
  2. Зуборізні для конічних коліс.
  3. Зубофрезерні для циліндричних коліс і шліцьових валиків.
  4. Зубофрезерні для черв'ячних коліс.

5. Для обробки торців зубів коліс.
6. Різьбофрезерні.
7. Зубовикінчувальні, перевірочні й обкатані.
8. Зубо- і різьбошліфувальні.
9. Різні зубо- і різьбообробні.

### 7.1. Різьбообробні верстати

У дрібносерійному і серійному виробництві для нарізування різьби застосовуються універсальні токарно-гвинторізні верстати.

У крупносерійному та масовому виробництвах – спеціальні різьботокарні верстати-напівавтомати та різьбонарізні верстати.

Застосовуються такі *способи одержання різьби* на деталях:

1. Різьбовим різцем на токарно-гвинторізних верстатах (метод сліду і копіювання).
2. Спеціальними різьбовими інструментами (мітчиками, плашками) на різних верстатах (токарних, розточувальних, свердлильних, фрезерних).
3. Вихровими головками на спеціальних верстатах чи на токарних верстатах оснащених вихровими голівками.
4. Дисковими чи груповими різьбовими фрезами.
5. Одно- і багатонитковими різьбовими шліфувальними кругами.
6. Накатними різьбовими роликками або плашками.

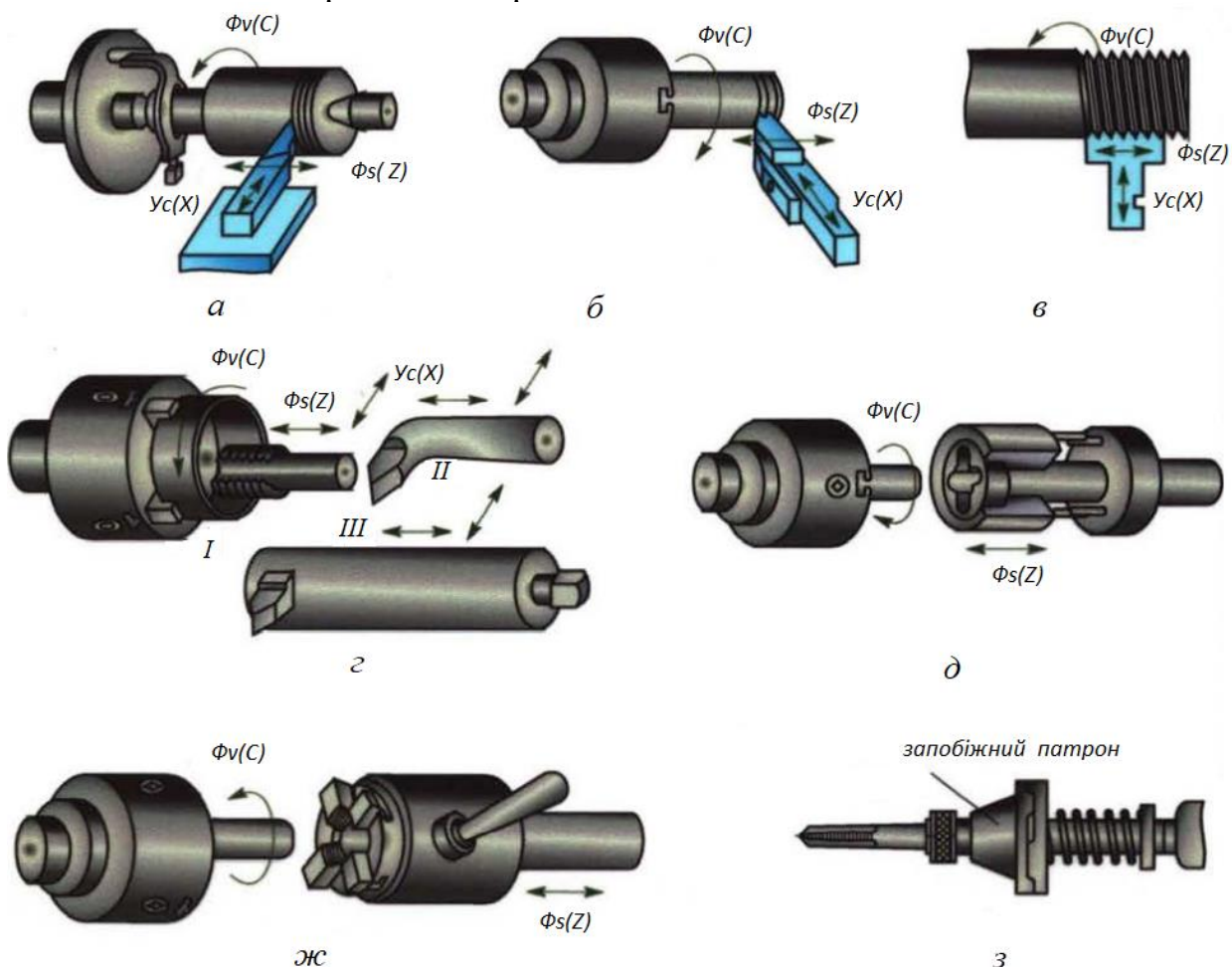


Рис. 7.1



На рис 7.1 показано нарізування різьби: *a* – різьбовим різцем; *б* – призматичним різьбовим різцем; *в* – різьбовий гребінцем; *г* – крутим різьбовим гребінцем (I), відігнутиим різцем (II) та різьбовим різцем в оправці (III); *д*- круглою плашкою; *е* – різьбонарізною головкою; *ж* – мітчиком.

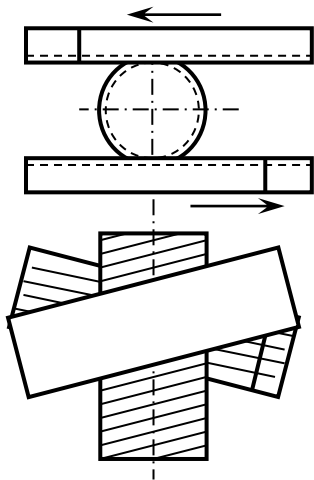


Рис.7.1

Тобто одержати різьбу можна на різних верстатах, але є і спеціальні підгрупи:

- 50... - різьбонарізні;
- 56... - різьбофрезерні;
- 58... - різьбошліфувальні;
- 59... - різні різьбообробні.

До найбільш простих способів відносяться наступні.

### 7.1.1. Різьбонакатні верстати

1). Різьбонакатування *плоскими плашками* більш точний і продуктивний процес (рис. 7.1). СКС спеціального різьбонакатного верстата представлена на рис.7.2,а. Кінематична структура різьбонакатного верстата E11 і включає рух  $\Phi_V(Y)$ . Наприкінці повернення інструмента штовхальник досилає в зону накатки чергову заготовку.

Переваги: висока продуктивність; низька собівартість; висока міцність і зносостійкість інструмента.

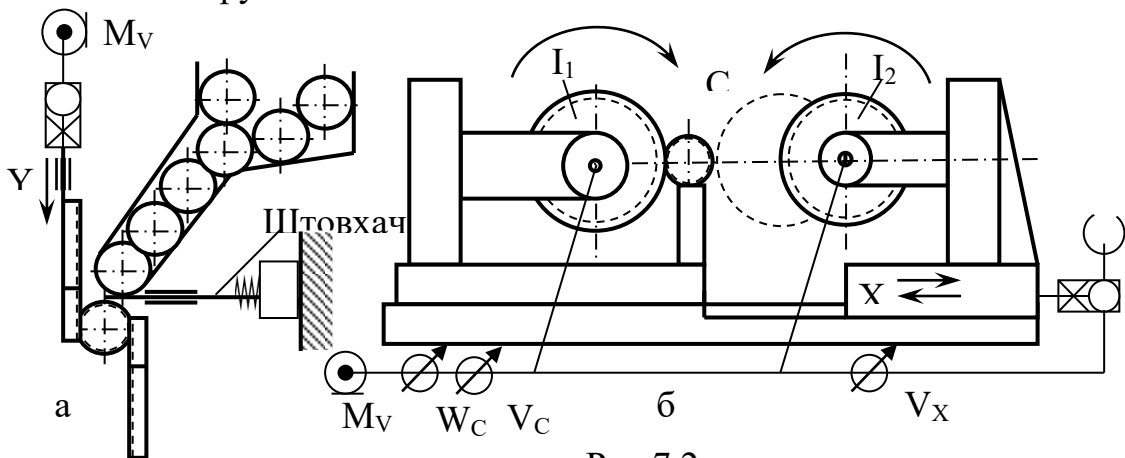


Рис.7.2

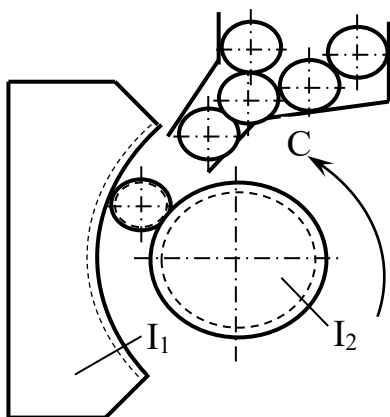


Рис.7.3

2). Різьбонакатування *круглими плашками* реалізує кінематичну структуру E22 і включає рухи  $\Phi_V(C)$ ,  $\Phi_S(X)$ . Деталь розташована на упорі між нерухомим інструментом  $I_1$  і рухливим  $I_2$  (рис. 7.2,б).

3). Різьбонакатування *увігнутою і круглою плашками* реалізує кінематичну структуру E11 і включає рух  $\Phi_V(C)$ . Деталь прокочується між нерухомим сектором  $I_1$  і рухливим роликком  $I_2$  (рис. 7.3). Використовують для накатування маловідповідальних різьб. Для всіх трьох схем використовують метод копіювання. Вершини плашок зміщені на величину  $1/2P$ .

### 7.1.2. Різьбофрезерні верстати

1). Різьбофрезерні верстати з дисковою фрезою реалізують кінематичну структуру K23 і включають рухи  $\Phi_v(C_1)$ ,  $\Phi_s(C_2, X)$ ,  $U_c(Y)$ . Використовують для різьб з великим кроком (рис. 7.4,а).

2). Різьбофрезерні верстати з гребінчастою фрезою реалізують кінематичну структуру K23 і включають рухи  $\Phi_v(C_1)$ ,  $\Phi_s(C_2, X)$ ,  $U_c(Y)$ . Використовують для коротких різьб великого діаметра з дрібним кроком (рис. 7.4,б). Вісь фрези паралельна осі деталі, що приводить до перекручування профілю різьби. Фрезерування різьби закінчується за один оберт деталі з урахуванням врізання за 1,2...1,4 оберту. Довжина фрези повинна бути на 1...3 Р більше довжини різьби, що нарізають. Гребінчастою фрезою можна фрезерувати як зовнішні, так і внутрішні різьби (рис. 7.4,в).

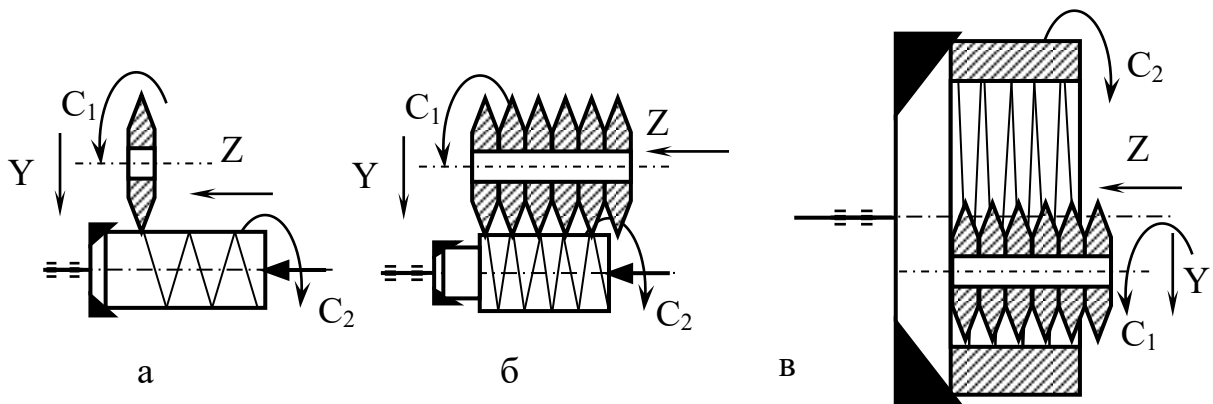


Рис.7.4

СКС різьбонарізного верстата представлена на рис. 7.5. Вихідні умови для РКБ<sub>qs</sub>: 1об.Д → t н.р( $Z_1$ ). Особливістю даної СКС є те, що внутрішній кінематичний зв'язок "C<sub>2</sub> – Z" з'єднує різні вузли (деталі-інструмента).

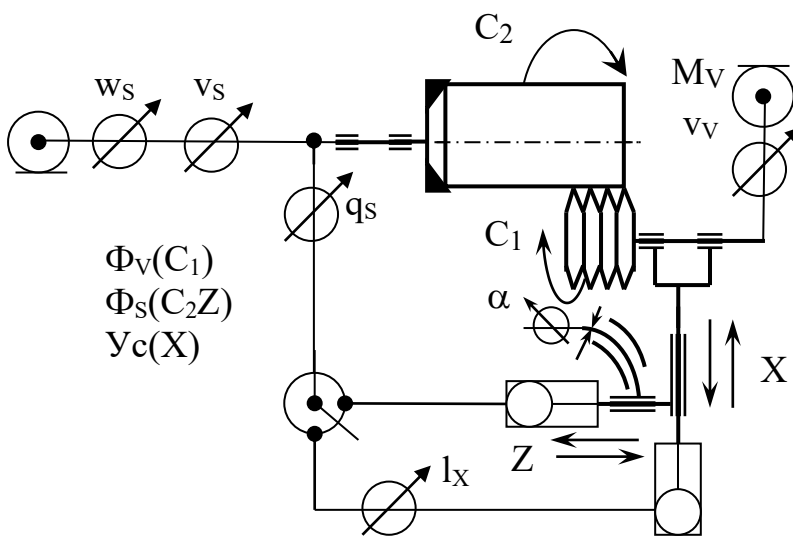


Рис.7.5.

### 7.1.3. Нарізування різьби підвищеної точності

Нарізування таких різьб виробляють на спеціальних токарно-гвинторізних верстатах чи токарно-гвинторізних верстатах загального призначення з забезпеченням точності різьби по профілю і кроку такими способами:

1). Використанням геометрично точних різьбових різців, як правило, з тврдосплавними чи керамічними пластинами, що різуть.



2). Точним кінематичним настроюванням, вибіркою зазорів кінематичних пар, використанням точних ходових гвинтів.

3). Використанням спеціальних коригувальних пристроїв кроку різьби.

Найбільш поширені наступні пристрої корекції кроку різьби:

1). Додатковий поворот маточної гайки (рис. 3.15). Валу II надається додаткове обертання для корекції погрішності кроку  $\Delta P$ .

$$\left. \begin{array}{l} P_{\text{х.г.}} \rightarrow 1 \text{ об.х.г.} \\ \Delta P \rightarrow X \text{ об.м.г.} \end{array} \right\} X \text{ об.м.г.} = \Delta P / P_{\text{х.г.}}$$

$$n_{\text{II}} = X \text{ об.м.г.} \times (Z_2/Z_1) = (\Delta P / P_{\text{х.г.}}) \times (Z_2/Z_1).$$

$n_{\text{II}}$  - задається кроковому двигуну корекції погрішності кроку ходового гвинта.

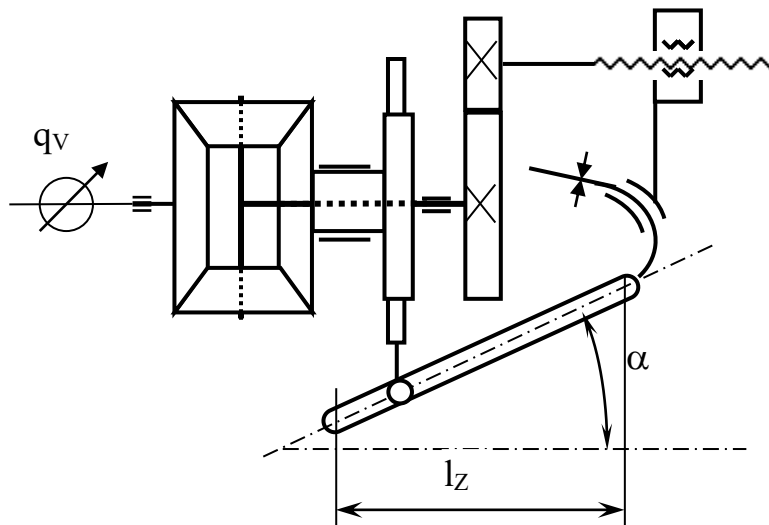


Рис.7.6

2). Осьовий зсув ходового гвинта. Аналогічно вищенаведеному, але гвинт у корпусі верстата кріпиться в рухливій обоймі.

3). Додатковий поворот ходового гвинта. Додаткове обертання гвинта здійснюється через диференціальний механізм (рис. 7.6). Кут нахилу коригувальної лінійки накопиченої погрішності кроку можна визначити:  $\text{tg} \alpha = (\Delta P / l) \times C_M$ .

*Питання для самоперевірки до одинадцятої лекції*

1. На які типи підрозділяють верстати 5-ї групи?
2. Які способи одержання різьби на деталях вам відомі?
3. Накресліть СКС різьбонакатного верстата круглими плашками.
4. Накресліть СКС різьбофрезерного верстата гребінчастою фрезою.
5. Які способи одержання різьби підвищеної точності вам відомі?

## Лекція 12

*Мета лекції вивчення схем формоутворення, по яких працюють зубообробні верстати. Внаслідок вивчення студент повинен вміти побудувати СКС зубодовбального, і зубофрезерного верстатів і записати РКБ для основних рухів при зубодовбанні та зубофрезеруванні.*

### 7.2. Зубообробні верстати

Зубообробні верстати працюють за двома схемами формоутворення:

а) копіювання (поєднання методу копіювання для одержання УЛ і сліду або торкання – для НЛ) (рис. 7.7);

б) обкату (поєднання методу обкату для одержання УЛ і сліду або торкання – для НЛ) (рис. 7.9).

Схема копіювання УЛ реалізована в стругальних і довбальних верстатах при одержанні НЛ методом сліду (рис. 7.7,а). Схема копіювання УЛ при одержанні НЛ методом торкання реалізована на фрезерних верстатах загального призначення при роботі пальцевою фрезою (рис. 7.7,б) чи дисковою фрезою (рис. 7.7,в) і шліфувальних верстатах (рис. 7.7,г) оснащених ділильними головками.

Крім того, профіль зубчастого колеса одержують протяганням (модульним протяганням), особливо внутрішніх зубцюватих вінців.

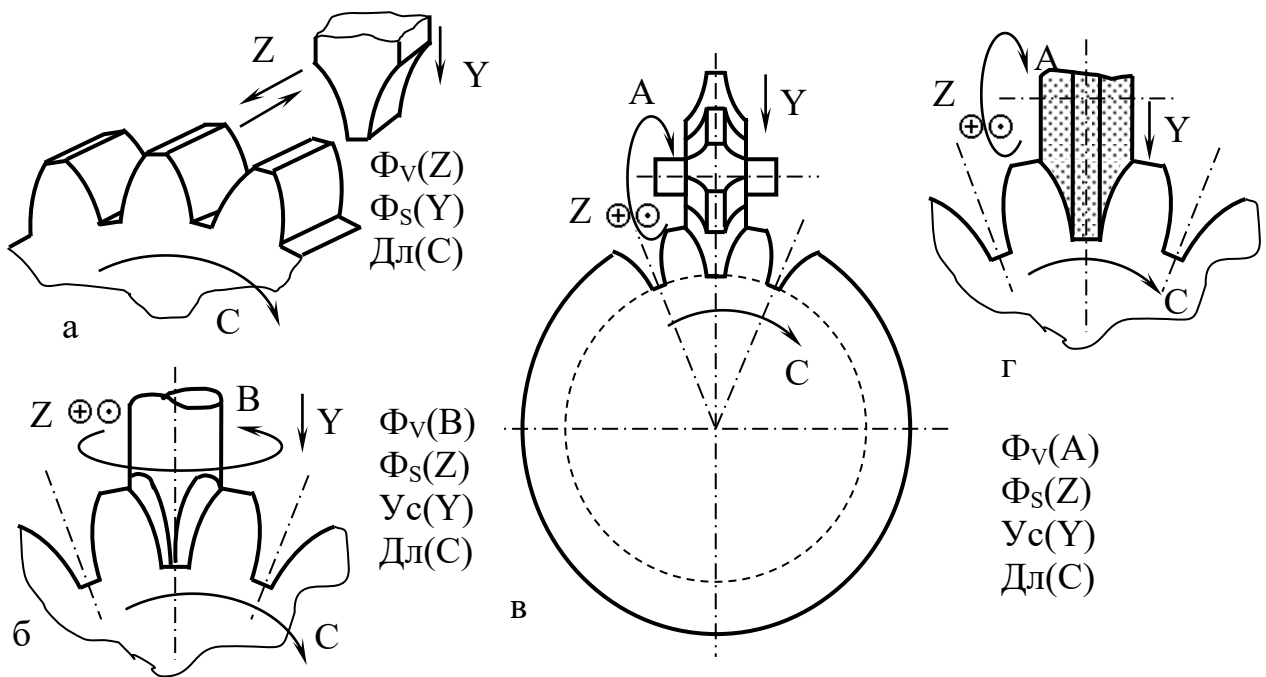


Рис.7.7

Перераховані схеми використовують в індивідуальному і дрібносерійному виробництві. Вони досить точні - при відповідній точності профілю інструмента, наладки і кінематичної настройки верстата, особливо в ланцюгу розподілу.

Метод обкату більш розповсюджений, як більш продуктивний і більш точний для формоутворення

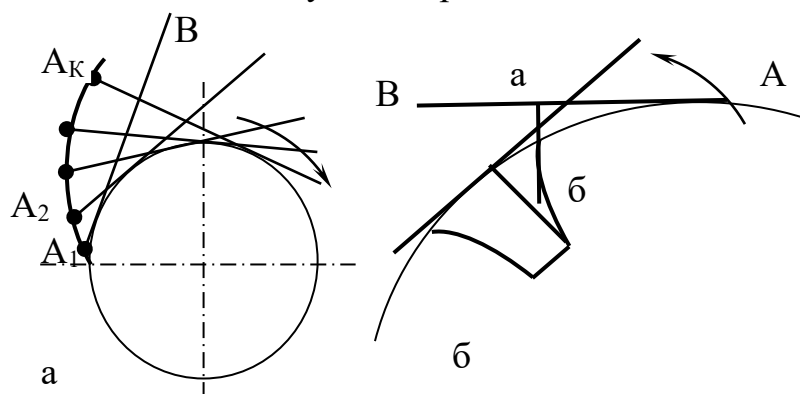


Рис.7.8

циліндричних коліс. При цьому відтворюється зубчато-рейкове чи зубцювате зачеплення.

Відомо, що евольвентою іменується крива, описувана будь-якою точкою відрізка прямої лінії, при її обкаті без ковзання по колу (рис. 7.8,а).

Якщо на прямої АВ розмістити виступ аб  $\perp$  АВ і обкат прямої зробити в зворотному напрямку, то виступ аб (його кінець (•) б) зайде в площу кола також по евольвенті на глибину аб і при подальшому обкаті вийде назовні так само по евольвенті (рис. 7.8,б). На цьому заснований метод обводу при обробці зубчастих коліс евольвентного профілю.

«Класична» схема обводу реалізована при зубоструганні рейкою представлена на рис. 7.9,а. У ній цілком відтворюється теоретична схема формування методом обкату. Недолік – кінематично складно здійснити рух Y і існує обмеження по діаметру зубчастих коліс, тому що довжина рейки  $L \geq \pi \times D_{д.о.}$

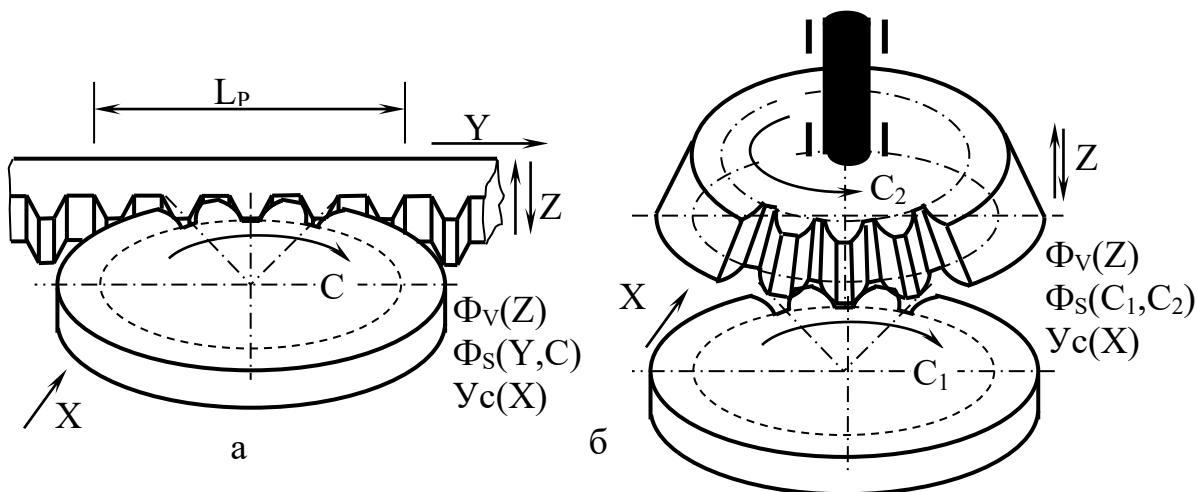


Рис.7.9

Для усунення останнього недоліку треба згорнути рейку по колу, тобто зробити її нескінченною, що здійснюється при реалізації схеми зубодовбання круглим довбачем (рис. 7.9,б). За цією схемою відтворюється зубчасте евольвентне зачеплення. Рух  $\Phi_v(Z)$  формує УЛ і здійснюється з більшою швидкістю, ніж рух  $\Phi_s(C_1, C_2)$  формуючи НЛ. При цьому повний профіль западини зуба формується за кілька проходів, тобто за кілька послідовних зближень носей інструмента і деталі.

Недолік цієї схеми – необхідність зворотно-поступального руху Z (кінематично складного) і втрата продуктивності на холостому ході інструмента.

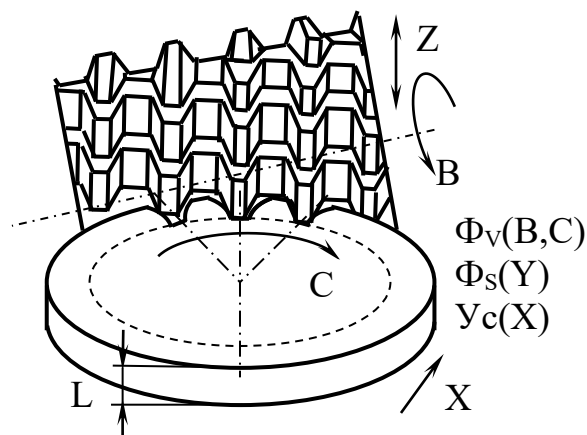


Рис.7.10

НЛ методом торкання.

Даний недолік усувається в схемі представлений на рис. 7.10, що реалізує зубофрезерування черв'ячними фрезами, при якому виробляюча рейка (рис. 7.9,а) якби згорнута по гвинтовій лінії, що дозволяє її рух Y замінити обертанням фрези.

У цьому випадку головним рухом фрези є двоелементний складний рух взаємозалежних обертань інструмента (B) і деталі (C), що забезпечують утворення УЛ. Рух Z забезпечує утворення

Метод забезпечує можливість обробки відразу декількох заготовок набраних у пакет. При цьому величина руху фрези в напрямку Y дорівнює  $L \times K$ , де K – кількість заготовок.

Зубофрезерування циліндричних зубчастих коліс із гвинтовими (косими) зубами має трохи іншу схему і склад рухів, що буде розглянуто нижче.

### 7.2.1. Зубодовбальні верстати

Ці верстати призначені для обробки циліндричних прямозубих і косозубих зубчастих коліс як із зовнішнім, так і з внутрішнім зачепленням. На цих верстатах також можна обробляти блоки зубчастих коліс. Зубодовбальні верстати можуть бути з вертикальним і горизонтальним (рідше) розташуванням шпинделя.

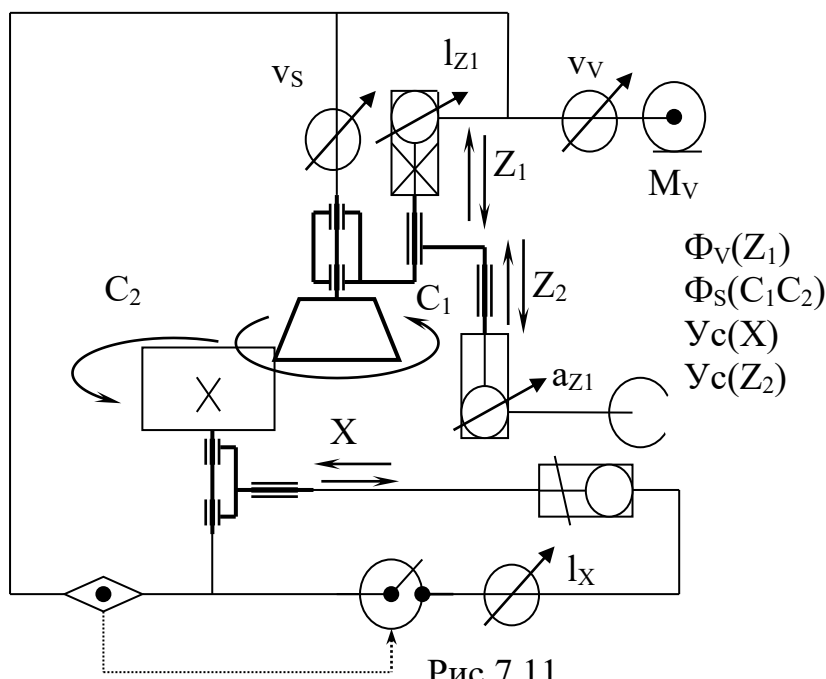
СКС зубодовбального верстата приведена на рис. 7.11. Кінематична структура верстата K23. Компонувачна формула  $C_2X_0Z_2Z_1C_1$ . Інструмент – круглий довбач.

У КЛ головного руху  $\Phi_V(Z_1)$  установлений перетворювач обертового руху в зворотно-поступальний, тому реверсивний механізм не потрібний. Наставний рух  $Ус(X)$  (періодичне поглиблення довбача) виробляють, наприклад, після повного обороту заготовки, КЛ руху X підключається за допомогою контактора керованого датчиком зворотного зв'язку (лічильника обертів).

*Кінематичне настроювання зубодовбального верстата*

Настроювання простого незамкнутого руху  $\Phi_V(Z_1)$  (з чотирьох параметрів  $a, l, w, v$  кінематичної настройки потребує тільки  $v$ ):

$$РКБ_{Vv}: n_{M_V} \rightarrow n_{дв.х.і} = \frac{1000V_p}{2l_1}, \text{ де } l_1 - \text{величина ходу інструмента для}$$



повної обробки всієї ширини вінця зубчастого колеса (плюс врізання та перебіг).

Повзун зворотно-поступального руху, іменованій «штоселем» приводиться в рух кривошипно-шатунним механізмом, зміна радіуса кривошипа якого служить для настройки величини  $l_1$  (рис. 7.12).

Для обробки косозубих коліс штоселі оснащують

гвинтовим копіром, індивідуальним для кожної настройки верстата.

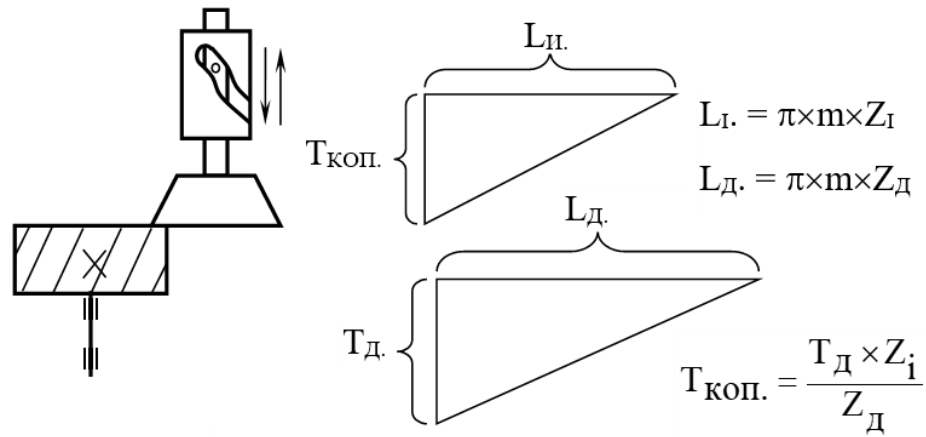


Рис. 7.12

При настроюванні складного замкнутого руху  $\Phi_S(C_1C_2)$  – кінематичного настроювання потребують параметри  $q$  та  $v$ .

$$УКБ_{V_S}: 1 \text{ дв.х.і.} \rightarrow n_{Д.} \rightarrow V_S = \frac{\pi \times D_{Д.} \times n_{Д.}}{1000},$$

$$i_{V_S} = \frac{V_S}{D_{Д.} \times C_S}.$$

$$РКБ_{q_S}: \frac{1}{Z_n} \rightarrow \frac{1}{Z_{Д.}} \text{ (умова зубчастого зачеплення)}$$

$$i_{q_S} = \frac{Z_n}{Z_{Д.} \times C_q}.$$

### 7.2.2. Зубофрезерні станки

Існують різні конструктивні схеми зубофрезерних верстатів, що характеризуються комбінацією наступних ознак:

- вісь заготовки вертикальна чи горизонтальна;
- рухлива каретка столу з нерухомою супортною стійкою або нерухомий стіл з рухливою супортною стійкою.

При обробці деталі на зубофрезерному верстаті відтворюється черв'ячне зачеплення. Інструмент – черв'ячна фреза (рис.7.13) характеризується тим, що

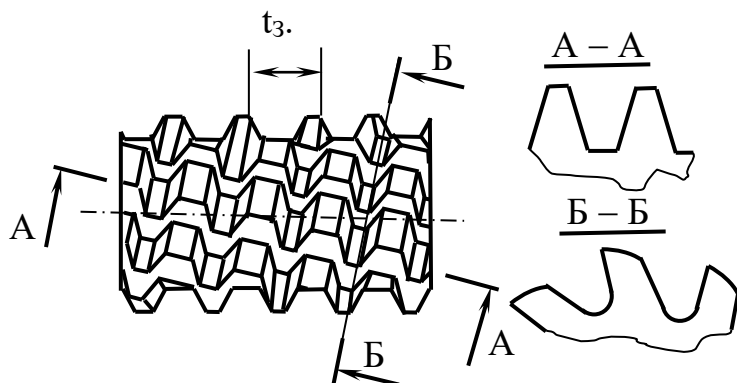


Рис.7.13.

по зовнішній поверхні циліндра (чи конуса) нарізана гвинтова лінія (однозахідна з кроком  $t_3$  чи багатозахідна), по якій розташовані зуби фрези, розділені стружковими канавками (гвинтовими з кроком  $T_{Р.К}$  чи прямими). Профіль кожного зуба в радіальному перетині, паралельному дотичної

до гвинтової лінії стружкової канавки, має профіль зубцюватої рейки. Задня поверхня кожного зуба спрофільована по архімедовій спіралі – для простоти переточування інструмента (профіль і задній кут інструмента при переточуваннях не змінюються).

СКС зубофрезерного верстата наведена на рис. 7.14. На зубофрезерних верстатах можна реалізувати дві кінематичні структури:

а) для нарізування прямозубих зубчастих коліс;

б) для нарізування косозубих коліс, причому у відмінності від зубодовбальних верстатів нахил зубів забезпечується не спеціальним конструктивним пристосуванням, а кінематично – взаємозв'язком параметрів виконавчих рухів. Обидві структури здійснюються на одному верстаті при відповідній настройці.

#### Кінематичне настроювання зубофрезерного верстата

Схема А настройка замкнутого складного руху  $\Phi_v(B, C_1)$ :  $q, v$  – кінематична настройка,  $w$  – залежить від напрямку гвинтової лінії інструмента.

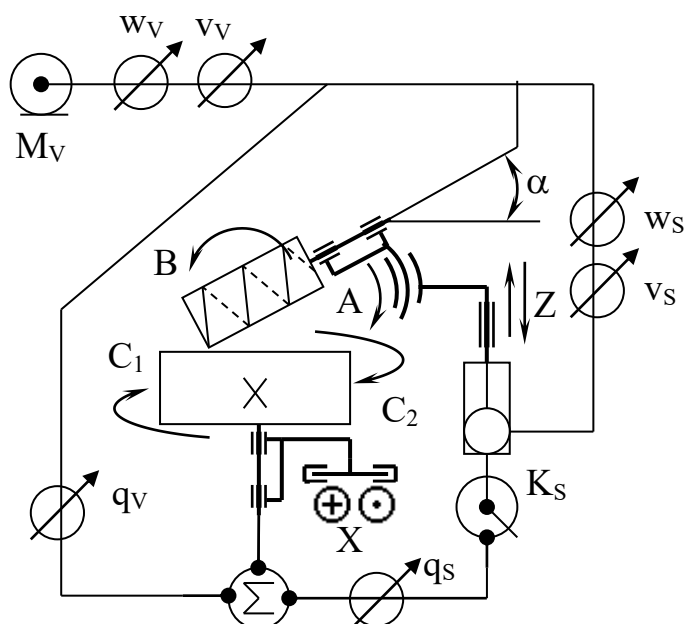


Рис.7.14

Виходячи з умови роботи черв'ячної передачі

А)  
 $\Phi_v(B, C_1)$  РКБ $_{q_v} : 1 \text{ об.і.} \rightarrow \frac{1}{Z_D}$ ;  
 $\Phi_s(Z)$   
 $Ус(X)$   
 $Нл(A)$

$$i_{q_v} = \frac{1}{Z_D} \times C_v.$$

Б)  
 $\Phi_v(B, C_1)$   
 $\Phi_s(Z, C_2)$   
 $Ус(X)$   
 $Нл(A)$

$$\text{РКБ}_{v_v} : n_{M_T} \rightarrow n_i =$$

$$\frac{1000 \times V_p}{\pi \times d_i};$$

$$i_{v_v} = \frac{V_p}{C_v}.$$

Настройка простого не-

замкнутого руху  $\Phi_s(Z)$ :  $a, l, w$  – настроюються конструктивно,  $v$  – кінематичне настроювання:

$$\text{РКБ}_{v_s} : 1 \text{ об.і.} \rightarrow S \frac{\text{мм}}{\text{об.}} = V (\text{оберта});$$

$$\text{при } n \text{ об.і.} \rightarrow S \frac{\text{мм}}{\text{об.}} \times n \frac{\text{об.}}{\text{хв}} = V \frac{\text{мм}}{\text{хв}};$$

$$i_{v_s} = \frac{S_z}{C_z}.$$

Для схеми Б настройка складного замкнутого руху  $\Phi_s(Z, C_2)$ :  $a, l, w$  – набудовуються конструктивно,  $q, v$  – кінематична настройка:

$$\text{УКБ}_{q_s} : T_D \rightarrow 1 \text{ об.д.,}$$

в набувається аналогічно попередньому випадку; тобто при проходженні вертикальним супортом (I) шляху  $l$ , рівного величині кроку гвинтової лінії похилих (косих) зубів, заготовка (Д) повинна повернутися на один (додатковий) оберт. додатковим цей оберт іменується тому, що Д вже має обертальний рух  $C_1$ , як елементарний, що входить в головний рух  $\Phi_V(B, C_1)$ . Оскільки до шпинделя столу заготовки підводиться два рухи, то перед шпинделем встановлюється диференціал – по теоретичній СКС. Практично диференціал встановлюють в іншому місці СКС, що зв'язано з особливостями настройки зубофрезерного верстата при нарізуванні косозубих коліс.

Розгорнення ділячного кола деталі (рис. 7.15):

$$T_D = \pi \times m_H \times Z_D / \sin \beta,$$

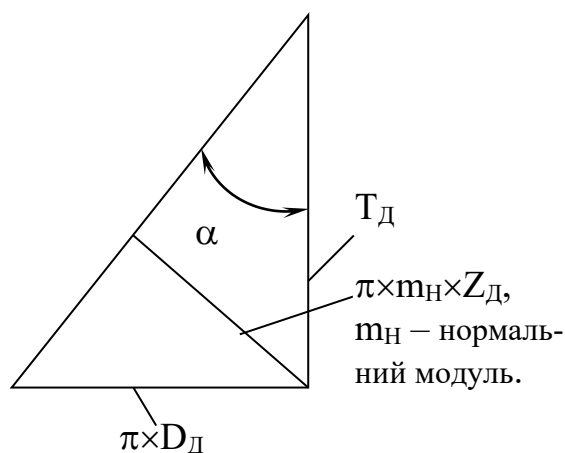


Рис.7.15.

числом зубів. За наведеними формулами, що відповідають СКС рис. 10.14, потрібно для кожного нового колеса з  $Z_D=K$  перенастроювати гітару диференціала для забезпечення кута  $\beta$ .

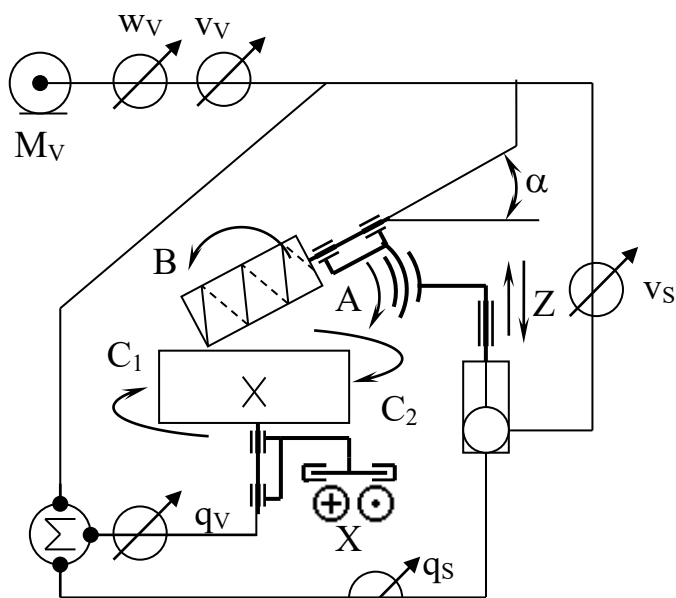


Рис.7.16.

тоді повне РКБ<sub>qs</sub>:

$$\frac{\pi \times m_H \times Z_D}{\sin \beta} \times \frac{1}{t_z} \times i_{qs} > \pm 1 \text{ об.д.},$$

$$\text{або } \frac{m_D \times Z_D}{\sin \beta} \times i_{qs} \times C_{qs} = 1,$$

тобто в РКБ є присутньою крім інших змінна величина  $Z_D$  – число зубів колеса, що нарізуємо.

Часто на зубофрезерних верстатах нарізають спряжені колеса (що працюють у парі), тобто одного модуля і кута нахилу зубів  $\beta$ , але з різним числом зубів. За наведеними формулами, що відповідають СКС рис. 10.14, потрібно для кожного нового колеса з  $Z_D=K$  перенастроювати гітару диференціала для забезпечення кута  $\beta$ . Цього можна уникнути, переставивши диференціал так, щоб у повному РКБ<sub>qs</sub> величина  $Z_D$  зберігалася, саме таким способом спроектована СКС реальних зубофрезерних верстатів (наприклад верстат моделі 5Д32 рис.7.16).

Повне РКБ<sub>qs</sub>:

$$\frac{\pi \times m_H \times Z_D}{\sin \beta} \times \frac{1}{t_{X,B}} \times i_{qs} \times$$

$$\times i_{\Sigma} \times i_{q_v} = 1 \text{ об.д.},$$

але тому що  $i_{q_v} = \frac{1}{Z_D}$  - для

обох структур (А и Б), то, встави-

вши це вираження замість  $i_{qv}$  у повне РКБ<sub>qs</sub>, маємо можливість скоротити величину  $Z_d$ . Тоді  $i_{qs} = \frac{\sin\beta}{m_H} C_s$ , тобто настроювання на визначений кут  $\beta$  і нормальний модуль  $m_H$  можна робити тільки один раз і надалі, при нарізуванні різних  $Z_d$  гітару диференціала не перенастроювати. Це приклад того, що порушення канонічного правила кінематичного настроювання – «кожен параметр виконавчого руху регулюється автономно», приводить до спрощення настроювання.

*Питання для самоперевірки до дванадцятої лекції*

1. Приведіть схеми формоутворення, по яких працюють зубообробні верстати.
2. Приведіть схему одержання евольвенти при обробці зубчастих коліс.
3. Приведіть приклади реалізації схеми обводу при зубообробці.
4. Побудуйте СКС зубодовбального верстата.
5. Приведіть РКБ для основних рухів при зубодовбанні.
6. Побудуйте СКС зубофрезерного верстата.
7. Приведіть РКБ для основних рухів при зубофрезеруванні.

*Лекція 13*

*Мета лекції вивчення методу обробки конічних зубчастих коліс та методів зубовикінчення. Внаслідок вивчання студент повинен вмти побудувати СКС зубостругального верстата і верстата для шевінгування та записати РКБ для основних рухів зубостругального верстата.*

### 7.2.3. Зуборізні верстати

#### 7.2.3.1 Зуборізні верстати для нарізування конічних коліс із прямими зубами

Схема обробки –зубостругання за методом обкату оброблюваної конічної заготовки з уявлюваним (конічним) виробляючим колесом (ВиК). На рис. 7.17 хх – початкова площина, ab – утворююча зовнішнього циліндра ВиК. Зуби ВиК – рівнобедрені прямолінійні трапеції, що звужуються до центра зачеплення «О». Нехай заготовка Д виконана з ідеального пластичного матеріалу. Тоді приобкатуванні такої заготовки по виконаним із твердого матеріалу зубам ВиК на її поверхні видавиться зубцюватий вінець, зуби якого будуть по профілю трохи відрізнятись від евольвентного (так називаний октоїдальний профіль), що припустимо для практичних цілей. Такий же вінець утвориться, якщо заготовку помістити на нерухому вісь, а обкатувати ВиК. Для утворення повного вінця необхідний повний оборот заготовки і виконання умови  $D_{дел.} = z \times m$  (у будь-якому перетині конічної деталі). Для конічного зачеплення цей збіг при обкатуванні утворюючих початкових конусів обох коліс, а для схеми (рис. 7.17) – котіння (обкат) початкового конуса заготовки Д по початковій площині хх ПК.



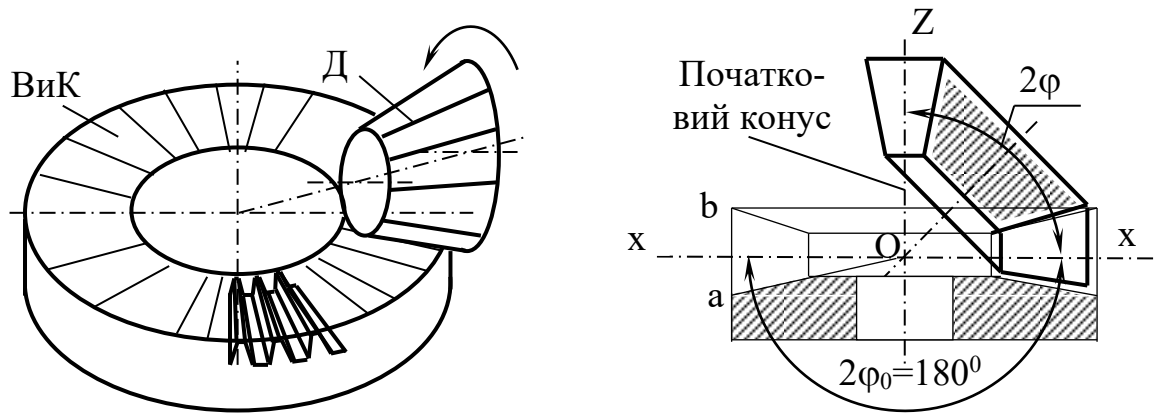


Рис.7.17

Нехай на ВиК мається лише 2 зуби (рис. 7.18,а). Тоді при взаємному обкаті Д и ПК ці два зуби видавлять на заготовці Д дві сусідні западини, тобто утворять один зуб конічного колеса. Для наочності представимо це у виді зачеплення з розгорнутим ВиК, тобто з рейкою. Реверсуємо взаємозалежні рухи  $O_1$  і  $O_2$ , поки Д не прийме вихідне положення (рис. 7.18,б), після чого повернемо Д на кут кроку зачеплення ( $O_3$ ) і повторимо попереднє обкатування (рис. 7.18,в), тоді перший зуб ВиК видавить нову западину, а другий зуб ВиК ввійде в одну з вже оброблених западин Д. Рух розподілу  $O_3$  можна зробити й у протилежному напрямку. Тобто у результаті циклу «а-б-в» утвориться вже два зуби Д. Такий цикл необхідно повторювати до утворення повного зубчатого вінця на Д.

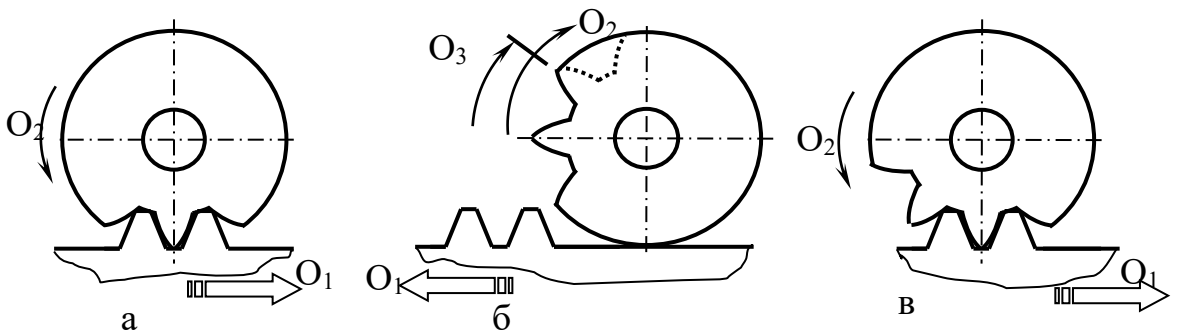


Рис.7.18

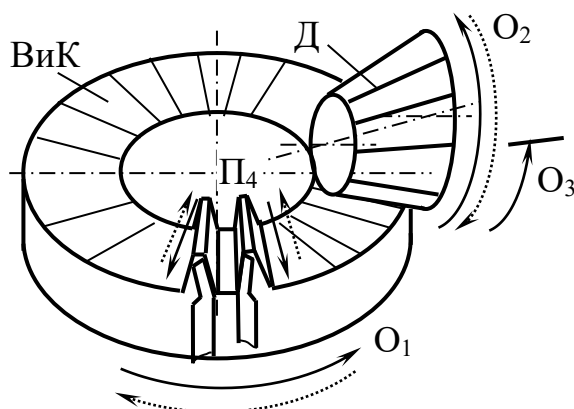


Рис.7.19

За описаною схемою роблять маловідповідальні зубчасті колеса, наприклад для сільськогосподарських машин – методом пластичного деформування. У машинобудуванні використовують сталеві заготовки, для яких така пластична деформація практично нездійсненна. Тому зуби виробляючого колеса заміняють різцями, що роблять зворотньо-поступальний рух  $\Pi_4$  (рис. 7.19).

Різці за товщиною менше зубів ВиК, тому за кожен хід вони вирізують у заготовці Д неповні западини, але тому що різці беруть участь так само в русі обкату  $O_1, O_2$ , вони вистругують повний евольвентний профіль.

Таким чином, ця схема зубостругання містить у собі наступні рухи:

- Головний рух  $\Phi_V(\Pi_4)$  – зворотно-поступальний рух різців зі швидкістю  $V_P$ .
- Рух обкату  $\Phi_S(O_1, O_2)$  – взаємопогоджувані реверсивні повороти вузла інструмента і деталі.
- Рух розподілу  $Dл(O_3)$  – поворот Д на визначений кут, кратний кроку зачеплення після завершення «одиничного обкату»  $O_1, O_2$ .
- Установчі рухи.

При цьому в зубостругальних верстатах ВиК у «чистому виді» відсутнє, його роль виконує спеціальний вузол інструмента, називаний *колискою* (тому що він робить коливальні рухи). Колиска має радіальні напрямні по яких роблять зворотно-поступальні рухи ( $\Pi_4$ ) супорти з різцями. Вісь хитання колиски горизонтальна. Крім того, для спрощення конструкції верстата йдуть на деякі (у межах допуску) викривлення профілю западин, що нарізають. Теоретично, різці повинні переміщатися по лінії во (рис. 7.17). Практично ж їхня траєкторія – пряма  $xx$ , тобто кут  $2\varphi_0$  при вершині уявлюваного ВиК стає менше  $180^\circ$ :  $2\varphi_{0\phi} = 180^\circ - 2\gamma$ , де  $\gamma$  - кут ніжки зуба (рис.7.20,а).

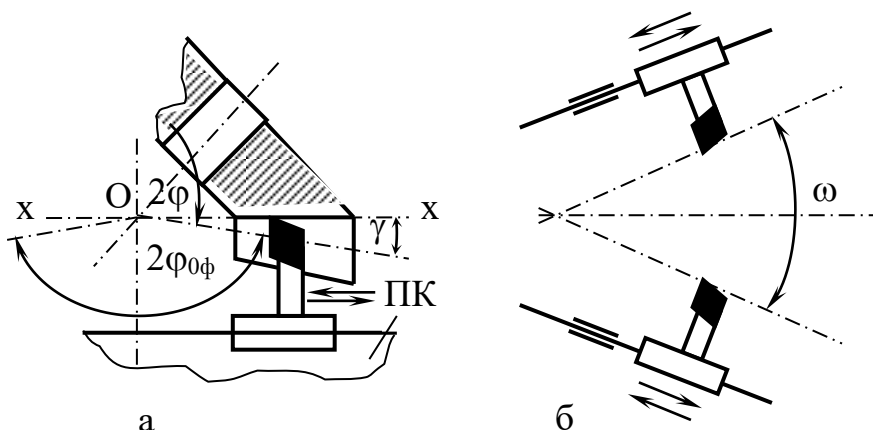


Рис.7.20

Різцеві супорти встановлюються на кут  $\omega$  по деталі (рис. 7.20,б). У підсумку оброблене зубчасте колесо виходить трохи ширше теоретичного.

Позначимо через  $Z_D$  – число зубів зубчастого колеса, що нарізають, а через  $Z_{и}$  – уявлюване число зубів

ВиК. Відповідно до формули ТММ для конічного зачеплення:

$$\frac{Z_D}{Z_{и}} = \frac{\sin \varphi}{\sin \varphi_0} = \frac{\sin \varphi}{\sin(90 - \gamma)} = \frac{\sin \varphi}{\cos \gamma}, \text{ відкіля } Z_{и} = \frac{Z_D \times \cos \gamma}{\sin \varphi}, \text{ але тому що кут } \gamma \text{ ма-}$$

лий, то  $\cos \gamma \approx 1$ , тоді  $Z_{и} = \frac{Z_D}{\sin \varphi}$ . Це співвідношення використовують в настро-

юванні верстата.

Зубостругальний верстат реалізує кінематичну структуру K23 і включає рух  $\Phi_V(\Pi_4)$ ,  $\Phi_{S0}(O_1, Y_2)$ ,  $\Phi_{SR}(\Pi_5)$ ,  $Dл(O_3)$ ,  $Ус(\Pi_6)$ , СКС якого представлена на рис. 7.21.

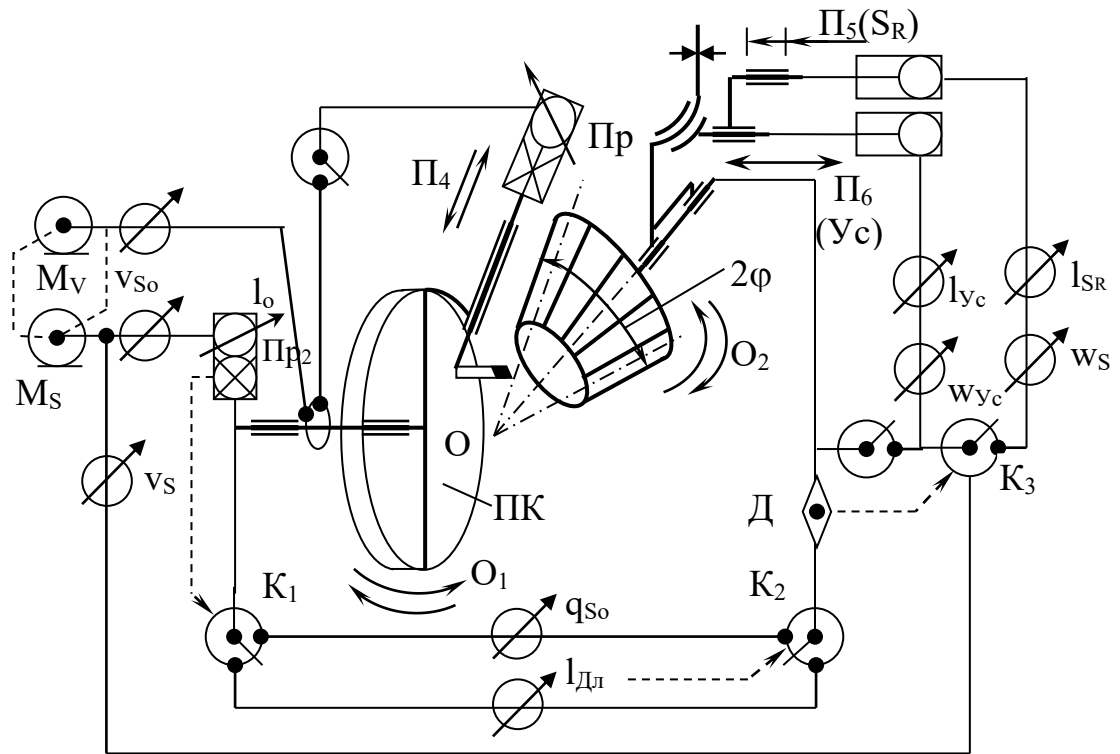


Рис.7.21

Установчий рух  $\Pi_6$  служить для відводу  $\Delta$  при зворотному русі різців і підведення  $\Delta$  під різці для чергового робочого ходу, а також відводу  $\Delta$  при розподілі.

Після прорізання повного вінця на визначену глибину відповідно сигналу кругового датчика циклу ДЦ замикається контактор  $K_3$ , включаючи рух  $\Pi_5$  періодичної подачі  $\Delta$  на нову глибину різання.

Перетворення обертального руху від двигуна  $M_1$  у зворотно-поступальний рух  $\Pi_4(\Phi_V)$  різців здійснюється за допомогою кривошипно-шатунного механізму  $\text{Пр}_1$ , що дозволяє так само налаштувати величину шляху (ходу) різців  $l_v$ . Рух на кривошип механізму  $\text{Пр}_1$  надходить через втулку, що сидить на центральному валу коліски.

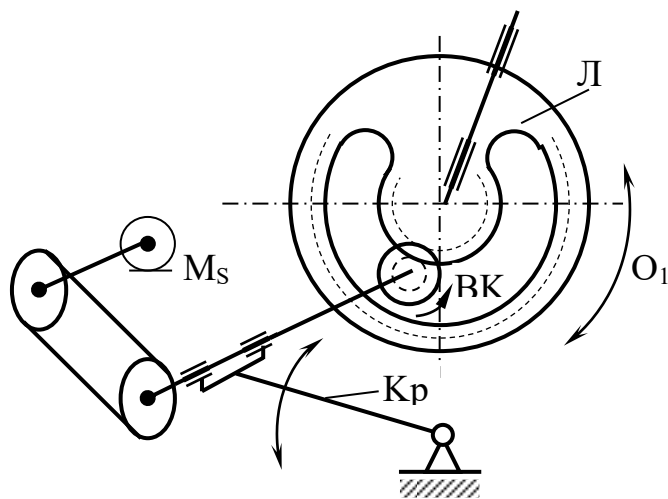


Рис.7.22

Коливальні рухи коліски  $O_1$  забезпечує оригінальний механізм  $\text{Пр}_2$  з центральним колесом з'єднаним з коліскою, що має кільцевий виріз із зовнішніми і внутрішніми зубами (рис. 7.22).

Ведуче колесо (ВК) за допомогою коромисла ( $K_p$ ) вступає в зачеплення то з зовнішніми, то з внутрішніми зубами вирізу, тим самим забезпечує колісці поворот у протилежних напрямках.

Типовий цикл роботи в режимі напівавтомата:

1. Підведення Д на глибину різання  $t_1$ .
2. Робоче обкатування в два проходи (2-й – «прочищення»), тобто два коливання колиски;
3. Відвод Д і розподіл ( $O_3$ ).
4. Підведення Д и повторення 2-х коливань колиски.

Способи розподілу:

1. Реверсування рухів обкату  $O_1$  і  $O_2$ , зупинка, поворот Д на 1 зуб – переключення контакторів  $K_1$   $K_2$ .
2. Безупинне, одночасне обертання Д ( $O_4$ ), погоджене з  $O_1$ ,  $O_2$  і  $\Pi_6$  так, що до моменту початку наступного циклу Д повертається на  $Z_i$  некратьне  $Z_d$ , щоб один зуб не нарізався два рази.

Керування циклом обробки здійснюється від *розподільного вала* (на СКС не показаний).

*Настроювання верстата*

1.  $\Phi_V(\Pi_4)$ : простий, розімкнутий - а,  $l, w$  - настроєно конструктивно,  $v$  – кінематично.

$$\text{УКБ}_{v_v} : n_{M_v} \left( \frac{\text{об}}{\text{ХВ}} \right) \rightarrow n_{\text{дв.х}} \left( \frac{\text{дв.х.і.}}{\text{ХВ}} \right) = \frac{1000 \times V_p}{2 \times l_v};$$

$$i_v = \frac{n_{\text{дв.х}}}{C_v} \times \left( \frac{V_p}{C_v} \right)$$

2.  $\Phi_{S_0}(O_1, O_2)$ : складний, розімкнутий – дуга - а,  $l, w$  - настроєно конструктивно,  $q, v$  – кінематично.

$$\text{УКБ}_{q_{S_0}} : \frac{1}{Z_{\text{И}}} \rightarrow \frac{1}{Z_{\text{Д}}}$$

$$1 \text{ коливання колиски} \rightarrow \frac{Z_{\text{И}}}{Z_{\text{Д}}} = \frac{Z_{\text{Д}}}{\sin \varphi \times Z_{\text{Д}}} = \frac{1}{\sin \varphi} \text{ об.д.} \rightarrow i_{q_{S_0}} = \frac{C_{S_0}}{\sin \varphi}$$

тобто в формулу настройки не входять  $Z_{\text{И}}$  або  $Z_{\text{Д}}$ , а тільки геометричні параметри Д.

$$\text{УКБ}_{V_{S_0}} : n_{M_{S_0}} \rightarrow n_{\text{колиски}} = \frac{V_{S_{\text{об.}}}}{\pi \times D_{\text{колиски}}}$$

$$i_{V_{S_0}} = \frac{V_{S_{\text{об.}}}}{C_{\text{л.}}}$$

Швидкість руху обкату узгоджують за умови: 1 вд.х.і.  $\rightarrow 2\theta^0$  – кута коливання колиски (обо 2 вд.х.і. або  $n$  вд.х.і.), що забезпечує обертанням розподільного вала верстата.

#### 7.2.4. Зубовикінчувальні верстати

Зубовикінчення застосовується для підвищення точності форми Д, зниження шорсткості поверхні зубів, а також для додання торцям зубів форми, зручної для переключення зубчастого колеса. Останню задачу виконує група для обробки торців зубів коліс.

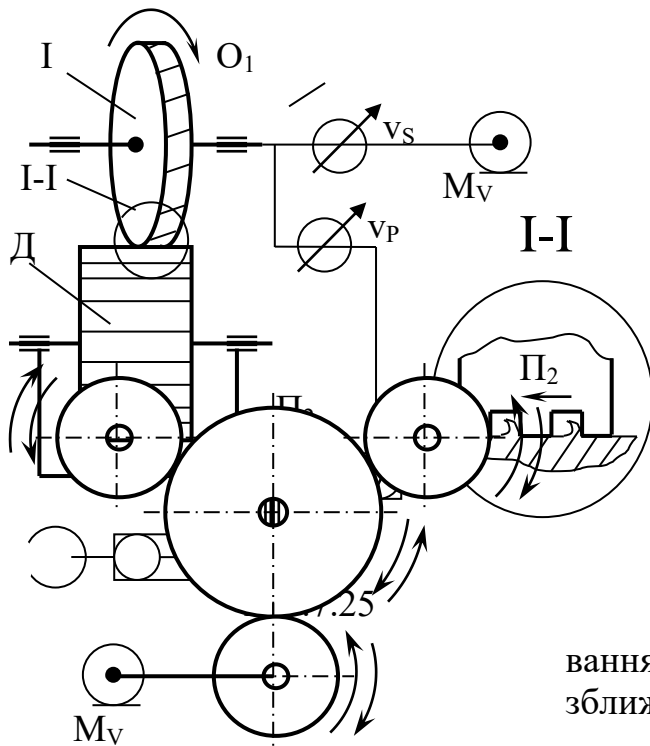


Рис.7.23

*Методи зубовикінчення:*

- а) обкатування;
- б) притирання;
- в) шевінгування;
- г) шліфування.

*Обкатування* являє собою тривале приробляння нового зубчастого колеса (ЗК) з одним чи трьома еталонними ЗК, виконаними з легованої, зносостійкої сталі підвищеної твердості (рис. 7.23).

Колесо, що обкатують і еталонні колеса встановлюються на теоретичну відстань між їхніми осями, тиск на зубах досягається або пригальмуванням шпинделя деталі, або радіальним зближенням еталонних коліс.

Обкатування згладжує поверхні Д, підвищує їхні механічні властивості, але не усуває геометричні погрішності профілю зубів.

Обертальний рух коліс чи напрямом пригальмування періодично міняється.

*Притирання* виконується за тією ж схемою, але колесам-притирам надається, крім обертального руху, також коливання уздовж їхніх осей.

Крім того, зони контакту зубів посипають дрібним абразивним порошком (змазуються шліфувальною пастою), тобто штучно збільшують знос зубів Д.

Притирання виробляють з двох схем:

- 1) осі притирів і Д паралельні;
- 2) осі притирів і Д схрещуються під малим кутом, утворюючи за рахунок геометрії притирання гвинтову передачу. У цьому випадку поступального руху не потрібно.

Притирають ЗК після термообробки.

*Шевінгування* – використовують для зменшення хвилястості на ОП зубів за допомогою спеціального інструмента – шевера, що зскрібає з поверхні зуба мікростружку товщиною 0,005 ... 0,1 мм.

Шевер являє собою зубчасте колесо чи зубцювату рейку, у яких зуби перерізані поперечними канавками, що утворюють кромки, що різуть (рис. 7.24).

Прямозубі шевери шевенгують ЗК із гвинтовими зубами, а косозубі шевери – ЗК із прямими зубами, тобто в будь-якому випадку осі оброблюваних ЗК і шевера схрещуються для одержання необхідних умов різання.

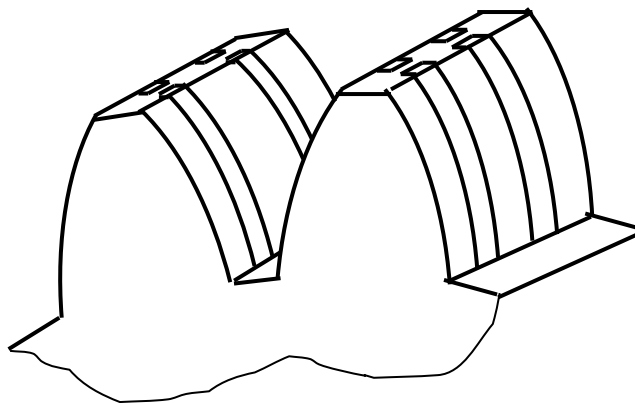


Рис.7.24

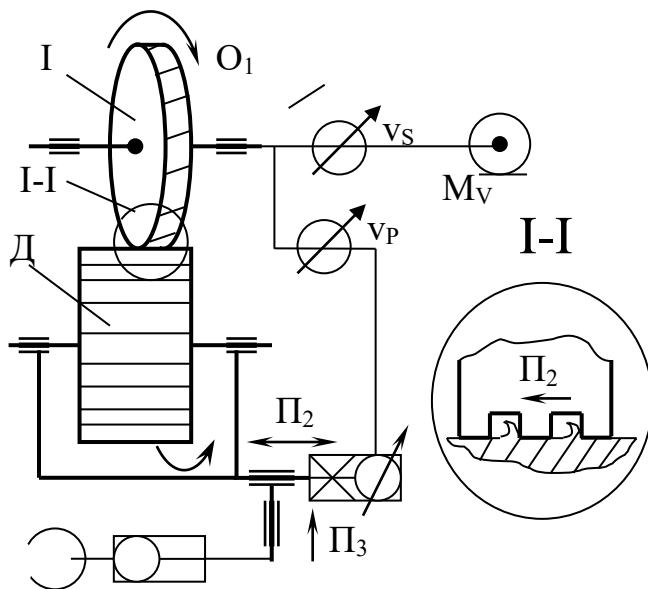


Рис.7.25

СКС верстата для шевінгування представлена на рис.7.25. Нюанс кінематики - стружка знімається завдяки руху  $\Pi_2$ . Структура реалізує рухи:  $\Phi_V(\Pi_2)$ ,  $\Phi_S(O_1)$ ,  $U_c(\Pi_3)$ .

Частіше реалізується інша схема обробки зі структурою, що реалізує рухи:  $\Phi_V(O_1)$ ,  $\Phi_S(\Pi_2)$ ,  $U_c(\Pi_3)$ . Шейвер повернутий щодо осі ЗК на  $5...15^\circ$ , що при обертанні створює бічне ковзання зубів шейвера і кромки канавок зскрібають тонкі волосообразні стружки з бічних поверхонь зубів деталі.

Шліфування ЗК – виробляють для підвищення точності виготовлення й усунення деформацій виникаючих після термообробки.

Шліфування ЗК здійснюється двома методами – копіюванням однобічним (рис. 7.26,а) чи двостороннім (рис.7.26,б) профільним шліфувальним круком або обкатуванням (рис.7.26,в).

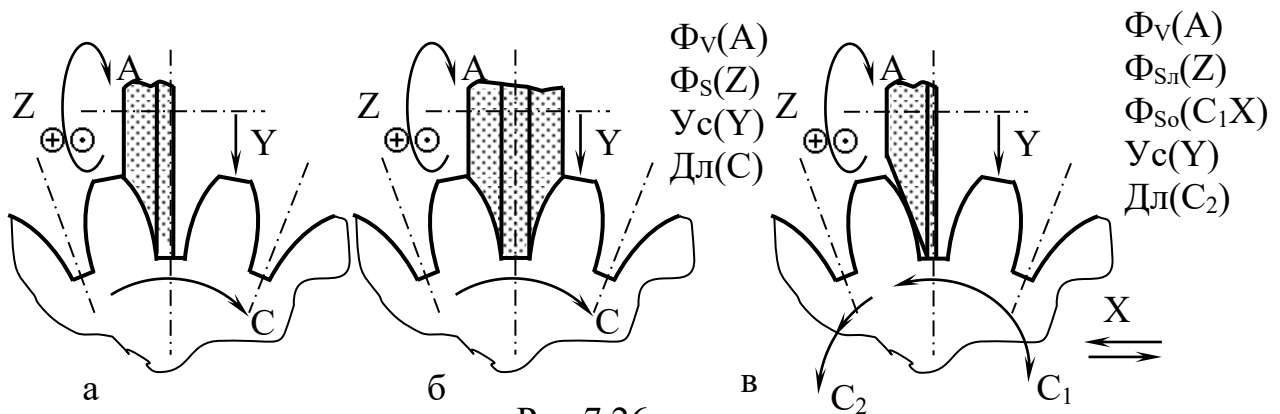


Рис.7.26

Питання для самоперевірки до тринадцятої лекції

1. Що таке уявлюване виробляюче конічне колесо?
2. Як реалізовано поняття виробляючого конічного колеса в зубостругальних МВ?
3. Приведіть СКС зубостругального верстата.
4. Для чого служить механізм колиски зубостругального верстата?
5. Запишіть РКБ для основних рухів зубостругального верстата.
6. Які методи зубовикінчення вам відомі?
7. Приведіть СКС верстата для шевінгування.
8. Які методи використовуються при шліфуванні зубчастих коліс?

## Лекція 14

Мета лекції є вивчення верстатів 6-ї та 7-ї груп. Внаслідок вивчення студент повинен вміти побудувати СКС горизонтального фрезерного та стругального верстатів.

# 8. ВЕРСТАТ ДЛЯ ОБРОБКИ ПРИЗМАТИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

## 8.1. Фрезерні верстати

У перекладі з німецької мови фреза означає полуниця, звідси видна форма перших фрез, вони і донині використовуються в стоматології. Фрези підрозділяються на:

а – циліндричні (рис. 8.1,а); б – торцеві (рис. 8.1,б); в – кінцеві (рис.8.1,в); г – дискові (рис. 8.1,г); д - фасонні(рис. 8.1,д).

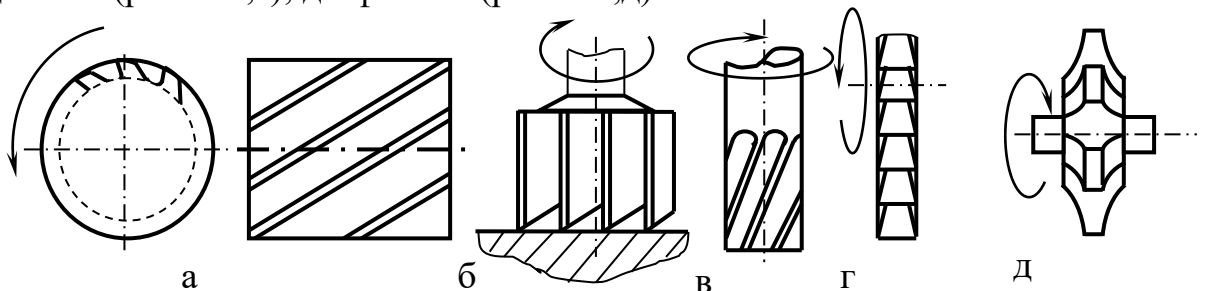


Рис.8.1

Фрезерування буває зустрічне (рис. 8.2,а) і ходове (рис. 8.2,б). До особливостей процесу відносяться:

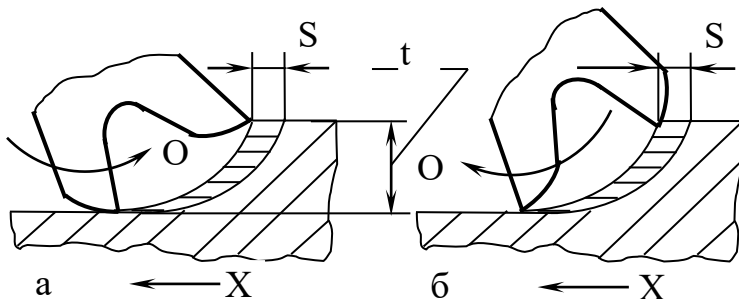


Рис.8.2

- товщина стружки перемінна;

- кромка, що ріже, І працює з перервами (вібрації, удари силові і теплові).

Режими:  $t = 3...8$  мм – для чорнового фрезерування і  $t = 0,25...1,5$  мм – для чистового. Подача може бути задана одним

з 3-х способів:

$$S = \left\{ \begin{matrix} \left[ \frac{\text{мм}}{\text{хв}} \right]; \left[ \frac{\text{мм}}{\text{об}} \right]; \left[ \frac{\text{мм}}{\text{зуб}} \right] \\ S_{\min} \quad S_o \quad S_z \end{matrix} \right\} S_{\min} = S_z \times Z \times n = \left[ \frac{\text{мм}}{\text{зуб}} \right] \times \left[ \frac{\text{зуб}}{\text{об}} \right] \times \left[ \frac{\text{об}}{\text{хв}} \right] = \left[ \frac{\text{мм}}{\text{хв}} \right]$$

З погляду забезпечення якості поверхні і стійкості І призначається  $S_z$  ( $S_z = 0,04...0,5$ -Р6М5;  $S_z = 0,08...0,3$ -ВК8).

Для різних робіт виконують фрезерування:

1 – площин; 2 – пазів; 3 – V-образних пазів; 4 – фасонних поверхонь; 5 – западин зубів зубчастих коліс; 6 – фігурних контурів; 7 – гвинтових канавок і т.ін.

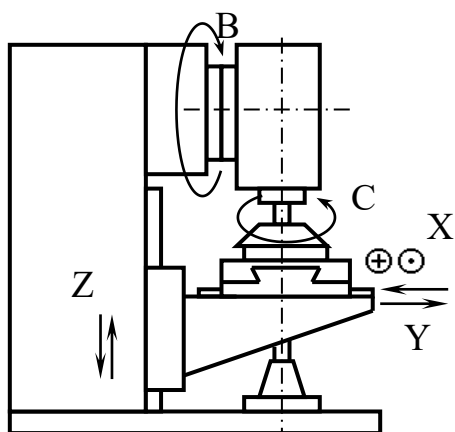
Типи фрезерних верстатів: 1 – вертикально-фрезерні консольні; 2 – фрезерні безупинної дії; 3 – немає; 4 – копіювальні і гравірувальні; 5 – вертикальні безконсольні; 6 – подовжні; 7 – широкоуніверсальні; 8 – горизонтальні консольні; 9 – різні.

Крім того, верстати підрозділяють на два види:

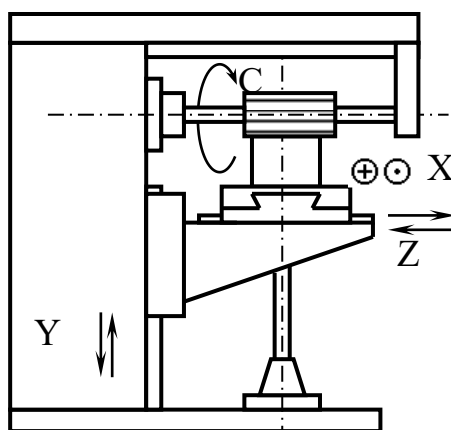
а) *універсальні загального призначення*: вертикально-фрезерні (рис.8.3,а); горизонтально-фрезерні (рис. 8.3,б); подовжньо-фрезерні;

б) *спеціалізовані*: шпонково-фрезерні; шліцефрезерні; карусельно-фрезерні; барабанно-фрезерні; копіювально-фрезерні.

За типом компонування вузла деталі верстати поділяються на консольні (рис. 8.3) і безконсольні (рис. 8.4,а).



XYZ0BC а



XZY0C б

$\Phi_V(C)$ ;  
 $\Phi_S(X)$ ;  
 $(Y)$ ;  
 $(Z)$ ;  
 $U_C(X)$ ;  
 $(Y)$ ;  
 $(Z)$ .

Рис.8.3

СКС вертикально-фрезерного верстата приведена на рис. 8.4,б. Особливістю СКС є наявність загального органу настроювання  $V_S$  для всіх рухів подач.





Фрезерні верстати оснащуються типовими пристосуваннями для значного розширення технологічних можливостей МВ. До них відносяться:

- 1) поворотні круглі столи;
- 2) ділильні круглі столи;
- 3) кутові круглі поворотні ділильні столи;
- 4) довбальні головки;
- 5) три поворотні столи тиски;
- 6) ділильні головки (лімбові, безлімбові, оптичні)

і т.ін.

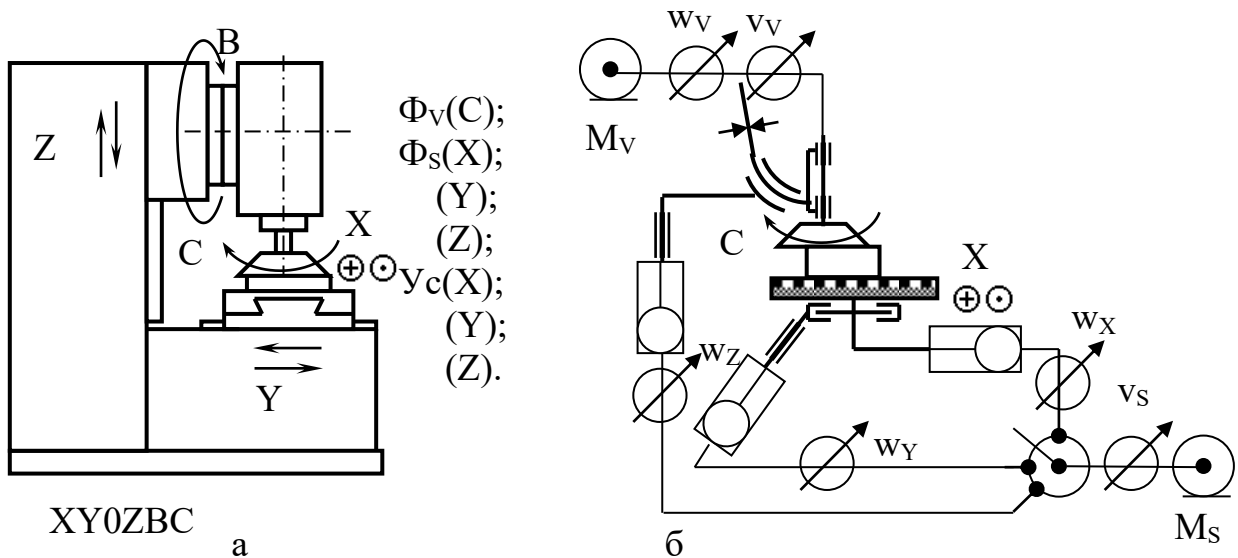


Рис.8.4

## 8.2. Стругальні, довбальні і протяжливі верстати

7-а група МВ підрозділяється на наступні типи: 1 - одностоякові; 2 - подовжні двостоякові; 3 - поперечно-стругальні (шепінги); 4 - довбальні; 5 - горизонтально-протяжні; 6 - немає; 7 - вертикально-протяжні; 8 - немає; 9 - різні.

*Протяжні* – кінематично найпростіші МВ. Призначення – точна обробка отворів будь-якого профілю, прорізання пазів, обробка зовнішніх площин і фасонних поверхонь невеликої ширини та інше. (рис. 8.5) використовують в дрібносерійному і серійному виробництві.

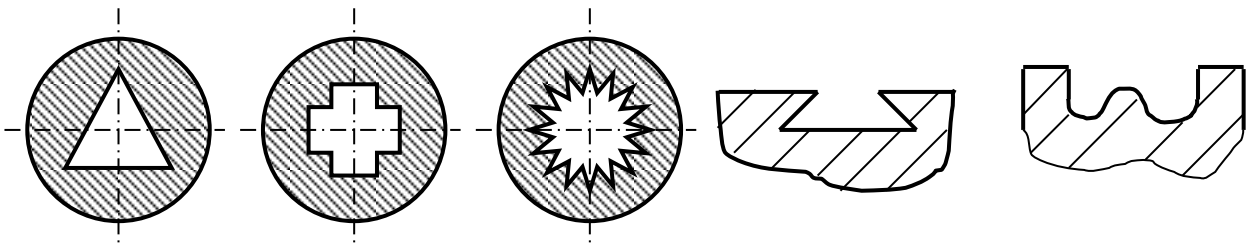


Рис.8.5

У будь-якому випадку процес формоутворення забезпечується тільки одним рухом  $\Phi_V$  – лінійним переміщенням І відносно Д (рис. 8.6). Рух  $\Phi_S$  відсутній, він складається в збільшенні висоти зубів протяжки ( $t_1 - t_2 - t_3$ ), тобто в збільшенні глибини різання на кожному зубі І.

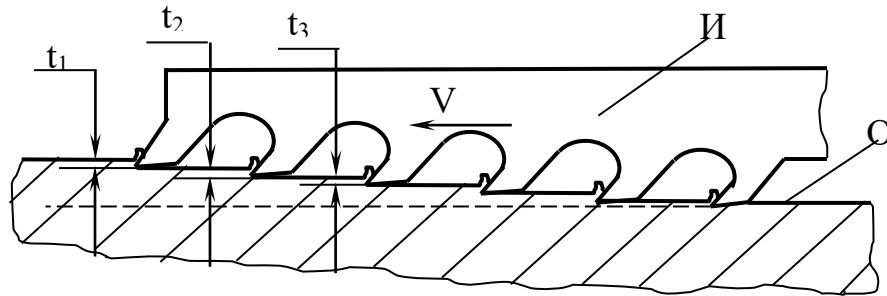


Рис.8.6

Основний параметр протяжних верстатів – максимальна сила протягання.  $P_{max} = (30...40) \times 10^4 \text{Н} - (30...40) \text{т}$  – для середніх МВ;  $P_{max} = (100...120) \times 10^4 \text{Н} - (100...120) \text{т}$  – для великих МВ. Довжина протягання  $L = 350 \dots 2000 \text{мм}$ . Швидкість робочого ходу  $V_p = 1,5...25 \text{м/хв}$ . Типова К° горизонтально-протяжного верстата з приводом від гідроциліндра представлена на рис. 8.7.

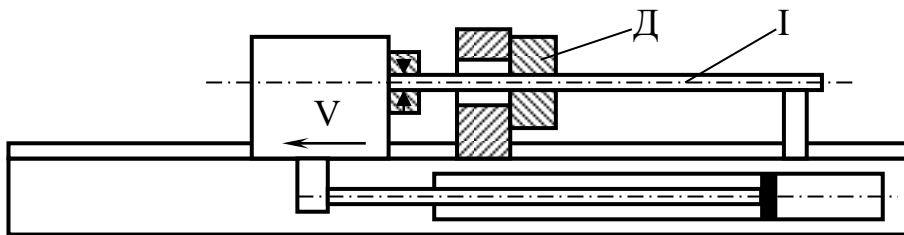


Рис.8.7.

Стругальні верстати (рис.8.8) призначені для обробки площин, пазів, канавок, виїмок, профілів будь-якого перетину лінійчатих поверхонь, як правило великої довжини.

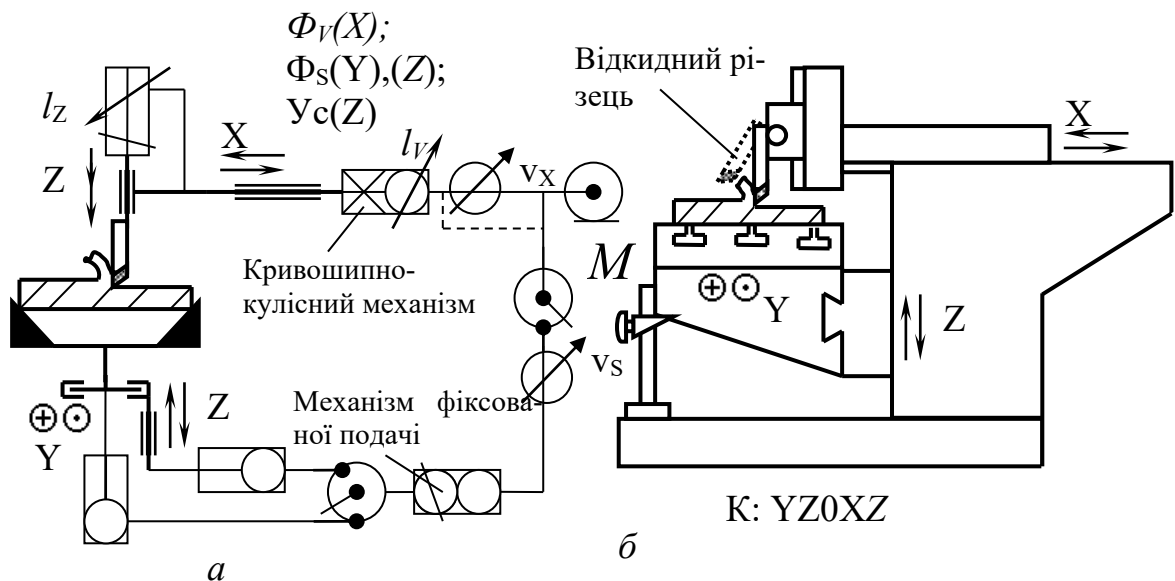


Рис.8.8

Процес різання представлений на рис.8.9.  $\Phi_V$  – зворотно-поступальний рух I/Д. На поздовжньо-стругальних МВ Д рухається відносно I, на поперечно-стругальних МВ I рухається відносно Д.  $\Phi_S$  – дискретно, після завершення холостого ходу.

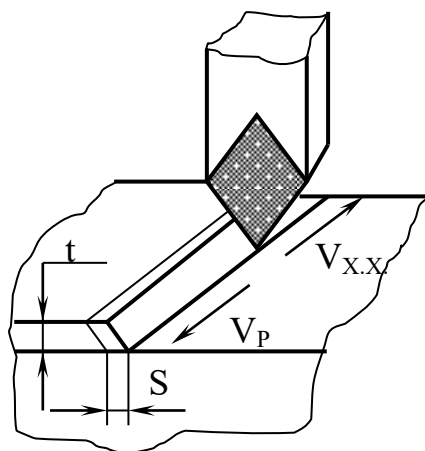


Рис. 8.9

Недоліки:

- ◆ необхідність холостого ходу, що знижує продуктивність;
- ◆ обмеження швидкості різання через інерційні сили при реверсі;
- ◆ громіздкість конструкції верстата.

Переваги:

- ◆ простота конструкції;
- ◆ висока точність обробки (відхилення від площинності 0,002...0,01 мм на 1 м;
- ◆ незамінність для обробки вузьких і довгих деталей.

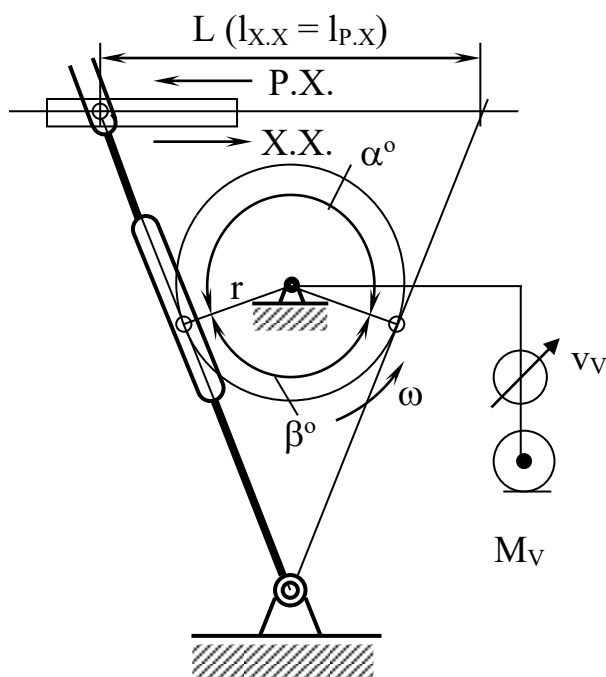


Рис.8.10

◆ Спроби створити стругальні верстати, що обробляють Д в обидві сторони сильно ускладнювали конструкцію і не компенсували втрати продуктивності на холостому ходу стругальних МВ звичайної конструкції.

Використовують стругальні МВ у дрібносерійному виробництві. СКС і Ко поперечно-стругального верстата представлені на рис. 8.8.

Зворотно-поступальний рух повзуна з I в малих шепінгах забезпечується кривошипно-шатунним механізмом (рис. 8.10).

Тому що кривошип радіуса  $r$  обертається з постійною швидкістю  $\omega = \text{const}$ , а кут  $\alpha$  – для робочого ходу більше кута  $\beta$  – холостого ходу  $\alpha > \beta$ , то час

повороту на кут  $\alpha - t\alpha > t\beta$ , тобто швидкість холостого ходу  $V_{X.X.} = L/t\beta$  при  $L = \text{const}$ , більше швидкості робочого ходу, що компенсує втрати при холостому ході.

Поздовжньо-стругальні верстати випускаються в одно- і двостояково-му виконанні. Їхнє призначення – обробка великогабаритних деталей. Типова Ко двостоякового поздовжньо-стругального верстата представлена на рис. 8.11. Верстат складається з наступних вузлів і елементів: 1 – станина; 2 – рухомий стіл; 3 – привід лівого верхнього супорта; 4 – траверси; 5 – лівий верхній супорт; 6 – портал; 7 – правий верхній супорт; 8 – бічний супорт; 9 – пульт керування.

Великі поздовжньо-стругальні верстати з площею столу, що дозволяє обробляти деталі з габаритами  $5000 \times 12500 \times 4500$ , часто виконуються як комбіновані поздовжньо-обробні верстати. Вони дозволяють поряд зі струганням виконувати фрезерування і шліфування, для чого на супорти встановлюють спеціальні головки.

Довбальні верстати призначені для вибірки пазів, вирізів, канавок, поглиблень і т.ін. ОП, що важко обробити іншими способами (рис. 8.12,а і б). Довбальні верстати, як правило, мають вертикальне компонування.

Привід головного руху найчастіше гідравлічний. Привід подач запозичає рух від  $\Phi_v$  – на повзуні встановлюють рейку, зворотно-поступальний рух якої надає реверсивний рух зубчастому колесу, далі механізми дискретних подач.

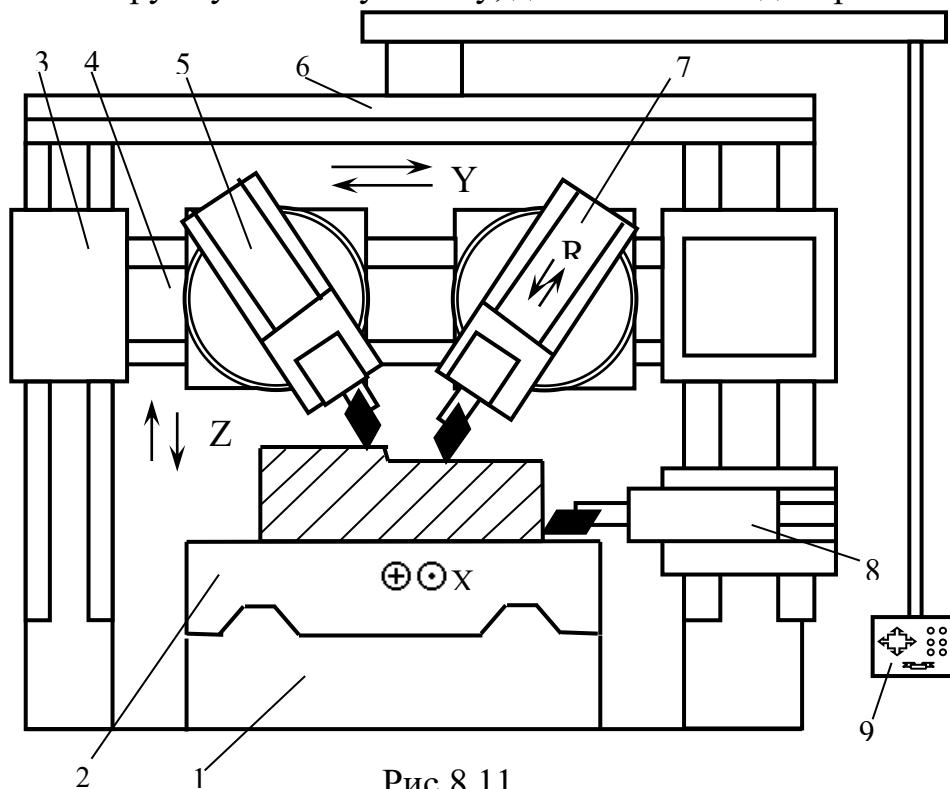


Рис.8.11

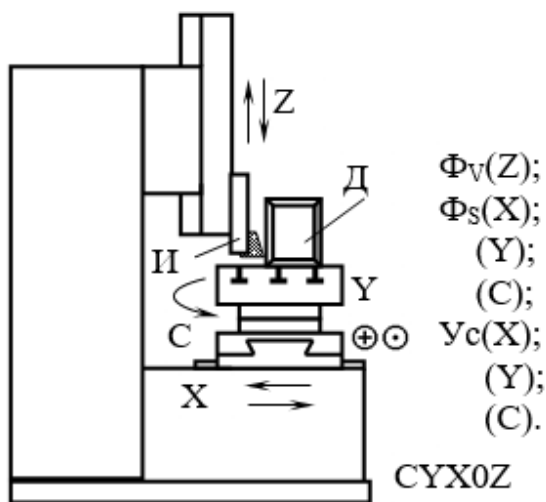


Рис.8.12

Питання для самоперевірки до чотирнадцятої лекції

1. Які типи фрез вам відомі?
2. Які види фрезерування вам відомі?
3. Які типи фрезерних верстатів вам відомі?
4. Побудуйте СКС горизонтального фрезерного верстата.
5. Які типи верстатів 7-ї групи?
6. Які основні особливості протяжливих верстатів вам відомі?
7. Перелічить основні переваги стругальних верстатів.
8. Побудуйте СКС стругального верстата.
9. Які особливості довбальних верстатів?

### Лекція 15

Мета лекції вивчення верстатного устаткування гнучких автоматизованих виробництв різних рівнів. Внаслідок вивчення студент повинен вмити навести приклад компоновки ГВМ, ГАЛ, ГАД та узагальненої структури ГАЗ.

## 9. ВЕРСТАТНЕ УСТАТКУВАННЯ ГНУЧКИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЦТВ

У підрозділі 1.4 говорилося про рівень автоматизації МВ у залежності від розподілу функцій між машиною і людиною. Однак такий розподіл занадто загальний. У реальному верстатному парку існує безліч типів і видів МВ, рівень автоматизації яких розрізняється явно, або ледь помітно, по одному чи декільком ознакам, чіткого переліку яких теж не існує. Але у верстатобудуванні все ж таки склалися визначені правила групування МВ, віднесення їх до того чи іншого типу, що необхідно для технічної документації.

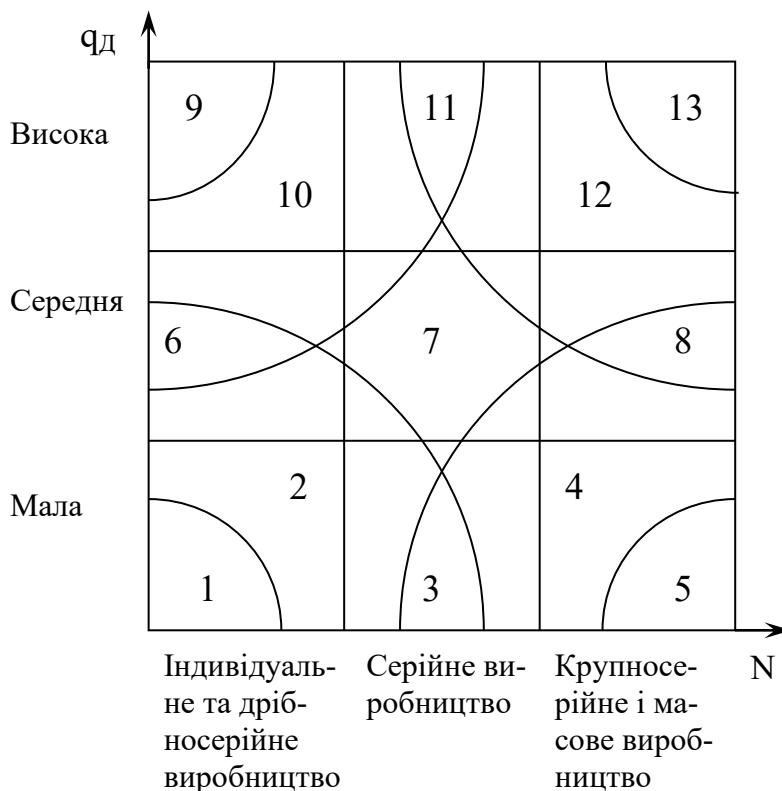


Рис.9.1.

Склад типу МВ, тобто формування структури верстатного парку в будь-якій країні, повинно визначатися реальною потребою машинобудівних виробництв у МВ того чи іншого типу. Це, у свою чергу, визначається раціональністю застосування конкретних типів МВ для конкретних умов виробництва. Сукупність таких умов, сприятливих для використання МВ визначеного типу називається областю застосування.

Пошук областей застосування для серійного верстатного устаткування і проектування МВ для визначених областей застосування (тобто

зворотна задача) є досить складною задачею, що розв'язується на рівні галузевих НДІ. Як правило, відшукується відповідність між вихідними умовами – технологічною складністю оброблюваних деталей і серійністю їхнього виробництва з однієї сторони і можливостями МВ - з іншої.

У першому наближенні таку відповідність можна представити наступною діаграмою (рис.9.1). Відкладаючи по горизонтальній осі коефіцієнт серійності  $N_d$ , а по вертикальній –  $q_d$ , технологічну складність оброблюваних деталей, розділимо на 13 областей застосування:

- 1 МВ загального призначення з ручним керуванням.
- 2 Спеціалізовані МВ з ручним керуванням і елементами програмного керування (з цифровою індикацією).
- 3 Автомати і напівавтомати з цикловим програмним керуванням від твердих програмноносіїв (кулачкових розподільних валів).
- 4 Спеціалізовані МВ і автоматичні лінії з цикловим програмним керуванням.
- 5 Спеціальні автоматичні лінії, включаючи автоматичні роторні лінії.
- 6 Універсальні МВ з оперативним числовим програмним керуванням.
- 7 Багатоцільові верстати з ЧПК і системами автоматичної зміни інструмента (АЗІ) і деталі (АЗД).
- 8 Автоматичні лінії з програмним керуванням різного типу.
- 9 Прецизійні МВ із точними системами безпосереднього і програмного керування.
- 10 МВ із ЧПК спеціалізовані.
- 11 Роботизовані технологічні комплекси (РТК) і мехатронні (з'єднуючі механізм з електронікою) верстатні модулі.
- 12 Агрегатні МВ із ЦПК й автоматичні лінії з них.
- 13 Автоматичні верстатні комплекси для крупносерійних і масових виробництв.

Технологічна складність оброблюваної деталі  $q_d$  – поняття комплексне, воно визначається:

- ◆ геометрією  $D$  – формою і розмірами;
- ◆ необхідною точністю обробки;
- ◆ необхідною шорсткістю ОП;
- ◆ матеріалом  $D$  (оброблюваністю і формою одержуваної стружки);
- ◆ ступенем розмаїтості ОП;
- ◆ компонуванням ОП на об'ємно-просторовій структурі  $D$  та іншими факторами.

Точної градації показника  $q_d$  немає, тому що визначають його фактори різнорозмірні і можуть визначатися тільки відносно. Можна, наприклад,  $q_d$  визначати по 5-бальній шкалі від 1 до 5 ( 1 – вал відрізаний від суцільнотягнутого прутка, 5 – корпус ядерного реактора).

$N_d$  – коефіцієнт серійності виробництва визначається в курсі «Основи технології машинобудування» і визначає номенклатуру деталей і їх кількість у партії.

У попередніх розділах розглядалися МВ загального призначення, нижче розглянемо всі інші відповідно до рис. 9.1. Области застосування МВ на рис. 9.1 визначені приблизно, їхні границі суб'єктивні і розпливчасті. Їх зрушують реальні умови виробництва, ринку, політики, добробуту громадян. Наприклад, сьогодні в Україні не вигідно застосовувати обробні центри, оснащені промисловими роботами, - вони дорогі, а робоча сила дешева і немає замовлень на складні і точні деталі. Тому будемо говорити про тенденції характерні не для відсталих, а для промислово розвинених країн. 10 – 12 років тому ці тенденції були визначені як «швидкозмінні серійні виробництва», що припускають оперативний випуск досить великих партій Д (товару, що складається з цих Д) у відповідь на потребу ринку, що виникла чи прогнозується. Ця тенденція вимагала здібності виробництва швидко переходити від випуску одних виробів до випуску інших. Така здатність одержала назву «гнучкість», для МВ вона означає здатність до мобільного переналагодження на нову програму роботи. Високою гнучкістю володіють універсальні верстати з ручним керуванням, але вони вимагають наявності висококваліфікованих верстатників, що готові працювати в три зміни. Крім того, людина не здатна забезпечити ідентичність продукції серійного виробництва. Тому гнучкі виробництва повинні бути *автоматизованими*. У такий спосіб одержимо гнучкі автоматизовані виробництва (ГАВ), а технологічне оснащення ГАВ – гнучкі виробничі системи (ГВС). За ГОСТ 26228-85 «ГВС – сукупність декількох одиниць технологічного устаткування (ТУ), що оснащені засобами і системами, що забезпечують функціонування ТУ в автоматичному режимі. При цьому ГВС повинні мати здатність автоматичного переналагодження при переході на виробництво нових деталей у межах заданої номенклатури».

Рівні ГВС:

- гнучкий виробничий модуль (ГВМ);
- гнучка автоматизована лінія (ГАЛ);
- гнучка автоматизована ділянка (ГАД);
- гнучкий автоматизований цех (ГАЦ);
- гнучкий автоматизований завод (ГАЗ).

До ГВС можна віднести в першу чергу область 7 (рис. 9.1), а також ділянки суміжних областей.

ГВМ – одиниця верстатного (чи іншого) технологічного устаткування, оснащена системою програмного керування (ПК) (зокрема, ЧПК), що функціонує самостійно чи в складі ГВС, при цьому забезпечується повна автоматизація (А) усього циклу обробки Д і переналагодження на виготовлення нових Д.

Узагальнена структура ГВМ представлена на рис. 9.2. ГВМ складається з наступних систем:

1. МВ – багатоцільовий верстат (обробний центр (ОЦ)) універсального чи спеціалізованого призначення.

2. АЗД – система А зміни деталей (заготовок), тобто завантаження заготовок у робочу зону МВ і вивантаження готових Д в транспортну систему ГАВ. В АЗД входять накопичувачі заготовок, перевантажувачі, пристрої, що орієнтують і фіксують заготовки і т.ін.

3. АЗІ – система А зміни інструмента, що включає накопичувачі інструмента (інструментальний магазин), інструментальних блоків (чи голівок), вимірювальних головок і т.ін.

4. АЗП – система А зміни пристосувань, технологічної оснастки.

5. ПАК і Д – пристрій А контролю і діагностики стану ГВМ у цілому.

6. ПАВВ – пристрій А видалення відходів.

Можуть бути також А пристрої переналагодження (чи підналагодження), забезпечення точності обробки, стабілізації технологічного процесу, стабілізації стану технологічних середовищ, забезпечення безпеки обслуговування і т.ін.

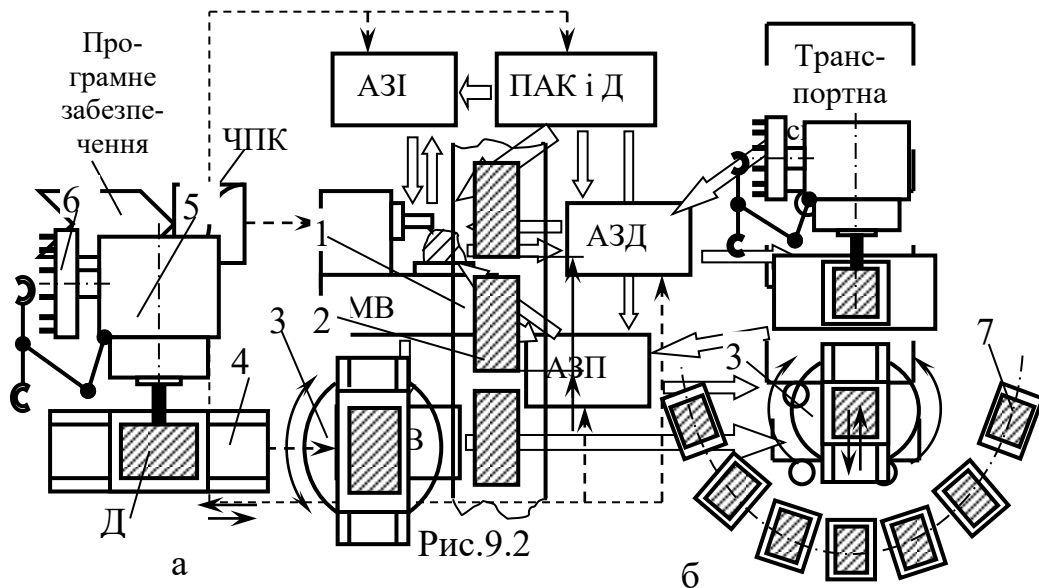


Рис.9.3

Склад ГВМ визначається конкретними умовами виробництва. Наприклад К° ГВМ із транспортером (рис 9.3,а) і стеновим столом-накопичувачем (рис. 9.3,б) містить:

1. Загальний транспортер.
2. Пристосування «супутник» на полеті.
3. Перевантажувач.
4. Маятниковий стіл.
5. Багатоцільовий верстат із ЧПК.
6. Система АЗІ.
7. Стеновий накопичувач заготовок.

Системи АЗД, АЗІ, АЗП входять у більш загальну маніпуляційну систему ГВМ і можуть, зокрема, складатися з одного чи декількох промислових роботів (ПР). У такому випадку ГВМ іменується *роботизованим технологічним комплексом* (РТК). РТК може вбудовуватися в ГВС чи функціонувати самостійно.

Основною здатністю ГВМ є їхня можливість вбудовуватися в ГВС більш високого рівня, тобто в ГАЛ чи ГАД.

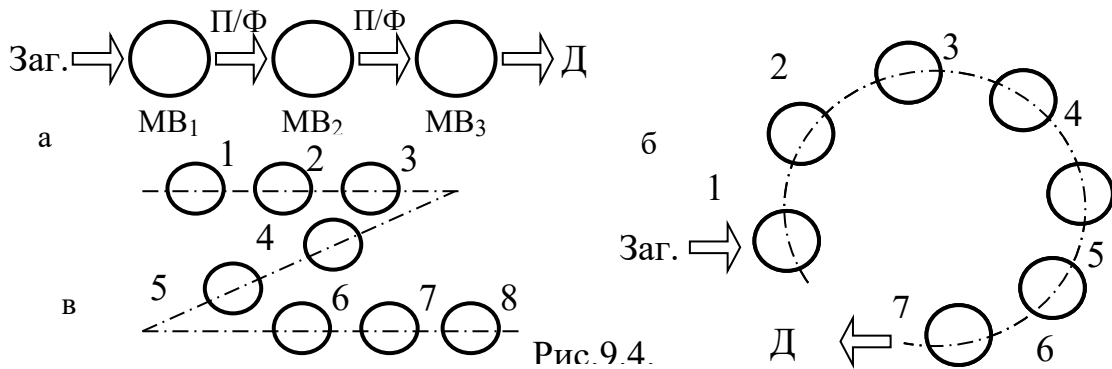
ГАЛ – два і більш ГВМ, чи РТК, чи іншого А технологічного устаткування об'єднаних АСК. Особливість К° ГАЛ – розташування ТУ в послідовності технологічних операцій відповідно до типової для даного виробництва. У відмінності від інших (традиційних) АЛ на ГАЛ можна обробляти досить широкий



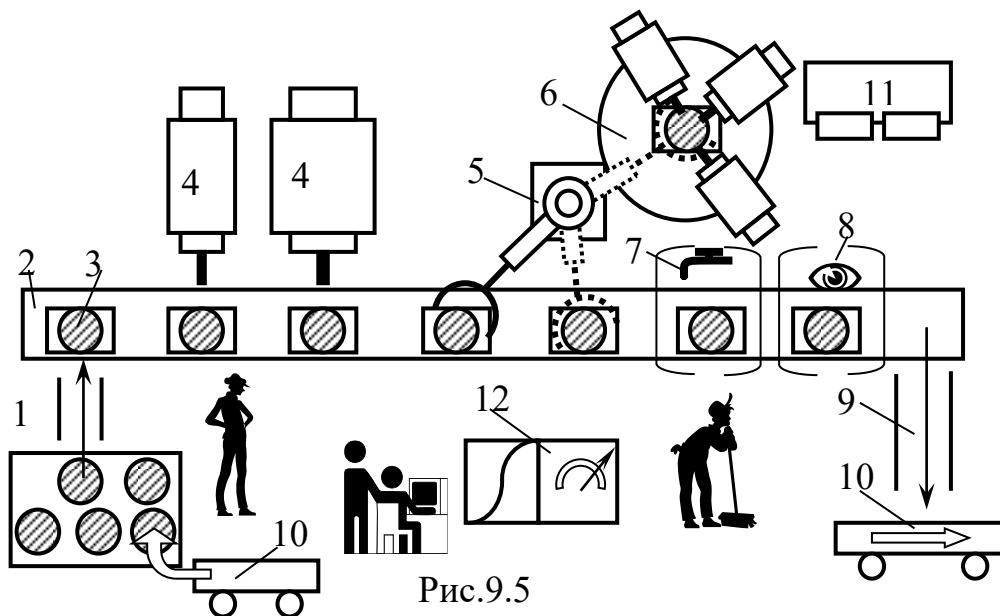
діапазон Д з подібною технологією. Гнучкість виробництва на ГАЛ забезпечується:

- А переналагодженням МВ із ЧПК;
- А зміною на МВ окремих агрегатів, вузлів, шпиндельних головок і т.ін.;
- поворотом Д на 360° і перестановкою Д;
- достатнім запасом І, П, оснастки і т.ін.

К° схема ГАЛ може бути лінійною (рис. 9.4,а), круговою (рис. 9.4,б), П – образною, Z – образною (рис. 9.4,в) і т.ін.



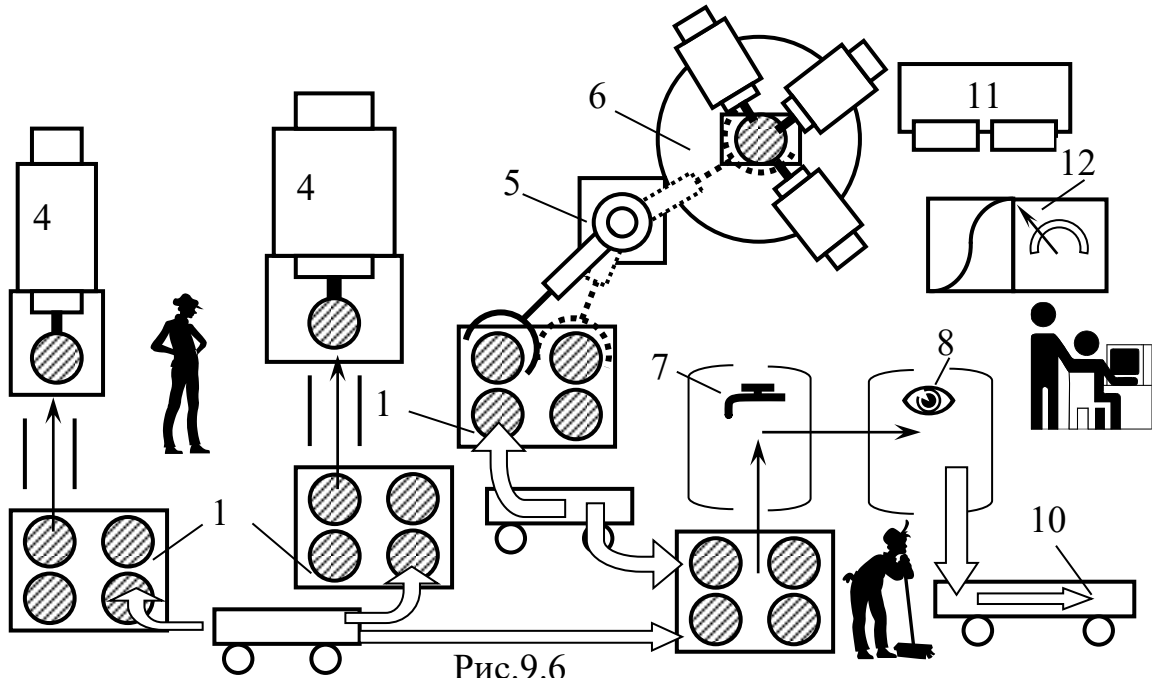
Розглянемо більш докладно ГАЛ послідовної К° (рис. 9.5), що включає:



1. Накопичувач заготовок і конвеєр завантаження.
2. Кроковий конвеєр.
3. Столи супутники.
4. Спеціалізовані верстати з ЧПК.
5. ПР завантаження-вивантаження Д на позицію 6.
6. Верстат із ЧПК агрегатного типу, зі змінними головками.
7. Пристрій очистки і мийки деталі.
8. Контрольно-вимірювальна машина.
9. Конвеєр розвантаження ГАЛ.
10. Пристрій А транспорту.
11. Накопичувач змінних головок.

## 12. Центральний пульти керування ГАЛ.

ГАД – по складу аналогічний ГАЛ, але у відмінності від неї передбачає можливість зміни послідовності роботи устаткування, що забезпечує розширення номенклатури Д, оптимальне завантаження ГВМ, а також виготовлення Д в комплекті, необхідному для збирання визначених виробів (рис. 9.6).



За призначенням ГАУ можуть бути *предметно-закритими* - для обробки Д геометрично тотожного типу (тіла обертання, корпусні Д і т.ін.) і *передільно-технологічними* найбільш гнучкими переналагоджуваними, доцільними для нових виробництв, дослідних партій, експериментального виробництва і т.ін. Цього типу ГАУ можуть бути заготівельними, для обробки Д методами пластичного деформування, ливарними, зварювальними, складальними і т. ін.

ГАЦ – дві чи більш ГАЛ (чи ГАД) об'єднані і призначені для виробництва виробів заданої номенклатури (комплектуючих вузлів машин, апаратури). Однак простого з'єднання двох ГАЛ чи ГАД недостатньо, додатково потрібно організувати А систему інструментального забезпечення (АСІЗ), А систему технологічної підготовки виробництва (АСТПВ), А транспортно-складську систему (АТСС) і все це об'єднати А системою керування виробництвом (АСКВ) на базі центральної ЕОМ.

ГАЗ - сукупність декількох ГАЦ, об'єднаних загальною АТСС і А системою керування виробництвом (АСКВ), призначених для випуску готових виробів, що йдуть на ринок. Крім зміни номенклатури виробів організація ГАЗ повинна передбачати можливість зміни обсягів виробництва, технологічних процесів, складу ГВС (у випадку виходу з ладу ТУ, ремонту, перепланувань і т.ін.), матеріалів Д, комплектуючих Д і т.ін.

Однак проста сукупність ГВС ГАЦ не забезпечить функціонування ГАЗ. Це тільки одна з його складових. Тому ГАЗ має структуру представлену на рис. 9.10. До неї входять:

- ТЗ – технічне завдання на виготовлення виробу;

- АСКП – автоматизована система керування підприємством;
- АСНД – автоматизована система наукових досліджень;
- САПР – система автоматичного проектування;
- БД – база даних;
- ПЗ – програмне забезпечення ГАЗ;
- АСКЗ - автоматизована система керування заводом;
- СМТЗ – система матеріально-технологічного забезпечення;
- АСТПВ – автоматизована система технологічної підготовки виробництва;
- АСКЮ - автоматизована система контролю й іспиту об'єктів.

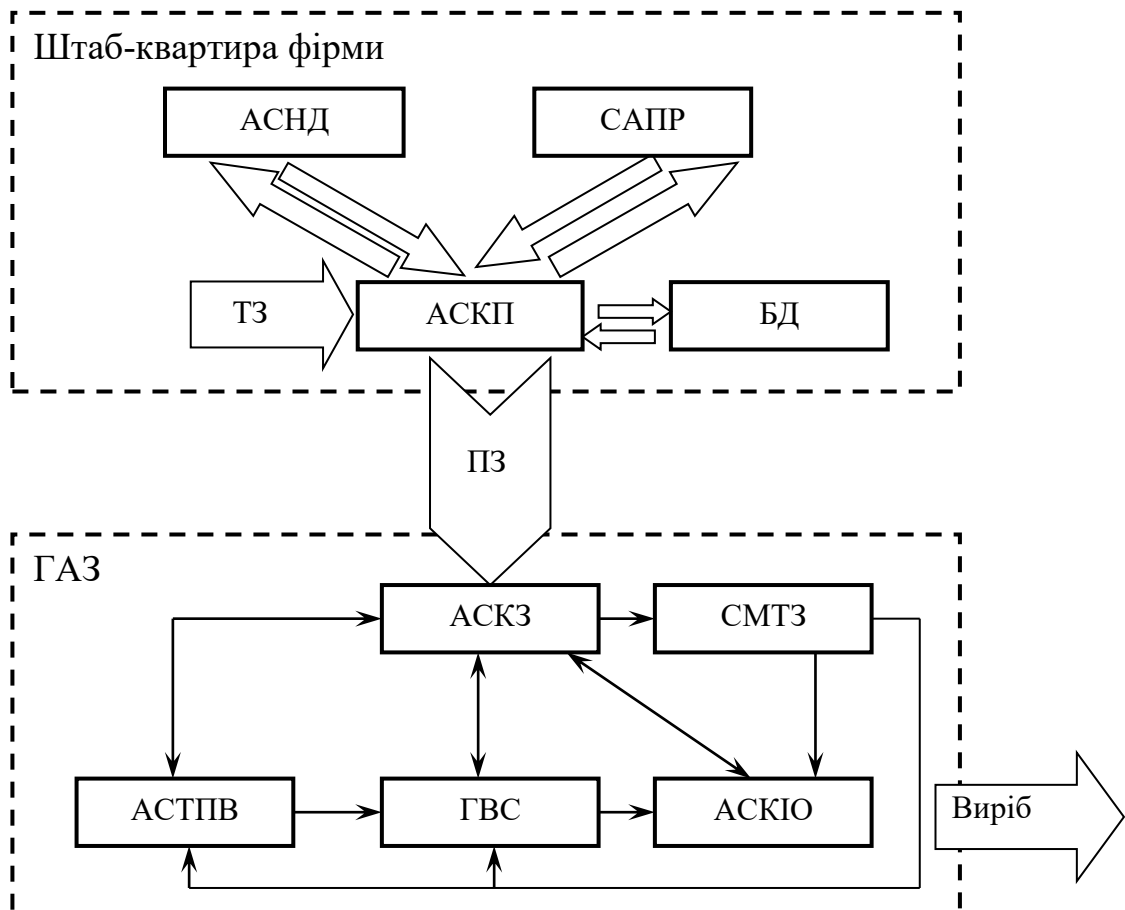


Рис.9.10

Створення ГАЗ довге і складне справа, тому такі заводи створюють поетапно, починаючи з усіх необхідних ГВС, потім АСКЮ, АСТПВ, МТЗ і т.ін. Генеральний розвиток ГВС - підвищення надійності їх складу, що дозволяє реалізувати принцип «безлюдної технології» з коефіцієнтом завантаження устаткування до 0,8 – 0,9.

*Питання для самоперевірки до п'ятнадцятої лекції*

1. Які області застосування різного верстатного устаткування машинобудівного виробництва вам відомі?
2. Які рівні ГВС вам відомі?
3. Приведіть узагальнену структуру ГВМ.
4. Приведіть приклад компонування ГВМ.
5. Які схеми компонування ГАЛ вам відомі?

6. Приведіть приклад компоновання ГАЛ.

7. Приведіть приклад компоновання ГАД.

3. Приведіть узагальнену структуру ГАЗ.

Література для додаткового навчання [2, с. 92 – 94, 102 – 104, 117 – 128].

### Лекція 16

Мета лекції вивчення структури ПР, характеристик для класифікації ПР, існуючих поколінь ПР та як їх будують на основі АМП. Внаслідок вивчення студент повинен вміти навести приклад узагальненого конструктивного складу ПР.

## 10. ПРОМИСЛОВІ РОБОТИ

Роботизовані технологічні комплекси (РТК) - один з видів ГВМ, що включає МВ (чи інше ТУ) і промисловий робот (ПР), який у залежності від призначення комплексу виконує різні функції (найчастіше обслуговуючі). При цьому усі компоненти РТК керуються від загальної системи ЧПК чи іншого програмного керування.

За складом РТК може бути:

1)  $1 \times \text{МВ} + 1 \times \text{ПР}$  (рідко  $1 \times \text{МВ} + 2 \times \text{ПР}$ );

2)  $K \times \text{МВ} + 1 \times \text{ПР}$ ;

3)  $K \times \text{МВ} + K \times \text{ПР}$ .

У самому визначенні РТК два – ключові слова: «роботизований» - припускає, що наявність ПР відрізняє РТК від іншого ГВМ, «комплекс» - припускає, що характеристики РТК варто розглядати комплексно, спільно. При цьому призначення РТК (технологічно) диктує склад РТК, його компоновання і т.ін. Однак, як і в багатьох подібних випадках, існує безліч альтернативних і приблизно рівноцінних варіантів.

ПР – універсальна автоматична машина з робочими органами, що здійснюють широкий набір механічних і інших дій із заданими характеристиками рухів (позиціонування, швидкості, траєкторії, напрямку), у необхідній послідовності в межах робочої зони, що обмежена конструктивними характеристиками її механічної частини.

ПР складається з 4-х основних блоків (рис. 10.1).

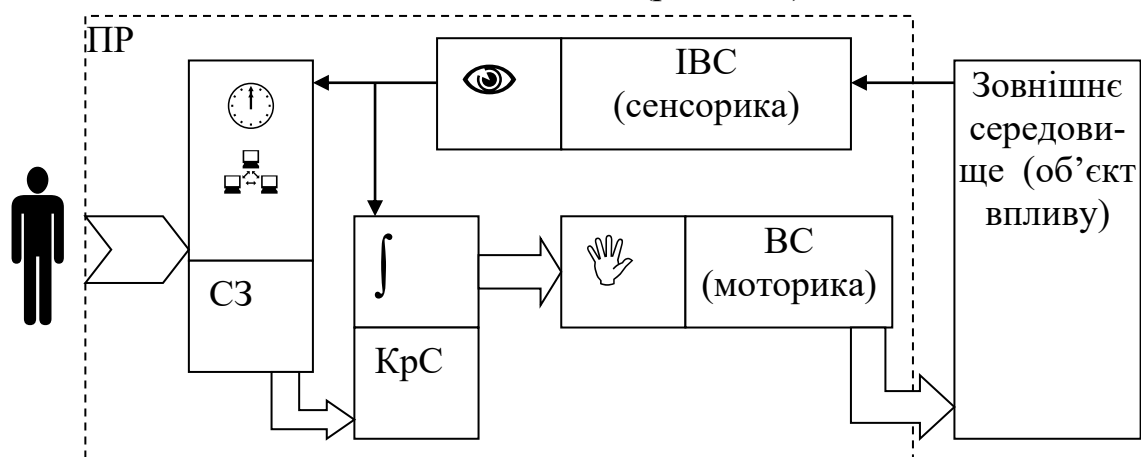


Рис.10.1

*Виконавча (маніпуляційна) система (ВС)* – для цілеспрямованого впливу на навколишнє середовище. Вона включає: рухливі органи (власне маніпулятор, механічну руку (МР)), один чи декілька, що оснащені визначеними захватними пристроями (ЗП) чи іншими робочими органами (РО); несучу систему і привід руху маніпулятора.

*Інформаційно-вимірвальна (сенсорна) система (ІВС)* – для забезпечення ПР інформацією про стан зовнішнього середовища, результатах впливу на неї маніпуляційної системи і стану самого робота відповідно до вимог керуючої системи.

*Керуюча система (КрС)* для вироблення закону керування маніпуляційної системи на підставі програми і даних, що надходять від ІВС, а також від систем, що входять в РТК. Рівень інтелекту ПР визначається алгоритмічним і програмним забезпеченням його керуючої системи.

*Система зв'язку (СЗ)* – для організації обміну інформацією між роботом і людиною і (чи) іншими пристроями, що входять в РТК .

*Зовнішнє середовище* робототехнічних систем – це об'єкти впливу ПР, що можуть бути в чотирьох станах:

- неоднорідному (рис. 10.2,а);
- лінійно-упорядкованому (рис. 10.2,б);
- поверхнево-упорядкованому (рис. 10.2,в);
- об'ємно-упорядкованому (рис. 10.2,г);
- комбінованому.

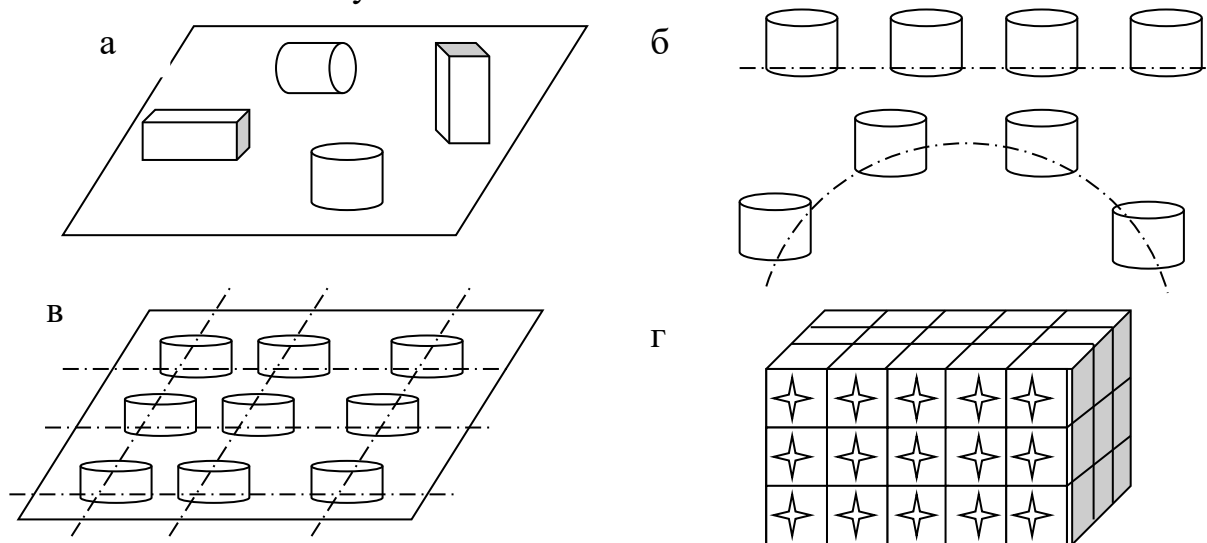


Рис.10.2

Природно, що стан об'єктів зовнішнього середовища жадає від ПР того чи іншого рівня інтелекту. Так, для стану 1 ПР повинний знайти об'єкт у зовнішньому середовищі, пізнати його, ідентифікувати його вихідне положення, виробити алгоритм подальшої дії. У ситуації 2 – 4, коли характер упорядкування зберігається, ПР виконує відносно прості задачі повторення стереотипних рухів. Найбільш прості ПР з обмеженими чи незмінними функціями називаються *автоматичними маніпуляторами*.

Класифікація ПР визначається сукупністю безлічі характеристик, які можна згрупувати

Таблиця 10.1

S	Функція	Призначення	1
		Ступінь універсальності	2
	Структура	Клас розв'язуваних задач	3
		Конструктивний склад, виконання	4
H	Геометрія (статика)	Розміри	5
		Компонування	6
	Кінематика	СКС	7
		Точність (позиціювання)	8
T	Мобільність	Гнучкість	9
		Надійність	10
	Режимні характеристики	Продуктивність, швидкодія	11
		Алгоритм (тип КС)	12
E	Ресурсні витрати	Потужність, вантажопідйомність	13
		Вид приводу	14
	Вартість	Матеріало-, енергоємність	15
		Собівартість виготовлення й експлуатації	16

**Призначення ПР** – два основних типи: а) виробничі (операційні); б) обслуговуючі.

*Операційні ПР* виконують визначені технологічні операції чи їхні елементи. Наприклад, зварювання, збірку, фарбування, очищення, нанесення покриття, упакування й інші операції. Широко використовують в зварювальному, ливарному, ковальсько-пресовому й інших виробництвах чи у відповідних цехах і на ділянках машинобудівного виробництва. У масовому виробництві, як правило, вбудовуються в конвеєри.

*Обслуговуючі ПР* виконують допоміжні чи перехідні проміжні операції робочого циклу. Наприклад, у верстатному РТК ПР може виконувати:

- 1) установку і зняття Д;
- 2) укладання Д на конвеєр, накопичувач і т.ін.;
- 3) зміну І, що ріже;
- 4) зміну пристосувань і оснастки;
- 5) контроль наявності об'єкта, розмірів, орієнтації;
- 6) переорієнтацію об'єкта (Д, І, П), переустановку;
- 7) міжопераційне транспортування;
- 8) очищення базових поверхонь Д та МВ, видалення стружки;
- 9) маркірування Д чи її поверхонь та багато чого іншого.

Частка обслуговуючих ПР у загальному парку ПР – 60 – 70 %.

#### **Ступінь універсальності ПР:**

1) *спеціальні ПР* – виконують лише один визначений тип операцій чи дій, або здатні обслуговувати лише один тип технологічного устаткування. Наприклад зварювальний ПР;

2) *спеціалізовані ПР*, що виконують обмежений перелік дій чи здатні працювати лише у визначених виробництвах.

◆ У ливарному виробництві – ПР по заповненню форм модельною масою і видаленню її з форм, видаленню стрижнів, обрубання літників і т.ін.

◆ У машинобудівному виробництві – обслуговуванню МВ з ЧПК, промивних і зачисних пристроїв, вимірювальних машин і т.ін.

3) *універсальні ПР* здатні виконувати широкий спектр дій оперативного чи обслуговуючого призначення, працювати в комплексі із широким колом устаткування. Широка універсальність ПР забезпечується за умов:

◆ маніпуляційна система ПР повинна забезпечувати будь-яке положення робочого органу в просторі робочої зони, для чого цей орган повинен мати не менш шістьох ступенів волі рухів.

◆ робоча зона ПР повинна бути достатньою для обслуговування ТУ в діапазоні ряду типорозміру.

◆ ПР повинен бути оснащений системою A зміни захватних пристроїв і робочих органів різного типу.

◆ ПР повинен мати високі технічні характеристики – міні погрішності позиціонування, максимум швидкодії, максимум ККД приводу і т.ін.

◆ КрС повинна мати «відкриту структуру», тобто забезпечувати можливість включення нових підпрограм і включення в більш складні програми.

◆ ПР повинен мати надійний захист від зовнішніх умов і працювати у будь-якому середовищі.

◆ КрС повинна бути адаптивною, тобто пристосовуватися до змін у зовнішньому середовищі, оснащеною високочутливими датчиками зворотного зв'язку.

**Клас розв'язуваних ПР задач** визначається структурою взаємодії «людина – ПР» на цьому принципі роботи поділяють на:

1) *автоматичні*, працюючі без участі людини;

2) *ергатичні*, працюючі разом з людиною:

◆ *біотехнічні* – підсилювачі рухових і енергетичних можливостей людини;

◆ *маніпуляційні* – ергатичні системи «людина – машина», коли людина керує ПР через КрС;

◆ *інтерактивні* – діалогово-ергатична система містить, крім людини, ПР також і ЕОМ.

Автоматичні ПР підрозділяються по так званих «поколіннях»:

1) *ПР I-го покоління* – програмні (чи ПР із навчанням) – працюють по заздалегідь складеній програмі без сприйняття зовнішнього середовища і пристосування до нього. Переналадження – заміна програми. До такого типу відноситься більшість ПР, що працюють у РТК машинобудування. Специфіка ПР I-го покоління:

◆ зовнішнє середовище й об'єкти в робочій зоні повинні бути строго упорядковані (чим простіше, тим краще, наприклад по дузі чи прямій);

♦ об'єкти впливу повинні буди однорідні (наприклад однакова форма оправок інструмента, що ріже, полети для установки Д і т.ін.

ПР I-го покоління оснащені ЧПК працюючими в режимах: а) наладки; б) циклу (К циклів); в) автомата.

2) ПР II-го покоління – адаптивні мають властивість пристосовуватися до змін у зовнішньому середовищі і можуть самонавчатися (частково).

Виконавчі органи ПР постачені сенсорними пристроями (контактними, візуальними, тактильними, температурними і т.ін.), що подають сигнали в ЕОМ. ЕОМ виробляє відповідні сигналам і програмі команди виконавчим органам ПР. У визначеному діапазоні змін навколишнього середовища ці коригувальні дії закладені в пам'ять ЕОМ і видаються А. При виході параметрів середовища за відомі границі ЕОМ звертається до розрахункових програм і розраховує коригувальні дії, а потім запам'ятовує їх. При повторі ситуації машина її «довідається» і без розрахунку робить коректування, що різко прискорює швидкодню КрС.

3) ПР III-го покоління – інтелектуальні чи інтегральні за допомогою високорозвинених сенсорних систем розпізнають предмети в просторі, будують модель середовища, виробляють алгоритм дії по досягненню поставленої мети (тобто в програму евристичного типу закладена тільки мета), а також змінюють програму дій відповідно до змін середовища. ПР цього типу самопрограмуються в процесі накопичення досвіду, тобто мають КрС з активною пам'яттю.

**Конструктивний склад і конструктивне виконання ПР.** Розглянемо узагальнений конструктивний склад ПР на прикладі ПР «Універсал» (рис.10.3). Такий робот може мати один чи (рідше) два маніпулятори.

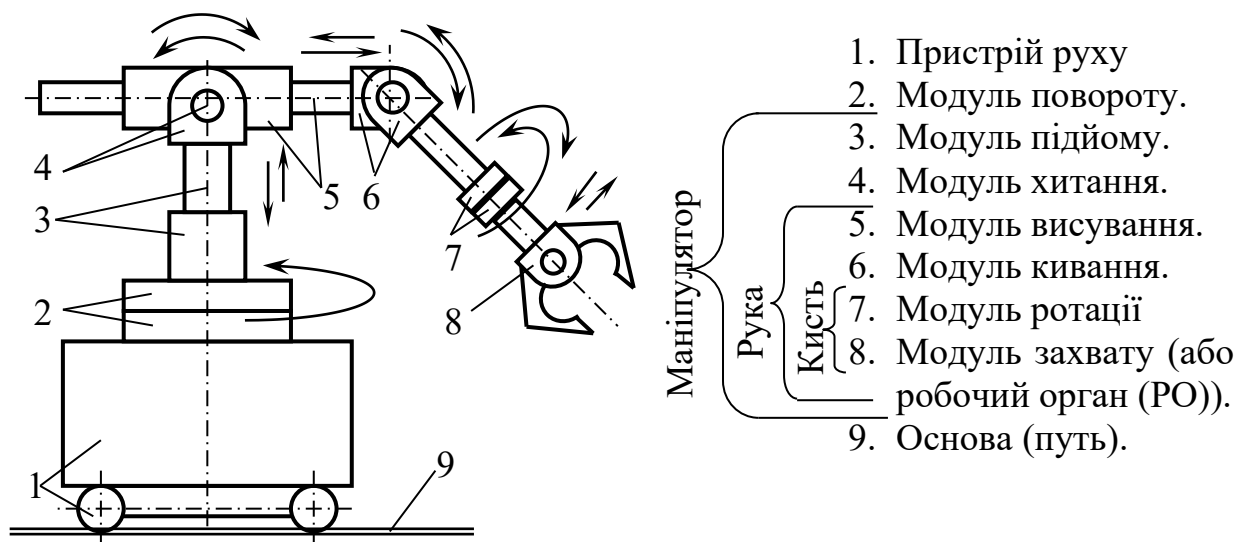


Рис.10.3

Сучасні ПР будуються, як правило, відповідно агрегатно-модульному принципу (АМП).

Агрегат – сукупність приводу і виконавчих пристроїв, що виконують одну або кілька функцій автономно чи в системі, у незалежності від типу виробничої системи, у котру входить агрегат (Агр). Агр – складається з двигуна, пе-



редавального пристрою, пристрою керування, РО. Наприклад електрошпindel (рис. 10.4).

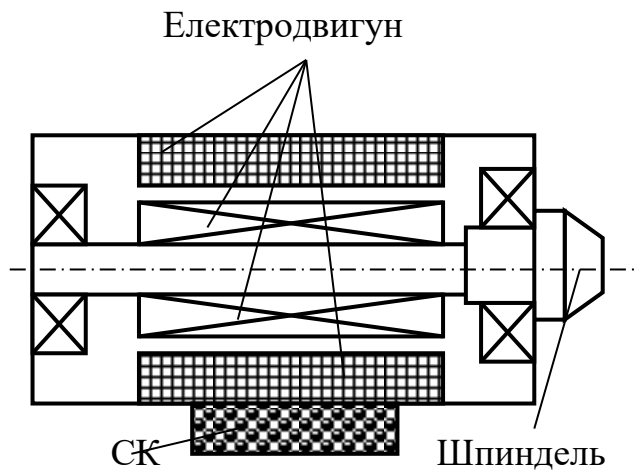


Рис.10.4.

Агр - функціональна одиниця системи. Агр не обов'язково може бути модулем (наприклад зварювальний Агр). Модуль – універсальний вузол чи структурний елемент компонування будь-якої системи – функціонально і конструктивно незалежна одиниця, яку можна використовувати як індивідуально, так і в різних комбінаціях з іншими модулями.

Тобто поняття «модуль» ширше, ніж «агрегат». Можна сказати, що «модуль» – це агрегат здатний до різноманітного стикування з іншими

модулями, у тому числі з модулями несучої системи, що агрегатами не є, тому що не мають приводу. Такі модулі іменують конструктивними. Кожен ПР має визначений набір модулів, а якщо він не побудований згідно з АМП – набір конструктивних елементів. Типові приклади конструктивного складу ПР розглянемо нижче.

Конструктивне виконання ПР залежить від умов виробництва і може бути:

- нормальне;
- пилозахисне;
- термозахисне;
- вибухобезпечне;
- вібростійке;
- гідрозахисне і т.ін.

Це вимагає включення в конструктивний склад ПР додаткових елементів і пристроїв захисної системи (щітки, кожухи, гофровані рукави і т.ін.) і (чи) виготовлення частин ПР зі спеціальних матеріалів, і (чи) включення до складу ПР пристроїв блокування, адаптації до середовища і т.ін.

*Питання для самоперевірки до шістнадцятої лекції*

1. Приведіть укрупнену структуру ПР.
2. Як упорядковується середовище впливу ПР?
3. По яких характеристиках класифікуються ПР?
4. Чим забезпечується універсальність ПР?
5. Які покоління ПР вам відомі і чим вони характеризуються?
6. Приведіть узагальнений конструктивний склад ПР.
7. Які основні поняття АМП побудови ПР?

## Лекція 17

Мета лекції вивчення схем компоновання і способів установки ПР, складу виконавчих рухів ПР, типів захватних пристроїв та приводів ПР. Внаслідок вивчення студент повинен вміти записати компоновочну формулу ПР, визначити число ступенів рухливості ПР, навести різні приклади СКС ПР.

**Просторові характеристики ПР.** Розглянемо більш докладно просторові характеристики ПР наведені на рис. 10.5 у порівнянні з наведеними в табл.10.1.

**Система координат,  $K^0$  – форма, тип і розміри робочої зони (РЗ).** Для



Рис.10.5

механічних систем загалом прийнято розрізняти три основні системи координат: А – прямокутну; Б – циліндричну; В – сферичну.

При цьому положення цільової точки (ЦТ) у просторі визначається (рис 10.6): для А – координатами  $x, y, z$ ; для Б – координатами  $r, \varphi, z$ ; для В – координатами  $\rho, \varphi, \Theta$ .

Робоча зона (РЗ) ПР чи зона обслуговування ПР – ділянка простору (технологічного), в якому можливі механічні дії маніпулятора ПР, тобто це просторова фігура описувана захватом ПР при проходженні ним положень, що гранично досягаються.

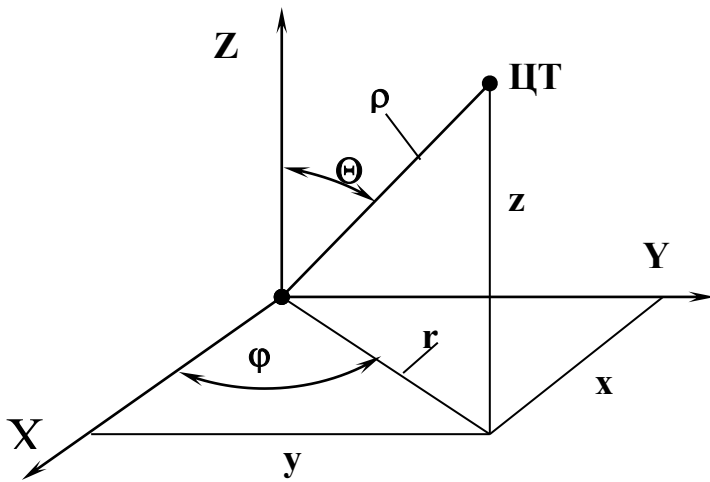


Рис.10.6

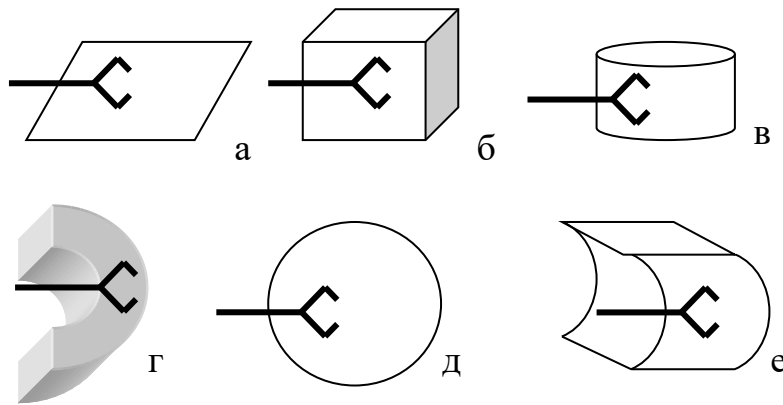


Рис.10.7

Основні типи РЗ ПР (рис. 10.7): а – площина; б – паралелепіпед; в – циліндр або його частина; г – кільце чи його частина; д – сфера чи його частина; е – комбінована фігура.

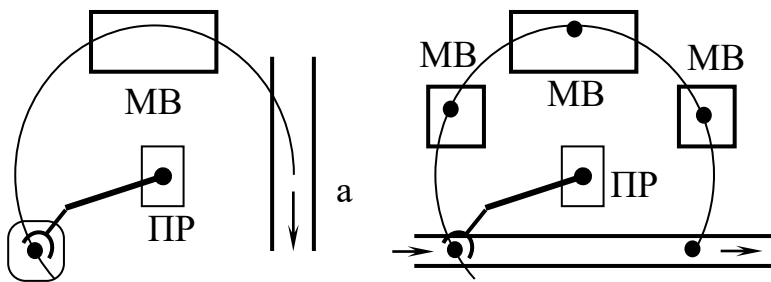
РЗ ПР, як правило ширше технологічної РЗ, тобто обмеженої ділянки робочого простору технологічного процесу, де відбуваються реальні дії ПР.

Конкретний вид РЗ визначається крім системи  $K^0$  числом ступенів рухливості маніпулятора (його РО), типом кінематичних пар, їхньою взаємною орієнтацією в просторі і розмірами ланок маніпулятора.

При цьому габарити РЗ є основною просторовою характеристикою ПР і входять у його техніко-

економічні показники.

Ряди типорозмірів РЗ ПР нема, тому що подовженням робочих ланок маніпулятора досягається необхідний розмір РЗ ПР. При цьому обмеженням у збільшенні розмірів ланок ПР є статична і динамічна стійкості ПР. ( $\Sigma P_i = 0$ ;  $\Sigma M_i = 0$ ).



**Компонування ПР у РТК і спосіб його установки.** Існує дві основних схеми  $K^0$  ПР у РТК: а) – кругова (рис.10.8,а), б) – лінійна (рис.10.8,б).

Схема а) доцільна при невеликому (<5) числі технологічних операцій, тип ПР – стаціонарний. Ефективне використання двох маніпуляторів в одному ПР.

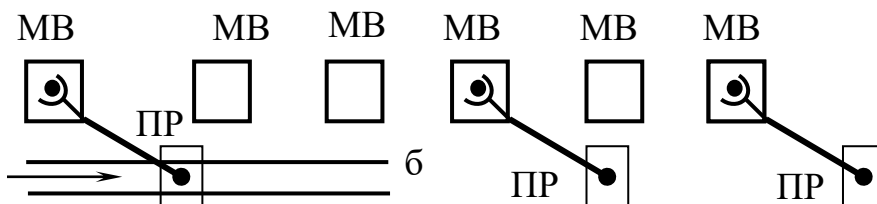


Рис.10.8

Схема б) – при великому ( $>5$ ) числі технологічних операцій, тип ПР – пересувний (по рейках, спеціальному шляху, колісний, крокуючий, гусеничний і т.ін.).

При цьому можуть бути наступні способи установки ПР (стаціонарно чи ні): підлоговий (рис.10.9,а), підвісний (рис.10.9,б), вбудований (рис.10.9,в).

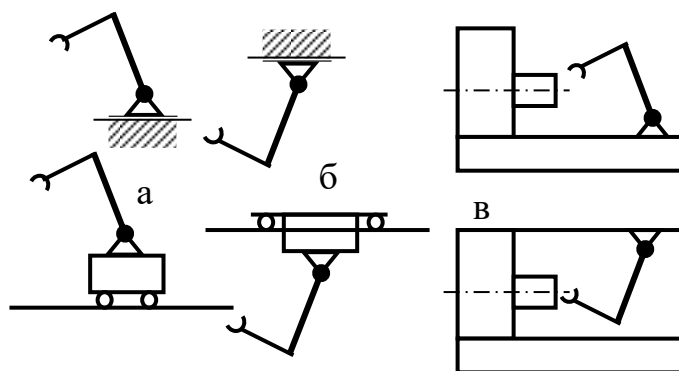


Рис.10.9

Компоновочна формула ПР визначається кінематикою, тобто СКС.

**Число ступенів рухливості, склад виконавчих рухів ПР.** Відомо, що для переміщення тіла в просторі і його довільній орієнтації механізм переміщення повинний мати не менш 6 ступенів рухливості, 3 – для переміщення і 3 – для орієнтації в просторі.

Наприклад, рука людини від передпліччя до пальців має 22 ступеня рухливості, але усі вони зводяться до переносних рухів по осях декартової системи координат (X,Y,Z) і рухам, що орієнтують, (A,B,C).

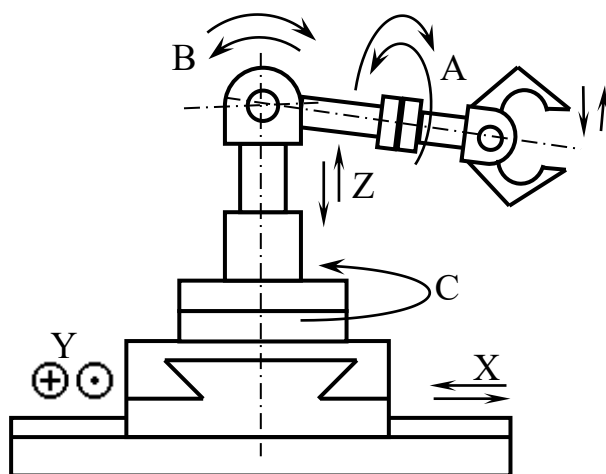


Рис.10.10

Механічним аналогом руки є механізм ПР (рис. 10.10), що має компоновочну формулу 0XYCZBA. 7-а ступінь рухливості – рух губок – не враховується, тому що вона не визначає рухливості ПР і конфігурацію РЗ ПР.

Необхідне і достатнє число переносних ступенів рухливості (СР) = 3. Четвертий і наступні ступені рухливості є надлишковими і можуть використовуватися для обходу перешкод у РЗ, поліпшення стійкості і т.ін.

Для ПР досить, як правило, 4-х переносних СР. При цьому можна реалізувати більш 100 СКС переносної системи з обліком того, що кінематичні пари можуть бути поступальними й обертальними.

Для повної орієнтації об'єкта в РЗ необхідно три СР, що звичайно здійснюються трьома обертальними кінематичними парами.

**Варіанти сполучення СР маніпулятора**

Кількість переносних СР	Кількість орієнтуючих СР	Сполучення СР (загальна кількість СР/кількість орієнтуючих СР)
2	0, 1, 2, 3	2/0, 3/1, 4/2, 5/3
3	0, 1, 2, 3	3/0, 4/1, 5/2, 6/3
4	0, 1, 2, 3	4/0, 5/1, 6/2, 7/3

СКС і компоновочна формула, рухові і виконавчі можливості ПР визначаються видом і послідовністю розміщення кінематичних пар (чи модулів). У

свою чергу, необхідний характер руху робочих органів ПР визначається техно-логічними умовами. Розрізняють наступні рухи ПР:

*Глобальні* – переміщення на відстані, яка перевищує габарити самого ПР і його РЗ, при обслуговуванні протяжних технологічних об'єктів (наприклад ав-томатичних ліній). У цьому випадку використовуються пересувні ПР.

*Регіональні* – переміщення робочих органів ПР у межах обсягу його РЗ. Усередині операційні рухи як транспортні, так і орієнтувальні.

*Локальні* – рухи у визначеній ділянці РЗ, головним чином точні транспор-тні, що орієнтують і виконавчі.

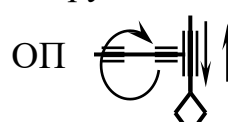
**СКС рухливої системи ПР.** Основна кінематична характеристика ПР – це СКС маніпуляторів, утворених з'єднанням двох видів елементарних кінема-тичних пар:

поступальної КП (П)

обертальної КП (У)

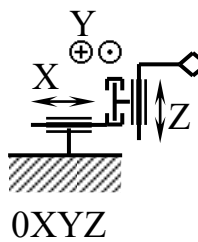
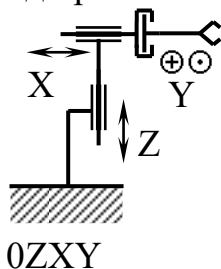
Їхнє сполучення позначають індексами рухливості, наприклад:

(ПО)



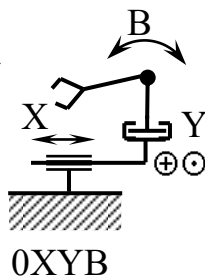
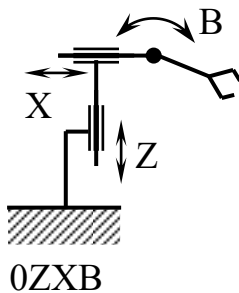
Приклади різних СКС маніпуляторів наведені на рис.10.11.

$\frac{3П}{ППП}$



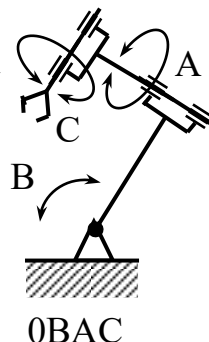
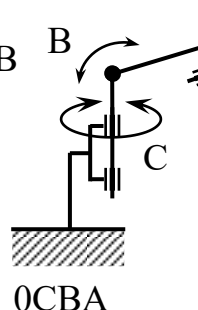
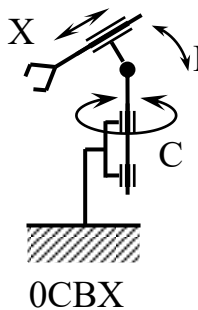
(3-х ланкових, точніше 3-х парних) число  $K^0$  варіантів  $K_K^0 = 1 \times 2 \times 3 = (3!) = 6$

$\frac{2П+1О}{а)ППО б)ПОП в)ОПП}$



$K_K^0 = A_3^2 \times K_{Вр} = (3 \times 2 \times 1) \times 3 = 18$  (у кожній комбінації а, б, в), усього – 54 варіанта

$\frac{2О+1П}{а)ООП б)ОПО в)ПОО}$

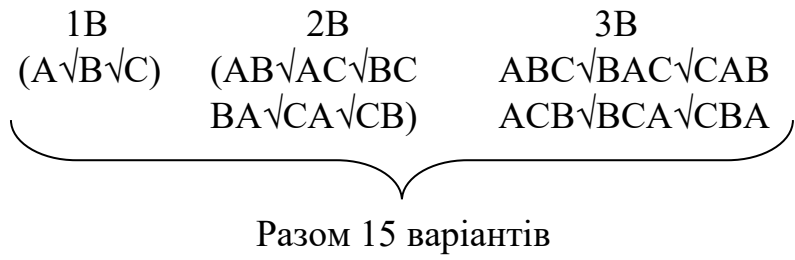


Також 54 варіанта

Рис.10.11

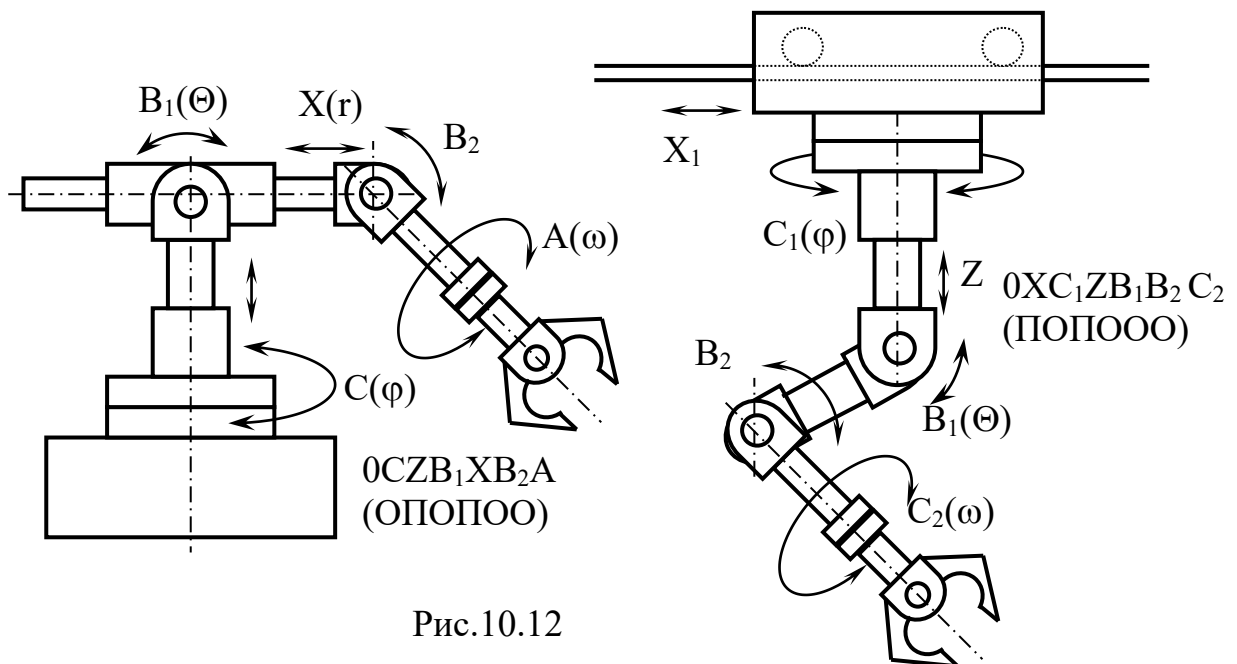
У реальних конструкціях ПР через обмеження лінійних і кутових ходів у розрахунковій РЗ утворюються недоступні для кисті ПР ділянки, для чого вима-

гаються додаткові рухи кисті, що орієнтують, реалізовані головним чином кінематично:



Або комбінованими способами: ОП, ПО, ППО.....

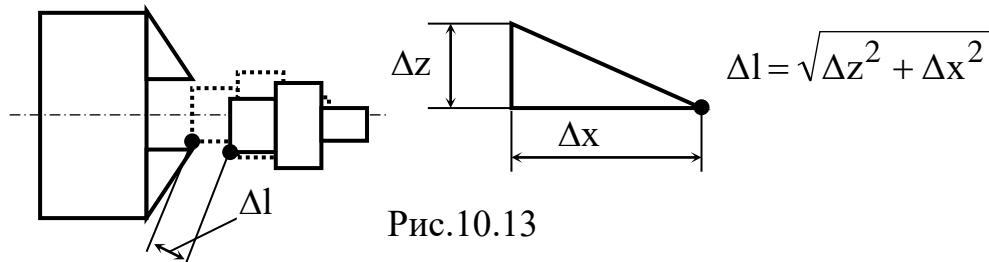
Типова компоновочна схема ПР наведена на рис.10.12. Для ПР компоновочні формули умовні, вони описують вихідну позицію робочого органа, що може бути будь-якою.



СКС, розміри робочих ланок маніпулятора, ходи ланок і їх обмеження, тип приводу, конструктивне виконання і т.п. визначає точність виконання рухів.

**Точність позиціонування кисті і відтворення траєкторії руху.** Точність позиціонування розглядають при дискретному керуванні. Розрізняють абсолютну і відносну погрішності позиціонування.

Абсолютну точність (погрішність) позиціонування – різниця ( $\Delta l$ ) між координатою ідеальної адресної крапки і координатою реальної крапки доставки об'єкта захватом ПР.



Однак клас точності ПР визначається не за абсолютною, а за відотною погрішністю  $\Delta a = (\Delta l/l_{P.3.min}) \times 100 \%$ , де  $l_{P.3.min}$  min відстань від осі кінематичної пари маніпулятора, найближчої до його підстави, до ближньої границі РЗ ПР. Це зв'язує точність відпрацювання руху з типом РЗ (рис.10.14,а).

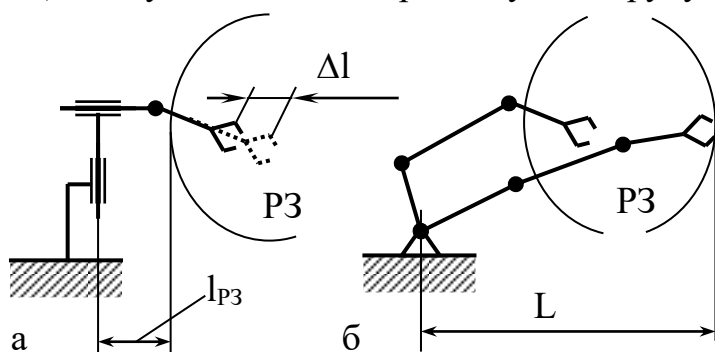


Рис.10.14

Для ПР із безупинним керуванням (головним чином операційні ПР) розглянемо точність відтворення траєкторії  $\Delta q = (\Delta l/L) \times 100 \%$ , де  $L$  відстань від першої осі ПР до далекої границі РЗ (рис.10.14,б).

Класи точності ПР мають свою індексацію: 3, 2, 1, 0 (за убыванням  $\Delta a$ ,  $\Delta q$ ), у порівнянні з класами точності верстатів це:

Клас точності ПР	Клас точності МВ ( $\approx$ )	$\Delta a \%$	$(\Delta q \% \approx 0,7\Delta a)$
3	Н	$>0.1$	$>0.1$
2	П	$<0.01$	$(0.06 \dots 0.1)$
1	В	$>0.01 < 0.05$	$(0.01 \dots 0.05)$
0	А		$<0.01$

**Точність захоплення, тип хватних пристроїв.** Хватні пристрої (ЗП) ПР дуже різноманітні, їхній вид визначається в першу чергу характеристиками об'єкта захвату. Тому класифікувати ЗП можна лише з комплексу характеристик:

- ◆ способу захвату:
  - механічні;
  - вакуумні;
  - струмливі;
  - еластично охоплюючі;
  - магнітні.
- ◆ типу пальців:
  - тверді;
  - адаптивні.
- ◆ типу рухів пальців:
  - плоскопаралельні
  - поступальні;
  - дугові;
  - просторово-складні (об'ємні);
- ◆ типу передаточного механізму:
  - важільні;
  - зубцюваті і зубчасто-важільні;
  - ланцюгові;
  - тросові;

- мембранні.
- ◆ типу приводу:
  - самозатискні (без приводу);
  - електромеханічні;
  - гідравлічні;
  - пневматичні;
  - комбіновані.

У конкретному ЗП можуть сполучатися різні характеристики. Найбільш розповсюджені ЗП - механічні з двома твердими пальцями, що рухаються в одній площині плоскопаралельно, чи поступально дугоподібно. Наприклад: дугоподібні рухи пальців з важільним механізмом і гідроприводом (рис.10.15,а) чи з зубчато-рейковим механізмом і пневмоприводом (рис.10.15,б); плоскопаралельні рухи пальців із клиновим механізмом і пневмоприводом (рис.10.15,в) чи комбінація зубчато-рейкового і пантографного механізму з пневмоприводом (рис.10.15,г); поступальні рухи пальців із шиберним механізмом із пневмоприводом (рис.10.15,д).

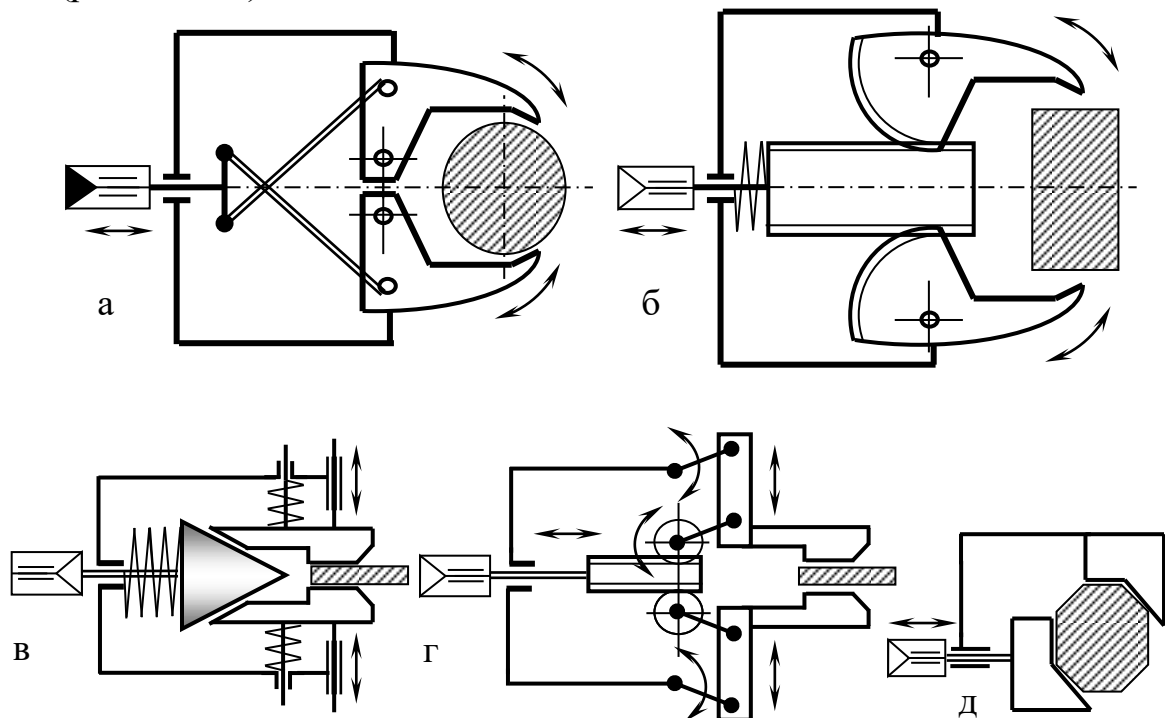


Рис.10.15

Всі ЗП мають змінні губки з формою що, відповідає формі деталі. Механічні ЗП з твердими пальцями можуть працювати в комбінації з механізмами: важільними, кулісно-важільними, пружинними, рейково-важільними, багатоланковими, клино-важільними, гвинтовими і т.ін.



При розрахунку зусилля, необхідного для утримання об'єкта, враховуються вага об'єкта, сила інерції, положення центра ваги і коефіцієнт тертя між

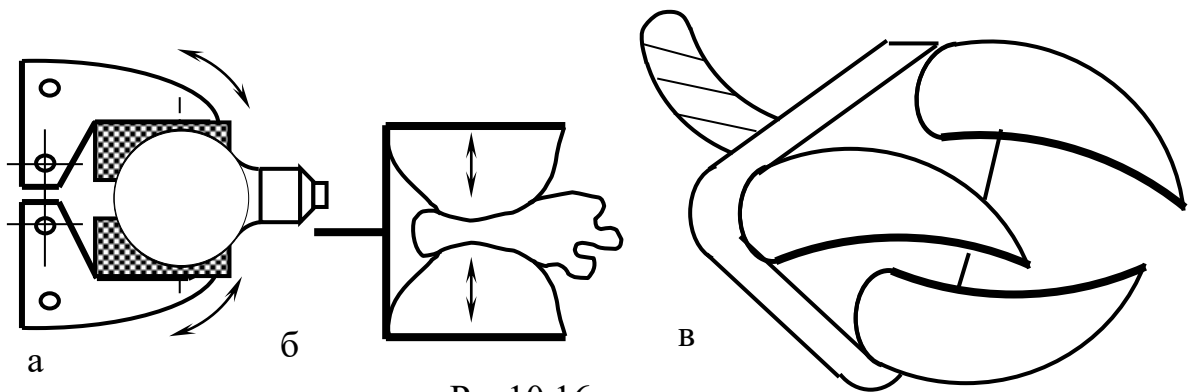


Рис10.16

об'єктом і губками ЗП. Для кожного випадку складається розрахункова схема рівноваги, відкіля і знаходять необхідне зусилля затиску.

ЗП, що еластично охоплює, служить для захоплення й утримання тендітних об'єктів. Наприклад: захоплення з губками з пористого матеріалу (рис.10.16,а); з надувними подушками (рис.10.16,б); з пальцями, що згинаються через різну товщину стінок (рис.10.16,в). Такого роду ЗП, як правило, пневматичні, але можуть бути і гідравлічні.

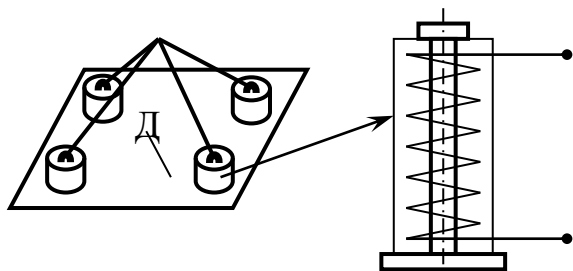


Рис.10.1

Магнітні ЗП – для захоплення плоских і об'ємних деталей з магнітних матеріалів. Зусилля захоплення визначається магнітними властивостями матеріалу і поверхнею контакту. Для збільшення надійності захоплення іноді роблять кілька електромагнітів (рис. 10.17).

Вакуумні присоски – використовують для тонкого, легкого і легкодеформованого матеріалу, наприклад для паперу (рис.10.18). Такі ЗП можуть бути індивідуальними і груповими.

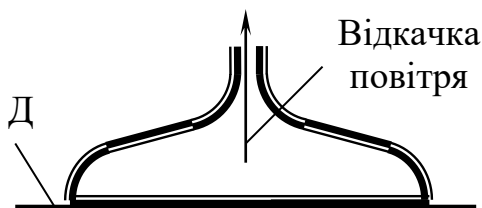


Рис.10.18

ЗП можуть “чути” через датчики зворотного зв'язку, що, у свою чергу, можуть бути:

- тактильними;
- фоточутливими;
- світлолокаційними;
- ультразвуковими;
- термочутливими і т.ін.

**Часові характеристики ПР** у силу їхньої очевидності розглядати докладно не будемо, згадаємо лише дві швидкісні середні характеристики:

- кутова швидкість повороту маніпулятора  $\omega_{\max} \leq 120 \text{ }^\circ/\text{с}$  (20 об/хв);
- швидкість лінійного переміщення  $V_{\max} \leq 0,5 \text{ м/с}$ .

**Енергетичні характеристики ПР.** По вантажопідйомності ПР бувають:

- надлегкі – від 0,1 до 1 кг;

- легкі – від 1 до 10 кг;
- середні – від 10 до 100 кг;
- важкі – від 100 до 1000 кг;
- надважкі (унікальні) – від 1000 кг і вище.

Вид приводу ПР визначається типом енергоносія

Таблиця 10.2

Тип	Достоїнства	Недоліки	Застосування
Пневмо-привод > 40 % усіх ПР	Простота, дешеви-на, надійність, по-жежебезпека, шви-дкодія, екологічна чистота	Стискальність, обмеження тиску ( $< 50 \times 10^4$ Па чи 5 атм.), мала потужність, гро-міздість, необхідність ком-пресора чи пневмомережі.	ПР з цикловим керуванням, вагою менш 25 кг.
Гидропри-вод < 40 % усіх ПР.	Нестисливість рі-дини, велика по-тужність, компакт-ність, простота	Залежність від $t^0$ середови-ща, можливі витоки рідини, малий ККД (0,3...0,7), мала швидкодія, складна апарату-ра керування	ПР з приводом що стежить для будь-якої ван-тажопідіймно-сті
Електроп-ривод 20 % усіх ПР	Широкий діапазон вантажопідіймно-сті, безгучність, екологічна чистота	Складні передатні механізи-ми, невисока швидкодія, не-обхідність електромагнітних гальм, висока вартість	В усьому діа-пазоні ПР

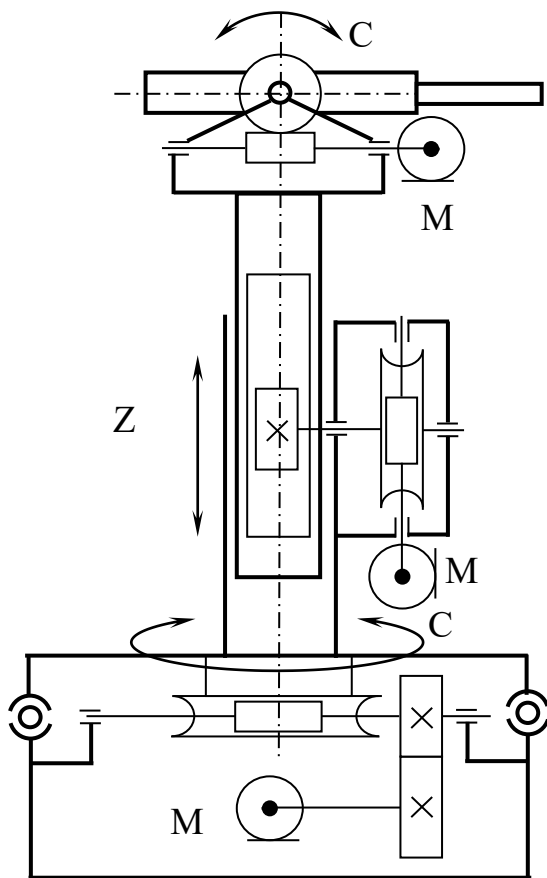


Рис.10.19

За способом розміщення приводних пристроїв на ланках маніпуляторів ПР можна розділити на групи:

1. Маніпулятори, у яких приводні пристрої розташовані безпосередньо в місцях зв'язку ланок так, що корпус приводу зв'язаний з попередньою ланкоюю, а відома ланка приводу – з наступною ланкою маніпулятора (чи навпаки) – це вбудований привід.

2. Приводні пристрої всіх ланок маніпулятора розташовані в нерухомій підставі ПР, а зв'язок кожної ланки зі своїм приводом здійснюється через передавальні механізми.

3. Один приводний пристрій використовується для приводу декількох (усіх) ланок маніпулятора.

4. Комбінація трьох основних способів розміщення приводних пристроїв.

Наприклад, ПР 1-ої групи – електромеханічний привід з черв'ячними редукторами на кожній кінематичній парі (рис.10.19).

*Переваги* – простота кінематичних

зв'язків, можливість побудови згідно з АМП.

Недоліки:

а) розташування двигунів і інших механізмів приводу знижує вантажопідйомність ПР;

б) труднощі захисту приводних пристроїв при роботі ПР в екстремальних умовах;

в) громіздкість маніпулятора, труднощі його роботи в обмеженій робочій зоні.

Наприклад, ПР 2-ї групи (рис.10.20).

Переваги – маніпулятор розвантажений від приводних пристроїв і може бути використаний в обмеженій робочій зоні.

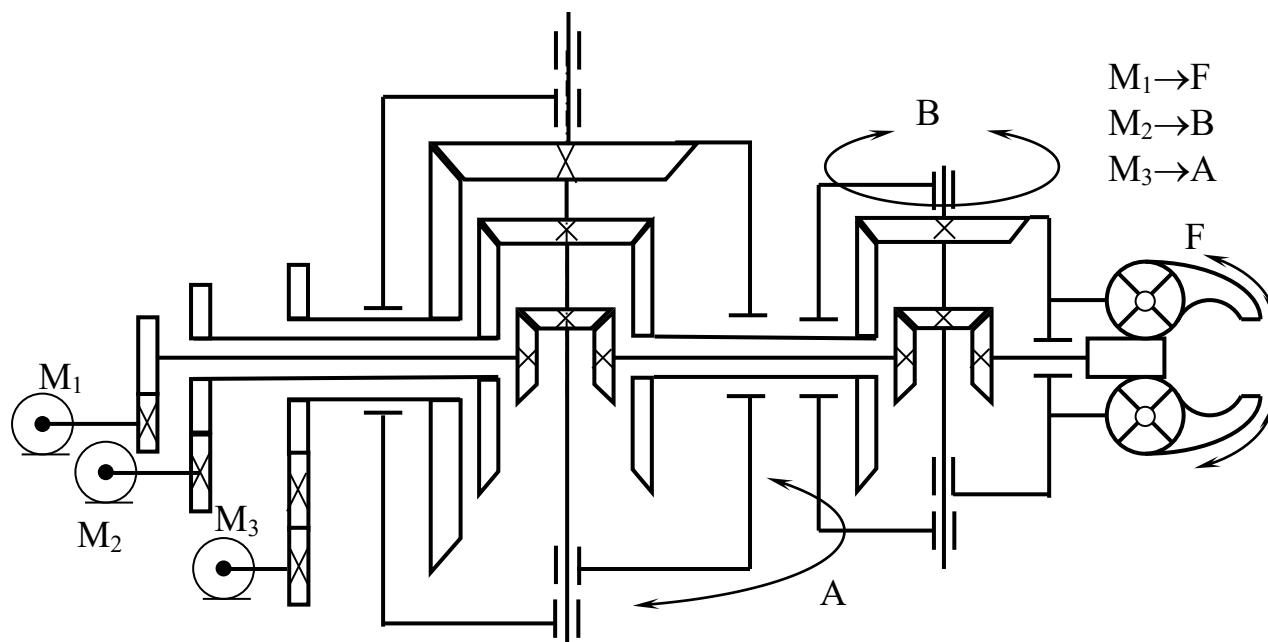


Рис.10.20

Наприклад, ПР 4-ї групи (рис. 10.21).

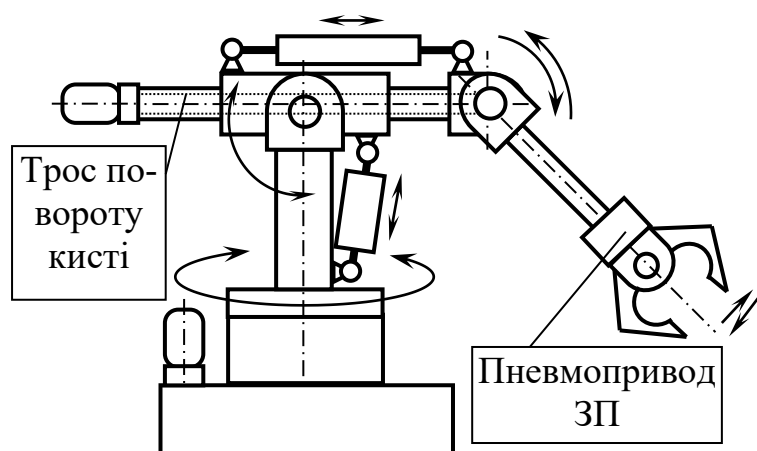


Рис.10.21

Слід зазначити, що в сучасних конструкціях ПР використовують головним чином вбудований електропривод – високомоментні електродвигуни обертального руху і високочастотні лінійні електродвигуни.

При роботизації існуючих виробництв в основному орієнтуються на вже відпрацьовані конструкції ПР типу автоматичних маніпуляторів і ПР другого покоління. На базі

цих ПР можливо здійснювати автоматизацію практично всіх ручних операцій сучасного виробництва.

При створенні нових виробництв типу ГАВ орієнтуються на використання ПР II і III поколінь.

Виділення в роботизації двох задач – створення власне роботів і створення роботизованих виробництв, є умовним, тому що ці задачі нерозривно зв'язані.

Очевидно, що чим досконаліше й універсальніше ПР, тим він складніше і дорожче. Але, з іншого боку, тим простіше його впровадження і ширше область застосування.

З метою ознайомлення з проектуванням РТК розглянемо спрощений алгоритм його ескізного компоновання:

1) Визначаються кінцеві опорні точки позиціонування в комплексі:

$a_1$  – вихідне положення заготовки (Д);

$a_2$  – позиція завантаження Д в робочу зону верстата;

$a_3$  – позиція завантаження Д на конвеєр у тару, на наступний верстат і т.ін.;

$a_4, \dots$  – інші точки руху ЗП ПР.

2) З'єднанням крапок будують перетин зони дії ПР і визначають його положення в просторі робочої зони комплексу.

3) Визначають геометричну форму обсягу (куля, циліндр, паралелепіпед, і т.ін.), в котру фігура  $a_1 - a_2, a_3 \dots - a_k$  буде вписуватися і буде максимальним перетином, тобто визначають міні достатню (для даного РТК) робочу зону ПР.

4) Визначають систему координат ПР, при якій обрана об'ємна фігура вписується в РЗ ПР найбільше повно.

5) Знаходять нульову точку "О" для стаціонарного ПР чи положення установки несучої системи для рухливих ПР, рівновіддалена від крайніх точок  $a_1, a_2, a_3 \dots - a_k$ . На цьому ж етапі визначають тип установки ПР – підлоговий, підвісний, вбудований у верстат і т.ін.

6) З урахуванням маси Д визначають тип приводу ПР (електромеханічний, гідравлічний чи пневматичний), а також тип ЗП. Уточнюють вибір системи координат ПР.

7) Визначають склад і порядок маніпуляцій ПР шляхом графічного чи математичного моделювання (рис.10.22).

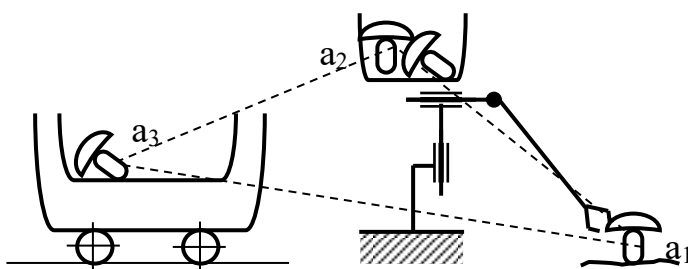


Рис.10.22

8) Визначають склад агрегатів і модулів.

9) Визначають межі рухів кінематичних пар маніпулятора ПР (ходи, кути повороту).

10) Складають розрахункову схему навантажень на ланки ПР у їхніх граничних положеннях.

11) Роблять розрахунок і коректування технічних рішень.

## Питання для самоперевірки до сімнадцятої лекції

1. Які системи координат і типи РЗ ПР вам відомі?
2. Які схеми компоновання і способи установки ПР вам відомі?
3. Як записати компоновочну формулу ПР? (Приведіть приклад).
4. Як визначити число ступенів рухливості ПР і склад виконавчих рухів?
5. Приведіть різні приклади СКС ПР.
6. Як визначають точність позиціонування і відтворення траєкторії ПР?
7. Які типи захватних пристроїв вам відомі?
8. Які приводи застосовують у ПР?
9. Як розташовують привід ПР?

## Лекція 18

Мета лекції вивчення систем керування МВ та АМП при побудові МВ з ЧПК. Внаслідок вивчання студент повинен вміти побудувати СКС для будь-якого верстата з ЧПК.

## 11. МЕТАЛОРІЗАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ НА БАЗІ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

### 11.1. Типи програмного керування МВ

Термін “програма” (від грецького програма – оголошення розпорядження) – широко упроваджений у техніку спосіб досягнення мети з однозначним описом процедури його одержання.

Програма роботи машини – сукупність розпоряджень послідовності і характеру її дій у визначеному технологічному процесі.

Програмне керування (ПК) МВ – автоматичне регулювання параметрів виконавчих рухів робочих органів і допоміжних систем МВ у послідовності відповідній технологічному процесу виготовлення деталі по заздалегідь складеній програмі.

До МВ із ПК відносять верстати III і вище рівня автоматизації, хоча елементи ПК можуть бути й у МВ з ручним керуванням (РК). Загальна схема технологічної системи може розглядатися, як це представлено на рис.11.1,а, тоді МВ із РК можна представити як на рис.11.1,б, а МВ із ПК як на рис.11.1,в, де М – речовина, Е – енергія, І – інформація, Х – вхід, Y – результат.

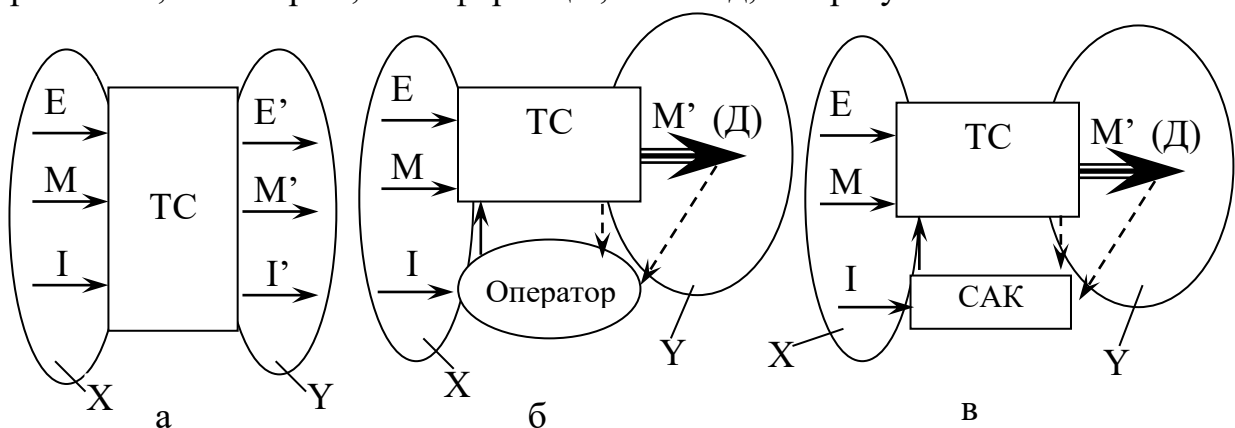


Рис.11.1  
124

Системи автоматичного керування (САК) можуть бути двох видів: *розімкнуті і замкнуті*.

1. *Розімкнуті САК (рис.11.2,а)*. Основними ознаками розімкнутої САК є:

- повна початкова інформація  $I_1$ ;
- відсутність оперативної інформації  $I_2$ , або мінімум  $I_2$ , але без зворотного зв'язку.

7 – Стіл завантаження заготовок.

8 – робочий стіл верстата.

9 – стіл розвантаження деталей.

Групи МВ із САК різного типу:

1. Напівавтомати й автомати з розподільними валами. Програмоносії – кулачки розподільного вала, що зчитують пристрої – важільні і зубчасті механічні системи.

2. МВ із копіювальними СК. Програмоносії – еталонна деталь, чи її масштабний макет, копії, кулачки і т.ін.

Програмоносії для типу 1 и 2 – жорсткі.

3. МВ із цикловим ПК (ЦПК). Програмоносії – переналагоджувані механічні, електромеханічні, електричні чи електронні.

4. МВ із числовим програмним керуванням (ЧПК) без розвинутого зворотного зв'язку. Програмоносії – нетвердий: перфострічки, перфокарти, магнітні стрічки і диски, інтегральні програмувальні схеми, на яких записують програму роботи МВ у виді числових кодів.

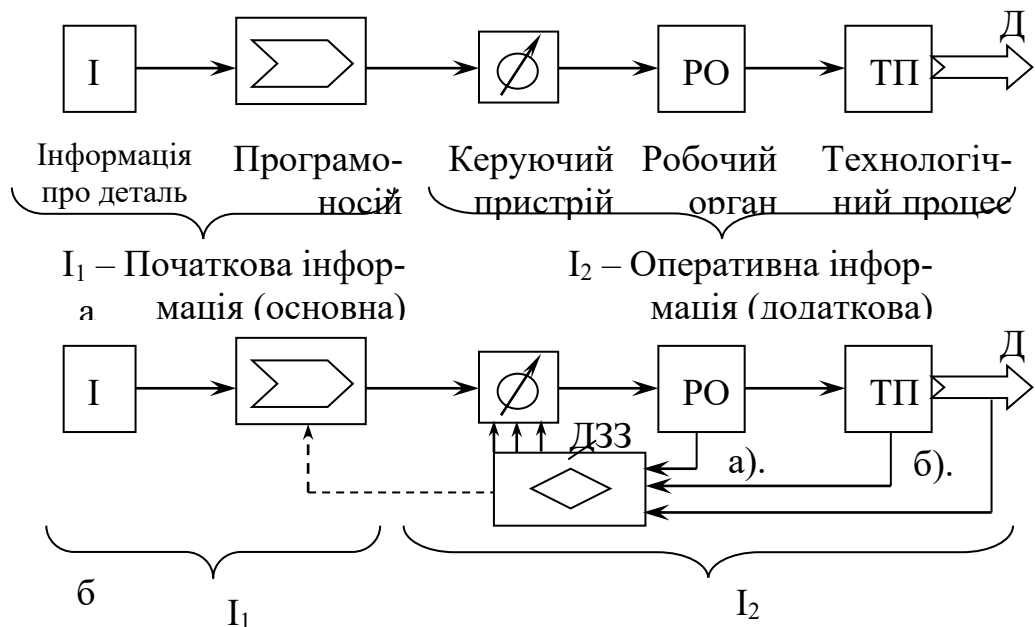


Рис.11.2

2. *Замкнуті САК (рис.11.2,б)* містять датчик зворотного зв'язку (ДЗЗ) і можуть бути замкнуті: а) на основі інформації про положення (позиції) інструмента; б) на основі інформації про параметри технологічного процесу і результ-

тати обробки деталі (адаптивна СК). Основною ознакою замкненої САК є те, що  $I_1$  – неповна, вона доповнюється оперативною  $I_2$ .

До такого типу САК відносяться:

1. ЧПК з розвитим зворотним зв'язком.
2. Адаптивні СК.
3. Саморегульовані і самопрограмувальні СК.

Наприклад, СКС токарно-револьверного напівавтомата була розглянута раніше. У цих верстатах програма роботи верстата записана у формі кулачків розподільного вала, а носієм програми є розподільний вал. Подібну СКС має і верстат з копіювальною системою керування.

Верстати з цикловим програмним керуванням є продовженням розвитку верстатів з розподільними валами, але місце механічного розподільного вала зайняв спочатку електричний командоапарат різних конструкцій, а потім і комутатор команд, що програмують з пульта керування. В останньому випадку верстат із ЦПК впритул наблизився до верстата з ЧПК і відрізнявся від нього тільки відсутністю програми на легкозмінюваному носії.

САК МВ, що одержав назву ЧПК, використовує інформацію, що вводиться за допомогою символного коду у виді комбінації цифр, букв і знаків, що спочатку розташовували на гнучкому програмоносії, а в наступному вводили безпосередньо з керуючої ЕОМ.

## 11.2 Верстати з ЧПК

У сучасному машинобудівному виробництві верстати з ЧПК одержали широке поширення, але найбільш раціонально їх використовувати в тих областях, де вони найбільше виявляють свої достоїнства, а саме:

1. Висока універсальність, можливість обробляти деталі практично будь-якої форми, що дозволяє перейти до проектування машин нового покоління.
2. Можливість агрегування з промисловими роботами, системами автоматичної зміни інструментів (АЗІ), деталей (АЗД), вимірювальними машинами і т.ін.
3. Висока точність обробки деталей за рахунок збереження установчої бази деталі і точного позиціонування інструментів.
4. Можливість перекомпонування МВ відповідно до АМП їхньої побудови.
5. Висока гнучкість переналагодження.
6. Відкрита структура ЧПК, що дозволяє доповнювати можливості керування (перехід до адаптивної, самонавчальної системи).
7. Автономність приводів виконавчих рухів, що різко спрощує кінематичну структуру МВ і його металоємність.
8. Можливість використовувати різні джерела руху (електро, гідро, пневмодвигуни) і їх сполучення.

Основні недоліки МВ з ЧПК:

1. Наукоємність – вимагає висококваліфікованого персоналу, крім верстатника - оператора, потрібний системний програміст, фахівець із пневмо- і гідроавтоматики, електронного устаткування і т.ін.

2. Часто верстат займає багато місця, крім самого МВ, ще ПР, АЗІ, АЗД і комунікації між ними.

3. Високі вимоги до параметрів навколишнього середовища (термоконстантні цехи), низька безвідмовність роботи через електронне устаткування.

4. Висока вартість (багато дорогих агрегатів).

Спрощена схема МВ із ЧПК представлена на рис.11.3.

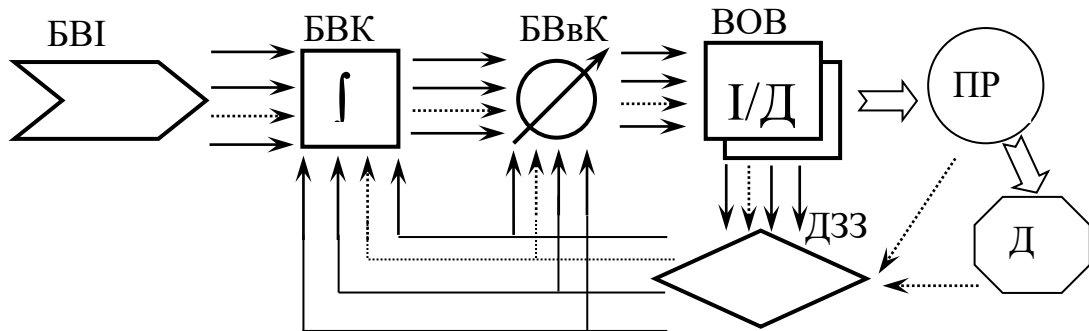


Рис.11.3

БВІ – блок введення – виводу інформації зчитує програму з програмоносія і зберігає в пам'яті;

- БВК – блок відпрацювання команд – перетворює числові коди програми в визначену кількість імпульсів і порівнює програму з фактично відпрацьованими командами. Дозволена здатність БВК для лінійних переміщень 1 мкм, для кругових - 5';

- БВВК – блок введення команд – перетворює імпульси у керуючі впливи – команди і розподіляє їх по керованим виконавчим органам;

- ВОВ – виконавчі органи верстата – приводи і робочі органи вузлів деталей, інструмента, системи АСІ й інших механізмів і пристроїв;

- ДЗЗ - датчик зворотного зв'язку – лінійні і кругові – фіксація дійсного відпрацювання команд і передача сигналів про це в БВК і БВВК

З розвитком електроніки БВК і БВВК об'єдналися в один блок відпрацювання команд керування - «інтегратор».

Розглянемо конкретний приклад побудови СКС для обробки внутрішнього конуса на верстаті з ЧПК (рис.11.4). Вона реалізує структуру стосовну класу К23, здійснюваному набором елементарних рухів  $\Phi_V(C)$ ,  $\Phi_S(Z,X)$ .

Настройку головного руху  $\Phi_V(C)$  виробляють з двох параметрів  $w$  та  $v$  звичайним способом.

Настройка складного руху подачі  $\Phi_S(Z,X)$  виробляють з п'ятьох параметрів:  $a$ ,  $l$ ,  $q$ ,  $v$ ,  $w$ . Усі вони вводяться в програму з розрахунку забезпечення траєкторії руху інструмента. РКБqs:

$$l_z \rightarrow l_x = l_z \times \operatorname{tg} \alpha$$

$$l_x = n_{\text{мх}} \times C_x \times t_{\text{х.г.}} = l_z \times \operatorname{tg} \alpha$$



$$n_{Mx} = \frac{l_z \times \operatorname{tg} \alpha}{C_x}$$

В результаті задається частота спрацьовувань крокового двигуна  $M_x$ , що забезпечує траєкторію руху  $q$ .

*Особливості СКС верстатів із ЧПК:*

1. Як правило, кожній структурі виконавчих рухів (і кожному обслуговуючому руху систем АЗІ, АЗД, і ін.) надають відповідний автономний привід. Виключення складають деякі верстати з припустимою відносною погрішністю настроювання (наприклад, зубообробні).

2. Автономний привід має регульовані по швидкості ( $v$ ), напрямку ( $w$ ) і часу роботи ( $t$ ) двигуни (тобто по  $w$  і  $l = v \times t$ ). Тому органи настройки регульованих параметрів розташовують не слідом за двигунами, а перед ними.

3. Програмне керування здійснюється по 5-и регульованих параметрах:  $a$ ,  $l$ ,  $q$ ,  $v$ ,  $w$ , причому основний регульований параметр - вихідна швидкість двигуна, а параметри позиціонування  $a$  та  $l$  відпрацьовують по сигналах ДЗЗ за допомогою складного алгоритму, що враховує час проходження сигналу по каналу, гальмування і розгін двигуна.

4. Параметр  $q$  для складного виконавчого руху забезпечують співвідношенням швидкостей елементарних рухів, що входять у складне, тобто співвідношенням вихідних швидкостей рухів автономних приводів.

5. ДЗЗ може бути встановлений для контролю швидкості (відразу після двигуна, див. рис.11.4) чи на самому виконавчому органі для контролю його фактичного положення.

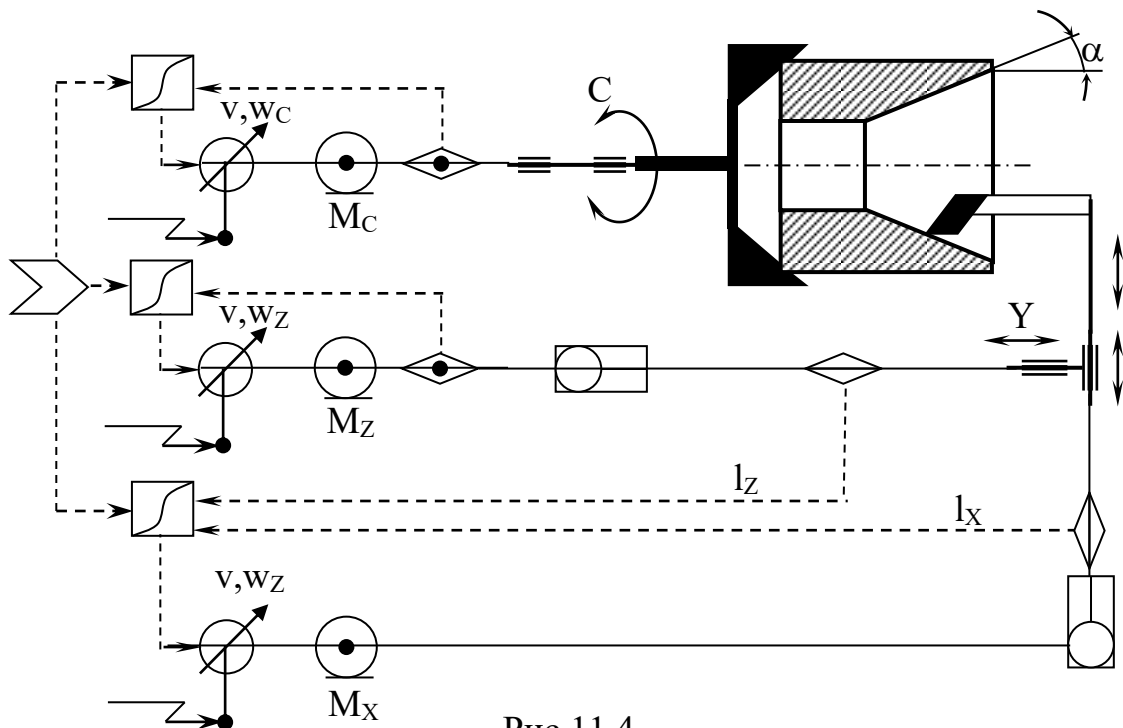


Рис.11.4

6. СКС верстатів із ЧПК дозволяють визначити:

1. Мінімально необхідні зв'язки керування, що дозволяє уникнути «надмірності» у системі керування.

2. Умови настроювання, що визначають принципи програмування.
3. Склад конструктивних модулів, що важливо для АМП створення верстатів із ЧПК.

Наприклад, по СКС, представленій на рис.11.4, можна укласти:

1. У приводі по координаті X немає необхідності установки ДЗЗ швидкості обертання, тому що ДЗЗ лінійного переміщення поперечного супорта подає інформацію про необхідне переміщення.

2. Необхідно чотири конструктивних модулі верстата (рис.11.5): шпиндельна бабка (1), подовжній супорт (2), поперечний супорт (3) і несуча система (4). Компоновочна формула C0ZX.

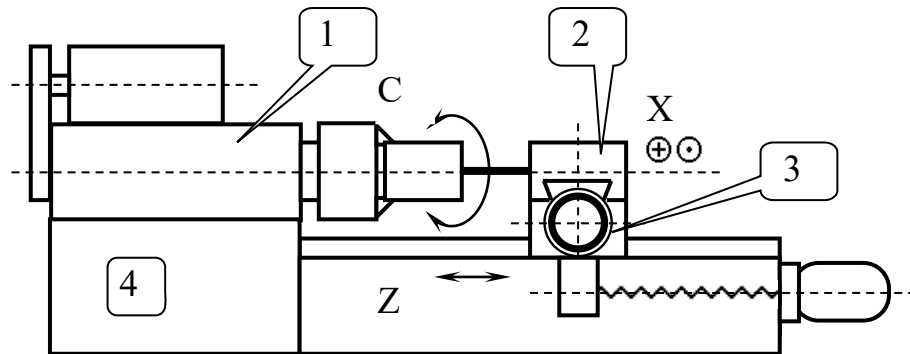


Рис.11.5

### 11.3 Агрегатно-модульний принцип побудови верстатів із ЧПК

Відповідно АМП побудови верстатів із ЧПК, визначення «агрегат» і «модуль» приведені раніше, прийнятні і для верстатів із ЧПК. Стикування конструктивних модулів між собою забезпечується наявністю спеціальних стикувальних площадок. Якщо розібрати верстат представлений на рис.11.5 на модулі й агрегати одержимо наступний перелік складових частин верстата з виділеними подвійною лінією стикувальними площадками (рис.11.6): 1 – шпиндельна головка; 2 – хрестовий супорт; 3 – основна стійка; 4 – станина; 5 – привод головного руху; 6,7 – привод лінійного переміщення.

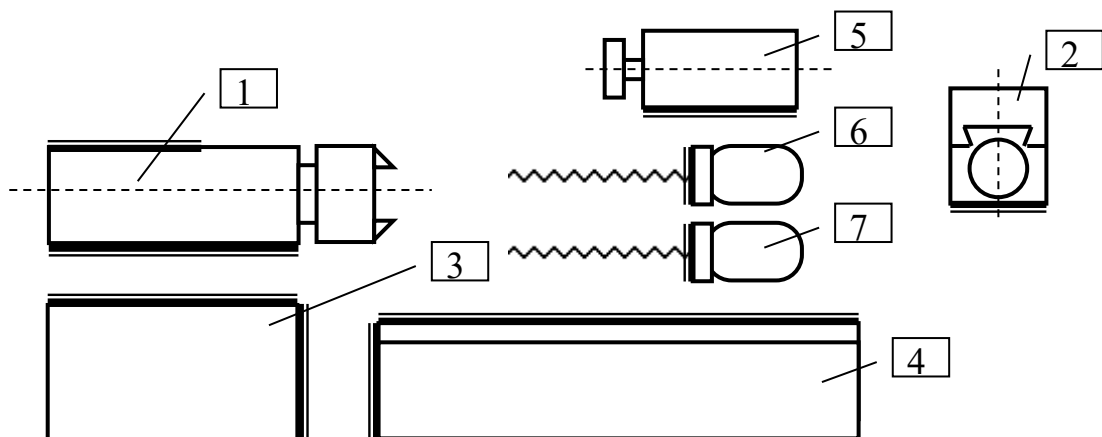


Рис.11.6

Питання для самоперевірки до вісімнадцятої лекції

1. Які типи систем керування вам відомі?
2. Де найбільше доцільно застосовувати верстати з ЧПК?
3. Приведіть спрощену схему верстата з ЧПК.
4. Приведіть приклад побудови СКС для будь-якого верстата з ЧПК.
5. Які особливості побудови СКС верстатів із ЧПК?
6. Як реалізують АМП при побудові МВ з ЧПК?

Лекція 19

Мета лекції вивчення маніпуляційних систем автоматизованих МВ. Внаслідок вивчення студент повинен вміти надати приклад конструкції пристрою АЗІ та компоновочної схеми АЗД.

## 12. МАНІПУЛЯЦІЙНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНИХ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Система маніпулювання (СМ) верстатного устаткування автоматизованого виробництва – це сукупність пристроїв, що забезпечують проходження потоку матеріалу через зону обробки, а також зміну інструмента, що ріже, пристосовувань, засобів контролю і т.ін. Механізми СМ є обслуговуючими стосовно верстатного устаткування, працюють з ним в єдиному циклі і визначають рівень автоматизації верстатного комплексу. Узагальнена компоновочна схема СМ представлена на рис.12.1, де

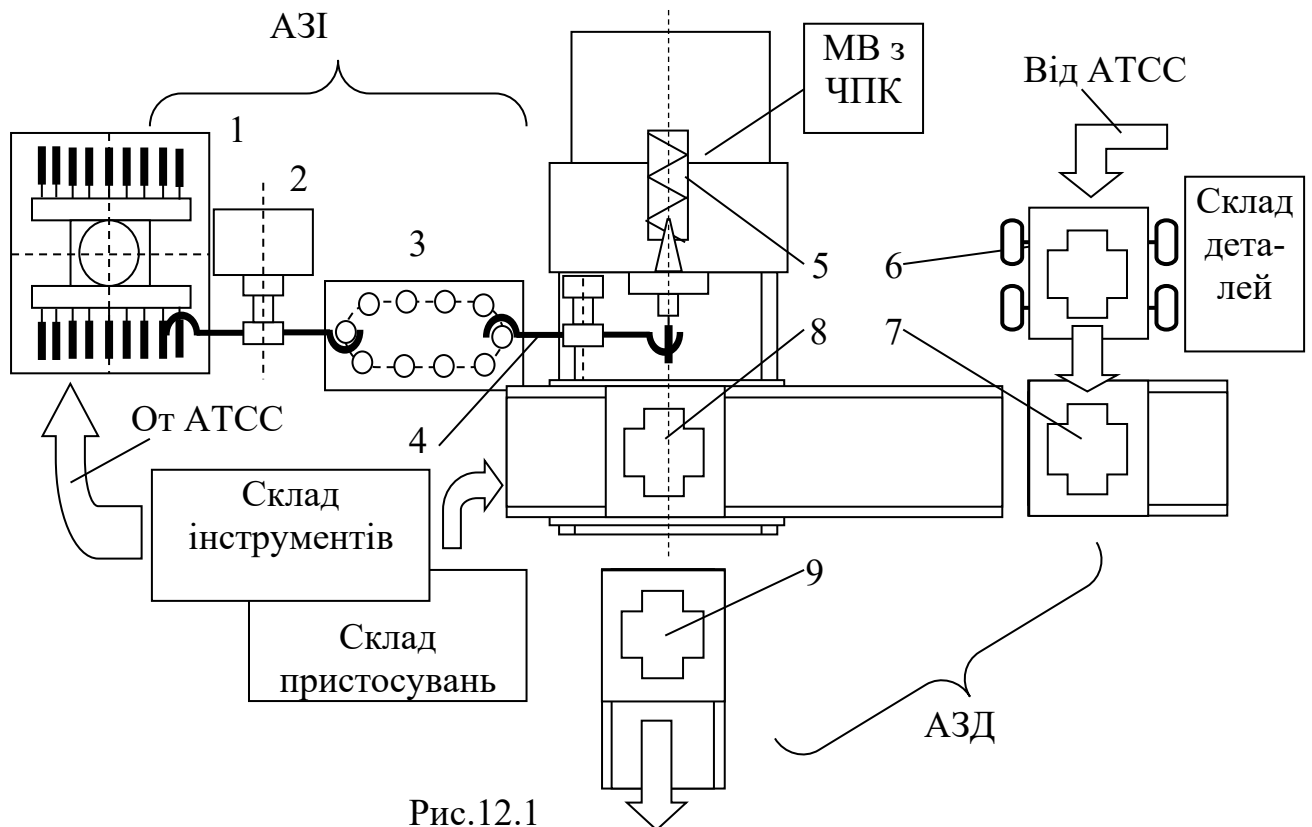


Рис.12.1

- 1 – Магазин інструментів (МІ) додатковий із двома змінними наборами змінних інструментів.
- 2 – Перевантажувач інструментів.
- 3 – МІ основний.
- 4 – Автооператор зміни інструментів.
- 5 – Механізм утримання інструмента в шпинделі.
- 6 – Робочар доставки заготовок від АТСС.

### 12.1. Системи автоматичної зміни інструментів

Оснащення МВ із ЧПК системою автоматичної зміни інструментів (АЗІ) дає економічний ефект за рахунок скорочення допоміжного часу. При використанні АЗІ із середньою частотою зміни інструментів по 20 шт. за годину і при економії на кожній зміні інструмента всього 20 с., річна економія часу роботи верстата при двозмінній роботі складе  $\approx 10\%$  часу роботи верстатного комплексу.

Узагальнений цикл автоматичної зміни інструмента такий (рис.12.2):

1. Поворот МІ (пошук чергового інструмента).
2. Рух автооператора (АО) у напрямку  $-Z$  (на шпиндель), захоплення інструмента з МІ і шпинделя.

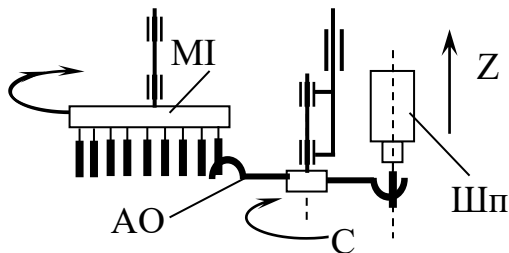


Рис.12.2

3. Рух АО по  $+Z$  (від шпинделя), витягування інструмента з МІ і шпинделя.

4. Поворот МІ на вільну позицію;
5. Поворот АО на  $180^\circ$  (по С).

6. Рух АО у напрямку  $-Z$ , установка інструментів.

7. Затиск інструмента в МІ й у шпинделі.

8. Відвід АО на вихідну позицію.

Конструкції систем АСІ розрізняються як по виконанню, так і по складу. Вони можуть бути виконані з автооператором і без нього.

Пристрої АЗІ без ОА містять поворотні різцетримачі і револьверні головки. Наприклад (рис.12.3,а) конструкція АЗІ для вертикально-фрезерного верс

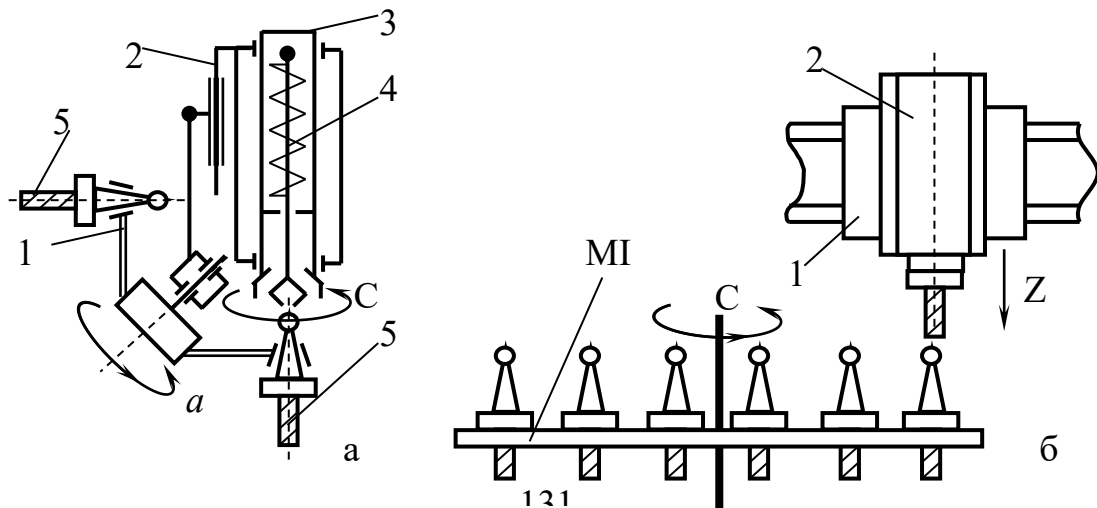


Рис.12.3

тата з ЧПК «Корона», де 1 – поворотна револьверна головка; 2 – шпindelна піноль; 3 – шпindel верстата; 4 – механізм затиску інструмента в шпindelі; 5 – різальний інструмент. Зміна інструмента виробляється рухом шпindelної пінолі по осі Z після повороту револьверної головки по *a*. На рис.11.3,б шпindelна головка 1 виходить на позицію зміни інструмента по осі Y. Магазин інструментів повертається у вихідну позицію. Повзун 2 рухається по осі Z і захоплює інструмент.

На токарних верстатах з ЧПК широко використовують багаторізцеві револьверні головки (рис.12.4,б) чи поворотні різцетримачі (рис.12.4,а). Осі повороту можуть бути горизонтальними, похилими чи вертикальними. Число позицій інструментів – 4, 6, 8, 12. На токарних верстатах із ЧПК застосовуються також агрегатні револьверні головки, на яких установлюються різцеві блоки.

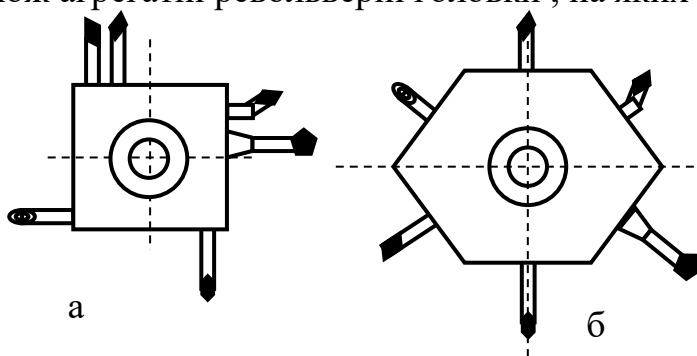


Рис.12.4

**Магазини інструментів** бувають трьох основних типів.

А) – дискові (рис.12.5) МІ бувають з похилою віссю (рис.12.5,а), з горизонтальною (рис.12.5,б) і вертикальною віссю. Ємність магазину такого типу – до 40 інструментів (частіше 24 – 32).

Б) – ланцюгові МІ (рис.12.6). Ведуча зірочка 1 може бути з горизонтальною чи вертикальною віс-

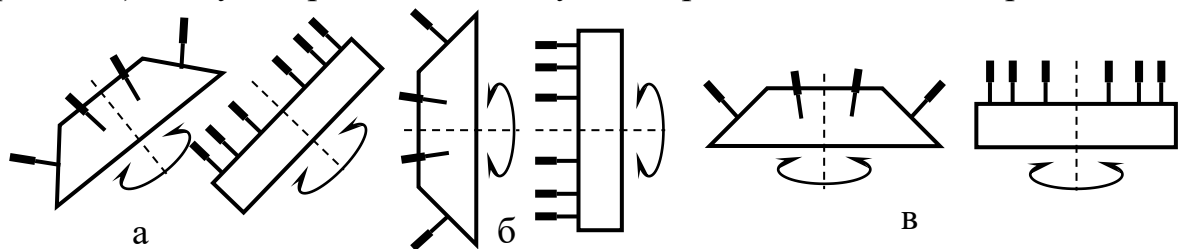


Рис.12.5

сю. Ланки ланцюга можуть мати перекидне виконання (рис.12.6,в). Таке рішення дозволяє повернути інструмент у положення, коли вісь інструмента паралельна осі шпindelя верстата, що спрощує автоматичну зміну інструмента.

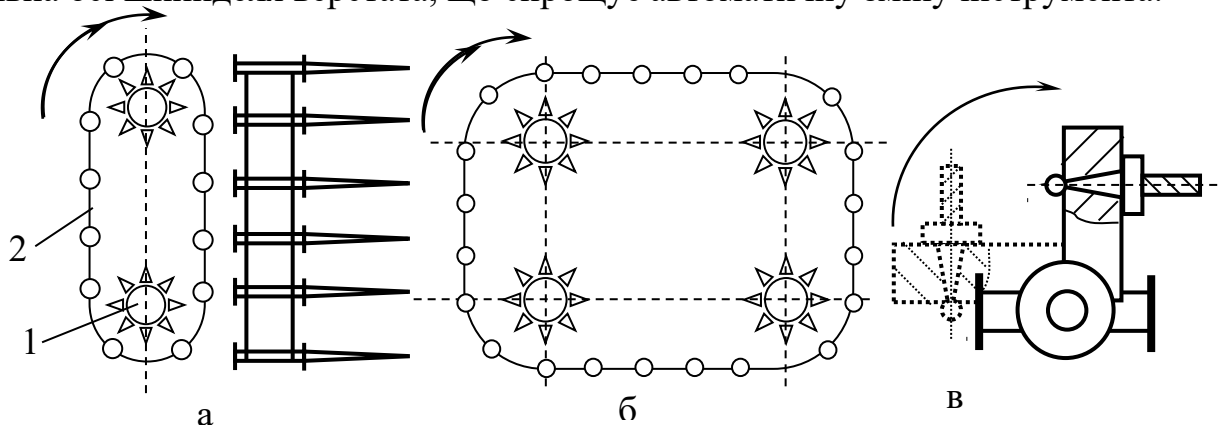


Рис.12.6

В) – барабанні МІ (етажерки) містять до 90 і більш інструментів, вісь повороту тільки вертикальна. Форма поперечного перерізу циліндрична чи багатокутна (рис.12.7,а).

Крім основних, існують комбіновані типи МІ. Барабанні багато дискові МІ дозволяють завантажити 40 – 60 інструментів (рис.12.7,б). Планетарні МІ (рис.12.7,в) містять 100 і більш інструментів.

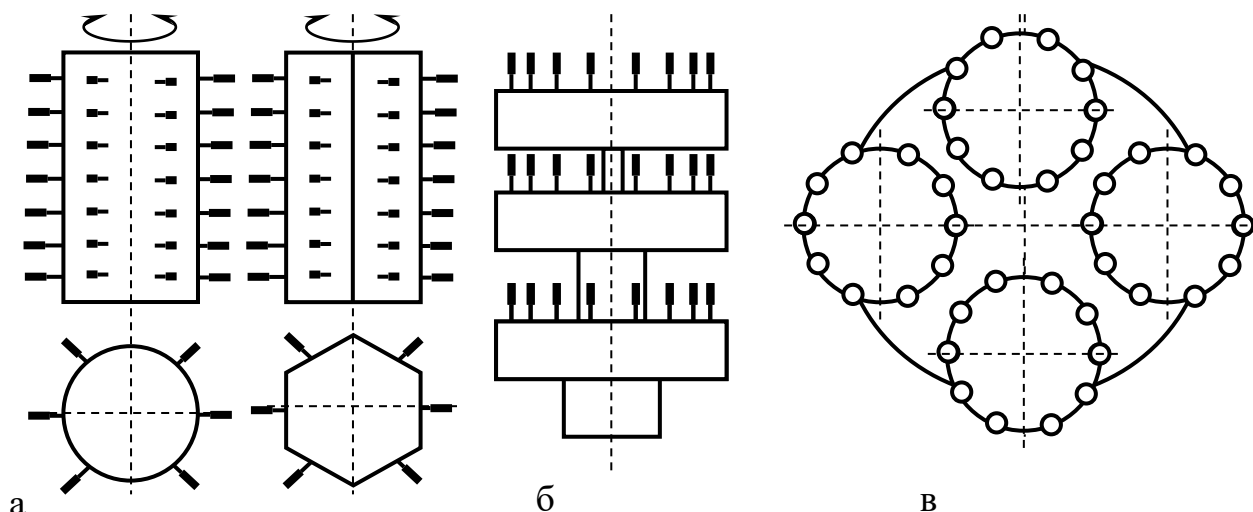


Рис.12.7

Порівняльна характеристика різних типів МІ представлена в таблиці 12.1.

Таблиця 12.1

Тип МІ	Переваги	Недоліки
Дисковий	Простота конструкції, можливість компоювання АЗІ без АО	Мала ємність, велика маса, інерційність
Ланцюговий	Велика ємність, можливість її нарощування	Складність конструкції і установки АЗІ на МВ
Барабанний	Велика ємність, можливість агрегатування	Обмеження по компоювці.

Компоювка інструментальних магазинів у верстатному комплексі залежать у першу чергу від компоювки самого МВ із ЧПК. Принципово таких компоювочних схем три:

- одностоякова з горизонтальним шпинделем;
- одностоякова з вертикальним шпинделем;
- портална.

Основних компоювочних схем МІ чотири:

- с розміщенням МІ на рухливій частині шпиндельної бабки;
- нерухоме розміщення МІ зверху стояка;
- нерухоме розміщення МІ на бічній стороні стояка;
- автономне розміщення МІ поруч з верстатом.

Комбінація цих компонок дозволяє реалізувати 12 схем установки МІ на МВ. Але практичне застосування знайшли тільки 10. Установка МІ зверху порталу і стояка з вертикальним шпинделем незручна.

Захватні пристрої автооператорів аналогічні ЗП промислових роботів. Найбільш розповсюджене захоплення інструментів за спеціальне кільце на оправленні інструмента (рис.12.8).



Рис.12.8

Для автоматичного пошуку інструмента в МІ використовують різні способи кодування інструмента (його оправлення) чи гнізда МІ.

Найпростіший спосіб кодування – закріплення конкретного номера гнізда за конкретним інструментом. Але це приводить до великих втрат робочого часу при заміні інструмента, тому що не дозволяє вставити відпрацьований інструмент у гніздо, що тільки що звільнилося.

Механічне кодування за допомогою кілець різного діаметра ускладнює оправлення і збільшує масу інструмента, що позначається на металоемності інструмента і погіршує динамічні характеристики верстата.

Кодування за допомогою нанесеного штрихкоду має низьку надійність через застосування оптичних датчиків інформації.

Останнім часом широке поширення одержав спосіб кодування за допомогою вбудованих в оправлення програмувальних мікросхем (чипів), аналогічних чипам телефонних карток.

Застосовувані оправлення для змінних інструментів не є самогальмуючими. Якби вони були такими, то зміна інструмента вимагала би спеціального механізму для «вибивання» інструмента з гнізда шпинделя. Тому в шпиндель вмонтований механізм осьового закріплення інструмента, а для передачі моменту, що крутить, на шпинделі встановлені спеціальні шпонки, які входять у пази на оправленні інструмента.

## 12.2. Системи автоматичної зміни деталей

Системи автоматичної зміни деталей (АЗД) складаються з двох груп:

1. Накопичування деталей (заготовок).
2. Живлення (завантаження) деталей, включаючи транспортні операції й орієнтацію деталей.

Деяку частку верстатного устаткування складають верстати, що обробляють матеріал у вигляді безупинних (точніше, дуже довгих) заготовок, дроту, прутків, стрічок. У цьому випадку механізми накопичування заготовок відсутні, механізми живлення досить прості й одноманітні, в основному двох типів:

А) Без цанг, що подають:

- гравітаційні (подача за рахунок сили ваги) (рис.12.9,а);
- з падаючим вантажем (рис.12.9,б);
- з валковою подачею й електричним двигуном (рис.12.9,в);
- с гідравлічним або пневматичним штовхальником.

Б) З цангою, що подає (рис.12.9,д).

Більш характерною для МВ із ЧПК є обробка одиничних (штучних) заготовок, отриманих шляхом штампування, точного лиття чи попередньої обробки на заводі виготовлювачі.

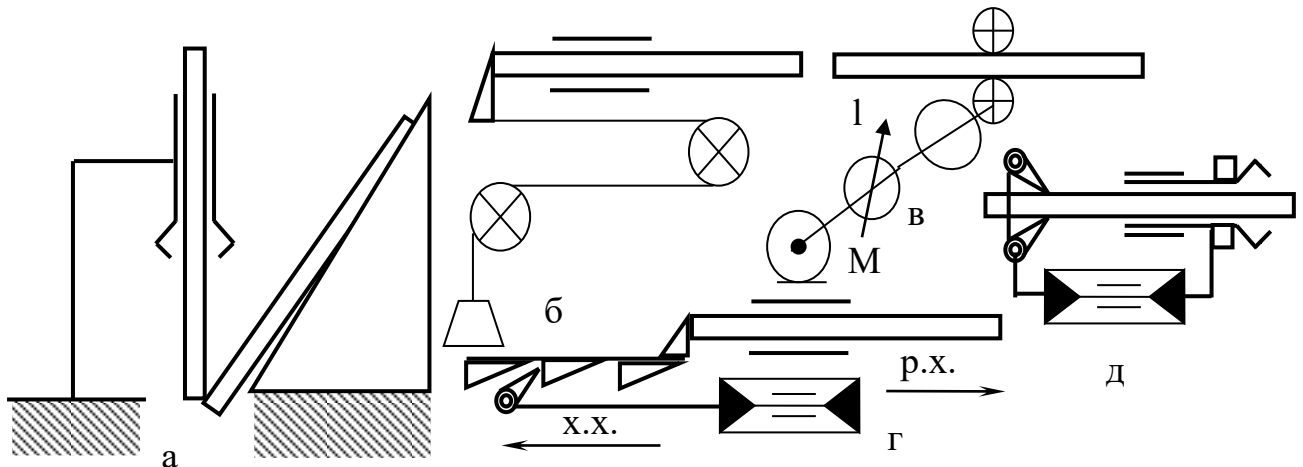


Рис.12.9

Накопичення штучних заготовок здійснюється трьома способами:

1. *Магазинний спосіб* – заготовки розміщуються упорядковано в спеціальні ємності (гнізда), відкіля іншими механізмами передаються в зону різання чи на проміжну позицію. Наприклад, магазин пістолета системи «Наган» являє собою револьверну головку, в якій розташовані патрони, магазин пістолета системи «Парабелум» являє собою обойму. Магазины можуть мати різні форми і назви (головка, обойма, касета, диск, картридж і т.ін.). Недоліки магазинів мають відносно великий обсяг при малій місткості.

2. *Штабельний спосіб* – заготовки розміщені в кілька рядів чи ярусів безпосередньо один на одному без розподільних елементів (на загальному піддоні, у рамі, у каркасі і т.ін.). Це збільшує місткість накопичувача, але деталі втрачають строгу орієнтацію.

3. *Розсипний спосіб* – заготовки містяться в спеціальну ємність (бункер), а потім за допомогою ряду механізмів, що входять у бункерно-завантажувальний пристрій (БЗП), орієнтуються і подаються в зону обробки. БЗП використовують для невеликих деталей, максимальні розміри  $\approx 20...30$  мм.

Вибір типу накопичувача і механізмів автоматичного завантаження деталей визначається не тільки розміром, але й формою деталі – необхідним числом ступенів орієнтації деталі, тобто таким способом розміщення деталі в просторі, що потрібен для її розміщення в робочій зоні верстата (табл.12.1). У загальному виді орієнтація деталі - це її поворот навколо координатних осей.


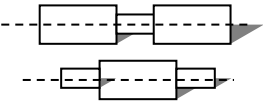
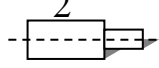
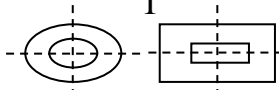


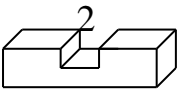
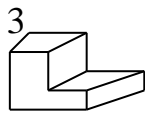
Зв'язок між накопичувачем і верстатом із ЧПК здійснюється маніпуляторами АЗД. Вони включені до складу ГВМ.

*Автоматичні завантажувальні пристрої (АЗП) для тіл обертання* на базі поворотних чи підйомних маніпуляторів представлені на рис.12.10. У поворотно-витяжному завантажувальному пристрої (ЗВП) заготовки переміщуються по гіпоциклоїді, що дозволяє обходити перешкоди в зоні завантаження (рис.12.10,а). Заготовки знімаються з транспортера накопичувача подачі заготовок, переміщуються в робочу зону, а потім вивантажуються з неї на транспор-



тер розвантаження деталей. У ЗВП роторного типу з дискретним обертанням руки заготовки надходять у захватний пристрій із завантажувального лотка. Поворотом на  $90^{\circ}$  заготовка переміщається в робочу зону. Після обробки на МВ заготовка переміщається в прийомний лоток (рис.12.10,б). В обох прикладах маніпулятори можуть мати осьові рухи для подачі заготовки в патрон МВ.

Таблиця 12.1

Клас деталі	Вид	Число ступенів орієнтації	Тип накопичувача
Тіла обертання	Шаровий	0 	Розсипом (БЗП з лотком-накопичувачем)
	Циліндричний симетричний	1 	Розсипом (БЗП з одним орієнтуючим пристроєм)
	Циліндричний несиметричний	2 	Розсипом (магазин, касета і т.ін.)
Плоскі тіла	Симетричні	1 	Розсипом
	Несиметричні	2 	Розсипом (магазин, касета і т.ін.)
Об'ємні тіла	Симетричні відносно двох осей	1 	Штабелем
	Симетричні відносно одної осі	2 	Штабелем
	Несиметричні	3 	В магазині

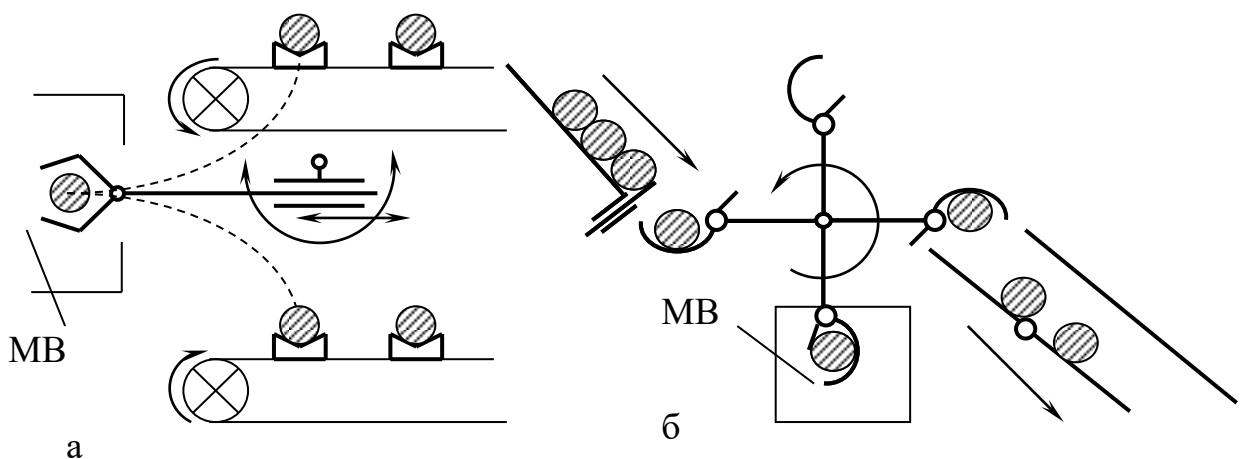


Рис.12.10

Для важких заготовок (вага  $\leq 500$  кг; довжина  $\leq 3000$  мм) використовують важільні коливальні завантажувальні пристрої (підлогового чи підвісного типу) (рис.12.11,а). Конструктивно і компоновкою ці ЗвП наближаються до ПР найпростішого типу. Захоплення можуть бути оснащені виштовхувачем заготовки з ЗвП в патрон МВ (рис.12.11,б).

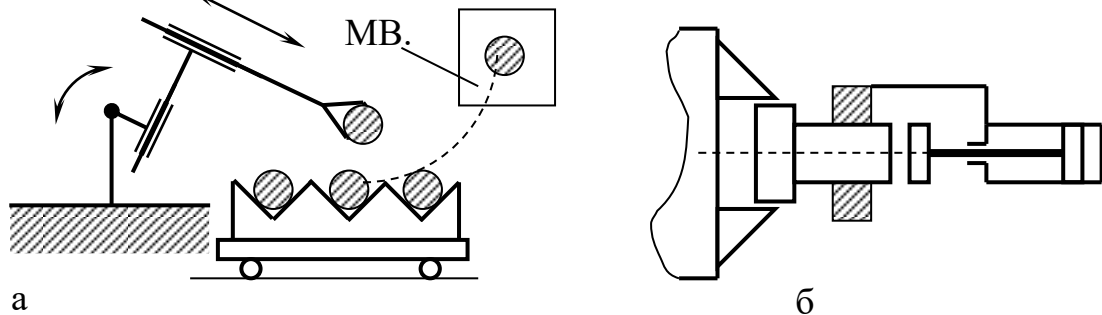


Рис.12.11

Існує безліч типів і конструкцій АЗП деталей на МВ з ЧПК, що залежать від типу деталей, МВ, виробничих умов і т.ін.

*Автоматичні завантажувальні пристрої для призматичних тіл можуть працювати 2 способами.*

1. За допомогою багатопозиційного робочого столу верстата з обертальним чи поступальним рухом.
2. За допомогою автономних завантажувальних пристроїв, що установлені поруч з верстатом.

При першому способі на столі МВ установлюють кілька пристосувань-супутників так, що під час обробки деталі на робочій позиції на інших пристосуваннях можливе зняття обробленої деталі чи установка заготовки. Зміна робочої позиції виробляється поступальним чи обертальним рухом столу. Такий спосіб конструктивно простий, але вимагає значної довжини чи діаметра столу для забезпечення значних переміщень від робочої зони до положення завантаження.

У випадку застосування МВ із ЧПК застосовують різні схеми автоматичної зміни столів-супутників з автономним одне-, двох- чи багатомісними завантажувальними пристроями. На змінних столах-супутниках заготовки попередньо встановлюють в строго орієнтовану позицію і закріплюють, переносять в робочу позицію, після обробки деталі роблять виміри і супутник переміщається на міжверстатні транспортні засоби. Це дає можливість автоматичної зміни деталей будь-якої складної форми і забезпечування сталості базування в процесі обробки.

Приклади автоматичних пристроїв автоматичної зміни деталей.

*Одномісні АЗП:* а) подовжньої (лінійної); б) Г - образної; в) Т - образної; г) П - образної схем (рис.12.12).

Схему а) використовують при тривалому циклі обробки, що дозволяє зробити заміну заготовки і зняття деталі.

Схему б) використовують для розміщення вантажопідійомних пристроїв автоманіпуляторів, але стіл верстата повинний мати поворотний пристрій для сполучення транспортних напрямних столу і ЗВП.

Схема в) дозволяє робити завантаження і розвантаження в одній позиції столу верстата і використовувати загальний привід для ЗВП<sub>1</sub> і ЗУ<sub>2</sub>.

*Двомісцеві АЗП*\_(рис.12.13,а).

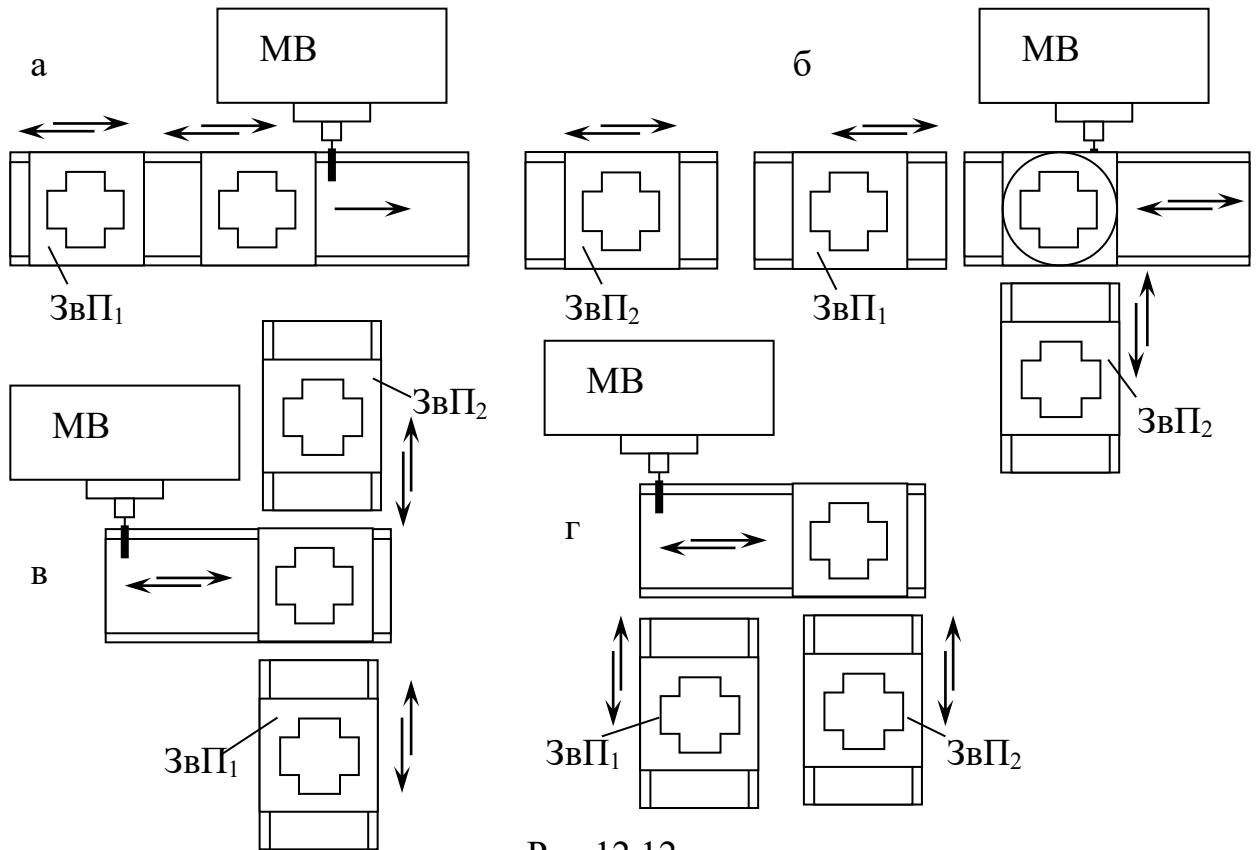


Рис.12.12

*Багатомісцеві АЗП*: а) кареобразні (подовжні і поперечні) (рис.12.13,б); б) кільцеві (карусельні) (рис.12.13,в) схеми.

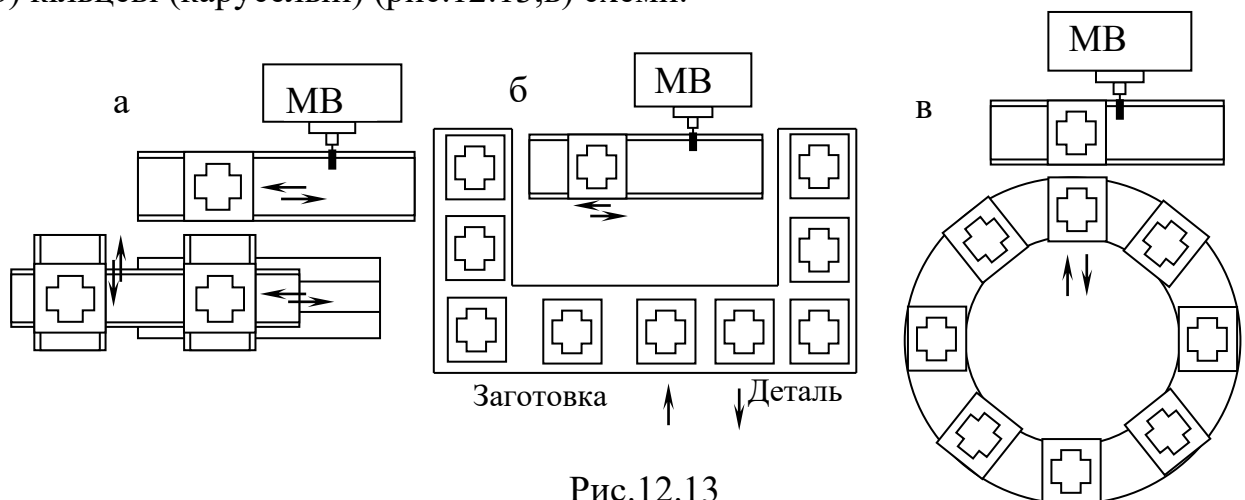


Рис.12.13

Завантаження заготовок та розвантаження деталей зі столів супутників АЗП виконують: а) робочими; б) ПР; в) автоматичними маніпуляторами; г) вручну і за допомогою вантажопідійомних пристроїв.

Транспортний робот чи робокар – самохідний візок 3- чи 4-колісний з автономним електроприводом, переміщається по спеціальній трасі. Найпростіший варіант - візок рухається по рейкам з подачею енергії від підвісного кабелю.

Більш досконалі самохідні візки з фотоелектричною чи електромагнітною СК.

При фотоелектричній СК спостереження за трасою виконують за допомогою світловодів. Світловод – світлоповертаюча смуга на підлозі (спеціальна фарба, світлий метал чи плівка і т.ін.) і лінійці для фотостеження, що установлена на візку.

Найбільше поширення одержала електромагнітна СК. При ній траса задається кабелем покладеним під підлогою. По кабелі пропускають слабкий перемінний струм, що створює електромагнітне поле. Поле фіксується індуктивними датчиками.

За конструкцією несучої платформи робокари бувають 3-х типів:

1. З рухливою платформою (рис.12.14,а). Завантаження і розвантаження виробляються за допомогою ПР чи стаціонарних підйомників-перевантажувачів.

2. З піднімальною платформою (рис.12.14,б). Завантаження і розвантаження виробляються за допомогою спеціальних стоек, між якими заїжджає візок. Піднімальна платформа піднімає заготовку нагору, відкля вона переміщається на стіл-накопичувач.

3. З маніпулятором (рис.12.14,в). ПР на шасі служить не тільки для завантаження заготовок і зняття деталей але й для обслуговування систем АЗП, АЗІ і т.ін.

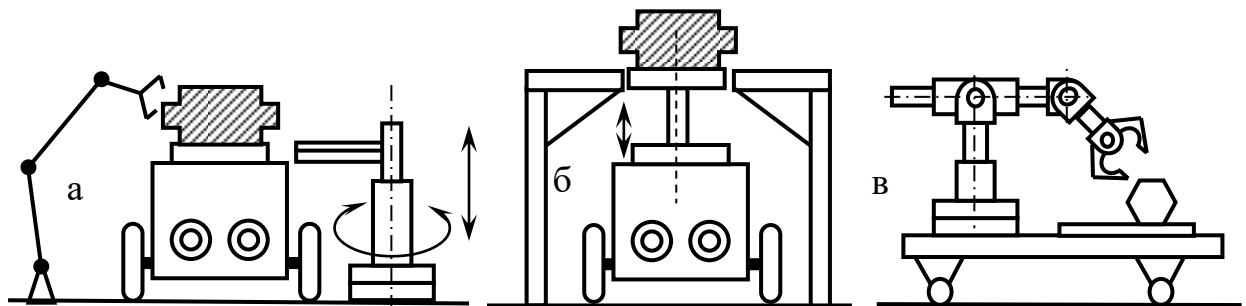


Рис.12.14

*Питання для самоперевірки до дев'ятнадцятої лекції*

1. Приведіть приклад узагальненої компоувальної схеми маніпулювання.
2. Який цикл роботи системи автоматичної зміни інструмента?
3. Приведіть приклад конструкції пристрою АЗІ.
4. Які типи інструментальних магазинів вам відомі?
5. Як виробляють компоування МІ на МВ?
6. Як виробляють кодування інструментів у МІ МВ?
7. Які типи АЗД вам відомі?
8. Які способи нагромадження заготовок вам відомі?
9. Які АЗД вам відомі?
10. Приведіть приклад 2-3 компоувальних схем АЗД.

## Лекція 20

Мета лекції вивчення спеціалізованих і спеціальних автоматичних ліній, їх відмінні риси, структуру та класифікацію. Внаслідок вивчення студент повинен вміти надати приклад типової СКС АРЛ для обробки різанням.

### 13. СПЕЦІАЛІЗОВАНІ І СПЕЦІАЛЬНІ АВТОМАТИЧНІ ЛІНІЇ

Розвитком рівня автоматизації технологічних потокових ліній, що складаються з технологічного верстатного устаткування, агрегатних верстатів, верстатів із ЧПК, спеціальних верстатів, є *автоматичні лінії* (АЛ). Їх використовують в крупносерійному і масовому виробництві (область 12 і 13, рис.9.1).

За аналогією з ГАЛ АЛ – сукупність технологічних машин, що встановлені у послідовності, типового технологічного процесу обробки деталі на загальній чи роздільній несучих системах і працюють від єдиної системи керування.

У відмінності від потокових ліній обробка деталей на АЛ відбувається без втручання оператора, функції якого зводяться лише до спостереження і періодичного контролю, а поза робочим часом – до налагодження і догляду за АЛ.

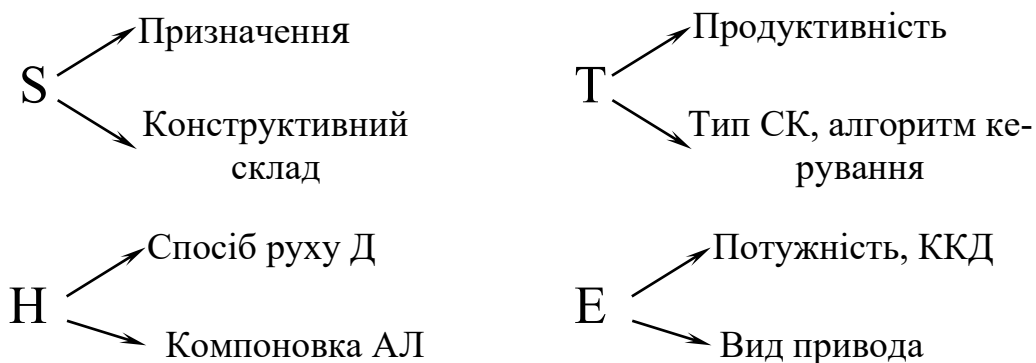
Основними перевагами застосування АЛ є:

- Підвищення продуктивності (3...5 разів у порівнянні з потоковими лініями).
- Вивільнення робочої сили (3...5 разів).
- Стабільна якість виготовлених деталей.

Недоліки АЛ:

- Підвищені вимоги до стабільності розмірів і якості заготовок.
- Повна відсутність гнучкості.
- Неможливість застосування при наявності операцій потребуючих присутності людини.
- Висока кваліфікація обслуговуючого персоналу.
- Високі початкові витрати.

Класифікація АЛ з комплексу характеристик:



За призначенням і рівнем універсальності АЛ поділяються в залежності від типу оброблюваних деталей. Існують спеціальні і спеціалізовані АЛ. АЛ звичайно підрозділяють по типу оброблюваних деталей, наприклад, АЛ для об-

робки корпусних деталей, східчастих валів, дисків і фланців, кілець, зубчастих коліс і т.ін.

Структура АЛ представлена на рис.13.1.

До складу спеціальних АЛ входять операційні верстати для виконання однієї операції, а також технологічне устаткування спеціального призначення для одержання заготовок, термічної обробки, контролю, мийки, змащення, збірки, упакування готової продукції.

Наприклад, АЛ по виробництву підшипників в один технологічний ланцюг поєднує:

- Преса рубання заготовок.
- Установки відпалу заготовки.
- Автомати фосфатування.
- Преса видавлювання.
- Токарні багатопшпіндельні автомати.
- Шліфувальні автомати.
- Вимірювальні автомати селекції і т.ін.



Рис.13.1

За видом руху деталі АЛ можуть бути з дискретним і безупинним рухом деталі. За способом передачі оброблюваних деталей з позиції на позицію (з верстата на верстат) розрізняють АЛ:

1. З наскрізним транспортом і переходом деталей крізь місця з їх обробки (рис.13.2,а).

2. З верхнім транспортом (рис.13.2,б). При цьому звільняється доступ до верстатів, але ускладнюється транспортна система.
3. З бічним (подовжнім) транспортом (рис.13.2,в).
4. З комбінованим транспортом.
5. З роторним транспортом.

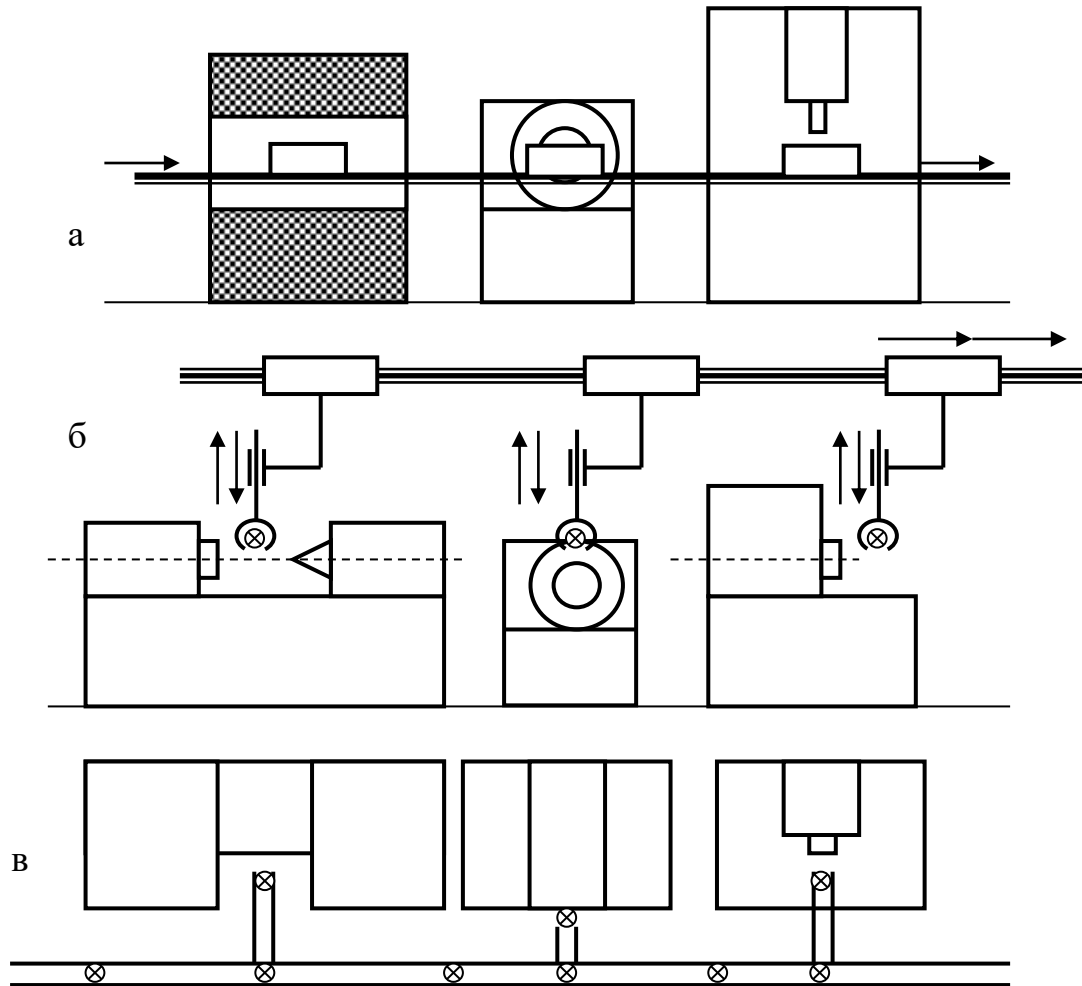


Рис.13.2

За компонованням АЛ підрозділяються на однопотокові послідовної дії і багатопотокові послідовно-паралельної дії.

Розміщення устаткування в АЛ може бути: лінійне; Г – образне; П – образне і т.ін. аналогічно ГАЛ.

Продуктивність визначається так:

$$- \text{розрахункова } \Pi_P = \frac{1}{T_{\text{циклу}}} = \frac{1}{t_P + t_{\text{хх}}}$$

$$- \text{фактична } \Pi_{\Phi} = \Pi_P \times \eta_{\text{Э}},$$

де  $\eta_{\text{Э}}$  – експлуатаційний коефіцієнт, що враховує немінучі простої.  $\eta_{\text{Э}} = 0,65 \dots 0,9$ .

Коефіцієнт безперервності роботи АЛ:

$$\eta = \frac{t_p}{t_p + t_{xx}} = \frac{1}{1 + t_{xx}/t_p},$$

де,  $t_p$  – час робочих операцій;  $t_{xx}$  – час холостих ходів. Звідси видно, що зі зменшенням  $t_p$ , тобто зі збільшенням рівня автоматизації, коефіцієнт безперервності падає. Це значить, що треба прагнути до одночасного і випереджального скорочення  $t_{xx}$ . Тоді  $T_{циклу} = t_p$ . Це можливо при сполученні холостого ходу (транспортних рухів) і рухів робочих органів, що роблять обробку деталей. У цьому випадку рух деталі безупинний, у процесі транспортування деталі відбувається і її обробка. Реалізація цього здійснена в роторних лініях.

### 13.1 Автоматичні роторні лінії

Автоматична роторна лінія (АРЛ) – сукупність роторних автоматів (тобто автоматів обертового типу), являє собою багатоінструментальні технологічні машини, у яких обробка заготовок відбувається в процесі їх безупинного транспортування разом з обробним інструментом по круговим чи еліптичним траєкторіям.

Типовий склад АРЛ (рис.13.3):

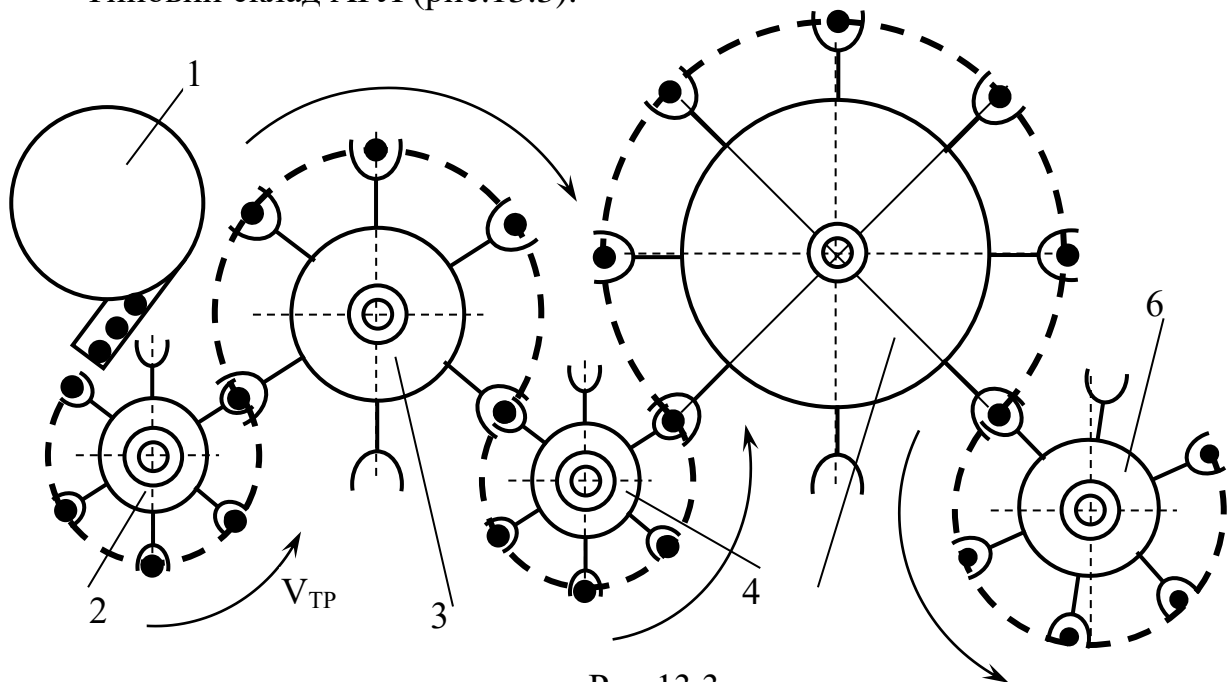


Рис.13.3

1. Бункерно-завантажувальний пристрій.
2. 1-й транспортний ротор.
3. 1-й технологічний (робочий) ротор.
4. 2-й транспортний ротор.
5. 2-й технологічний (робочий) ротор).
6. Транспортно-контрольний ротор.

Тип бункерно-завантажувального пристрою, транспортного ротора і технологічного (робочого) ротора і їхній вид залежать від призначення АРЛ.



АРЛ призначені для масового виробництва простих за конструкцією (бажано тіл обертання) і щодо невеликих деталей ( $l_{\max} < 200$  мм), при малій тривалості операції ( $T_{\text{циклу}} < 10$  с.). Для АРЛ обробки різанням бажано, щоб деталь не вимагала більш трьох рухів формоутворення.

Оскільки технологічні операції розділені по самостійних технологічних роторах, то в єдину АРЛ можна об'єднати технологічні процеси різної фізичної сутності: штампування, різання, термообробку, нанесення покриттів, зварювання, маркірування, упакування і т.ін.

АРЛ широко застосовуються у виробництві деталей із пластмас, розфасовці, розливі рідин по ємностях, гранулюванні, тобто у свого роду понад масовому виробництві, у якому стабільно зберігається форма деталі поза залежністю від матеріалу. Наприклад, виробництво лікарських таблеток.

У такого роду виробництвах найбільш широко виявляється основна перевага АРЛ:

Надвисока продуктивність, обумовлена сполученням транспортного і технологічного процесів, тобто  $V_{\text{х.х.}} = 0$ ;  $V_{\text{р.х.}} = V_{\text{тр.}}$ .

### 13.2 Типова СКС роторної машини для обробки різанням

СКС роторної машини для обробки різанням містить у собі (рис.13.4):

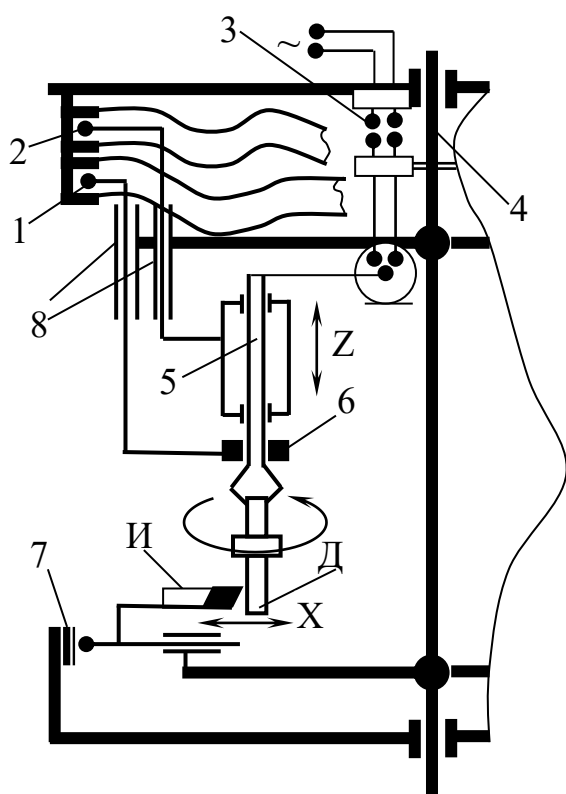


Рис.13.4

1. Копій затиску-розтиску цангового патрона.
2. Копій осьової подачі деталі по осі Z.
3. Колектор підведення електричного струму.
4. Центральний вал робочого ротора.
5. Шпиндель з цанговим патроном.
6. Кільце цангового патрона.
7. Копій подачі супорта по осі X.
8. Напрямні.

У даному прикладі технологічний ротор точення відтворює СКС токарного автомата подовжнього фасонного точення, але з вертикальною віссю шпинделя.

У перших конструкціях роторні машини мали горизонтальний вал, що забезпечувало простоту завантаження деталі, але така конструкція не дозволяла об'єднати роторні машини в роторні лінії і була непридатна для цілого ряду деталей. У результаті практично на 100 % АРЛ мають вертикальне компонування.

Існують роторні машини для операцій свердління, зенкерування, розгортання, фрезерування, хонінгування й ін.

Однак в АРЛ набір типових конструкцій приводів формотворних рухів, пристроїв закріплення деталей і інструментів, систем подачі МОР і видалення стружки і т.ін., досить обмежений у зв'язку з необхідністю вписувати їх в обмежений простір робочих роторів.

Застосування АРЛ для обробки різанням обмежено:

- низькою точністю обробки, тому що на кожному технологічному роторі відбувається зміна технологічної бази деталі;
- малою жорсткістю системи “пристосування – інструмент – деталь” для кожної позиції ротора;
- труднощами збирання стружки і необхідності її повного видалення щоб уникнути засмічення механізмів АРЛ;
- істотними конструктивними обмеженнями через необхідність розміщення всіх механізмів в обсязі обертового циліндра.

*Питання для самоперевірки до двадцятої лекції*

1. Які відмінні риси АЛ?
2. Як класифікують АЛ?
3. Яка структура АЛ?
4. Які основні переваги і недоліки АРЛ?
5. Приведіть типову СКС АРЛ для обробки різанням.
7. Чим обмежене застосування АРЛ для обробки різанням?

## **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:**

### **ОСНОВНА**

1. Левицкий Л.В., Птицын С.В. Структурный анализ и синтез кинематики металлорежущих станков: Учеб. пособие. – К.: УМК ВО, 1989. – 71 с.: ил.
2. Металорізальні верстати. Конспект лекцій / В.А. Бурьян, В.О. Вайсман, В.П.Гугнін, Л.В.Левицький, Г.О.Оборський. – Одеса: АО Бахва, 2002. – 152 с.
3. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Металорізальні верстати: Навчальний посібник / За ред. Сіліна Р.І. - Львів: Видавництво Львівської політехніки», 2009. – 268 с.

### **ДОДАТКОВА**

4. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: Підручник / За ред. Сіліна Р.І. - Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2008. – 448 с. Режим доступу: [http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2016/Bochkov\\_2008\\_448.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2016/Bochkov_2008_448.pdf)
5. Jiri Marek et ol. Design of CNC Machin Tools. MM publishing Czech Republic, 2015. – 727 с.

## ЗМІСТ

СПИСОК ЗАСТОСОВУВАНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	3
<b>1. МЕТАЛОРІЗАЛЬНІ ВЕРСТАТИ ЯК СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ .....</b>	<b>5</b>
1.1. Місце металорізальних верстатів у структурі машинобудівного виробництва .....	5
1.2. Металорізальні верстати як машини технологічного призначення .....	7
1.3. Класифікація металорізальних верстатів .....	10
1.4. Характеристики і техніко-економічні показники металорізальних верстатів .....	13
<b>2. КІНЕМАТИЧНА СТРУКТУРА МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ ...</b>	<b>21</b>
2.1. Кінематика процесу різання на металорізальних верстатах .....	21
2.2. Класифікація рухів у металорізальних верстатах .....	24
2.3. Кінематичні зв'язки в металорізальних верстатах .....	29
<b>3. СТРУКТУРНО-КІНЕМАТИЧНІ СХЕМИ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ .....</b>	<b>34</b>
3.1. Синтез структурно-кінематичних схем .....	34
3.2. Приклади складання структурно-кінематичних схем .....	39
3.3. Органи кінематичного настроювання і механізми металорізальних верстатів .....	41
3.4. Типові елементарні механізми ступінчастого регулювання швидкостей ...	43
<b>4. ВЕРСТАТИ ДЛЯ ОБРОБКИ ТІЛ ОБЕРТАННЯ .....</b>	<b>50</b>
4.1. Верстати токарної групи .....	50
4.2. Токарні автомати і напівавтомати .....	51
4.3. Токарно-револьверні верстати .....	53
4.4. Токарно-гвинторізні верстати .....	54
4.5. Токарні карусельні верстати .....	58
<b>5. ВЕРСТАТИ ДЛЯ ОБРОБКИ ОТВОРІВ .....</b>	<b>61</b>
5.1. Типи верстатів 2-ї групи .....	61
5.2. Вертикально- і радіально-свердлильні верстати .....	61
5.3. Горизонтально-розточувальні верстати .....	64
5.4. Обробно-розточувальні (алмазно-розточувальні) верстати .....	66
5.5. Координатно-розточувальні верстати .....	67
<b>6. ВЕРСТАТИ ДЛЯ АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ .....</b>	<b>69</b>
6.1. Типи верстатів 3-ї групи .....	69
6.2. Круглошліфувальні верстати .....	70
6.3. Внутрішньошліфувальні верстати .....	72
6.4. Різьбошліфувальні верстати .....	73
6.5. Плоскошліфувальні верстати .....	74
6.6. Доводочні верстати .....	75
<b>7. ЗУБО- І РІЗЬБООБРОБНІ ВЕРСТАТИ .....</b>	<b>76</b>
7.1. Різьбообробні верстати .....	77
7.1.1. Різьбонакатні верстати .....	78
7.1.2. Різьбофрезерні верстати .....	79
7.1.3. Нарізування різьби підвищеної точності .....	79

7.2. Зубообробні верстати.....	80
7.2.1. Зубодовбальні верстати .....	83
7.2.2. Зубофрезерні станки .....	84
7.2.3. Зуборізні верстати .....	87
7.2.4. Зубовикінчувальні верстати.....	91
<b>8. ВЕРСТАТ ДЛЯ ОБРОБКИ ПРИЗМАТИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ.....</b>	<b>94</b>
8.1. Фрезерні верстати.....	94
8.2. Стругальні, довбальні і протяжливі верстати .....	96
<b>9. ВЕРСТАТНЕ УСТАТКУВАННЯ ГНУЧКИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЦТВ .....</b>	<b>100</b>
<b>10. ПРОМИСЛОВІ РОБОТИ .....</b>	<b>107</b>
<b>11. МЕТАЛОРІЗАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ НА БАЗІ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ .....</b>	<b>124</b>
11.1. Типи програмного керування МВ .....	124
11.2 Верстати з ЧПК.....	126
11.3 Агрегатно-модульний принцип побудови верстатів із ЧПК .....	129
<b>12. МАНІПУЛЯЦІЙНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНИХ.....</b>	<b>130</b>
12.1. Системи автоматичної зміни інструментів.....	131
12.2. Системи автоматичної зміни деталей .....	134
<b>13. СПЕЦІАЛІЗОВАНІ І СПЕЦІАЛЬНІ .....</b>	<b>140</b>
13.1 Автоматичні роторні лінії .....	143
13.2 Типова СКС роторної машини для обробки різанням .....	144
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>145</b>