

## Методи вимірювання температури під час різання

Середня температура стружки може бути визначена наступними методами:

*Калориметричний метод.* Стружка збирається в калориметр: знаючи масу води в калориметрі  $Q_B$ , масу стружки  $Q_{стр}$ ; початкову  $Q_{п}$  і кінцеву  $Q_{к}$  температури води, теплоємність стружки  $C_p$ . визначають середню температуру стружки  $Q_{стр}$  за формулою:

$$Q_{стр} = Q_{к} + Q_{в} \times (Q_{к} - Q_{п}) / Q_{стр} \times C_p.$$

Метод кольорів мінливості. Під час нагріву на поверхні стружки утворюються плівки оксидів, які при різних температурах мають різний колір.

Так, при  $Q_{стр} = 200^{\circ}\text{C}$  - світло-жовтий:  $Q = 240^{\circ}\text{C}$  - темно-жовтий:

$Q_{стр} = 300^{\circ}\text{C}$  - темно-синій:  $Q_{стр} = 400^{\circ}\text{C}$  - білий.

Таким чином, по кольору поверхні стружки визначають температуру, при якій вона була зрізана.

*Метод термофарб.* Термофарби мають властивість змінювати під час нагріву свій колір. Цей метод дозволяє отримати ізотерми на поверхнях різця і деталі при температурах від 150 до 700 $^{\circ}\text{C}$ .

Температура зони різання, різця і стружки вимірюється такими методами:

1. термопари (рис. 4.3. в);
2. напівштучної термопари (рис. 4.3, б);
3. двох різців (рис. 4.3, г);
4. біжучої термопари (рис. 4.3, д);
5. штучної термопари (рис. 4.3. а);
6. оптичним;
7. ковзаючої термопари;
8. мікроструктурного аналізу.

Методи 4, 5, 7, 8 дозволяють визначити температуру в окремих точках. Трьохвимірне температурне поле в ріжучому інструменті можна отримувати тільки методом мікроструктурного аналізу.

Методи 1, 3, 6 дозволяють визначити середню температуру в зоні різання.

У лабораторній роботі температура в зоні різання вимірюється за допомогою термопари. Схема експериментальної установки представлена на рис. 4.4.

У якості термоелектродів є різець і деталь, матеріал яких різнорідний за хімічним складом. Спаям термопари є місце контакту різця із стружкою і заготовкою. У процесі різання місце контакту нагрівається і виникає термоелектрорушійна сила, пропорційна температурі. Ця термоелектрорушійна сила вимірюється мілівольтметром.

Для визначення температури за величиною електрорушійної сили термопара тарується. Кінці термоелектродів різця - деталь розміщують разом із тарованою контрольною термопарою в пісочну ванну або ванну зі сурмою, або в муфельну піч. Потім змінюють температуру ванн (або печі) і фіксують показники мілівольтметрів, ввімкнених в ланцюг термопари і контрольної

термопари: для тарованої термопари будують графік.

Для експериментальної установки, яка використовується в лабораторній роботі, застосовують тарований графік.

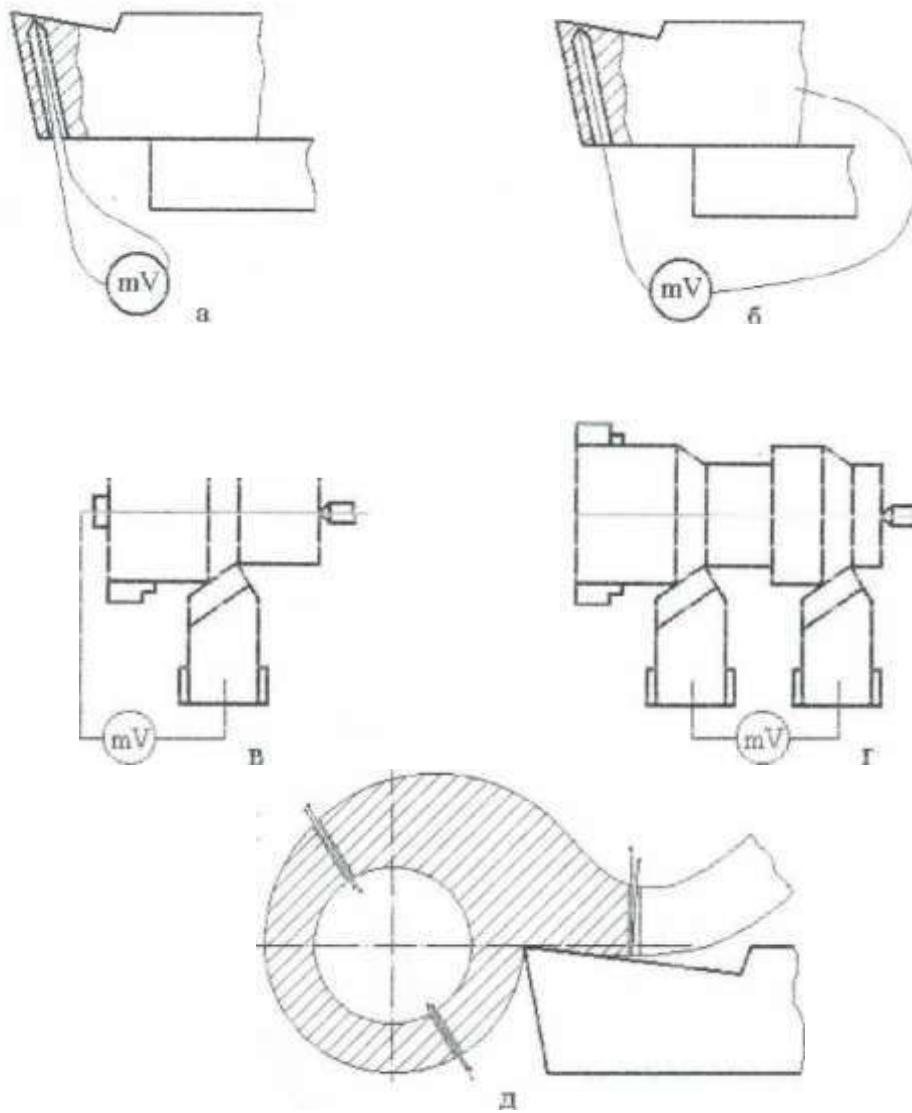


Рис. 4.3. Вимірювання температури різання різними термопарами.

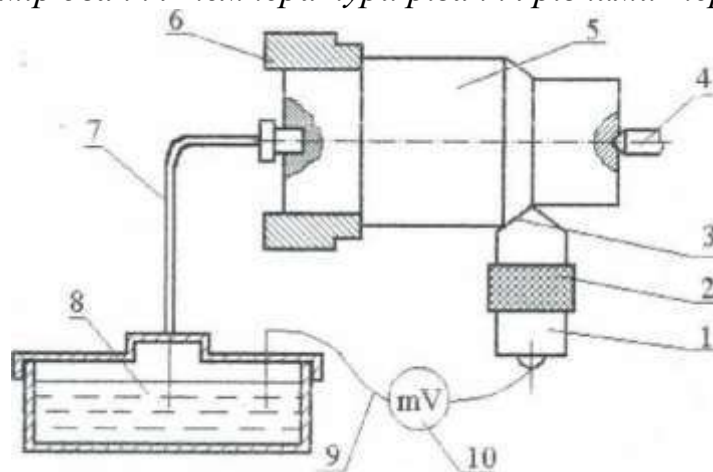


Рис. 4.4. Схема установки для вимірювання температури за методом

*термопар:* 1 - різець, 2 - ізоляція різця. 3 - спай термопар. 4 - центр, 5 - деталь, 6 - кулачки патрона, 7 - гнучкий вал, 8 - ртутний струмомірач, 9 – дріт, 10 - мілівольтметр.

### **Вплив глибини, подачі і швидкості різання на температуру**

У результаті багаточисельних експериментальних дослідів отримана формула, яка визначає залежність температури в зоні різання від глибини, подачі і швидкості різання, °C:

$$Q = C_Q \times t^x \times S^y \times v^z ,$$

де  $Q$  - середня температура в зоні різання, °C:

$C_Q$  - коефіцієнт, який враховує вплив матеріалу заготовки, матеріалу різця і умов різання;

$t$  - глибина різання, мм;

$S$  - подача, мм/об.;

$v$  - швидкість різання, м/хв.:

$x, y, z$  - показники ступенів, які залежать від матеріалу відповідного різця, заготовки і умов різання.

У процесі точіння різцями з P18 використовують формули:

$$\text{для сталей: } Q = 210^0 \times v^{0,44} \times S^{0,28} \times t^{0,11}$$

$$\text{для чавуну: } Q = 120^0 \times v^{0,5} \times S^{0,22} \times t^{0,04}$$

Найбільший вплив на зміну температури має швидкість різання, оскільки з її збільшенням збільшується кількість тепла, яке виділяється в одиницю часу; тепловідвід в тілі різця погіршується, тому що довжина контакту стружки з різцем зменшується в результаті зменшення ширини зони деформації.

Найменший вплив на зміну температури має глибина різання. З її збільшенням тепловідвід в тіло різця і стружку збільшується, оскільки пропорційно глибині збільшується довжина активної частини ріжучої кромки.

Подача має дещо більший вплив, ніж глибина різання, на зміну температури. З її збільшенням довжина контакту стружки з різцем збільшується не пропорційно подачі, а менше. Тепловідведення в різець покращується, але в меншій мірі, ніж при збільшенні глибини, і тому температура різання збільшується в більшій мірі (рис. 4.5).

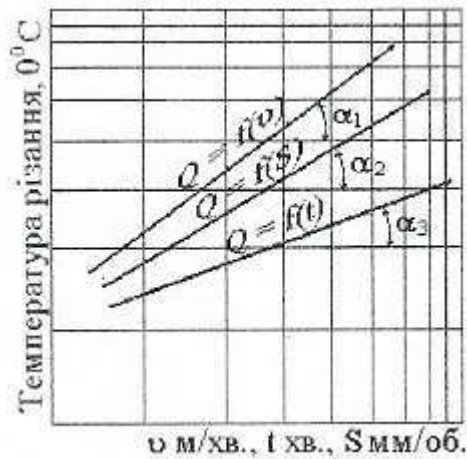


Рис. 4.5. Залежність температури різання від елементів режиму різання.

### Вплив геометричних елементів різця на температуру при різанні

Найбільший вплив на температуру різання має передній кут, головний кут в плані і радіус заокруглення при вершині різця.

Передній кут має складний вплив на температуру різання. Це пояснюється тим, що, з одного боку, при зменшенні переднього кута (збільшенні кута різання) збільшується деформація і робота різання, що призводять до збільшення тепловиділення.

З іншого боку, збільшення кута різання зміщує центр тиску стружки від ріжучої кромки різця, робить головку різця більш громіздкою, що підсилює тепловідвід в тіло різця, знижує температуру на його поверхнях контакту. На рис. 4.6 показана залежність температури різання від кута різання при різних швидкостях.

На рис. 4.7 показана залежність температури різання від головного кута: чим більший головний кут в плані, тим більша температура різання.



Рис. 4.6. Залежність температури різання від кута  $\alpha$  різання при різних швидкостях.

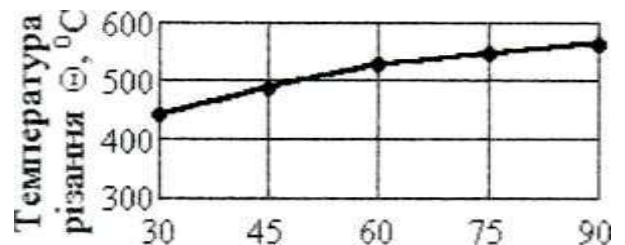


Рис. 4.7. Вплив головного кута в плані на температуру різання.

У результаті збільшення головного кута в плані  $\phi$ , з одного боку, при однакових  $t$  і  $S$  стружка стає товстішою, що віддаляє її центр тиску від ріжучої кромки і одночасно збільшує площу дотику стружки з різцем: це сприяє кращому тепловідводу як в стружку, так і в тіло різця. Але, з іншого боку (більшість випадків), із збільшенням головного кута в плані зменшується ширина стружки

і довжина активної частини ріжучої кромки. При цьому тепловідвід в заготовку та в тіло різця менш інтенсивний і температура різання підвищується. Найбільш різке підвищення температури різання спостерігається в діапазоні  $\varphi = 20 - 60^\circ$

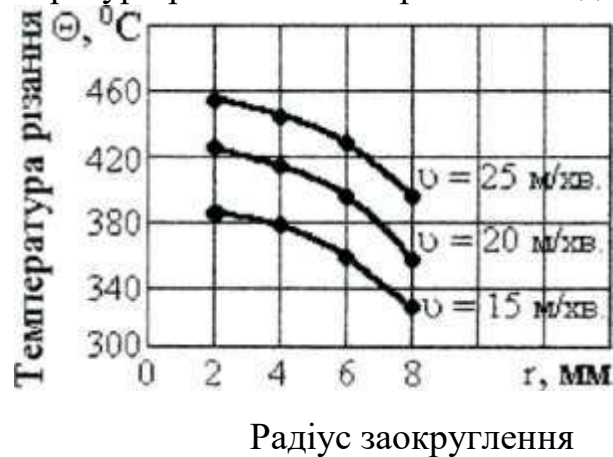


Рис. 4.8. Вплив радіуса заокруглення на температуру різання

Радіус заокруглення при вершині різця в плані впливає на загальне тепловиділення і на його відвід. Зі збільшенням радіуса зростає величина деформації під час різання і тепловиділення. Але при цьому збільшується довжина активної частини ріжучої кромки та об'єм головки різця, що сприяє кращому тепловідводу. Друге є переважаючим, що призводить до зниження температури різання при збільшенні радіуса заокруглення (рис. 4.8).

### Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з тепловими явищами, які виникають в процесі різання.
2. Ознайомитись з експериментальними методами вимірювання температури при різанні.
3. Вивчити характер впливу глибини, подачі і швидкості різання на температуру.
4. Вивчити характер впливу геометричних параметрів різця: переднього кута, головного кута в плані і радіуса заокруглення при вершині на температуру різання.
5. Провести експериментальні досліді.
6. Опрацювати отримані дослідні дані.
7. Оформити звіт.

### Отримання експериментальних даних

Дослідні дані отримують під час точіння заготовки на токарно-гвинторізному верстаті 1К62. Температуру в зоні різання вимірюють методом термопари (рис. 4.3. в). Перевід показів мілівольметра, який входить в схему, здійснюють за допомогою тарованого графіка.

Досліді проводять у шість етапів:

- 1-а- встановлення залежності температури різання від глибини різання:

при проведенні дослідів серії змінюється тільки глибина різання, решта факторів залишаються незмінними;

2-а – встановлення залежності температури різання від подачі; при цьому змінюється величина подачі, решта факторів постійні;

3-я – встановлення залежності температури різання від швидкості; при проведенні дослідів цієї серії змінюється швидкість різання, решта факторів постійні;

4-а – встановлення залежності температури різання від переднього кута  $\gamma$ ; під час проведення дослідів цієї серії беруть різці з різними передніми кутами; решта факторів постійні;

5-а – встановлення залежності температури різання від головного кута в плані  $\phi$ : при проведенні дослідів цієї серії беруть різці з різними кутами  $\phi$ ; решта факторів постійні;

6-а – встановлення залежності температури різання від радіуса заокруглення різця при вершині; при проведенні дослідів цієї серії беруть різці з різними радіусами заокруглення при вершині; решта факторів незмінні.

Для кожного з параметрів слід визначити не менше чотирьох значень температури при різних значеннях параметру.

### ***Опрацювання експериментальних даних***

1) Побудувати залежності  $Q = f(t)$ ,  $Q = f(S)$ ,  $Q = f(v)$ ,  $Q = f(\gamma)$ ,  $Q = f(\phi)$ ,  $Q = f(r)$ .

2) Встановити параметри  $x, y, z, C_0$  емпіричної формули:  $Q = C_0 \times t^x \times S^y \times v^z$  за результатами дослідів. Графіки  $Q=f(\gamma)$ ,  $Q=f(\phi)$ ,  $Q=f(r)$  будують у декартових координатах;  $Q=f(t)$ ,  $Q=f(S)$ ,  $Q=f(v)$  - у подвійних логарифмічних координатах.

У подвійних логарифмічних координатах ступеневі залежності  $\Theta = f(t, S, v)$  перетворюються в прямолінійні і мають вигляд прямих ліній, які розташовані під різними кутами до осей координат. Тангенси кутів нахилу ліній до осі наступного параметру чисельно дорівнюють показникам ступенів  $x, y, z$ :

$$\text{tg } a_1 = x; \text{tg } a_2 = y; \text{tg } a_3 = z.$$

Коефіцієнт  $C_0$  визначають із загального рівняння:

$$C_0 = Q/t^x \times S^y \times v^z.$$

Спочатку визначимо значення  $C_{Q1} = Q_1 / t_1^x \times S_{\text{пост}}^y \times v_{\text{пост}}^z$  за даними першої серії дослідів, де  $Q_1$  - температура, отримана з графіка  $Q = f(t)$ , для будь-якого значення  $t$ :  $S_{\text{пост}}$  і  $v_{\text{пост}}$ ;  $x, y, z$  - показники ступеню, які визначені за графіками.

Аналогічно знаходимо  $C_{Q2}$  і  $C_{Q3}$  за даними з 2-ої і 3-ої серії дослідів.

Визначаємо  $C_Q \text{ ср} = (C_{Q1} + C_{Q2} + C_{Q3}) / 3$ .

Формула із чисельними значеннями  $x, y, z$  і  $C_Q$ , які отримані за дослідними даними, дозволяє зробити висновки про ступінь впливу параметрів  $t, S, v$  на температуру.

Графіки  $Q = f(t)$ ,  $Q = f(\phi)$ ,  $Q = f(r)$  дозволяють зробити висновок про вплив геометрії різця на температуру в зоні різання.

## **Контрольні запитання**

1. Назвіть джерела теплоутворення при різанні.
2. Напишіть рівняння теплового балансу при точінні.
3. Перерахуйте методи вимірювання температури різання і дайте їм якісну характеристику.
4. Замалюйте схему і поясніть принцип роботи установки для вимірювання температури різання за методом термопар.
5. Поясніть вплив  $t$ ,  $S$ ,  $v$  на температуру при різанні.
6. Поясніть вплив геометрії різця (кути  $\gamma$ ,  $\phi$ ,  $r$ ) на температуру різання.
7. Поясніть з точки зору фізики різання вплив названих факторів температури при різанні.
8. Як визначити формулу зв'язку  $Q = f(t, S, v)$  за дослідними даними?

## **Лабораторна робота № 5**

### **Тема: ВИВЧЕННЯ БУДОВИ Й ПРИНЦИПУ РОБОТИ ДІЛИЛЬНОЇ ГОЛОВКИ**

**Мета роботи:** вивчити призначення, будову, принцип дії, область використання і методику налагодження УДГ при безпосередньому, простому і диференційному діленні круглої заготовки.

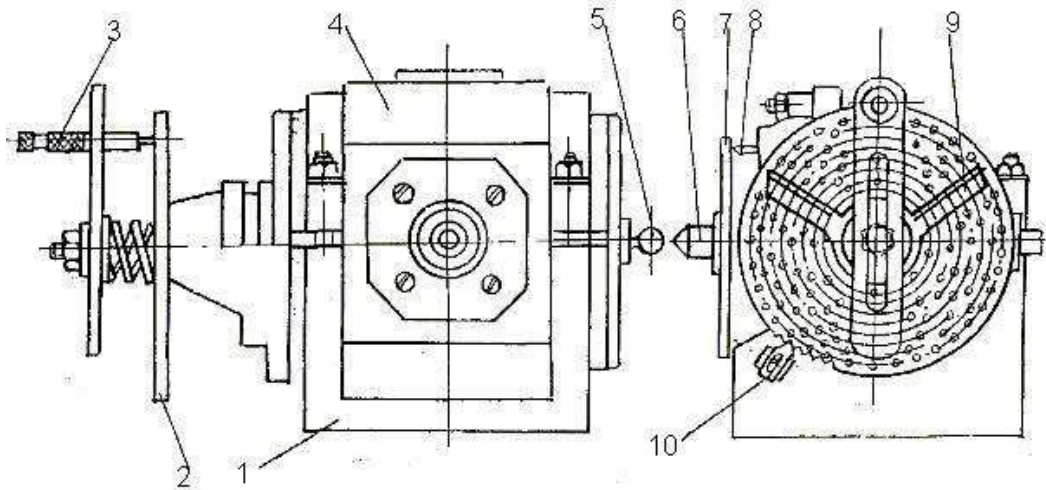
**Обладнання та інструменти:** універсальна ділильна головка УДГ - 200А.

### **Теоретичні відомості**

**Універсальна ділильна головка** призначена для поділу заготовок на частини при виконанні фрезерних або свердлильних операцій.

Цей пристрій знаходить широке застосування в одиничному та дрібносерійному виробництві переважно для виготовлення чотирьох видів деталей: зубчатих коліс, шліцевих валів, деталей з гвинтовими канавками або пазами, кулачків.

Існує кілька конструкцій ділильних головок: лімбові, безлімбові, оптичні та інші. Найбільше поширення в промисловості отримали універсальні лімбові ділильні головки УДГ (рис. 5.1). Вони мають чавунну основу 1, корпус 4, який може повертатися на певний кут у вертикальній площині, ділильний лімб 2, приводну рамку з рукояткою 3. В корпусі розташований шпindel 6, на передньому кінці якого може встановлюватися пристрій для закріплення деталі.



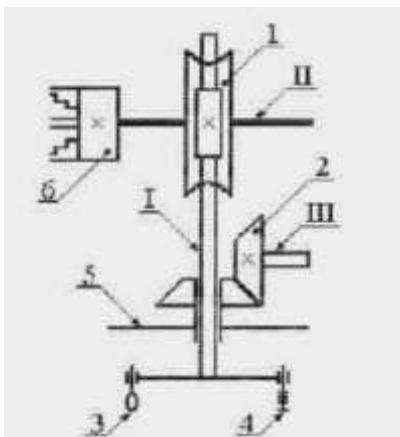
*Рис. 5.1. Загальний вигляд універсальної лімбової ділильної головки*

На шпинделі є диск 7 для безпосереднього ділення, який має 360 поділок. Таким чином, ціна поділки  $1^\circ$ . В деяких конструкціях УДГ диск 7 має 24 отвори.

На шпинделі закріплене черв'ячне колесо 1 (рис. 5.2), яке одержує обертання від черв'яка, розташованого в ексцентричній втулці. Черв'як може бути введеним в зачеплення з черв'ячним колесом або виведеним з нього поворотом ексцентричної втулки за допомогою рукоятки 3 (рис. 5.2). Ділильний лімб 5 має з обох боків ряд концентричних кіл з різним числом глухих отворів розташованих на цих колах. Так, з одного боку лімба числа отворів 16, 17, 19, 21, 23, 29, 30, 31 і з другого 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49, 54.

На валі ділильного лімба встановлена конічна шестерня, а також приводна рамка, що має рукоятку з фіксатором, який своїм вістряем може вставлятися в будь-який отвір на лімбі. Приводна рамка може переміщуватися в радіальному напрямі для установки рукоятки на потрібний ряд отворів на лімбі. До ділильного лімба за допомогою пружини притиснутий поворотний сектор з двома розсувними лінійками.

Кінематична принципова схема універсальної ділильної головки на рис. 5.3.



*Рис. 5.3. Схема кінематична принципова:  
1 - черв'ячна передача; 2 - конічна передача; 3 - рукоятка; 4 - фіксатор; 5 - ділильний диск з фіксуєчими лінійками; 6 - трьохкулачковий патрон; I - ведучий вал; II - шпиндель (ведений вал); III - вал конічної шестерні.*

Кінематичний ланцюг приводу шпинделя складається з однієї черв'ячної передачі. Передаточне відношення обчислюють за формулою:

$$I = \frac{q}{z_2} \quad (1)$$

де  $q$  - число заходів черв'яка;

$z_2$  - число зубів черв'ячного колеса.

Для УДГ - 200 А  $q = 1$ ,  $z_2 = 40$ , тому  $i = \frac{1}{40}$

Рівняння кінематичного балансу для ланцюга приводу шпинделя має вигляд:

$$n_{рук} \times i = n_{шп} \quad (2)$$

де  $n_{рук}$  - кількість обертів приводної рукоятки;

$i$  - передаточне відношення черв'ячної передачі;

$n_{шп}$  - кількість обертів шпинделя.

З рівняння (2) слідує, що для одного оберта шпинделя універсальної ділильної головки необхідно здійснити 40 обертів рукоятки, тобто

$$n_{рук} = \frac{n_{шп}}{i} = 1/1/40 = 1 \times \frac{40}{1} = 40.$$

Цей результат називають *характеристикою ділильної головки* і позначають літерою  $N$ , отже для УДГ - 200А  $N = 40$ .

Використавши характеристику ділильної головки, виконують безпосереднє ділення заготовки на кількість поділок, кратну 40. Кількість обертів рукоятки для виконання ділення заготовки обчислюють за формулою:

$$n = \frac{N}{z}, \quad (3)$$

де  $N$  - характеристика ділильної головки;

$z$  - кількість поділок заготовки ( $z = 40; 20; 10; 8; 5; 4; 2$ ).

Результати обчислень в таблиці 1 .

Таблиця 1.

**Результати обчислень для безпосереднього ділення заготовки**

$z$	40	20	10	8	5	4	2
$n$	1	2	4	5	8	10	20

Для використання простого і диференційного ділення призначений ділильний диск з фіксуючими лінійками.

Ділильний диск УДГ - 200А має по 8 концентричних рядів отворів з обох сторін. Фіксуючі лінійки мають можливість пересуватись одна відносно одної під час фіксації необхідного сектора і обидві разом навколо приводного вала під час виконання ділення заготовки на частини.

*Метод простого ділення* використовують у випадках, коли число поділок заготовки  $z$  рівне або кратне кількості отворів на одному з 16 рядів отворів ділильного диска.

Кількість обертів рукоятки обчислюють за формулою:

$$n = \frac{N}{z} = A + \frac{am}{bm}, \quad (4)$$

де  $N$  - характеристика універсальної ділильної головки;  
 $z$  - кількість поділок заготовки;  
 $A$  - кількість повних (на 360) обертів приводної рукоятки;  
 $a$  - кількість проміжків між отворами на ряду в ділильного диска;  
 $b$  - кількість отворів на одному з рядів ділильного диска;  
 $m$  - спільний множник.

### *Розглянемо приклади для методу простого ділення*

#### *Приклад 1*

$$\begin{array}{l|l} \text{Дано:} & z=66 \\ & N=40 \\ \hline & n - ? \end{array}$$

$$n = \frac{N}{z} = A + \frac{am}{bm}$$

$$n = \frac{40}{66} = \frac{20 \times 2}{33 \times 2}$$

Отже,  $A=0$ ;  $a = 20$ ;  $b = 33$ ;  $m = 2$ . Це означає, що повних обертів немає ( $A=0$ ), фіксується сектор на 20 проміжків ( $a = 20$ ) з ряду 33 ( $b = 33$ ).

#### *Приклад 2*

$$\begin{array}{l|l} \text{Дано:} & z=33 \\ & N=40 \\ \hline & n - ? \end{array}$$

$$n = \frac{N}{z} = A + \frac{am}{bm}$$

$$n = \frac{40}{33} = 1 + \frac{7}{33}$$

Отже,  $A = 1$ ;  $a = 7$ ;  $b = 33$ ;  $m = 1$ .

#### *Приклад 3*

$$\begin{array}{l|l} \text{Дано:} & z=108 \\ & N=40 \\ \hline & n - ? \end{array}$$

Отже,  $A = 0$ ;  $a = 20$ ;  $b = 54$ ;  $m = 2$ .

$$n = \frac{N}{z} = A + \frac{am}{bm}$$

$$n = \frac{40}{108} = \frac{20 \times 2}{54 \times 2}$$

**Метод диференційного ділення:** використовують у випадках, коли число поділок заготовки  $z$  не рівне і не кратне кількості отворів на рядах ділильного диска.

Для диференційного методу в універсальній ділильній головці використовують два кінематичні ланцюги: приводу шпинделя і приводу ділильного диска.

Кінематичний ланцюг приводу ділильного диска складається з двох пар циліндричних передач гітари і однієї конічної зубчатої передачі.

Рівняння кінематичного балансу для ланцюга приводу ділильного диска має вигляд:

$$1_{\text{об.рук}} \times i_{\text{гітари}} \times i_{\text{кон.передачі}} = n_{\text{дд}} \quad (5)$$

де  $i_{\text{гітари}}$  - передаточне відношення змінних зубчатих коліс гітари;

$i_{\text{кон.передачі}}$  - передаточне відношення конічної зубчатої передачі,

$n_{\text{дд}}$  - кількість обертів ділильного диска.

Передаточне відношення змінних зубчатих коліс гітари обчислюється за формулою:

$$i_{\text{гіт}} = \frac{N}{z_{\text{н}}} (z_{\text{н}} - z), \quad (6)$$

де  $N$  - характеристика універсальної ділильної головки;

$z_{\text{н}}$  - наближене до  $z$  число кратне або рівне кількості отворів одного з 16 рядів ділильного диска;

$z$  - кількість поділок заготовки.

### **Розглянемо приклади для методу диференційного ділення**

#### **Приклад 1**

Дано:  $z=55$

$N=40$

$i$  - ?

$n$  - ?

$$i_{\text{гіт}} = \frac{N}{z_{\text{н}}} (z_{\text{н}} - z) \text{ Нехай } z_{\text{н}}=54: i_{\text{гіт}} = \frac{40}{54} (54 - 55) = -\frac{40}{54}$$

Отже, ведуче колесо має 40 зубів, ведене 55, а знак "-" показує на потребу в паразитному колесі.

$$n = \frac{N}{z_{\text{н}}} = A + \frac{am}{bm}, \quad n = \frac{40}{54}$$

Отже,  $A = 0$ ;  $a = 40$ ;  $b = 54$ ;  $m = 1$ .

### Приклад 2

Дано:  $z=110$

$N=40$

$i - ?$

$n - ?$

$i_{\text{ГІТ}} = \frac{N}{z_{\text{H}}} (z_{\text{H}} - z)$  Нехай  $z_{\text{H}}=108$ , кратне 54:

$$i_{\text{ГІТ}} = \frac{40}{108} (108 - 110) = -\frac{40}{108} \cdot 2 = -\frac{40}{108} \cdot \frac{40}{20}$$

$$n = \frac{N}{z_{\text{H}}} = A + \frac{am}{bm}, \quad n = \frac{40}{108} = \frac{40 \cdot 2}{54 \cdot 2}$$

Отже,  $A = 0$ ;  $a = 40$ ;  $b = 54$ ;  $m = 2$ .

### Приклад 3

Дано:  $z=25$

$N=40$

$i - ?$

$n - ?$

$i_{\text{ГІТ}} = \frac{N}{z_{\text{H}}} (z_{\text{H}} - z)$  Нехай  $z_{\text{H}}=21$ :

$$i_{\text{ГІТ}} = \frac{40}{21} (21 - 25) = -\frac{40}{21} \cdot 4 = -\frac{40}{21} \cdot \frac{80}{20}$$

$$n = \frac{N}{z_{\text{H}}} = A + \frac{am}{bm}, \quad n = \frac{40}{21} = 1 \cdot \frac{19}{21} = 1 + \frac{19}{21}$$

Отже,  $A = 1$ ;  $a = 19$ ;  $b = 21$ ;  $m = 1$ .

### Порядок виконання роботи

1. Модель універсальної ділильної головки УДК 200А (заповнити таблицю):

№	Показник	Величина
1.	Кількість рядів отворів на ділильному диску	
2.	Кількість отворів кожного ряду: на фронтальній стороні на тильній стороні	
3.	Характеристика універсальної ділильної головки	
4.	Ціна поділки шкали на фланці шпинделя	
5.	Ціна поділки ноніуса шкали відліку нахилу шпинделя	-
6.	Міжосьова відстань між шпинделем і ведучим валом конічної зубчатої передачі.	235

2. За індивідуальним завданням (номер завдання за списком у журналі групи) настроїти головку на просте та диференціальне ділення. Характеристика головки N = 40.

*Варіанти індивідуальних завдань*

Варіант	Число поділок	Варіант	Число поділок
1	32, 57	9	74, 77
2	42, 59	10	54, 79
3	46, 63	11	78, 81
4	29, 67	12	58, 83
5	30, 69	13	19, 97
6	31, 71	14	23, 101
7	37, 73	15	17, 113
8	82, 75	16	94, 127

3. Дати відповіді на контрольні запитання

**Контрольні запитання**

1. Призначення ділильної головки.
2. Що означає характеристика ділильної головки?
3. Де її закріплюють?
4. Що означає метод безпосереднього ділення?
5. Що означає метод простого ділення?
6. Що означає метод диференційованого ділення?

**Лабораторна робота №6**

**Тема: ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОДАЧІ ТА ГЛИБИНИ РІЗАННЯ НА ДОПУСТИМУ ШВИДКІСТЬ РІЗАННЯ**

**Мета роботи:** визначити вплив подачі та глибини різання на допустиму швидкість різання, враховуючи властивості різальних інструментів.

## Теоретичні відомості

*Швидкість різання (V)* – це швидкість головного руху різання, яка визначається як швидкість переміщення точки різальної кромки інструменту відносно оброблюваної поверхні.

На допустиму швидкість різання впливають:

1. *Подача (S)* – переміщення інструменту відносно заготовки за один оберт або один хід.
2. *Глибина різання (t)* – товщина шару матеріалу, що знімається за один прохід.
3. Властивості різального інструменту (матеріал, геометрія, стійкість).
4. Властивості оброблюваного матеріалу.

## Вихідні дані для розрахунків

Для проведення розрахунків використовуйте наступну формулу для визначення швидкості різання:

$$V = (C_V * K_V) / (T^m * S^y * t^x)$$

де:

V - швидкість різання (м/хв);

C<sub>V</sub> - коефіцієнт, що залежить від матеріалу заготовки та інструменту;

K<sub>V</sub> - поправочний коефіцієнт;

T - стійкість інструменту (хв);

S - подача (мм/об);

t - глибина різання (мм);

m, y, x - показники степеня.

Використовуйте наступні значення: C<sub>V</sub> = 350, K<sub>V</sub> = 0.9, T = 60 хв, m = 0.2, y = 0.35, x = 0.15.

## Порядок виконання роботи

1. Ознайомтесь з теоретичними відомостями та формулою для розрахунку швидкості різання.
2. Знайдіть свій номер у таблиці (за списком у журналі).

Номер за списком	Подача S (мм/об)	Глибина різання t (мм)
1	0.1, 0.2, 0.3	0.5, 1.0, 1.5
2	0.15, 0.25, 0.35	0.75, 1.25, 1.75
3	0.2, 0.3, 0.4	1.0, 1.5, 2.0
4	0.25, 0.35, 0.45	1.25, 1.75, 2.25
5	0.1, 0.25, 0.4	0.5, 1.25, 2.0
6	0.15, 0.3, 0.45	0.75, 1.5, 2.25
7	0.2, 0.35, 0.5	1.0, 1.75, 2.5
8	0.1, 0.3, 0.5	0.5, 1.5, 2.5
9	0.15, 0.35, 0.45	0.75, 1.75, 2.25

Номер за списком	Подача S (мм/об)	Глибина різання t (мм)
10	0.2, 0.4, 0.5	1.0, 2.0, 2.5
11	0.1, 0.25, 0.45	0.5, 1.25, 2.25
12	0.15, 0.3, 0.5	0.75, 1.5, 2.5
13	0.2, 0.35, 0.45	1.0, 1.75, 2.25
14	0.25, 0.4, 0.5	1.25, 2.0, 2.5
15	0.1, 0.3, 0.45	0.5, 1.5, 2.25
16	0.15, 0.35, 0.5	0.75, 1.75, 2.5

- Використовуйте задані значення подачі (S) та глибини різання (t) для проведення розрахунків.
- Для кожного значення S виконайте розрахунки з усіма заданими значеннями t.
- У результаті ви отримаєте 9 комбінацій параметрів (3 значення S × 3 значення t).
- Побудуйте 6 графіків:
  - 3 графіки залежності швидкості різання від подачі (по одному для кожного значення t);
  - 3 графіки залежності швидкості різання від глибини різання (по одному для кожного значення S).
- Проаналізуйте отримані результати та сформулюйте висновки про вплив подачі та глибини різання на допустиму швидкість різання.

### Контрольні запитання

- Як змінюється допустима швидкість різання при збільшенні подачі?
- Який вплив має глибина різання на допустиму швидкість різання?
- Які ще фактори, крім подачі та глибини різання, впливають на вибір швидкості різання?
- Як властивості різального інструменту впливають на допустиму швидкість різання?
- Поясніть фізичний зміст коефіцієнтів у формулі для розрахунку швидкості різання.

### Приклад оформлення результатів лабораторної роботи

#### Варіант ...

#### Розрахунки

Використовуємо формулу:  $V = (C_V * K_V) / (T^m * S^y * t^x)$

Приклад розрахунку для S = 0.1 мм/об, t = 0.5 мм:

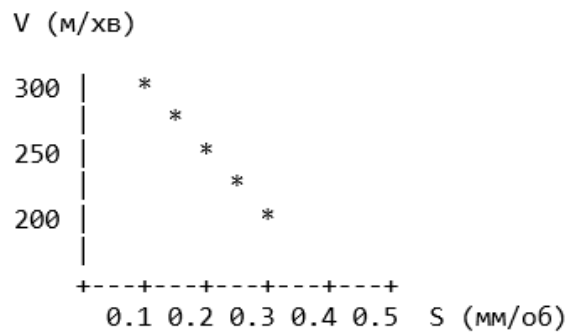
$$V = (350 * 0.9) / (60^{0.2} * 0.1^{0.35} * 0.5^{0.15}) \approx 315.8 \text{ м/хв}$$

### Таблиця результатів

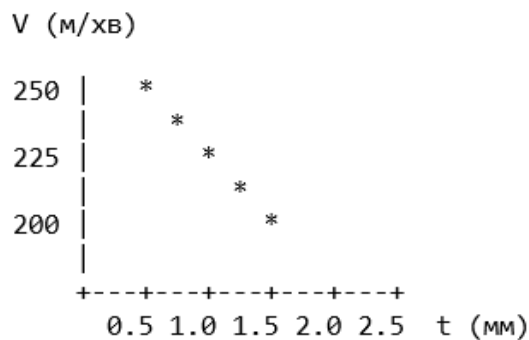
Експеримент	Подача (мм/об)	Глибина різання (мм)	Допустима швидкість різання (м/хв)
1	0.1	0.5	315.8
2	0.1	1.0	289.5
3	0.1	1.5	275.8
4	0.2	0.5	258.4
5	0.2	1.0	236.9
...	...	...	...

### Графіки

1. Залежність допустимої швидкості різання від подачі (при  $t = 1.0$  мм)



2. Залежність допустимої швидкості різання від глибини різання (при  $S = 0.3$  мм/об)



### Аналіз результатів

1. Вплив подачі: При збільшенні подачі допустима швидкість різання зменшується. Це пов'язано з тим, що більша подача призводить до збільшення сил різання та температури в зоні обробки, що обмежує допустиму швидкість.
2. Вплив глибини різання: Збільшення глибини різання також призводить до зменшення допустимої швидкості різання, але менш інтенсивно, ніж

збільшення подачі. Це пояснюється тим, що глибина різання має менший вплив на питомі сили різання.

### Висновки

1. Подача має більш значний вплив на допустиму швидкість різання, ніж глибина різання.
2. Для досягнення високої продуктивності при обробці слід шукати оптимальне співвідношення між подачею, глибиною різання та швидкістю.
3. При виборі режимів різання необхідно враховувати обмеження по допустимій швидкості різання, щоб забезпечити необхідну стійкість інструменту та якість обробленої поверхні.

### Лабораторна робота № 7

#### **Тема: ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ РЕЖИМУ РІЗАННЯ І ГЕОМЕТРІЇ РІЗЦЯ НА СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ**

**Мета роботи:** визначити вплив елементів режиму різання (швидкості різання, подачі, глибини різання) та геометрії різця (головного кута в плані) на сили різання при точінні.

### Теоретичні відомості

При точінні виникають три складові сили різання:

1. Тангенціальна сила  $P_z$  (головна складова сили різання)
2. Радіальна сила  $P_y$
3. Осьова сила  $P_x$

Сила різання залежить від режимів різання та геометрії інструмента. Для розрахунку головної складової сили різання  $P_z$  використовується емпірична формула:

$$P_z = 10 * C_p * t^x * S^y * V^n * K_p$$

де:

- $P_z$  - головна складова сили різання (Н)
- $C_p$  - коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу
- $t$  - глибина різання (мм)
- $S$  - подача (мм/об)
- $V$  - швидкість різання (м/хв)
- $x, y, n$  - показники степеня
- $K_p$  - поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання

$$K_p = K_{mp} * K_{fp} * K_{yp} * K_{lp} * K_{rp}$$

де:

- $K_{mp}$  - коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу

- $K_{\phi r}$  - коефіцієнт, що враховує головний кут в плані  $\phi$
- $K_{\gamma r}$ ,  $K_{\lambda r}$ ,  $K_{r r}$  - коефіцієнти, що враховують відповідно передній кут  $\gamma$ , кут нахилу різальної кромки  $\lambda$  і радіус при вершині різця  $r$

### Вихідні дані для розрахунків

Використовуйте наступні значення:  $S_r = 300$ ;  $x = 1.0$ ;  $y = 0.75$ ;  $n = 0,15$ ;  $K_{m r} = 1.0$ ;  $K_{\gamma r} = 1.0$ ;  $K_{\lambda r} = 1,0$ ;  $K_{r r} = 1,0$ .

### Порядок виконання роботи

1. Ознайомтесь з теоретичними відомостями та формулою для розрахунку сили різання.
2. Знайдіть свій номер у таблиці.

Номер за списком	V (м/хв)	S (мм/об)	t (мм)	$\phi$ (градуси)
1	100, 150, 200	0.1, 0.2, 0.3	0.5, 1.0, 1.5	45, 60, 75
2	120, 170, 220	0.15, 0.25, 0.35	0.75, 1.25, 1.75	50, 65, 80
3	140, 190, 240	0.2, 0.3, 0.4	1.0, 1.5, 2.0	55, 70, 85
4	160, 210, 260	0.25, 0.35, 0.45	1.25, 1.75, 2.25	60, 75, 90
5	110, 160, 210	0.1, 0.25, 0.4	0.5, 1.25, 2.0	45, 70, 90
6	130, 180, 230	0.15, 0.3, 0.45	0.75, 1.5, 2.25	50, 75, 85
7	150, 200, 250	0.2, 0.35, 0.5	1.0, 1.75, 2.5	55, 80, 90
8	170, 220, 270	0.1, 0.3, 0.5	0.5, 1.5, 2.5	60, 85, 90
9	125, 175, 225	0.15, 0.35, 0.45	0.75, 1.75, 2.25	45, 65, 85
10	145, 195, 245	0.2, 0.4, 0.5	1.0, 2.0, 2.5	50, 70, 90
11	165, 215, 265	0.1, 0.25, 0.45	0.5, 1.25, 2.25	55, 75, 85
12	115, 165, 215	0.15, 0.3, 0.5	0.75, 1.5, 2.5	60, 80, 90
13	135, 185, 235	0.2, 0.35, 0.45	1.0, 1.75, 2.25	45, 75, 90
14	155, 205, 255	0.25, 0.4, 0.5	1.25, 2.0, 2.5	50, 80, 85
15	175, 225, 275	0.1, 0.3, 0.45	0.5, 1.5, 2.25	55, 85, 90
16	105, 155, 205	0.15, 0.35, 0.5	0.75, 1.75, 2.5	60, 70, 80

3. Використовуйте задані значення швидкості різання (V), подачі (S), глибини різання (t) та головного кута в плані ( $\phi$ ) для проведення розрахунків.
4. Для розрахунку  $K_{\phi r}$  використовуйте формулу:  $K_{\phi r} = (90 / \phi)^{0.3}$
5. Проведіть розрахунки сили різання  $P_z$  для всіх комбінацій параметрів.
6. Побудуйте 4 графіки залежності сили різання  $P_z$  від:
  1. Швидкості різання V (при середніх значеннях інших параметрів)
  2. Подачі S (при середніх значеннях інших параметрів)
  3. Глибини різання t (при середніх значеннях інших параметрів)
  4. Головного кута в плані  $\phi$  (при середніх значеннях інших параметрів)

7. Проаналізуйте отримані результати та сформулюйте висновки про вплив кожного параметра на силу різання.

### Контрольні запитання

1. Як змінюється сила різання при збільшенні швидкості різання?
2. Який параметр режиму різання має найбільший вплив на силу різання?
3. Як впливає головний кут в плані на силу різання?
4. Чому при збільшенні подачі і глибини різання сила різання зростає?
5. Які ще фактори, крім розглянутих у роботі, можуть впливати на силу різання?

### Приклад оформлення результатів лабораторної роботи

Номер варіанту ...

#### 1. Вихідні дані

V (м/хв): 100, 150, 200  
S (мм/об): 0.1, 0.2, 0.3  
t (мм): 0.5, 1.0, 1.5  
φ (градуси): 45, 60, 75

Константи:  $C_p = 300$ ;  $x = 1,0$ ;  $y = 0,75$ ;  $n = -0,15$ ;  $K_{mp} = K_{\gamma p} = K_{\lambda p} = K_{r p} = 1,0$

#### 2. Розрахунки

Приклад розрахунку для  $V = 150$  м/хв,  $S = 0.2$  мм/об,  $t = 1.0$  мм,  $\phi = 60^\circ$ :

1. Розрахунок  $K_{\phi p}$ :  $K_{\phi p} = (90 / \phi)^{0.3} = (90 / 60)^{0.3} \approx 1.14$

2. Розрахунок  $P_z$ :  $P_z = 10 * C_p * t^x * S^y * V^n * K_p$

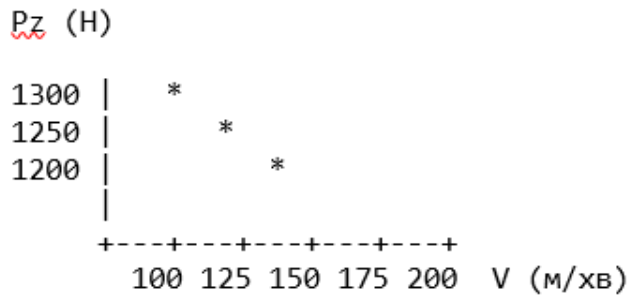
$$P_z = 10 * 300 * 1.0^{1.0} * 0.2^{0.75} * 150^{(-0.15)} * 1.14 \quad P_z \approx 1235 \text{ Н}$$

#### 3. Таблиця результатів

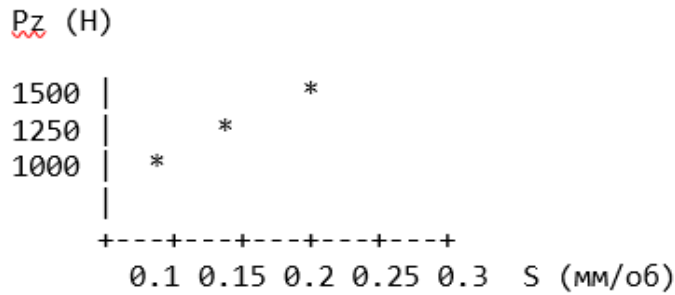
V (м/хв)	S (мм/об)	t (мм)	φ (градуси)	$K_{\phi p}$	$P_z$ (Н)
100	0.1	0.5	45	1.23	479
150	0.2	1.0	60	1.14	1235
200	0.3	1.5	75	1.06	2076
...	...	...	...	...	...

#### 4. Графіки

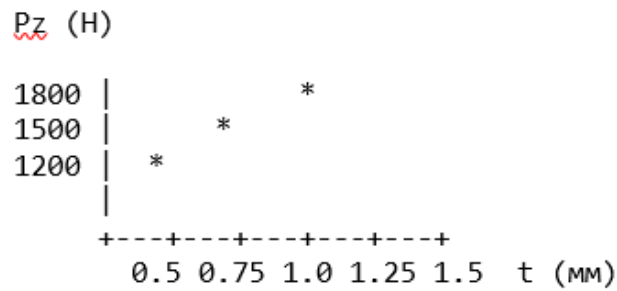
1. Залежність  $P_z$  від  $V$  (при  $S = 0.2$  мм/об,  $t = 1.0$  мм,  $\phi = 60^\circ$ )



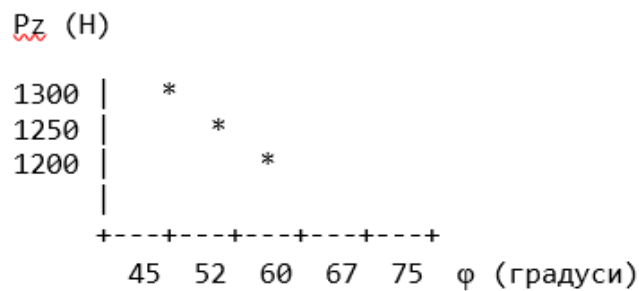
2. Залежність Pz від S (при V = 150 м/хв, t = 1.0 мм, φ = 60°)



3. Залежність Pz від t (при V = 150 м/хв, S = 0.2 мм/об, φ = 60°)



4. Залежність Pz від φ (при V = 150 м/хв, S = 0.2 мм/об, t = 1.0 мм)



## 5. Аналіз результатів

1. Вплив швидкості різання (V): При збільшенні швидкості різання спостерігається незначне зменшення сили різання. Це пов'язано з тим, що при вищих швидкостях зменшується коефіцієнт тертя між стружкою і передньою поверхнею інструменту, що призводить до зменшення сили різання.

2. Вплив подачі (S): Збільшення подачі призводить до значного зростання сили різання. Це пояснюється збільшенням площі зрізу, що вимагає більшої сили для деформації і відділення матеріалу.
3. Вплив глибини різання (t): Глибина різання має найбільший вплив на силу різання. При збільшенні глибини різання сила різання зростає пропорційно, що пов'язано зі збільшенням об'єму матеріалу, який необхідно зрізати.
4. Вплив головного кута в плані ( $\phi$ ): При збільшенні головного кута в плані спостерігається незначне зменшення сили різання. Це пов'язано зі зменшенням ширини зрізу і збільшенням товщини стружки, що призводить до зменшення сил на передній поверхні інструменту.

## 6. Висновки

1. Найбільший вплив на силу різання мають глибина різання і подача. Збільшення цих параметрів призводить до значного зростання сили різання.
2. Швидкість різання має обернений, але менш виражений вплив на силу різання. Збільшення швидкості призводить до незначного зменшення сили.
3. Головний кут в плані має найменший вплив на силу різання серед досліджуваних параметрів.
4. При виборі режимів різання необхідно враховувати комплексний вплив усіх параметрів на силу різання для забезпечення оптимальних умов обробки.
5. Отримані результати дозволяють прогнозувати сили різання при різних режимах обробки, що важливо для вибору обладнання, інструменту та призначення режимів різання.

## Лабораторна робота № 8

### **Тема: ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ**

**Мета роботи:** вивчити методи електрофізичної обробки металів; навчитись читати схеми електроерозійної обробки, променевої та ультразвукової обробки.

**Обладнання та інструменти:** установка електроіскрової обробки металу, плакати схем методів обробки, методичні рекомендації.

### **Теоретичні відомості**

**Електроіскровий режим** характеризується використанням іскрових розрядів з малою тривалістю ( $10^{-5}$ -  $10^{-7}$  с) при прямій полярності підключення

електродів (заготовка «+», інструмент «-»). Залежно від потужності іскрових розрядів режими діляться на жорсткий і середній (для попередньої обробки), м'який і особливо м'який (для остаточної обробки). Використання м'яких режимів забезпечує відхилення розмірів деталі до 0,002 мм при параметрі шорсткості обробленої поверхні  $Ra = 0,01$  мкм. Використання при електроіскровій обробці в якості діелектричної рідини керосин або мінеральне масло запобігає нагріву електродів.

Електроіскрові режими використовують при обробці твердих сплавів, важкооброблюваних металів і сплавів, танталу, молібдену, вольфраму і т. д.: обробляють наскрізні і глухі отвори будь-якого поперечного перетину, отвори з криволінійними осями; використовуючи дротяні і стрічкові електроди, вирізують деталі з листових заготовок; нарізують зуби і різьблення, шліфують деталі.

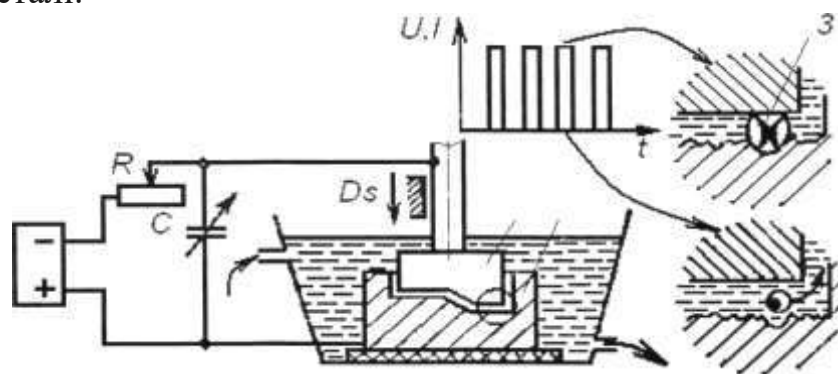


Рис 8.1. Схема електроіскрової обробки

Для проведення обробки на електроіскрових режимах використовують верстати (рис. 8.1), оснащені  $RC$ -генераторами, що складаються із зарядного і розрядного контура. Зарядний контур вмикає конденсатор  $C$ , що заряджає через опір  $R$  від джерела струму з напругою 100-200 В, а в розрядний контур паралельно конденсатору  $C$  ввімкнені електроди 1 (інструмент) і 2 (заготовка). Як тільки напруга на електродах 1 і 3 досягає пробійного, через міжелектродний зазор відбувається іскровий розряд енергії, накопиченої в конденсаторі  $C$ . Продуктивність ерозійного процесу може бути збільшена зменшенням опору  $R$ .

Неперервність міжелектродного зазору підтримується спеціальною системою спостереження, що керує механізмом автоматичного руху подачі інструменту, виготовленого з міді, латуні або вуглеграфітних матеріалів.

Різновидом електроіскрових режимів є високочастотні режими, що використовують імпульси малої енергії з частотою 100-150 кГц. Застосування високочастотних імпульсів дозволяє збільшити продуктивність в 30-50 разів при одночасному збільшенні точності, зниженні шорсткості і забезпеченні мінімального зносу інструменту. Одночасно гарантується отримання поверхонь з мінімальною глибиною дефектного шару (мікротріщини, структурні зміни), що дуже важливе при обробці твердих і крихких матеріалів (рис. 8.2). Схема високочастотної обробки включає резистор, конденсатор, який разряжається при замиканні первинного ланцюга імпульсного трансформатора переривником (тиратроном або вакуумною лампою).

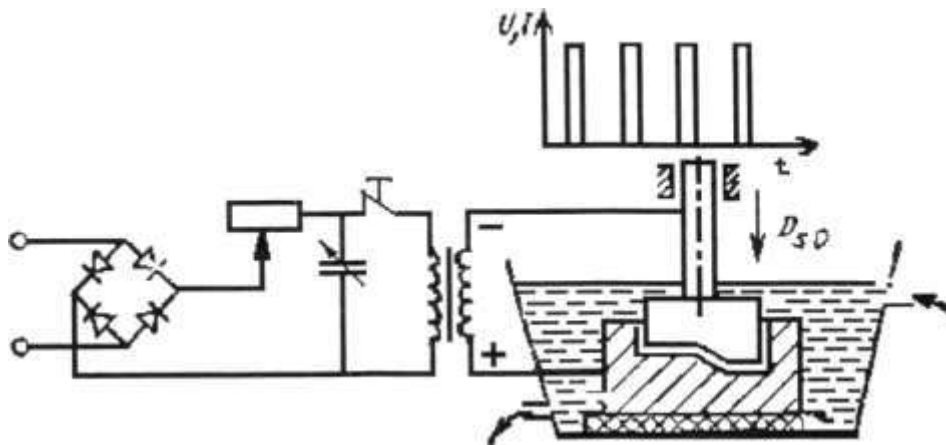


Рис. 8.2. Схема високочастотної електроіскрової обробки

Найбільш доцільною областю застосування електроімпульсних режимів є попередня обробка заготовок складних профілів деталей (штампи, турбінні лопатки і т. д.), виготовлених з важкооброблюваних сплавів і сталей. Електроімпульсні режими реалізуються установками (рис. 8.3), в яких на електроди 1 і 2 подаються уніполярні імпульси від електромашинного 3 або електронного генератора.

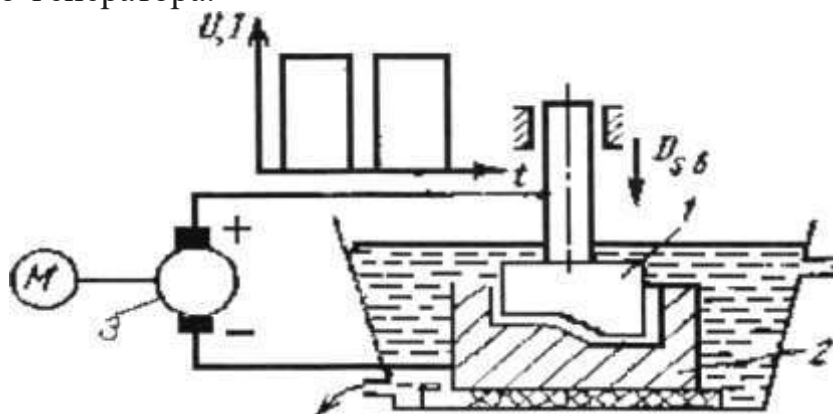


Рис. 8.3. Схема електроімпульсної обробки

**Електроконтактна обробка** є різновидом ЕЕО і заснована на руйнуванні металу в результаті одночасної механічної і теплової дії, що призводить до розплавлення, часткового випаровування і видалення розм'якшеного металу із зони обробки. Тепло виділяється в результаті наступних процесів: короткочасного горіння дуг між нерівностями заготовки і інструментом; нагрівання унаслідок проходження струму через опір контакту; розігрівання при терті електроду об заготовку. При обробці між інструментом і заготовкою протікає струм силою 10-25 А, при  $U \leq 12$  В електроконтактна заточка інструменту тиск 1,0-1,5 МПа; при  $U > 12$  В переважає режим оплавлення, тиск відсутній. Найбільшого поширення набули режими ЕКО при  $U > 12$  В, виділення теплоти відбувається за рахунок багаточисельних дугових розрядів між інструментом і заготовкою. Збільшенню числа контактів сприяють вібрації, що супроводжують процес обробки.

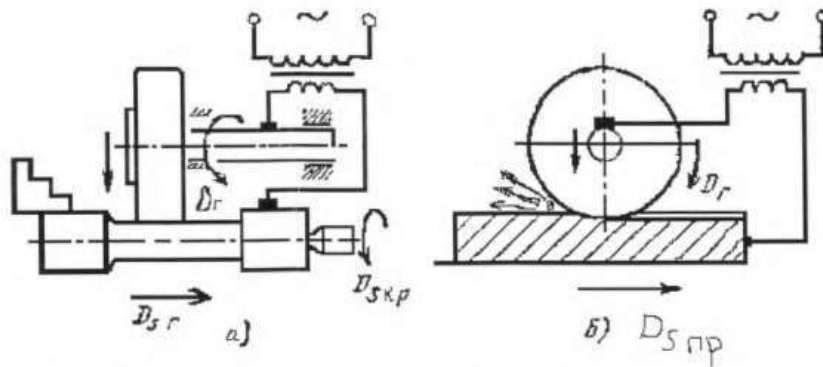


Рис. 8.4. Схема електроконтактного а) точіння, б) фрезерування

Електроконтактну обробку проводять при постійному або змінному струмі мідними або чавунними електродами. Неробочі поверхні електродів (наприклад, бічні поверхні дисків) покривають діелектричним шаром композиції епоксидного карбиду, що перешкоджає виникненню небажаних контактів і сприяючи видаленню з поверхні дефектного шару завглибшки 0,2-0,3 мм. Менша ерозія інструменту в порівнянні з ерозією заготовки при ЕКО пояснюється інтенсивною дією охолоджуючих середовищ (стисле повітря, вода, содовий розчин) і швидким обертанням (у електроду інструменту  $U=60$  м/с).

ЕКО виконують на спеціальних або універсальних верстатах (токарних, фрезерних тощо) пристосованих для такого виду обробки.

**Електронно-променева обробка (ЕПО)** заснована на тепловій дії потоку рухомих електронів на оброблюваний матеріал, який в місці обробки плавиться і випаровується. Кінетична енергія рухомих електронів при ударі об поверхню оброблюваної заготовки майже повністю переходить з теплову, яка, будучи сконцентрованою на площі малих розмірів (діаметром не більше 10 мкм), викликає її розігрівання до  $6000$  °С.

При розмірній обробці відбувається локальна дія на оброблюваний матеріал, що при ЕПО забезпечується імпульсним режимом потоку електронів з тривалістю імпульсу в  $10^{-4}$  -  $10^{-6}$  с і частотою  $f = 50 \dots 5000$  Гц. Висока концентрація енергії у поєднанні з імпульсною дією забезпечують умови обробки, при яких поверхні заготовки, що знаходяться на відстані 1 мкм від кромки електронного променя, розігріваються до  $300$ °С. Це дозволяє використовувати ЕПО для різання заготовок, виготовлення сіток з фольги, прорізання пазів і обробки отворів діаметром 1-10 мкм в деталях з важкооброблюваних металів і сплавів. Для проведення ЕПО використовують спеціальні електровакуумні пристрої – електронні гармати (рис. 8.5). Вони генерують, прискорюють і фокусують електронний промінь. Електронна гармата складається з вакуумної камери 4 (з розрідженням  $133 \times 10^{-4}$  Па), в якій встановлений від джерела високої напруги 1 вольфрамовий катод 2, що забезпечує емісію вільних електронів в електричному полі, створеному між катодом 2 і анодною діафрагмою 3. Далі електронний промінь проходить через систему магнітних лінз 9, 6, пристрій електричного юстирування 5 і

фокусується на поверхні оброблюваної заготовки 7, встановленою на координатному столі 8.

**Електроімпульсні режими** характеризуються застосуванням імпульсів великої тривалості (0,5-10 с), відповідних дуговому розряду між електродами і інтенсивному руйнуванню катода. У зв'язку з цим при електроімпульсних режимах катод з'єднується із заготовкою, що забезпечує вищу продуктивність ерозії (у 8-10 разів) і менш, ніж при електроіскрових режимах, зношування інструменту.

Імпульсний режим роботи електронної гармати забезпечується системою, що складається з імпульсного генератора 10 і трансформатора 11.

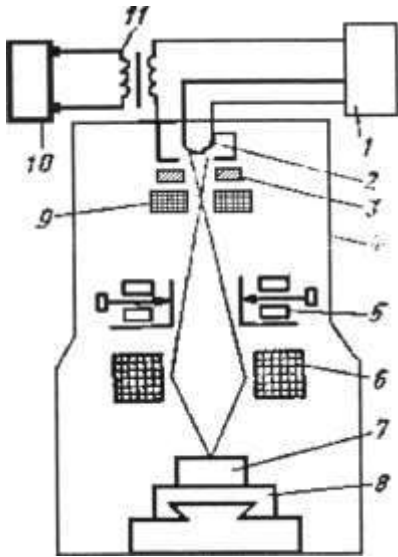


Рис. 8.5. Схема установки для електронно-променевої обробки

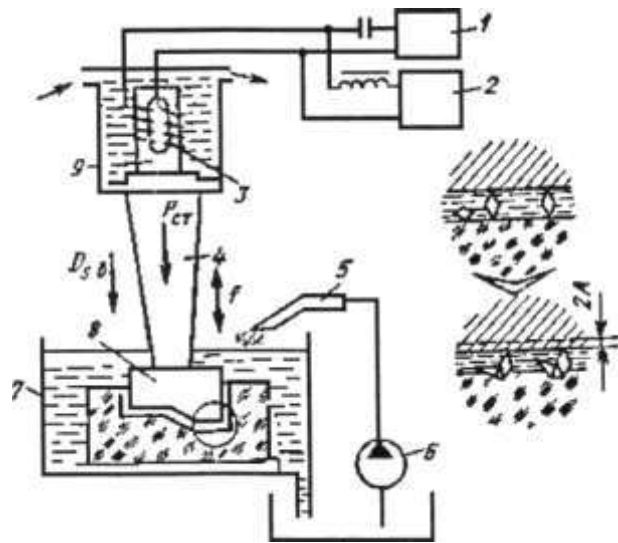


Рис.8.6. Схема ультразвукової обробки

**Ультразвукова обробка (УЗО)** є різновидом механічної обробки. Вона заснована на використанні енергії ультразвукових (УЗ) коливань інструменту, що впливають на заготовку через абразивні частинки, твердість яких переверщує твердість оброблюваного матеріалу. Ці частинки, отримавши імпульс руху від торця інструменту, що коливається з частотою 16-30 кГц, вриваються в оброблювану поверхню, сколюючи з неї мікрочастинки. Значне число абразивних частинок, що одночасно беруть участь в обробці (30 - 100 тис. на 1 см<sup>2</sup>), забезпечує інтенсивне зняття оброблюваного матеріалу і копіювання форми робочої частини інструменту на заготовці.

УЗО піддають тверді і крихкі матеріали (наприклад, скло, ферити, кремній, тверді сплави і т. д.). Пластичні і в'язкі матеріали цими методами не обробляють. Ультразвуком обробляють пази, наскрізні і глухі отвори будь-якої форми, розрізають заготовки, гравірують і профілюють поверхні, нарізають різьблення тощо. Інструменти для УЗО виконують з міцних (35-40 HRC), але в'язких матеріалів. Для обробки наскрізних отворів діаметром 0,5-20 мм використовують суцільні інструменти, а для наскрізних отворів діаметром 20-100 мм – порожнисті, що покращує умови циркуляції абразивних зерен і підвищує продуктивність УЗО.

Розмірну УЗО виконують на ультразвукових верстатах потужністю 100

Вт-4 кВт. Основним вузлом таких верстатів є акустична головка з джерелом ультразвукових коливань у вигляді магнітострикційного перетворювача, що являє феромагнітний сердечник, здатний змінювати свої розміри в змінному магнітному полі (виготовлені з нікелю, залізокобальтових, залізоалюмінієвих і інших сплавів). Створене за допомогою генератора 7 (рис.8.6), джерела постійного струму 2 і обмотки 3 змінне електромагнітне поле з частотою  $f = 16 \dots 30$  кГц забезпечує амплітуду коливань торця 9 сердечника 5-10 мкм. Для збільшення амплітуди до 40-60 мкм до торця сердечника кріплять резонансний хвилевід-концентратор 4, на кінці якого закріплюють інструмент 8. Для подачі в робочу зону інструменту абразивної суспензії верстат забезпечений ванною 7 і патрубком 5, по якому насос 6 прокачує суспензію.

### Електроіскровий метод обробки отворів

Електроіскровий метод обробки металів застосовується для виготовлення отворів різної форми з прямими і криволінійними осями, для розрізання металу на частини, витягання зламаних мітчиків, свердел, шпильок тощо, для заточування твердосплавних інструментів, а також для обробки штампів, прес-форм, інших деталей, що виготовляються з твердих металів і загартованих сталей. Загальний вид такого верстата зображений на рис. 8.7.

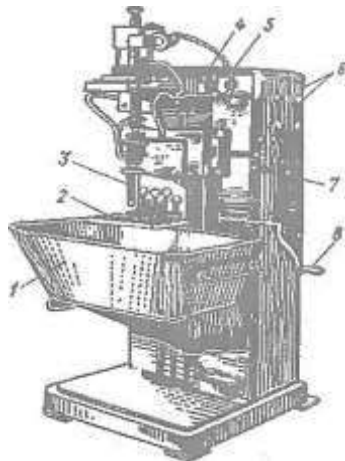


Рис. 8.7. Загальний вид верстата для ЕІО

Оброблювана деталь розташовується на столі 2, за допомогою рукояток 5 і 7 проводять настройку положення електрод-інструменту 3.

Обертанням рукоятки 6 бак 7 піднімають вгору, поки деталь не сховається під поверхню рідини (керосину).

Вмикається верстат, електрод-інструмент 3 за допомогою рукоятки 4 опускається до появи перших розрядів. Подальша обробка проводиться автоматично. За ходом прошивки можна спостерігати по приладах 6.

### Порядок виконання роботи

1. Вивчити і описати схеми електроерозійних методів обробки металів: а) електроіскровий метод;  
б) електроімпульсний метод.
2. Вивчити і описати метод променевої обробки.
3. Вивчити і описати ультразвукову обробку металів.

4. Ознайомитись і замалювати установку електроіскрової обробки.
5. Вивчити виготовлення отворів методом електроіскрової обробки.
6. Зробити висновки по роботі. Написати звіт.

### ***Контрольні питання***

1. Характеристика методів електрофізичної і електрохімічної обробки.
2. Яким методам ЕФХО відповідає дія найменших зусиль при обробці?
3. Чи впливає рівень діелектричної проникності рідини на продуктивність ЕЕО?
4. Чим відрізняється електроіскровий режим ЕЕО від електроімпульсного?
5. В чому різниця ЕКО та ЕЕО?
6. Чому електропроменева обробка проводиться в вакуумній камері?
7. На яких фізичних явищах основана УЗО?

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА №1**

### ***Тема: АНАЛІЗ КІНЕМАТИКИ ВЕРСТАТІВ***

***Мета роботи:*** навчитися аналізувати кінематичні схеми верстатів та розраховувати передаточні відношення.

#### ***Обладнання:***

1. Кінематичні схеми різних типів верстатів
2. Калькулятор
3. Лінійка
4. Олівець та папір

### **Теоретичні відомості**

#### **Класифікація та нумерація металорізальних верстатів**

В основу системи класифікації металорізальних верстатів покладено технологічний метод обробки заготовок у відповідності з такими ознаками, як вид різального інструмента, характер оброблюваної заготовки та схема обробки. За цією системою металорізальні верстати поділені на дев'ять груп:

- 1 – токарні верстати;
- 2 – свердлильні й розточувальні;
- 3 – шліфувальні;
- 4 – верстати для електрофізичної та електрохімічної обробки;
- 5 – верстати для обробки зубчастих коліс і нарізання різьб;
- 6 – фрезерні;
- 7 – стругальні, довбальні та протяжні;
- 8 – розрізні;
- 9 – різні верстати та пристрої, що не ввійшли до жодної з перелічених груп (балансувальні, ділильні, для виготовлення пилок тощо).

У кожній групі верстатів об'єднані за спільністю технологічного методу обробки або близькі за призначенням (наприклад, свердлильні та розточувальні).

Кожна група верстатів поділяється на дев'ять типів за технологічним призначенням, конструктивними особливостями, кількістю головних робочих органів, ступенем універсальності тощо.

Всередині кожного типу верстатів різняться своїми характерними, притаманними кожному типу розмірами.

У відповідності з прийнятою системою класифікації кожній моделі верстата присвоюють певний номер, що складається з трьох або чотирьох цифр і літер. Перша цифра вказує на групу верстата, друга – на тип у цій групі. Третя або третя та четверта цифри показують умовний розмір верстата: для токарних верстатів – це висота центрів над станиною в сантиметрах або дециметрах, для свердлильних – максимальний діаметр отвору, який можна просвердлити на цьому верстаті, для фрезерних – умовний розмір стола тощо.

Літера, що стоїть після першої або другої цифри, вказує на модернізацію (поліпшення) основної базової моделі верстата, а літера, що стоїть у кінці номера, означає модифікацію (видозміну) базової моделі.

Приклади нумерації верстатів: 162 – це верстат токарної групи (1), токарно-гвинторізальний (6), висота центрів 2дм (200 мм); 1А62, 1К62 – це токарно-гвинторізальні верстати, основна базова модель яких (162) пройшла послідовну модернізацію (літери А і К) із поліпшенням конструкції, зокрема, із підвищенням потужності та діапазону частот обертання шпинделя; номер 2135 означає, що це верстат належить свердлильній групі (2), вертикально-свердлильний (1), із найбільшим діаметром свердління 35 мм.

За рівнем спеціалізації розрізняють верстати *універсальні*, призначені для виконання різноманітних робіт із використанням заготовок багатьох найменувань в умовах одиничного, дрібносерійного та ремонтного виробництва; *спеціалізовані*, на яких обробляють деталі одного найменування, але різних розмірів, наприклад, колінчасті вали; *спеціальні*, на яких виконують певний вид робіт на одній певній деталі в масовому виробництві.

За ступенем точності верстатів поділяють на п'ять класів: Н – нормальної точності, П – підвищеної, В – високої, А – особливо високої точності, С – особливо точні верстатів.

За ступенем автоматизації розрізняють верстатів з *ручним керуванням*, *напівавтоматами*, *автоматами* та *верстатів з програмним керуванням*.

*Автоматами* називають верстатів, на яких після їх включення всі операції здійснюються автоматично без участі оператора за циклом, що періодично повторюється. До циклу входить установлення й закріплення заготовки на верстаті, обробка її поверхонь, знімання обробленої деталі, подача й закріплення наступної заготовки.

*Напівавтоматами* відрізняються від автоматів тим, що знімання обробленої деталі, установлення нової заготовки на верстат і включення верстата здійснює оператор. Цикл обробки заготовки – автоматичний.

Металорізальні верстатів із системами числового програмного керування (ЧПК) мають високий рівень автоматизації, включаючи

автоматичну заміну різальних інструментів і заготовок, зміну режимів різання, отримання заданих розмірів поверхонь деталей. Їх застосовують як для виконання простих операцій (свердління отворів, обточування валів тощо), так і для обробки складних фасонних поверхонь.

## Кінематика верстатів

*Приводом* верстата називають сукупність механізмів, які передають рух від джерела руху (електродвигуна) до робочих органів верстата з закріпленими в них інструментами та заготовками. В залежності від виду руху розрізняють приводи головного руху, подачі та допоміжних рухів.

Рухи робочих органів верстатів здійснюються за допомогою різноманітних передач, які встановлюються між джерелом руху і робочим органом. *Передачею* називають механізм, що передає рух від одного елемента до другого (з валу на вал), або перетворює один рух в інший (наприклад, обертальний в поступальний). В передачі елемент, від якого передається рух, називають *ведучим*, а елемент, що приймає рух, – *веденим*. Кожна передача характеризується *передаточним відношенням*, яке показує, в скільки разів частота обертання веденого елемента відрізняється від частоти обертання ведучого елемента:  $i = n_{вн} / n_{вч} = n_2 / n_1$ , де  $i$  – передаточне відношення;  $n_{вн}$  ( $n_2$ ) – частота обертання веденого вала, об/хв;  $n_{вч}$  ( $n_1$ ) – частота обертання ведучого вала, об/хв.

На рис. 1.1 наведені схеми деяких передач, що застосовуються в приводах металорізальних верстатів.

*Пасова передача* (рис. 1.1, а) здійснюється плоскими, клиновими або круглими пасами за допомогою шківів, закріплених на ведучому та веденому валах. Передаточне відношення передачі  $i = d_1 \eta_n / d_2$ , де  $d_1$  і  $d_2$  – діаметри ведучого й веденого шківів, мм;  $\eta_n$  – коефіцієнт, який враховує проковзування паса відносно поверхонь шківів ( $\eta_n = 0,96 \dots 0,99$ ).

*Ланцюгова передача* (рис. 1.1, б) здійснюється роликівим або безшумним ланцюгом, що з'єднує зірочки, закріплені на ведучому та веденому валах. Передаточне відношення ланцюгової передачі  $i = z_1 / z_2$ , де  $z_1$  і  $z_2$  – числа зубів ведучої та веденої зірочки.

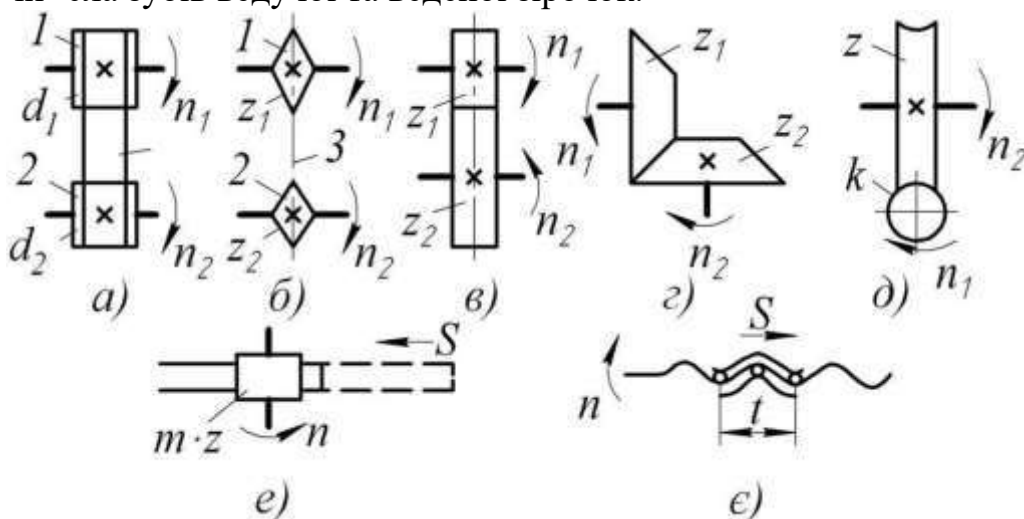


Рис. 1.1. Передачі в металорізальних верстатах

Зубчаста передача складається з циліндричних (рис. 1, в), або конічних коліс (рис.1.1, з). Передаточне відношення зубчастої передачі  $i = z_1 / z_2$ , де  $z_1$  і  $z_2$  – числа зубів ведучого і веденого зубчастих коліс.

Черв'ячна передача (рис. 1.1, д) складається з черв'яка (гвинта) та черв'ячного зубчастого колеса і призначена для суттєвого зниження частоти обертання веденого вала, коли ведучим є черв'як. Якщо різьба черв'яка має  $k$  заходів, а число зубів черв'ячного колеса дорівнює  $z$ , то передаточне відношення черв'ячної передачі  $i = k / z$ .

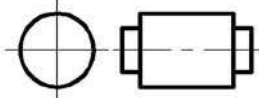
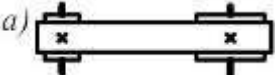



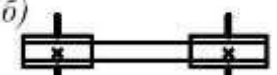





Рейкова передача (рис. 1.1, е) перетворює обертальний рух рейкового зубчастого колеса в поступальний рух зубчастої рейки. Якщо рейкове колесо має  $z$  зубів, а модуль його та рейки  $m$ , мм, то за один оберт рейкового колеса рейка переміститься на величину  $S = \pi \cdot m \cdot z$ , мм.

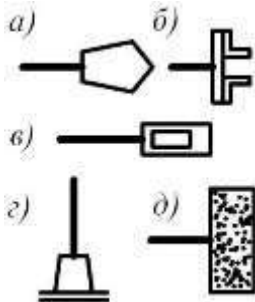
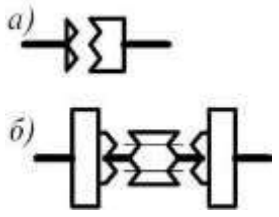
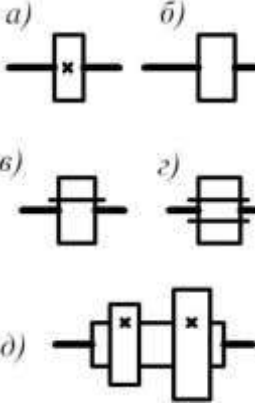
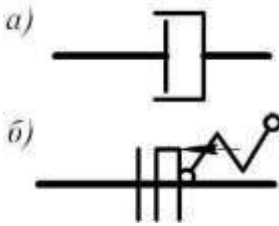
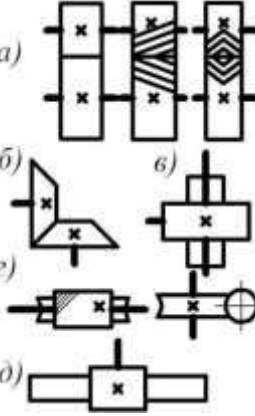
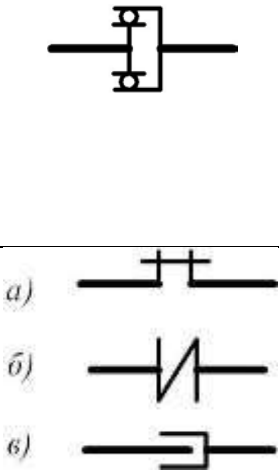
Гвинтова передача (рис. 1.1, є) складається з гвинта та гайки і призначена для перетворення обертального руху гвинта в поступальний рух гайки. Якщо крок різьби гвинта дорівнює  $t$ , мм, число заходів різьби дорівнює  $k$ , то за один оберт ходового гвинта гайка переміститься на величину  $S = t \cdot k$ , мм.

У таблиці 1 наведені умовні позначення передач і механізмів, найбільш поширених у металорізальних верстатах.

Таблиця 1

Умовні позначення основних передач і механізмів металорізальних верстатів

Назва елемента	Позначення	Назва елемента	Позначення
Електродвигуни		Пасові передачі: а - плоским пасом; б - клиновими пасами	а)  б) 
Вал, вісь, стрижень		Ланцюгові передачі: а – роликівим ланцюгом; б - зубчастим (безшумним) ланцюгом	а)  б) 
Радіальні підшипники на валу: а – без уточнення типу; б – кочення; в – ковзання	а)  б)  в) 	Гвинтова передача: а - з нерознімною гайкою; б - з	а)  б) 
Кінці шпинделів для робіт: а – центрових; б - патронних; в - свердлильних; г - фрезерних;			

<p>д - шліфувальних</p>		<p>рознімною гайкою</p> <p>Кулачкові муфти зчеплення:</p> <p>а – одностороння;</p> <p>б - двостороння</p>	
<p>З'єднання деталі з валом:</p> <p>а - нерухоме;</p> <p>б - вільне;</p> <p>в - рухоме вздовж осі з напрямною шпонкою;</p> <p>г - рухоме вздовж осі, шлицьове;</p> <p>д - нерухоме з'єднання двох деталей на втулці</p>		<p>Фрикційні муфти зачеплення:</p> <p>а - дискова одностороння;</p> <p>б – електромагнітна одностороння</p>	
<p>Зубчасті зачеплення:</p> <p>а - циліндричні з прямими, косими;</p> <p>б - конічне;</p> <p>в - гвинтове;</p> <p>г - черв'ячне (у двох проекціях);</p> <p>д - рейкове</p>		<p>Обгінна муфта</p> <p>З'єднання двох співвісних валів:</p> <p>а - жорстке;</p> <p>б - еластичне;</p> <p>в - телескопічне</p>	

У приводах головного руху та руху подач крім розглянутих передач є ще механізми, за допомогою яких можна змінювати напрям і швидкість руху. Зміна напрямку руху (реверсування) забезпечується включенням в ланку передачі руху між двома паралельними валами I і II (рис. 1.2, а) „паразитного” колеса  $z_0$ . При передачі обертального руху між двома взаємно перпендикулярними валами застосовують реверсивні механізми з конічними зубчастими колесами (рис. 1.2, б). В обох випадках реверсування вала II досягається переключенням двосторонньої муфти *M*.

Регулювання швидкості головного руху і руху подач в металорізальних верстатах може бути безступінчастим і ступінчастим. Системи безступінчастого регулювання дають можливість отримувати частоту обертання шпинделя і величину подачі точно із розрахованим режимом різання і забезпечити, таким чином, оптимальну продуктивність процесу механічної обробки матеріалів. В металорізальних верстатах для безступінчастого регулювання швидкості використовуються системи електромашинного підсилення, системи генератор – двигун, гідравлічні двигуни та механічні пристрої, наприклад, варіатори.

Для ступінчастого регулювання швидкості в металорізальних верстатах використовують дво-, три- і чотиришвидкісні асинхронні електродвигуни та різні механізми на основі зубчастих передач. До них відносяться *гітари*, *коробки швидкостей* в приводах головного руху та *коробки подач* в приводах подач.

Гітарами називаються пристрої в приводах металорізальних верстатів, за допомогою яких передача руху з вала I на вал II (рис. 1.3) здійснюється змінними зубчастими колесами. Виводячи вали I і II за межі станини верстата в зручному для обслуговування місці та підбираючи відповідним чином числа зубів змінних коліс, можна між цими валами забезпечувати практично будь-яке передаточне відношення.

За конструкцією гітари бувають однопарними з двома змінними зубчастими колесами *A* і *B* (рис. 1.3, *а*) і двопарними (рис. 1.3, *б*) з чотирма змінними колесами *a*, *b*, *c*, *d*. В однопарних гітарах кількість можливих швидкостей дорівнює кількості змінних коліс. Передаточне відношення *i* визначається числами зубів *A* і *B*:  $i = A/B$ . Однопарні гітари встановлюють у приводах головного руху і, зазвичай, вони забезпечують 2...12 швидкостей.

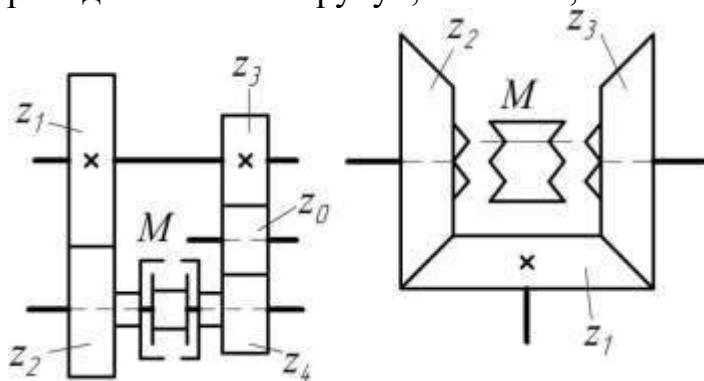


Рис. 1.2. Реверсивні механізми металорізальних верстатів

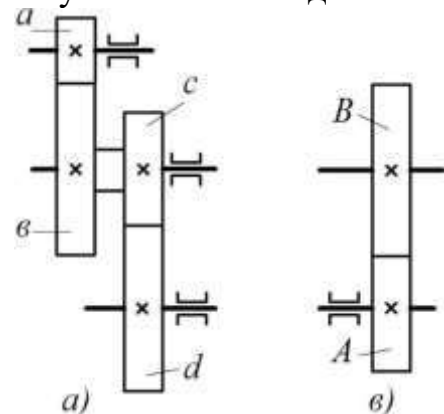


Рис. 1.3. Схеми гітар

Передаточне відношення двопарної гітари для кожного настроювання привода з такою гітарою визначається співвідношенням чисел зубів змінних коліс:

$$i = \frac{a}{c} \cdot \frac{c}{d}$$

До верстатів з двопарною гітарою додаються набори змінних коліс. Набори бувають „п’яткові”, парні та універсальні. В „п’ятковому” наборі числа зубів змінних коліс від 20 до 100 змінюються через 5, в парному наборі - через 4 зуби. Універсальний набір є найповнішим і використовується для відповідальних ділительних ланцюгів.

Двопарні гітари можуть давати необмежену кількість швидкостей і їх встановлюють у приводах взаємопов’язаних рухів (різьбонарізних, обкатки тощо) і в приводах подач.

Гітари як механізми настроювання верстатів на певний режим роботи застосовують у спеціальних і спеціалізованих верстатах, де зміна режиму роботи відбувається не часто, бо на заміну зубчастих коліс потрібно витратити певний час. В універсальних же верстатах, при роботі на яких зміни режимів різання відбуваються досить часто, використовують інші механізми регулювання швидкостей, зокрема коробки швидкостей і коробки подач.

Шестеренчасті коробки швидкостей знайшли широке розповсюдження в металорізальних верстатах завдяки своїй компактності, меншій вартості, зручності передачі обертального руху робочим органам верстатів.

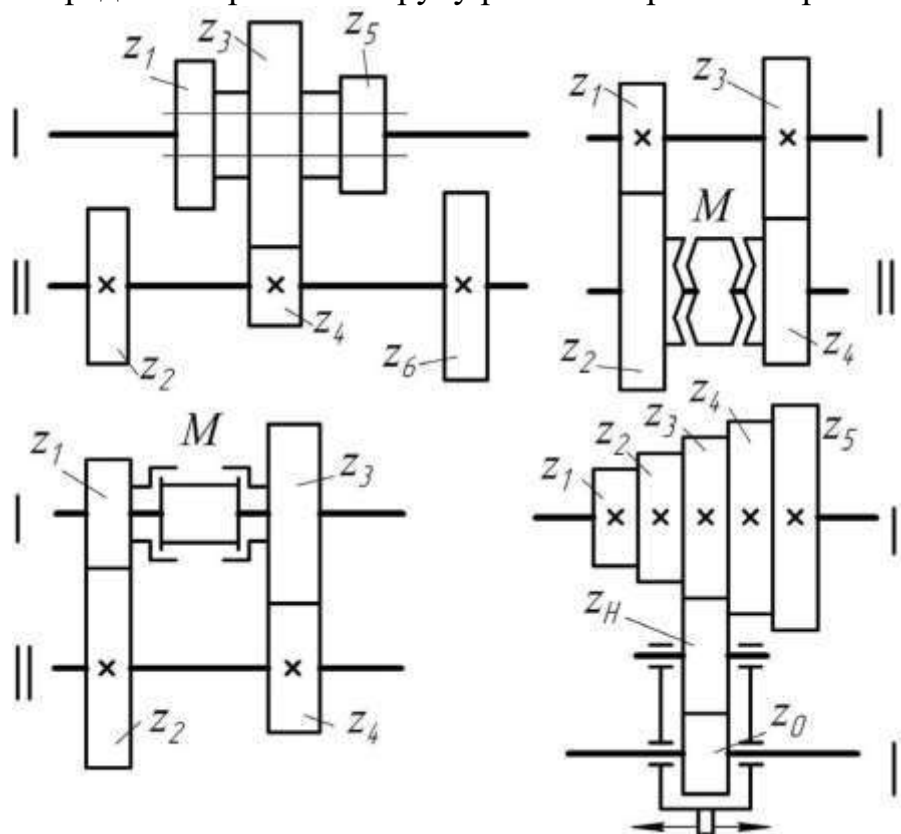


Рис. 1.4. Схеми передач руху в коробках швидкостей

Зміна швидкості обертання веденого вала шестеренних коробок досягається за рахунок включення в роботу певної комбінації зубчастих коліс. В коробках швидкостей використовують різні способи передачі руху з ведучого вала I на ведений вал II:

- *пересувними блоками шестерень* (рис. 1.4, а). Потрійний блок шестерень B забезпечує три передачі з передаточними відношеннями  $z_1/z_2$ ,  $z_3/z_4$ ,

$z_5/z_6$ ;

- переключаючи муфти М, надаємо обертання валу ІІ через колеса

$z_1/2$

чи  $z_3/z_4$  (рис. 1.4, б, в);

- *накидними шестернями* (рис. 1.4, г). Зубчасті колеса  $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5$  нерухомо закріплені на валу І. Рух на вал ІІ передається зубчастим колесом  $z_n$ , що вільно сидить на проміжному валу, і колесом  $z_o$ , яке пересувається на валу ІІ на напрямній шпонці. Механізм забезпечує п'ять передач з передаточними відношеннями  $z_1/z_o, z_2/z_o, z_3/z_o, z_4/z_o, z_5/z_o$ . Вал ІІ, таким чином, має п'ять значень частоти обертання.

Отже, в приводах металорізальних верстатів є передачі з постійним передаточним відношенням і механізми (гітари, коробки швидкостей), передаточні відношення в яких можна змінювати і, таким чином, регулювати швидкості руху робочих органів верстатів.

### **Кінематична схема верстата**

Сукупність умовних позначень передач і механізмів верстата, які забезпечують задані закони руху виконавчих органів, називається кінематичною схемою. Вона дає уявлення про відносне розташування елементів привода та дозволяє встановити, в якому напрямку передається рух, як змінюється його швидкість і в який рух він перетворюється в механізмах привода. Частина кінематичної схеми, яка передає рух від електродвигуна до виконавчого органу або від одного виконавчого органу до іншого, називається кінематичним ланцюгом. Розрізняють кінематичні ланцюги головного руху, руху подач, прискорених і взаємопов'язаних рухів.

Запозичується рух в кожному кінематичному ланцюзі від певного органу верстата і закінчується на відповідному виконавчому органі. Ці органи початку й кінця ланцюгів називаються кінцевими ланками кінематичних ланцюгів. Відношення рухів кінцевих ланок кінематичних ланцюгів один до одного дорівнює загальному передаточному відношенню кінематичного ланцюга між кінцевими ланками, яке, в свою чергу, дорівнює добутку передаточних відношень усіх механізмів, що беруть участь у передачі руху між кінцевими ланками ланцюга. Рухи кінцевих ланок будь-якого кінематичного ланцюга з урахуванням передаточних відношень усіх проміжних ланок (передач) можна виразити через *рівняння кінематичного балансу* цього ланцюга.

### **Порядок виконання роботи**

1. Ознайомлення з кінематичною схемою:
  - *Визначте основні вузли верстата*
  - *Знайдіть привід головного руху та приводи подач*
2. Аналіз кінематичних ланцюгів:

- Простежте шлях передачі руху від двигуна до робочого органу
- Визначте типи передач у кожному ланцюгу (зубчаста, пасова, черв'ячна)

3. Розрахунок передаточних відношень:

- Запишіть формулу загального передаточного відношення
- Розрахуйте передаточні відношення для кожної передачі
- Обчисліть загальне передаточне відношення
- Розрахуйте швидкість обертання шпинделя

Для кожного варіанту (вибираєте свій за списком групи) визначте загальне передаточне відношення та швидкість обертання вихідного валу. Швидкість обертання двигуна у всіх варіантах 1450 об/хв.

1. Пасова передача ( $D_1=80\text{мм}$ ,  $D_2=160\text{мм}$ ) -> Зубчаста передача ( $Z_1=20$ ,  $Z_2=60$ )
2. Зубчаста передача ( $Z_1=25$ ,  $Z_2=75$ ) -> Пасова передача ( $D_1=100\text{мм}$ ,  $D_2=200\text{мм}$ )
3. Пасова передача ( $D_1=120\text{мм}$ ,  $D_2=180\text{мм}$ ) -> Зубчаста передача ( $Z_1=30$ ,  $Z_2=90$ )
4. Зубчаста передача ( $Z_1=40$ ,  $Z_2=80$ ) -> Пасова передача ( $D_1=150\text{мм}$ ,  $D_2=300\text{мм}$ )
5. Пасова передача ( $D_1=90\text{мм}$ ,  $D_2=270\text{мм}$ ) -> Зубчаста передача ( $Z_1=15$ ,  $Z_2=45$ )
6. Зубчаста передача ( $Z_1=35$ ,  $Z_2=70$ ) -> Пасова передача ( $D_1=80\text{мм}$ ,  $D_2=240\text{мм}$ )
7. Пасова передача ( $D_1=100\text{мм}$ ,  $D_2=250\text{мм}$ ) -> Зубчаста передача ( $Z_1=25$ ,  $Z_2=50$ )
8. Зубчаста передача ( $Z_1=30$ ,  $Z_2=60$ ) -> Пасова передача ( $D_1=120\text{мм}$ ,  $D_2=180\text{мм}$ )
9. Пасова передача ( $D_1=110\text{мм}$ ,  $D_2=220\text{мм}$ ) -> Зубчаста передача ( $Z_1=20$ ,  $Z_2=80$ )
10. Зубчаста передача ( $Z_1=40$ ,  $Z_2=120$ ) -> Пасова передача ( $D_1=90\text{мм}$ ,  $D_2=180\text{мм}$ )
11. Пасова передача ( $D_1=130\text{мм}$ ,  $D_2=195\text{мм}$ ) -> Зубчаста передача ( $Z_1=35$ ,  $Z_2=105$ )
12. Зубчаста передача ( $Z_1=25$ ,  $Z_2=100$ ) -> Пасова передача ( $D_1=110\text{мм}$ ,  $D_2=165\text{мм}$ )
13. Пасова передача ( $D_1=140\text{мм}$ ,  $D_2=280\text{мм}$ ) -> Зубчаста передача ( $Z_1=30$ ,  $Z_2=75$ )
14. Зубчаста передача ( $Z_1=45$ ,  $Z_2=90$ ) -> Пасова передача ( $D_1=130\text{мм}$ ,  $D_2=260\text{мм}$ )
15. Пасова передача ( $D_1=150\text{мм}$ ,  $D_2=300\text{мм}$ ) -> Зубчаста передача ( $Z_1=40$ ,  $Z_2=120$ )
16. Зубчаста передача ( $Z_1=50$ ,  $Z_2=150$ ) -> Пасова передача ( $D_1=140\text{мм}$ ,  $D_2=210\text{мм}$ )

4. Аналіз впливу зміни передаточних відношень:
  - Змініть одне з передаточних відношень
  - Проаналізуйте, як це вплине на роботу верстата
  - Наведіть всі розрахунки та висновки

### Приклад розв'язання

1. Передаточні відношення:
  - Пасова передача:  $i_1 = D_2 / D_1 = 160 / 80 = 2$
  - Зубчаста передача:  $i_2 = Z_2 / Z_1 = 60 / 20 = 3$
2. Загальне передаточне відношення:  $i = i_1 * i_2 = 2 * 3 = 6$
3. Швидкість обертання вихідного вала:  $n_{\text{вих}} = n_{\text{дв}} / i = 1450 / 6 \approx 241,67$  об/хв

### Контрольні питання

1. Що таке кінематична схема верстата?
2. Як розраховується загальне передаточне відношення?
3. Яке значення має аналіз кінематики для роботи верстата?
4. Як зміна передаточного відношення впливає на швидкість робочого органу?

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

### Тема: ГОЛОВНИЙ РУХ ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНОГО ВЕРСТАТА

**Мета роботи:** вивчити ланцюги передачі головного руху і набути навички виконання обчислень швидкості різання на токарно-гвинторізних верстатах.

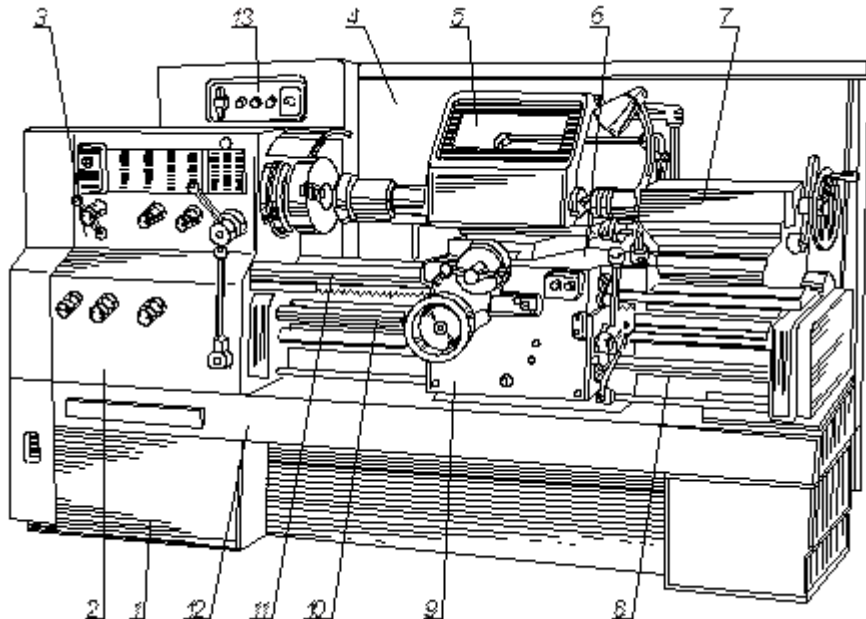
**Обладнання:** кінематичні схеми токарно-гвинторізних верстатів 16К20, 1К62, ТВ-6.

### Теоретичні відомості

На верстатах токарної групи обробляють деталі типу валів, дисків, втулок за рахунок обточування зовнішніх циліндричних поверхонь, торців та виступів, прорізання канавок і відрізування, розточування внутрішніх поверхонь, фасонних поверхонь, свердління, зенкування і нарізання різьб плашками і мітчиками, накатування рифлених поверхонь.

Головним рухом у цих верстатах є обертання шпинделя, в якому кріпиться заготовка. Рухом повздовжньої і поперечної подачі є рух супорта, в якому закріплені різці. При обробці свердлами рух подачі здійснюється задньою бабкою.

Згідно класифікації токарні верстати відносяться до першої групи. Типова компоновка токарного верстата подана на рис. 2.1. На основі 1 закріплена станина 11 і корито 12. На станині розміщені передня бабка 3 і коробка подач 2. Напрямами станини переміщується супорт 6 з фартухом 9 і задня бабка 7. Двигун встановлено в основі і закритий кожухом.



*Рис. 2.1. Токарно-гвинторізний верстат*

Рух подач передається механізмом фартуха через ходовий вал 8 (точіння), або через ходовий гвинт 10 (нарізання різьб). На передній бабці зосереджені ручки керування верстатом.

Зміна частот обертання шпинделя здійснюється за допомогою групових передач з рухомими подвійними та потрійними блоками. Для зміни напрямку руху використовується фрикційна муфта. Також в передній бабці розташований привод механізму подач, що містить ланку збільшення кроку і реверсивний механізм. Опорами шпинделя є роликові та радіально-упорні підшипники, в яких здійснюється регулювання їх натягу.

У високоточних токарних верстатах використовуються в шпиндельних вузлах гідродинамічні чи гідростатичні підшипники.

Напряму руху в коробках подач змінюється за допомогою зубчастих муфт внутрішнього зачеплення. Вихідними ланками коробок подач є ходовий гвинт і ходовий вал. Супорт верстата переміщується напрямними станини за допомогою гвинтової або рейкової передачі. За допомогою передачі гвинт-гайка здійснюється ручне переміщення поперечних полозків. На поперечних полозках встановлені верхні (різцеві) полозки, на яких розташовані передній і задній різцетримач.

В задній бабці, що встановлюється на напрямних станини, піноль з центром переміщується парою гвинт-гайка. Задня бабка може з'єднуватися з кареткою супорта для отримання подачі.

Пристаосуванням в токарних верстатах є самоцентрувальні патрони та поводкові патрони, хомути, люнети, оправки, що призначені для кріплення деталей. Тіла обертання кріпляться в трикулачкових патронах з синхронним

переміщенням кулачків, а некруглі чи несиметричні заготовки закріплюються чотирикулачковим патроном. У верстатах з ЧПК використовуються патрони з електромеханічним, гідравлічним та пневматичним приводами.

Частоти обертання шпинделя  $n$  ( $\frac{\text{об.}}{\text{хв.}}$ ) і подачі  $S$  ( $\frac{\text{об.}}{\text{хв.}}$ ) нормалізовані, тобто розміщуються за геометричною прогресією зі стандартним знаменником  $\phi$ . Всього використовується сім рядів із знаменником  $\phi$ : 1,06; 1,12; 1,26; 1,41; 1,58; 1,78; 2,0.

Необхідну частоту обертання обчислюють за формулою:

$$n_i = n_{min} \phi^{i-1},$$

де  $n_{min}$  - мінімальна частота обертання;

$i$  - порядковий номер відповідної частоти обертання шпинделя або вала.

Відношення максимальної частоти обертання шпинделя до мінімальної називається *діапазоном регулювання головного руху*:

$$D_n = \frac{n_{max}}{n_{min}}.$$

Діапазон регулювання подач обчислюється за формулою:

$$D_S = \frac{S_{max}}{S_{min}},$$

де  $S_{max}$  - максимальна подача,  $\frac{\text{мм}}{\text{об.}}$ ;

$S_{min}$  - мінімальна подача,  $\frac{\text{мм}}{\text{об.}}$ .

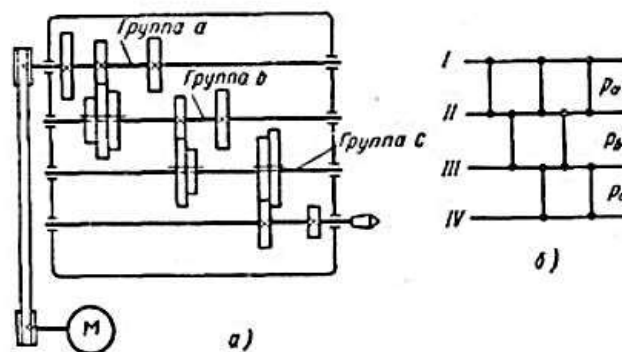
Для універсальних верстатів  $D_n = 16 \div 200$ , а для спеціальних і спеціалізованих  $D_n = 3 \div 20$ .

Налагодження верстата полягає в його кінематичній підготовці для обробки заготовки у відповідності з вибраним режимом різання. Кінематичні ланцюги настроюють, встановлюючи в необхідні положення рукоятки управління швидкостями головного руху і руху подач.

Налагодження верстата полягає у правильній установці і закріпленні різального інструмента, пристроїв і заготовок.

**Число ступенів частоти обертання** шпинделя обчислюють за формулою:

$$z = p_a p_b p_c \dots p_k$$



2.2. Схеми коробки швидкостей на 12 ступенів з послідовним включенням груп передач: а - кінематична; б - структурна

**Групою передач** називають сукупність передач між двома сусідніми валами. Групу  $a$  називають основною,  $b$  - першою переборною,  $c$  - другою переборною і т.д.,  $p_a p_b p_c \dots p_k$  - число передач в групі  $a, b, c, \dots k$ .

### **Токарно - гвинторізний верстат 16К20**

Верстат призначений для зовнішнього і внутрішнього точіння, нарізання правої і лівої метричної, дюймової, модульної і пітчевої різьб, одно- і багатозахідних різьб з нормальним і збільшеним кроком, торцевої різьби тощо.

Основними параметрами верстата є найбільший діаметр оброблюваної заготовки над станиною і найбільша відстань між центрами, бо вона визначає найбільшу довжину заготовки, яка обробляється.

### **Технічна характеристика верстата 16К20**

Найбільший діаметр деталі, встановленої над станиною, мм	200
Відстань між центрами, мм	710; 1000; 1400
Діаметр отвору шпинделя, мм	52
Число значень частот обертання шпинделя	24
Частота обертання шпинделя, об.	12,5 - 1600
Подача за один оберт шпинделя: поздовжні поперечні	0,05 - 2,8 0,025 - 1,4
Крок різьби, що нарізається: метричної, мм дюймової (число ниток на один дюйм) модульної, модуль пітчевої, пітч	0,5 – 112 56 – 0,5 0,5 – 112 56 – 0,5
Потужність електродвигуна, кВт	10
Число обертів за хвилину	1460

Модульні і пітчеві різьби використовують для виготовлення черв'яка черв'ячної передачі.

**Модульною різьбою** називається така різьба, у якій крок пропорційний числу  $\pi$  в міліметрах.

**Пітчевою** називається така різьба, у якій крок різьби пропорційний числу  $\pi$  в дециметрах. Пітч обчислюють за формулою:

$$p = \frac{z}{D},$$

де  $z$  – число зубів черв'ячного колеса;

$D$  – зовнішній діаметр черв'ячного колеса в дюймах.

Рух від електродвигуна до шпинделя може передаватися по двох кінематичних ланцюгах (враховуємо 0,985 - коефіцієнт ковзання пасової передачі):

1) без перебору:

$$n_{\text{шп}} = 1460 \times \frac{154}{268} \times 0,985 \times \frac{51}{39} \times \left( \text{або } \frac{56}{34} \right) \times \frac{21}{55} \left( \text{або } \frac{38}{38}, \text{ або } \frac{29}{47} \right) \times \frac{30}{60} \left( \text{або } \frac{60}{48} \right)$$

$$z_1 = 2 \cdot 3 \cdot 2 = 12$$

2) з перебором:

$$n_{\text{шп}} = 1460 \times \frac{154}{268} \times 0,985 \times \frac{51}{39} \times \left( \text{або } \frac{56}{34} \right) \times \frac{21}{55} \left( \text{або } \frac{38}{38}, \text{ або } \frac{29}{47} \right) \times \frac{15}{60} \left( \text{або } \frac{45}{45} \right) \times \frac{18}{72} \times \frac{30}{60}$$

$$z_2 = 2 \cdot 3 \cdot 2 = 12$$

Отже, число ступенів частоти обертання шпинделя  $z = z_1 + z_2 = 12 + 12 = 24$ . Частоти обертання шпинделя  $500 \text{ хв}^{-1}$  та  $630 \text{ хв}^{-1}$  повторюється двічі, а тому фактично шпиндель має 22 частоти обертання.

### Токарно - гвинторізний верстат ТВ-6

У шкільних навчальних майстернях можна виготовляти вироби з металу, що мають циліндричну, конічну, фасонну поверхню, поверхню з виступами, уступами та іншою геометричною формою поверхні на токарно-гвинторізному верстаті марки ТВ-6.

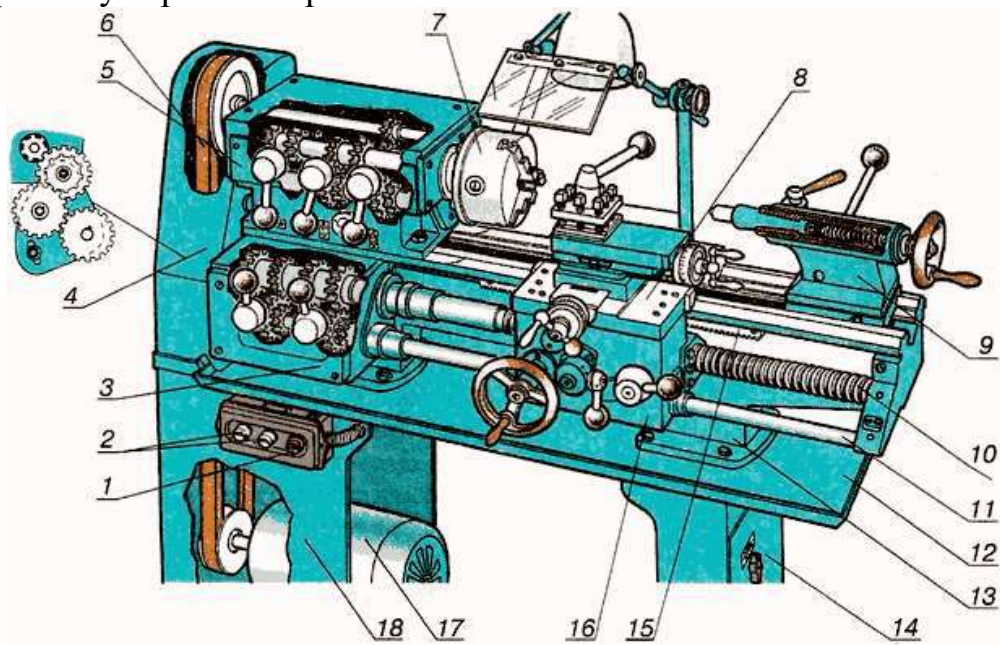


Рис. 2.3. Будова токарно-гвинторізного верстату ТВ-6

- 1 – кнопковий пульт керування; 2 – кнопки реверсного вмикання електродвигуна;
- 3 – коробка подач; 4 – гітарний механізм; 5 – передня бабка;
- 6 – клинопасова передача; 7 – трикулачковий патрон; 8 – супорт; 9 – задня бабка;
- 10 – ходовий гвинт; 11 – ходовий вал; 12 – корито; 13 – станина; 14 – права тумба;
- 15 – зубчаста рейка; 16 – фартух супорта; 17 – електродвигун; 18 – ліва тумба

*Станина* – це основа верстата, на якій монтуються основні його вузли. Вона має дві напрямні: передня напрямна слугує для пересування каретки супорта, задня - для пересування задньої бабки. *Передня бабка* кріпиться на лівій частині станини. У верстаті ТВ-6 передня бабка слугує і коробкою швидкостей. Передня бабка призначена для кріплення оброблюваної заготовки та надання їй обертового руху, зміни частоти обертання шпинделя (швидкості різання) та зміни напрямку обертання (реверс). *Шпиндель* передає обертовий рух заготовці, що обробляється, за допомогою трикулачкового патрона.

### **Технічна характеристика верстата ТВ-6**

Найбільший діаметр деталі, встановленої над станиною, мм	200
Відстань між центрами, мм	350
Число значень частот обертання шпинделя	6
Частота обертання шпинделя, об.	180 - 1000
Подача за один оберт шпинделя: поздовжня	0,08; 0,1; 80,12
Крок різьби, що нарізується: метричної, мм	0,8; 1; 1,25; 1,5; 2
Потужність електродвигуна, кВт	0,8
Число обертів за хвилину	1410

### **Кінематика верстата, визначення швидкості обертів шпинделя та швидкості подач різця (верстат ТВ-6)**

#### **Визначення головного руху різання**

Від електродвигуна, що має частоту обертання шпинделя  $n = 1410$  об/хв, за допомогою клинопасової передачі зі шківками  $\varnothing 63$  і  $\varnothing 120$  мм (які закріплені на валах нерухомо) на вал II коробки швидкостей передається одна частота обертання. Для передачі обертового руху з II на III вал використовуються зубчасті колеса з кількістю зубів 25 та 38. Вал IV може отримувати три частоти обертання (за допомогою вільно насадженого блоку зубчастих коліс 38, 49, 44). Передача обертового руху з валу III на вал IV може здійснюватися в таких комбінаціях зубчастих коліс 38-38, 27-49, 32-44. Вал IV може передати на вал V дві частоти обертання (за допомогою вільно насадженого блоку зубчастих коліс 45 і 25). Відповідно, передача обертового руху може здійснюватися за допомогою комбінацій 45-31, 25-51. Далі, передача обертового руху здійснюється на вал трикулачкового патрона.

#### **Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитись з будовою та принципом дії токарно-гвинторізних верстатів. Розглянути технічні характеристики верстатів 16К20, 1К62, ТВ6.
2. Вивчити кінематичну схему верстатів. Записати і розрахувати кінематичне рівняння найбільшої і найменшої частоти обертання шпинделя верстатів 16К20, 1К62, ТВ6, позначити їх на схемі.
3. Запишіть призначення основних частин верстатів.