

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

В.В. Солоха

ТЕКСТИ (конспект) лекцій з дисципліни

“Металообробне обладнання”

Частина друга

для студентів спеціальності 133 “Галузеве машинобудування”  
спеціалізація “Металорізальні верстати та системи”

2025

Тексти (конспект) лекцій з дисципліни “Металообробне обладнання” для студентів спеціальності 133 “Галузеве машинобудування” спеціалізація “Металорізальні верстати та системи” Частина друга /Укл. В.В. Солоха. - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. - 162 с.

Укладачі: В.В. Солоха, доцент, к.т.н.

Рецензенти: професор, д.т.н.  
доцент, к.т.н.

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

Затверджено  
на засіданні кафедри  
“Металорізальних верстатів та  
інструментів”

Протокол № \_\_\_\_\_  
від “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025

Рекомендовано до видання НМО спеціальності як текст (конспект) лекцій з дисципліни “Металообробне обладнання” для спеціальності 133 “Галузеве машинобудування” спеціалізація “Металорізальні верстати та системи” на засіданні кафедри “Металорізальних верстатів та інструментів”.

Протокол № \_\_\_\_\_ від “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025.

## Зміст

	с.
Лекція 1. Обробка зубчастих коліс. Верстати для обробки циліндричних зубчастих коліс	4
Лекція 2. Верстати для обробки конічних зубчастих коліс	12
Лекція 3. Зубошліфувальні верстати. Зубообробні верстати з ЧПК	20
Лекція 4. Токарні верстати	27
Лекція 5. Токарно-револьверні, карусельні та затилувальні верстати	34
Лекція 6. Токарні автомати і напівавтомати. Одношпindelьні пруткові автомати	46
Лекція 7. Багатошпindelьні автомати і напівавтомати	53
Лекція 8. Фрезерні верстати	62
Лекція 9. Верстати для обробки отворів	73
Лекція 10. Багатоцільові верстати	86
Лекція 11. Агрегатні верстати.	97
Лекція 12. Автоматичні лінії	103
Лекція 13. Гнучкі виробничі системи	110
Лекція 14. Шліфувальні верстати	118
Лекція 15. Шліфування різі. Різьбошліфувальні верстати	130
Лекція 16. Шліфувальні верстати з ЧПК	135
Лекція 18. Токарні багатошпindelьні автомати з ЧПК	152
Рекомендована література	161

# ЛЕКЦІЯ 1. ОБРОБКА ЗУБЧАСТИХ КОЛІС. ВЕРСТАТИ ДЛЯ ОБРОБКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

## 1.1 Методи нарізання зубчастих коліс

Найбільшого поширення в машинобудуванні отримали зубчасті колеса з малочутливим до зміни міжосьової відстані евольвентним зачепленням. Для отримання високої точності і продуктивності часто спочатку виконують чорнове зубонарізування (зубофрезерування, зубодовбання, зубостругання) на граничних режимах різання, а потім виконують чистову обробку: шевінгування, шліфування тощо. Використовують два принципово різних методи формоутворення - копіювання і обкат.

**При методі копіювання** як інструмент застосовують дискові і кінцеві фрези, стругальні профільні різці, зуборізні головки, протяжки та профільні шліфувальні круги. Профіль їх різальної кромки збігається з профілем западини зуба і в процесі обробки копіюється на заготовці (рис. 1.1). Складний (евольвентний) профіль різальної кромки такого інструменту дозволяє виконувати обробку за цим методом з мінімальним числом формотворних рухів на верстатах з простою кінематикою.

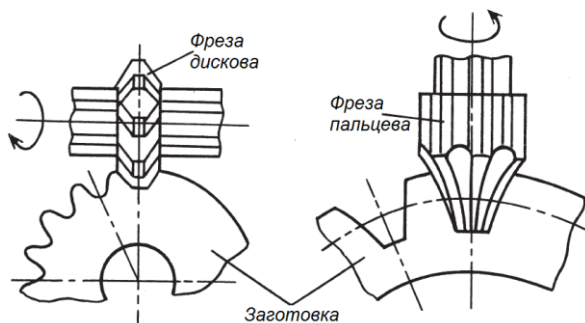


Рисунок 1.1 – Обробка зубів методом копіювання

Профіль зуба зубчастого колеса залежить від модуля, кута зачеплення та числа зубів, тобто для обробки кожного зубчастого колеса з визначеним модулем та числом зубів теоретично необхідно мати окремий різальний інструмент. На практиці використовують

комплекти зуборізних фрез для нарізування зубчастих коліс одного модуля з різним числом зубів. Набір може складатися з 8, 15 чи 27 фрез.

Відхилення профілю зуба, похибки зумовлені періодичним поділом і зносом інструменту, не дозволяють отримати колеса вище 10-го чи 9-го ступенів точності (ГОСТ 1643-81), що на один-два ступені гірше, ніж при методі обкатки.

Використання багаторізцевих зуборізних головок забезпечує високу продуктивність обробки, оскільки всі зуби нарізуються одночасно і не потрібний рух ділення. Точність обробки визначається лише точністю виготовлення та складання зуборізної головки, а оскільки такі головки проєктуються під конкретне визначене зубчасте колесо, то і точність може бути достатньо висока. Такі головки доцільно використовувати в масовому виробництві.

Під час обробки зубчастих коліс методом обкату в процесі нарізування зубів відтворюються рухи якої-небудь зубчастої пари (циліндричної, черв'ячної, конічної, рейкової). В такому разі одним із елементів пари є інструмент, а іншим – заготовка. Формування бічних поверхонь зубів відбувається в процесі послідовної зміни положення різальних кромок інструмента під час обкочування інструмента і заготовки.

Метод обкату забезпечує високу точність і продуктивність нарізування зубів, можливість нарізування зубчастих вінців з одним модулем та різним числом зубів одним інструментом.

### **1.2 Зубодовбальні верстати**

Зубодовбання (рис. 1.2) за методом обкатки відтворює зачеплення пари циліндричних коліс з паралельними осями, одним з яких є інструмент - довбач. Таким способом можуть бути оброблені будь-які деталі, що входять у зачеплення з парним зубчастим колесом (прямозубі, косозубі і шевронні колеса, зубчасті рейки і сектори, не круглі колеса і блоки коліс). Довбач є прямозубим або косозубим колесом, бічні поверхні якого затиловані для отримання заднього кута, тобто виготовлені у вигляді різальних елементів. Довбач і заготовка в процесі зубонарізування обкочуються по початкових колах без прослизання.

Довбач в процесі обробки рухається зворотно-поступально з швидкістю різання  $V$ , і повільно обертається зі швидкістю кругової подачі  $S_{кр}$ . Узгоджено з обертанням довбача обертається заготовка - рух

обкату. На початку нарізування зубів, одночасно з узгодженим обертанням довбача і заготовки, здійснюється радіальне врізання довбача (чи заготовки)  $S_{вр}$  до повної глибини різання, після чого рух врізання вимикається. Для отримання повного профілю зуба по усьому ділянному колу, заготовка після вимикання врізання повинна здійснити повний оберт і процес нарізування завершується.

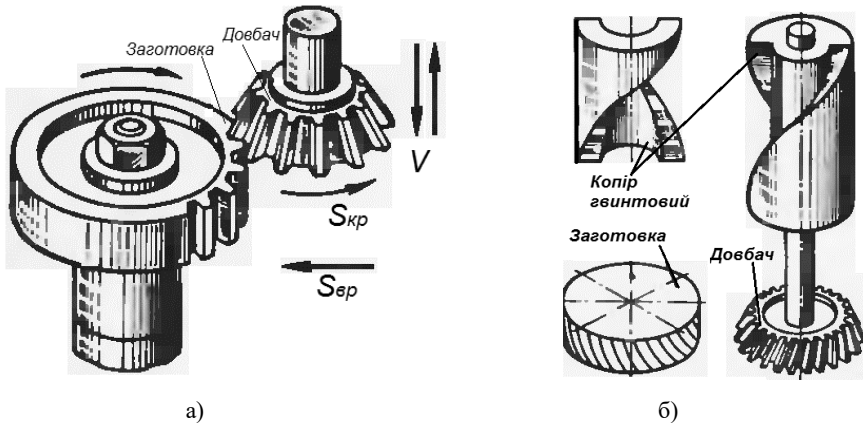


Рисунок 1.2 – Схеми нарізування зубчастих коліс довбанням: а – прямозубих; б – косозубих

Процес різання відбувається лише під час прямого ходу довбача. Під час зворотного ходу довбач відводиться від заготовки для усунення тертя задніх поверхонь зубів довбача по западині нарізуваного колеса.

Для нарізування косозубих зубчастих коліс (рис. 1.2, б) використовують спеціальні косозубі довбачі, кут нахилу зубів довбача має відповідати куту нахилу зубів нарізуваного колеса, а напрямок зубів повинен бути протилежний для нарізування зовнішніх вінців і однойменний для внутрішніх вінців. Додаткове обертання довбачеві в ході його поступального руху забезпечується спеціальними гвинтовими копіями, один з яких встановлюється у втулці черв'ячного колеса, а інший на шпинделі довбача. Для кожного кута нахилу зубів нарізуваного колеса встановлюються свої копії. В разі налаштування на обробку прямозубого колеса встановлюються прямолінійні копії.

Кінематична структура зубодовбального верстата (рис. 1.3) повинна забезпечувати усі виконавчі рухи, необхідні для нарізування зубів.

Головний рух здійснюється зворотно-поступальним переміщенням довбача  $\Pi_1$ , який походить від електродвигуна  $M$  ланцюгом 1-2-3. Швидкість різання налаштовується за допомогою органу налаштування  $i_v$  і (або) двигуна  $M$ . Переміщення довбача виконується за допомогою кривошипного механізму, з яким безпосередньо або через проміжні передачі з'єднується шпindel. Обертання довбача  $O_2$  з швидкістю кругової подачі здійснюється черв'ячною передачею від електродвигуна ланцюгом 1-2-5-4 з органом налаштування  $i_s$ . Швидкість кругової подачі  $S_k$  обчислюється в міліметрах переміщення по дільному колу довбача за один його подвійний хід. Налаштування на швидкість руху подачі (взаємного обкочування довбача і заготовки) повинне забезпечити таку умову узгодження переміщення довбача з його поворотом:

$$1 \text{ подвійний хід довбача} \longrightarrow \frac{S_k}{\pi t Z_d} \text{ об. довбача}$$

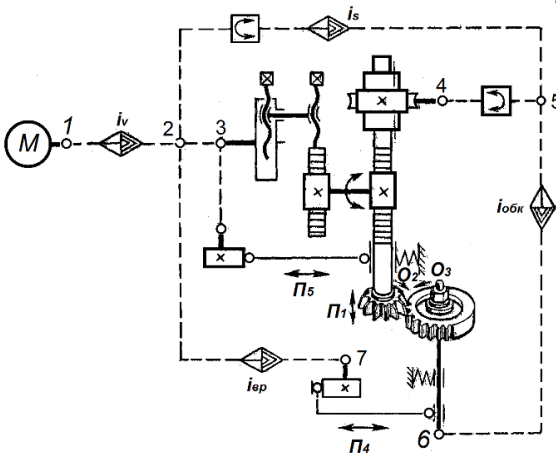


Рисунок 1.3 – Структурна схема зубодовбального верстата

Рух обкатки здійснюється узгодженим обертанням довбача  $O_2$  і заготовки  $O_3$  (ланцюг 4-5-6) і налаштовується гітарою обкатки (ділення)  $i_{обк}$ . Розрахункові переміщення ланцюга обкатки мають вигляд

$$1 \text{ об. заготовки} \longrightarrow \frac{Z_3}{Z_d} \text{ об. довбача}$$

Рух врізання  $\Pi_4$  може здійснюватися від гідроциліндра з безступінчастим регулюванням швидкості, від загального або окремого

електродвигуна з відповідним органом налаштування. Розрахункові переміщення для налаштування будуть подібні до переміщень ланцюга кругової подачі, але замість  $S_k$  підставляється величина радіальної подачі  $S_{rad}$

$$I \text{ подвійний хід довбача} \longrightarrow S_{rad}$$

Допоміжний рух  $P_5$  відскоку шпинделя на зворотному ході не залежить від параметрів оброблюваного колеса і виконується з постійною швидкістю.

### 1.3 Зубофрезерні верстати

Обробка зубів зубчастих коліс на зубофрезерних верстатах може вестися методом копіювання і методом обкату. В останньому випадку використовуються черв'ячні модульні фрези. В процесі нарізування зубів відтворюються рухи черв'ячної передачі де фреза розглядається як черв'як, а заготовка як черв'ячне колесо. На таких зубофрезерних

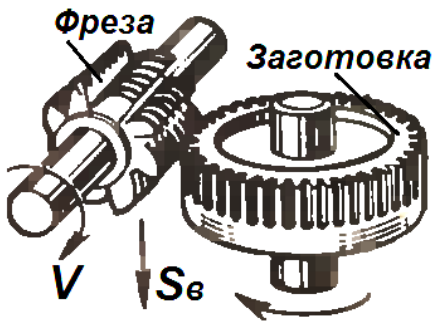


Рисунок 1.4 – Схема зубофрезерування

верстатах виконується нарізування циліндричних прямозубих та косозубим зубчастих коліс зовнішнього зачеплення та черв'ячних коліс.

Зубофрезерні верстати будуються з вертикальним та горизонтальним компоуванням, що визначається розташуванням осі заготовки. Найбільш поширені верстати вертикального компоування,

верстати з горизонтальним розміщенням осі заготовки доцільно використовувати для обробки зубчастих вінців виконаних спільно з валом (вал-шестірні). В процесі обробки зубів (рис. 1.4) черв'ячна фреза здійснює обертання з швидкістю різання  $V$ , а заготовка обертається узгоджено з обертанням фрези (рух обкату). Для утворення евольвентного профілю за всією довжиною вінця фреза отримує вертикальне переміщення з швидкістю вертикальної подачі  $S_v$ .

В процесі нарізування зубчастих коліс вісь фрези встановлюється таким чином, щоб напрямком гвинтової лінії фрези співпадав з напрямком зуба колеса (рис. 1.5). Для цього для нарізування

прямокутих циліндричних коліс (рис. 1.5, а) вісь фрези повинна утворювати з площиною перпендикулярною осі заготовки кут  $\gamma = \alpha$  ( $\alpha$  – кут підйому гвинтової лінії черв'ячної фрези). Для фрезерування циліндричних коліс з косими зубами (рис. 1.5, б, в) кут установки фрези  $\gamma = \beta \pm \alpha$  ( $\beta$  – кут нахилу гвинтової лінії зуба колеса). Кут  $\gamma$  дорівнює сумі кутів в разі якщо напрямки гвинтових ліній різнойменні (права фреза і ліве колесо або ліва фреза і праве колесо), і різниці кутів в разі якщо напрямки гвинтових ліній однойменні (фреза і колесо з правими чи лівими заходами).

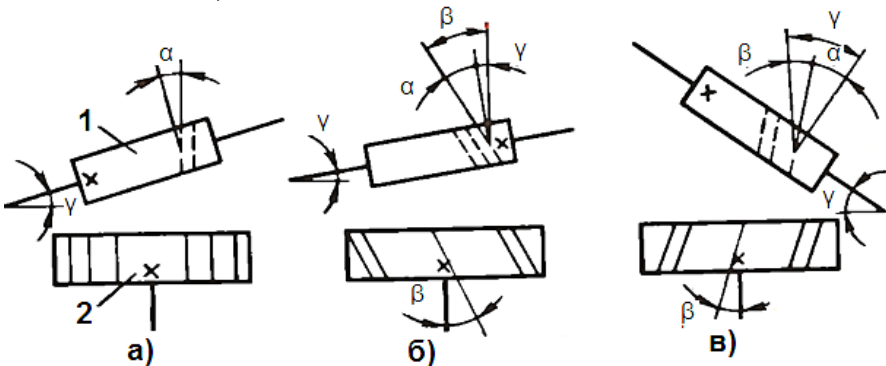


Рисунок 1.5 – Схеми встановлення черв'ячної фрези для фрезерування циліндричних коліс

Черв'ячні колеса нарізуються двома способами: з радіальною подачею та осовою чи тангенціальною подачею. Черв'ячні фрези для нарізування черв'ячних коліс повинні за всіма технічними параметрами відповідати черв'якам, що працюватимуть в парі з нарізуваним колесом. Вісь черв'ячної фрези встановлюється перпендикулярно осі нарізуваного колеса посередині висоти зубчастого вінця.

Для обробки зубів з радіальною подачею (рис. 1.6, а) використовуються такі самі фрези як і для циліндричних зубчастих коліс. Для обробки з осовою подачею (рис. 1.6, б) використовують спеціальні фрези з забірним конусом і циліндричною частиною. Конусна частина фрези виконує поступове вривання, а циліндрична - формує остаточний профіль зубів колеса. Для нарізування черв'ячних коліс з осовою подачею верстат повинен бути оснащений спеціальним протяжним супортом.

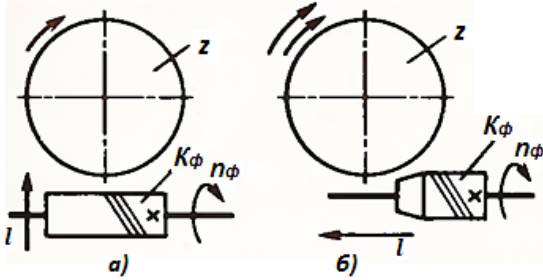


Рисунок 1.6– Схеми встановлення черв'ячної фрези для фрезерування черв'ячних коліс

Кінематична структура верстата (рис. 1.7) забезпечує нарізування циліндричних прямозубих та косозубим зубчастих коліс та черв'ячних коліс з радіальною та осьюовою подачею. Обертання черв'ячної фрези з швидкістю різання  $O_1$  здійснюється від електродвигуна М кінематичним ланцюгом 1-2-3 з органом налаштування  $i_v$ . Підбір передавального відношення органу налаштування виконується виходячи з забезпечення розрахункових переміщень кінцевих ланок ланцюга:

$$n_{ед} \text{ хв.}^{-1} \longrightarrow n_{фр} \text{ хв.}^{-1}.$$

Утворення евольвентного профілю зуба забезпечується кінематичним ланцюгом обкату 3-2-4-5 з органом налаштування (гітарою)  $i_{обк}$ , який забезпечує узгодження обертів фрези  $O_1$  і оброблюваного колеса  $O_2$ . Для фрези з числом заходів  $k$  і зубчастого колеса, що нарізується, з числом зубів  $z$  для визначення передавального відношення органу налаштування гітари обкатки використовують розрахункові переміщення кінцевих ланок:

$$1 \text{ об. фрези} \longrightarrow \frac{k}{z} \text{ об. заготовки.}$$

В зубофрезерних верстатах, що працюють за методом обкату, кінематичний ланцюг обкату виконує дві функції: власне обкату (профілювання) і ділення, яке здійснюється безперервно в процесі профілювання зубів.

Для отримання повного профілю зубів по ширині вінця для нарізання циліндричних зубчастих коліс фреза одержує вертикальне переміщення  $l_3$  з швидкістю подачі  $S_s$  кінематичним ланцюгом 1-2-6-7 з органом налаштування  $i_s$ . Подача в зубофрезерному верстаті задається



7-6-8-9-4-5 з органом налаштування  $i_{\text{диф}}$ . Оскільки заготовка в цьому випадку є спільною ланкою для двох кінематичних груп, то рух на ній передається через підсумовуючий механізм. Розрахункові переміщення кінцевих ланок для визначення передавального відношення  $i_{\text{диф}}$  матимуть вигляд

$P$  мм переміщення фрези  $\longrightarrow \pm 1$  додатковий оберт заготовки,

тут  $P$  – крок гвинтової лінії зуба колеса. Знак “+” береться в разі, якщо напрямки гвинтових ліній фрези і колеса однойменні; знак “–” якщо різнойменні.

Для нарізування черв’ячних коліс з радіальним врізанням налаштування кінематичних ланцюгів зубофрезерного верстата аналогічне до налаштування верстата на нарізування циліндричних прямозубих коліс, але замість вертикальної подачі налаштовується горизонтальна радіальна подача, рух  $\Pi_7$ . Принцип підбору передавального відношення  $i_s$  такий самий, як і для вертикальної подачі.

В разі нарізування черв’ячних коліс з тангенціальним врізанням фрези, крім обертального руху, здійснює осьове переміщення  $\Pi_5$ , внаслідок чого заготовка отримуватиме додаткове обертання  $O_6$ . Для забезпечення узгодженості цих рухів налаштовується ланцюг диференціала 12-11-6-8-9-4-5. Для визначення розрахункових переміщень ланцюга можна розглядати рухи фрези і заготовки, як рухи в рейковій передачі, коли лінійне переміщення рейки перетворюється в обертний рух рейкового колеса. Розрахункові переміщення кінцевих ланок для визначення передавального відношення  $i_{\text{диф}}$  напишемо у вигляді

$l$  мм осевого переміщення фрези  $\longrightarrow \frac{l}{\pi m z}$  додаткових  
обертів заготовки.

## ЛЕКЦІЯ 2. ВЕРСТАТИ ДЛЯ ОБРОБКИ КОНІЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

### 2.1 Обробка конічних зубчастих коліс

Конічні зубчасті колеса знаходять широке застосування в машинобудуванні для передачі руху між валами, що перетинаються або перехрещуються. Форма зуба по довжині конічного колеса може бути прямолінійною або криволінійною, найчастіше круговою чи

спіралльною. Такі зуби в порівнянні з зубами інших форм простіше нарізуються та їх можна шліфувати.

Як і циліндричні зубчасті колеса, конічні колеса можуть виготовлятися методом копіювання і методом обкату.

В методі копіювання обробку ведуть дисковими та кінцевими модульними фрезами, струганням за шаблоном за допомогою одного чи двох різців, протягуванням, тощо.

В основу обробки конічних коліс методом обкатки покладено уявлення про твірне колесо, по якому в процесі обробки обкочується заготовка. На верстаті твірне колесо є уявним і його зуби відтворюються в просторі рухами різальних кромek інструмента. Як інструмент застосовуються стругальні різці, дискові фрези, різцеві головки, тощо.

На верстатах застосовуються плоске і плосковершинне твірні колеса.

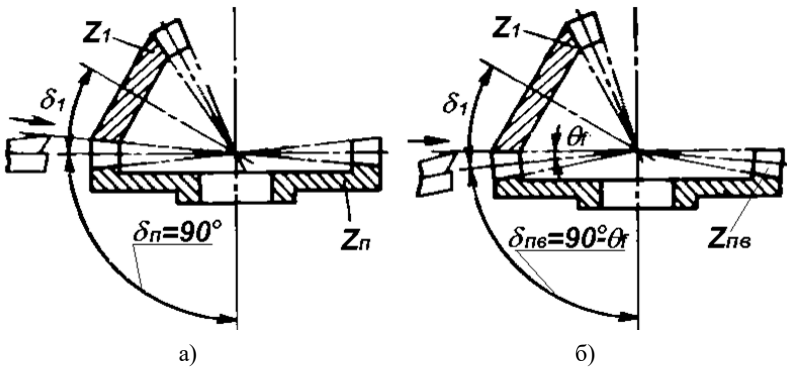


Рисунок 2.1 – Схеми зачеплення заготовки з твірними колесами: а – плоским; б - плосковершинним

Якщо у одного із пари зубчастих коліс, що знаходяться в зачепленні, кут біля вершини діляльного конуса  $2\delta = 180^\circ$ , то отримаємо зачеплення іншого колеса з плоским прямобочним профілем зуба (рис. 2.1, а). Плоске твірне колесо являє собою кругову рейку, зуби якої окреслені прямими лініями. На верстаті твірне колесо замінюється коліскою з різальним інструментом. Інструмент утворює одну западину або один зуб колеса. Число зубів плоского твірного колеса можна визначити зі співвідношення кутів діляльних конусів

$$\frac{z_{\text{пл}}}{z_1} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin \delta_1}, \quad z_{\text{пл}} = \frac{z_1}{\sin \delta_1}.$$

В разі зачеплення заготовки з плоским твірним колесом напрямок руху різців складає з площиною, перпендикулярною осі твірного колеса кут  $\theta_f$  (кут ніжки зуба). За умови одного й того самого значення кута  $\delta$ , кут  $\theta_f$  змінюється в залежності від модуля нарізаного колеса. Отже коліска повинна мати поворотні напрямні для супортів різців, що дозволяло б змінювати величину кута  $\theta_f$ , а це веде до ускладнення конструкції коліски. Тому конструкції коліски з плоским твірним колесом використовуються вкрай рідко.

Для спрощення конструкції коліски замість плоского твірного колеса використовують плоско-вершинне (рис. 2.1, б). Таке колесо відрізняється від плоского кутом ділильного конуса, який для плоско-вершинного колеса складає  $2\delta_{\text{пв}} = 180^\circ - 2\theta_f$ . Число зубів такого колеса визначемо за аналогією з плоским твірним колесом

$$\frac{z_{\text{пв}}}{z_1} = \frac{\sin(90^\circ - \theta_f)}{\sin \delta_1}, \quad z_{\text{пв}} = \frac{z_1 \cos \theta_f}{\sin \delta_1}.$$

В такому колесі рух різців завжди відбувається в площині перпендикулярній осі коліски (твірного колеса).

Кут ніжки зуба малий і  $\cos \theta_f$  має значення близьке до одиниці, що дозволяє розглядати плоско-вершинне колесо як плоске і визначати число зубів за формулою для  $z_{\text{пл}}$ . Помилка внаслідок такого припущення дуже мала і не виходить за допустимі межі неточності виготовлення зубчастого колеса. Похибки профілю зуба, що виникають внаслідок такого припущення, починають суттєво впливати на роботу конічної зубчастої передачі лише в разі, коли колеса мають кут ніжки зуба  $\theta_f \geq 3^\circ$ .

## 2.2 Верстати для нарізання прямозубих конічних зубчастих коліс

Прямозубі конічні зубчасті колеса можуть нарізуватися за допомогою двох стругальних різців або двох дискових фрез. Інструмент (різці чи фрези), встановлений на колісці верстата, утворює один зуб або одну западину твірного колеса (рис. 2.2, б).

В ході обробки два різці 3, що утворюють западину твірного колеса 2, здійснюють прямолінійний зворотно-поступальний рух з швидкістю різання  $V$  в напрямку, паралельному твірній конуса

западни нарізаного колеса 1. Траєкторії вершин різців проходять через вершину початкового конуса нарізаного колеса, для чого супорти з різцями монтуються на планшайбі коліски 4 з кутом  $2\psi_i$ , кутом товщини зуба.

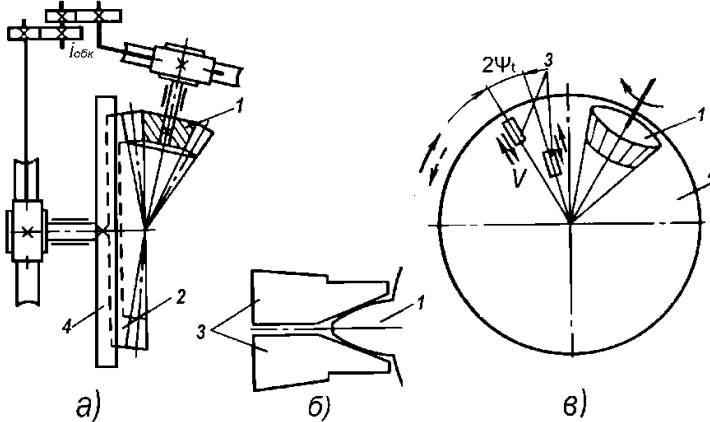


Рисунок 2.2 – Схема нарізування конічних зубчастих коліс двома різцями

Коліска 4 здійснює обертальний (гойдальний) рух в одному і іншому напрямках. Під час прямого ходу заготовка обертається узгоджено з обертанням коліски і виконується профілювання (обкатка) одного зуба нарізаного колеса. Після завершення профілювання зуба заготовка відводиться на невелику відстань від коліски з різцями і відбувається ділення заготовки для обробки наступного зуба (западни), а коліска здійснює реверс і повертається в початкове положення. Потім заготовка підводиться до коліски і цикл нарізування повторюється доти, доки не будуть нарізані всі зуби. Кут гойдання коліски вибирається таким, щоб різці повністю обробили зуб по всій висоті.

Швидкість подачі в процесі зубонарізування визначається швидкістю робочого руху коліски. В зубообробних верстатах для конічних зубчастих коліс, які працюють з періодичним рухом ділення, час обробки одного зуба визначає цикл роботи верстата. Тому в таких верстатах використовується поняття циклової подачі, коли подача визначається часом обробки одного зуба  $t_{ци}$ . Якщо протягом циклу коліска рухається з двома швидкостями: робочих хід виконується з швидкістю подачі, а зворотний холостий хід на прискорених обертах,

для чого верстат повинен мати два ланцюги руху, то подача задається не повним часом циклу, а часом робочого ходу  $t_p$ . В таких верстатах стає можливим одержати вищу продуктивність обробки, оскільки час холостого ходу не залежить від величини робочої подачі і може виконуватися з максимально можливою для верстата швидкістю.

Процес ділення заготовки на верстатах може здійснюватися двома способами. Перший спосіб полягає в тому, що по закінченню профілювання одного зуба реверс виконує не лише колиска, а і заготовка і за час реверсу заготовка одержує додатковий поворот на один зуб. В наступному циклі нарізується сусідній зуб. В разі використання другого способу ділення по завершенню профілювання зуба реверс виконує лише колиска, а заготовка продовжує обертання в тому самому напрямку і за час циклу повертається на деяку кількість зубів  $z_i$ , яка не має спільних множників з числом зубів, що нарізуються.

### 2.3 Обробка прямозубих зубчастих коліс дисковими фрезами (рис. 2.3)

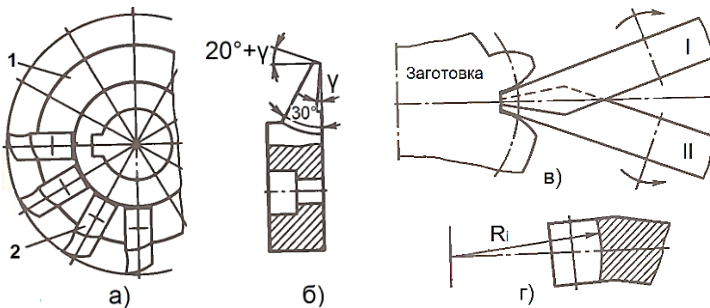


Рисунок 2.3 – Схема фрезерування конічних зубчастих коліс методом обкату двома дисковими фрезами

Робота верстатів, що нарізують конічні зубчасті колеса дисковими фрезами принципово мало відрізняється від роботи зубостругальних верстатів. Зуби нарізуються двома дисковими фрезами *I* і *II* (рис. 2.3), які оснащуються різцями 2. Фрези встановлюються на планшайбі коліски таким чином, що вони утворюють один зуб твірного колеса. В процесі обробки фрези здійснюють головний обертальний рух. Вони обертаються синхронно і зуби однієї фрези проходять в проміжках між зубами іншої. Обробка зубів фрезами відбувається без подачі вздовж лінії зуба нарізаного колеса, тому дно западини матиме ввігнуту форму з радіусом  $R_i$  (рис.

2.3, г). Одержаний зуб матиме профіль такий самий, як і оброблений стругальними різцями. Якщо фрези оснащені різцями, різальні кромки яких лежать в площині перпендикулярній осі обертання ( $\gamma=0$ ), то нарізувані зуби матимуть звичайну прямолінійну форму. В разі застосування фрез з різцями з кутом  $\gamma \neq 0$  під час обертання фрези різальні кромки утворюють конічну поверхню, а нарізувані зуби матимуть бочкоподібну форму. В цьому випадку осі фрез додатково повертають на кут  $\gamma$ .

Спосіб фрезерування зубів значно продуктивніший за зубошліфування.

#### 2.4 Обробка конічних зубчастих коліс з круговим (спіральним) зубом

Конічні зубчасті колеса з круговим зубом нарізуються за допомогою різцевих головок, оснащених різцями. В процесі обробки зубів різцева головка, встановлена на колісці верстата, обертається з швидкістю головного руху і траєкторія руху її різців утворює зуб твірного колеса. Для нарізування коліс з круговим зубом може використовуватися як плоске твірне колесо (рис. 2.4, а), коли вісь різцевої головки паралельна осі коліски, так і конічне твірне колесо (рис. 2.4, б), коли є можливість повернути вісь різцевої головки і заготовки на кут  $\phi$  відносно осі обертання коліски.

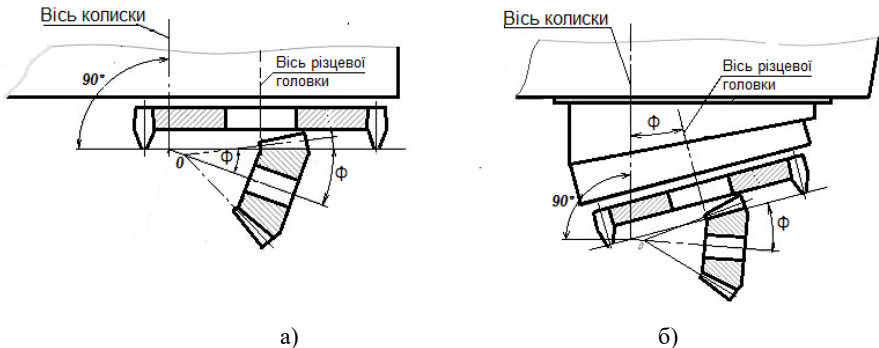


Рисунок 2.4 – Схеми плоского і конічного твірного коліс для нарізування конічних зубчастих коліс з круговим зубом

Нахил осі обертання різцевої головки дає можливість нарізувати колеса з різними параметрами різцевою головкою з різцями одного номера, завдяки чому суттєво зменшується потрібний набір різцевих

головок. Крім того нахил шпинделя різцевої головки дає можливість нарізувати конічні колеса з напівобкатної пари нормальним конічним твірним колесом замість плоско-вершинного, внаслідок чого відпадає потреба використовувати на верстаті механізм модифікації. Під напівобкатною парою розуміють два сполучених колеса, більше з яких має прямобічний профіль зубів і нарізується методом копіювання, а мале колесо має спеціальний профіль здатний зачіплюватися з прямолінійним профілем великого колеса. Мале колесо нарізується за методом обкату.

Кінематична структура зуборізного верстата для обробки конічних зубчастих коліс з круговим зубом повинна забезпечувати всі рухи, необхідні для нарізування зубів. Робота усіх верстатів для нарізування як прямозубих так і з криволінійною формою зуба конічних зубчастих коліс, що працюють за методом обкату, ґрунтується на використанні твірного колеса, тому структура їх відрізняється видом головного руху, який зумовлюється типом інструмента, та способом ділення заготовки.

На рис. 2.5 наведена кінематична структура зуборізного верстата для нарізування конічних зубчастих коліс з круговим зубом, яка включає в себе дві формотворні групи та групу ділення. Різцева головка, змонтована на колісці верстата, виконує обертовий рух  $O_1$  з швидкістю різання. Рух на різцеву головку передається від електродвигуна  $M$  кінематичним ланцюгом 1-2-3 з органом налаштування  $i_v$ . Передавальне відношення органу налаштування визначається на підставі рівняння кінематичного балансу ланцюга, записаного виходячи з розрахункових переміщень, які мають вигляд

$$n_{дв} \text{ хв.}^{-1} \longrightarrow n_{рг} \text{ хв.}^{-1}.$$

Подача в верстаті задається часом робочого ходу нарізування зуба і налаштовується органом налаштування  $i_s$ . Передавальне відношення  $i_s$  підбирається виходячи з таких міркувань. Верстат працює в цикловому режимі, який визначається часом обробки одного зуба. Циклом роботи верстата керує розподільний вал  $B$ , який з метою забезпечення замкненості та повторюваності циклу виконує один оберт за цикл нарізування зуба. За час робочого ходу вал  $B$  повертається на цілком визначений кут  $\theta^\circ$ , який визначається конструкцією конкретного верстата. Отже налаштування  $i_s$  можна виконати намітивши розрахунковий кінематичний ланцюг 1-2-4-5-6-8-9-10, що

буде узгоджувати оберти електродвигуна та розподільного валу, та записавши рівняння кінематичного балансу ланцюга. Розрахункові переміщення кінцевих ланок ланцюга матимуть вигляд

$$\frac{n_{дв}}{60} t_p \text{ обертів двигуна} \longrightarrow \frac{\theta^{\circ}}{360^{\circ}} \text{ обертів розпод. вала Б}$$

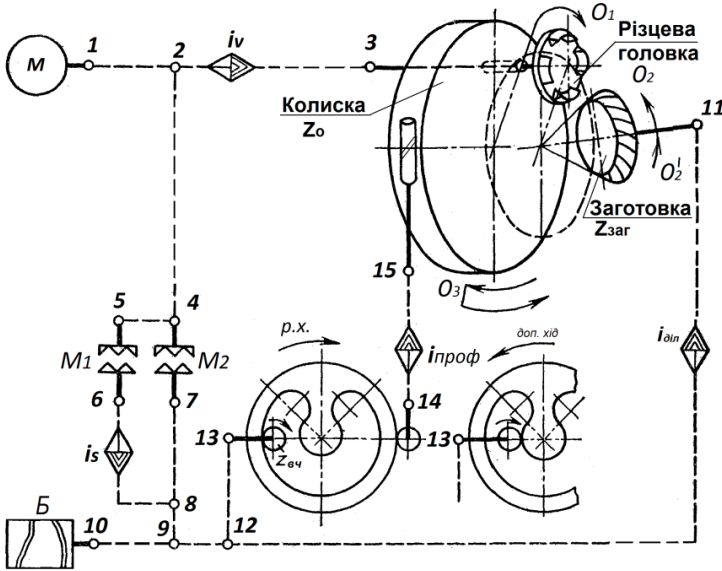


Рисунок 2.5 – Структурна схема зуборізного верстата для нарізання конічних коліс з круговим зубом

По завершенню робочого ходу муфта  $M_1$  розмикається, а муфта  $M_2$  замикається і рух на розподільний вал від електродвигуна буде передаватися ланцюгом 1-2-4-7-8-9-10 зі сталим передавальним відношенням для виконання допоміжного руху. В цей час заготовка відводиться від інструмента, колиска змінює напрямок обертання на протилежний (як механізм реверсу використовується складне зубчасте колесо), а заготовка продовжує обертання в прямому напрямку (рух  $O'_2$ ) і за час циклу повертається на деяку кількість зубів  $z_i$ , яка не має спільних множників з числом зубів  $z_{zag}$ , що нарізуються. Для налаштування руху ділення на потрібну величину складається розрахунковий кінематичний ланцюг 10-9-11 з органом налаштування  $i_{дл}$ , який забезпечує узгодження обертання розподільного валу  $B$  і

обертання заготовки. Розрахункові переміщення кінцевих ланок ланцюга матимуть вигляд

$$1 \text{ оберт розпод. вала } B \longrightarrow \frac{z_i}{z_{\text{зар}}} \text{ оберти заготовки.}$$

Профільовання бічних поверхонь зубів відбувається узгодженим обертанням заготовки і твірного колеса (колиски) за допомогою ланцюга обкату 11-12-13-14-15 з органом налаштування  $i_{\text{проф}}$ . Підбір величини  $i_{\text{проф}}$  здійснюється виходячи з розрахункових переміщень кінцевих ланок ланцюга, які записуються у вигляді

$$1 \text{ оберт заготовки} \longrightarrow \frac{z_{\text{зар}}}{z_0} \text{ оберти колиски,}$$

тут  $z_0$  – число зубів твірного колеса, визначається за формулою  $z_0 = \frac{z_{\text{зар}}}{\sin \delta_{\text{зар}}}$ , а для ортогональної пари можна визначати за виразом  $z_0 = \sqrt{z_{\text{ш}}^2 + z_{\text{к}}^2}$ ; де  $z_{\text{ш}}$  – число зубів шестірні,  $z_{\text{к}}$  – число зубів колеса даної пари.

### ЛЕКЦІЯ 3. ЗУБОШЛІФУВАЛЬНІ ВЕРСТАТИ. ЗУБООБРОБНІ ВЕРСТАТИ З ЧПК

Зубошліфувальні верстати застосовуються для остаточної обробки складних і високо відповідальних зубчастих виробів (зубчастих коліс, шеверів, інструментальних довбачів, тощо) Основними їх перевагами є можливість обробки твердих матеріалів, а також одержання високої якості поверхні і розмірної точності виробів.

Основні методи зубошліфування можна поділити на такі.

1. **Метод копіювання.** Використовується в крупносерійному виробництві, оскільки для кожного зубчастого колеса необхідно профільувати шліфований круг, оснащувати верстат складним пристроєм правки. Для такого шліфування застосовують шліфувальні круги, профіль яких відповідає профілю западини зубчастого колеса (рис. 3.1). Шліфувальному кругу надається головний обертальний рух і зворотно-поступальний рух вздовж лінії зуба шліфованого колеса. Періодично, на кожен подвійний хід шліфувального круга, здійснюється подача на глибину шліфування, заготовка в цей час залишається нерухомою. Після шліфування кожної западини шліфувальний круг виводиться з западини і виконується ділення заготовки. Для забезпечення точності профілю зуба перед

шліфуванням наступної западини виконується правка шліфувального круга за шаблоном.

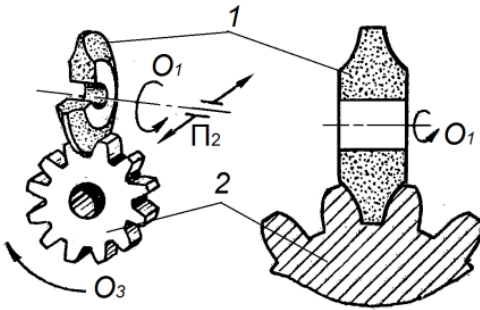


Рисунок 3.1 – Схема шліфування зубів методом копіювання

2. Метод обкатки з періодичним поділом (дисківими і тарілчастими кругами).

3. Метод обкатки з безперервним утворенням профілю абразивним черв'яком. Метод використовується для обробки зубчастих коліс малих модулів через обмеження габаритних

можливостей абразивного інструменту черв'ячного типу формувати профіль у вигляді вихідного контуру твірної рейки.

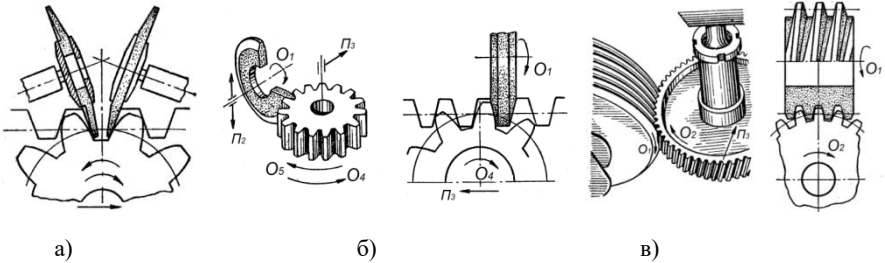


Рисунок 3.2 – Схеми шліфування зубчастих коліс методом обкату

В процесі шліфування двома тарілчастими (рис. 3.2, а) чи одним дисківим (рис. 3.2, б) шліфувальним кругом робочі поверхні кругів (двох тарілчастих чи одного дисківого) утворюють площини, що відповідають поверхням зубів початкового контуру рейки. Під час обробки шліфувальні круги (круг) одержують головний обертальний рух і зворотно-поступальний рух вздовж зуба колеса, а заготовка обертається навколо осі і переміщується поступально. Поступальне переміщення заготовки узгоджується з її обертанням як у зубчато-рейковій передачі. По завершенню шліфування однієї западини шліфувальний круг виводиться з зачеплення з колесом, колесо

повертається в початкове положення і виконується процес ділення, після чого цикл шліфування повторюється.

Шліфування зубів абразивним черв'яком (рис. 3.2, в) є найбільш продуктивним видом шліфування зубів, оскільки обробка відбувається безперервно. Під час обробки шліфувальний круг здійснює головний обертальний рух ( $O_1$ ) і радіальне врізання, а заготовка обертається ( $O_2$ ) узгоджено з обертанням круга (рух обкатки) і виконує повільне переміщення вертикальної подачі ( $P_3$ ).

**Структурна схема зубошліфувального верстата**, що працює методом обкату дисковим шліфувальним кругом наведена на рис. 3.3. Головний рух у верстаті – обертання шліфувального круга  $O_1$  здійснюється від електродвигуна  $M_1$  ланцюгом 10-11 без органу налаштування, оскільки частота обертання круга не змінюється, як і в більшості шліфувальних верстатів. Від електродвигуна  $M_2$  шліфувальний круг кінематичним ланцюгом 8-9 з органом налаштування  $i_{s1}$  одержує поступальне переміщення  $P_2$  вздовж лінії зуба колеса. Профілювання бічних поверхонь зуба здійснюється узгодженими обертальним  $O_4$  і поступальним  $P_3$  рухами заготовки, що забезпечується кінематичним ланцюгом 1-2-3 з органом налаштування  $i_{проф}$ . Налаштування ланцюга здійснюється виходячи з розрахункових переміщень кінцевих ланок ланцюга

$$l \text{ мм переміщення каретки} \longrightarrow \frac{l}{\pi m z} \text{ обертів заготовки.}$$

Швидкість поступального руху каретки з оброблюваним колесом забезпечується ланцюгом подачі (рух  $P_3$ ) каретки 4-5-1 з органом налаштування  $i_{s2}$ , передавальне відношення якого визначається виходячи з умови забезпечення таких розрахункових переміщень кінцевих ланок ланцюга

$$n \text{ об/хв. електродвигуна} \longrightarrow S \text{ мм/хв. переміщення каретки.}$$

По завершенню профілювання однієї западини і виведення шліфувального круга з зачеплення виконується ділильний поворот заготовки на один або декілька зубів. Для цього вмикається в роботу відліковий механізм і заготовка через підсумовуючий механізм  $\Sigma$  одержує ділильний рух ланцюгом 4-5-6-7-3 з органом налаштування  $i_{діл}$ . Передавальне відношення  $i_{діл}$  можна визначити, створивши розрахунковий кінематичний ланцюг, кінцевими ланками якого будуть

відліковий механізм і заготовка. Тоді розрахункові переміщення можна записати у вигляді

$$n \text{ обертів відлікового механізму} \longrightarrow \frac{1}{z} \left( \frac{z_l}{z} \right) \text{ обертів заготовки.}$$

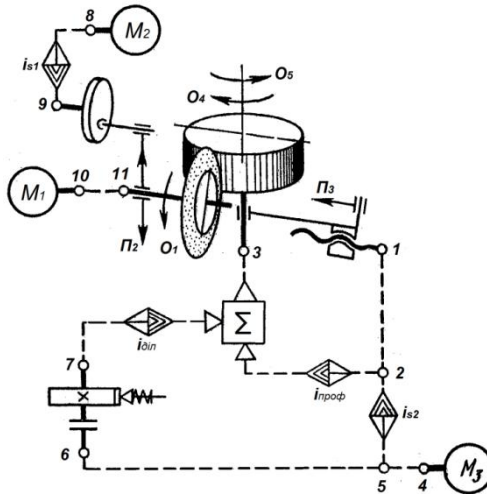


Рисунок 3.3 – Структурна схема зубошліфувального верстата, що працює дисковим кругом

Для правки шліфувального круга застосовується кінематична група допоміжного руху (правки круга), яка на рисунку не показана.

### Зубообробні верстати з ЧПК

Створення мікропроцесорних систем з ЧПК дозволило підвищити точність зубообробних верстатів, зняти обмеження за числом керованих координат, забезпечити електронну синхронізацію рухів і корекцій.

На сьогодні системи ЧПК застосовуються практично у всіх зубообробних верстатах: зубофрезерних, зуборізних, зубодовбальних, зубостругальних, зубошліфувальних і навіть заточувальних для виготовлення зуборізного інструмента. Найбільше поширення із цієї групи верстатів одержали зубофрезерні верстати із ЧПК.

Застосовуються два види структур керування в зубофрезерних верстатах:

1) із провідною координатою (головний привод), коли датчик провідної координати (обертання фрези) є таким, що задає, а швидкості всіх інших координат устанавлюються від ЧПК з використанням сигналів від даного датчика; у цьому випадку забезпечується висока кінематична точність навіть в разі нестабільної швидкості фрези;

2) без провідної координати, коли всі рухи перебувають у однакових умовах й керуються від ЧПК за заданою програмою, в цьому випадку необхідно забезпечити високу стабільність швидкості переміщень.

Зубофрезерний верстат зі ЧПК фірми «Pfauder» (Німеччина) (рис. 3.4) працює за п'ятьма координатами; координатою, що задає, є фрезерний шпиндель.

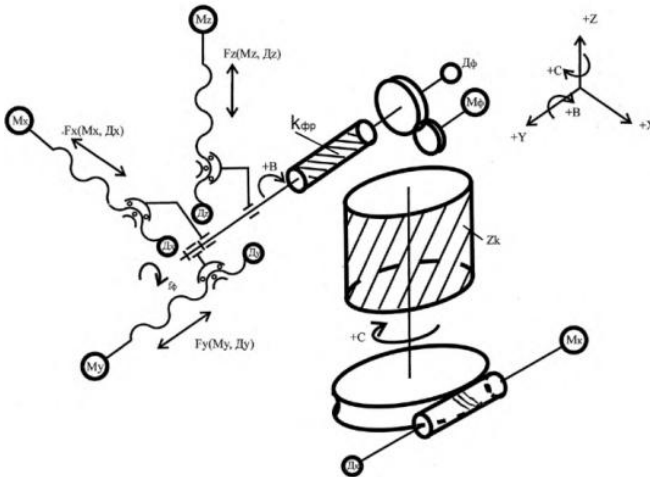


Рисунок 3.4 – Структурна схема зубофрезерного верстата з ЧПК

Для порівняння послідовностей імпульсів, що знімаються із датчика  $D_\phi$  фрези ( $f_\phi$ ) і датчика  $D_k$  обертання стола із заготовкою, що нарізується ( $f_k$ ), користуються відношенням частот:

$$\frac{f_\phi}{f_k} = \frac{Z_k}{Z_\phi}.$$

Зсув порівнюваних частот формує коригувальний сигнал для керування приводом стола  $M_k$ .

Для нарізування косозубих циліндричних коліс частота імпульсів датчика  $D_\phi$  додається або віднімається із частотою імпульсів датчика  $D_z$  вертикальної подачі  $F_z$  залежно від напрямку нахилу зубів. Параметри зубчастого колеса, що виготовляється,  $Z_k$ ,  $\beta$ , число заходів фрези  $K_\phi$ , як задані величини набираються десятковими перемикачами й уводяться в лічильно-розв'язувальний пристрій для обчислення даних по обробці деталі. Для радіальної  $F_x$  і тангенціальної  $F_y$  подач фрези передбачені крокові приводи  $M_x$ ,  $M_y$  і датчики  $D_x$ ,  $D_y$ .

### Зубофрезерний верстат з ЧПК мод. 125GH CNC

Верстат 125GH (рис. 3.5) оснащений ЧПК FANUC серії, з 32-бітовим контролером з цифровими приводами. Це забезпечує автоматичне налаштування і керування вертикальною, осовою і радіальною подачею, положенням і швидкістю черв'ячної фрези, співвідношення обертів черв'ячної фрези та заготовки і поворотом черв'ячної фрези на кут установки.

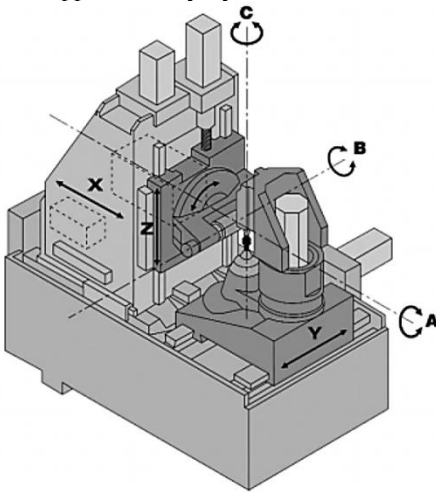
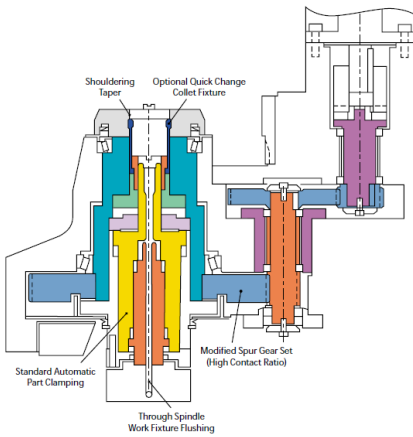


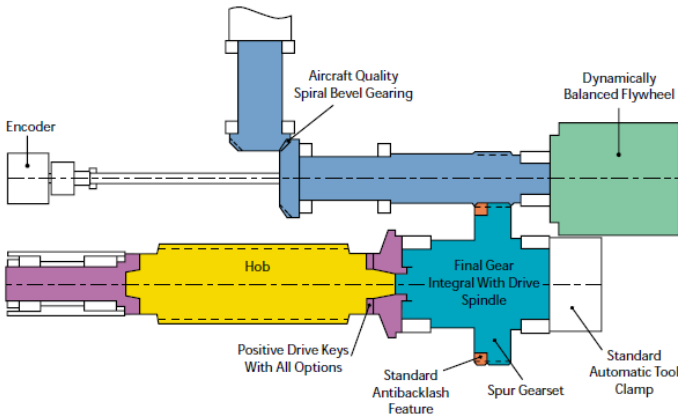
Рисунок 3.5 – Компонування зубофрезерного верстата з ЧПК 125GH фірми Gleason

Система ЧПК забезпечує керування за 6-ма осями, трьома лінійними і трьома круговими. За лінійними осями здійснюється рухи подачі: вісь  $X$  – переміщення стояка з фрезерною голівкою в горизонтальній площині для нарізування черв'ячних коліс з радіальним врізанням; вісь  $Y$  – переміщення супорта заготовки в горизонтальній

площині для обробки черв'ячних коліс з тангенціальним врізанням; вісь  $Z$  – вертикальне переміщення фрезерного супорта для нарізування циліндричних коліс. За обертовими осями здійснюють рухи: фреза обертається за віссю  $B$ , заготовка – за віссю  $C$ , а за віссю  $A$  здійснюється поворот осі фрези для встановлення на потрібний кут. Для забезпечення профілювання зуба здійснюється узгодження обертання за осями  $B$  і  $C$ . Для обробки косозубих циліндричних коліс крім того відбувається узгодження рухів за осями  $Z$  і  $C$ .



а)



б)

Рисунок 3.6 – Схеми вузлів зубофрезерного верстата з ЧПК: а – привод шпинделя виробу; б – привод шпинделя фрези

Система ЧПК забезпечує точність переміщення за осями 5 мкм. Для забезпечення плавності і точності нарізування зубів приводне (ділильне) колесо на шпинделі виробу (рис. 3.6, а) виконано великого діаметру (380 мм) з високою точністю контакту. Затискання виробу здійснюється швидкозмінними затискними цангами від дії гідроциліндра. Привід шпинделя фрези (рис. 3.6, б) здійснюється від електродвигуна через високоточну конічну передачу зі спіральним зубом та безззорну циліндричну прямозубу зубчасту передачу. Для забезпечення плавності руху і високих динамічних параметрів обробки на валу перед шпинделем встановлений динамічно збалансований махових. Точність обертання шпинделя фрези контролюється датчиком (енкодером).

На верстаті можна обробляти зубчасті колеса діаметром від 6,4 мм до 125 мм з максимальним модулем 10 мм з використанням черв'ячних фрез діаметром від 19 до 115 мм.

Використання в верстатів програмованої осі *A* забезпечує швидке переналадження верстата на випуск інших деталей.

## ЛЕКЦІЯ 4. ТОКАРНІ ВЕРСТАТИ

### 4.1 Загальні відомості

Верстати для токарної обробки (точіння) складають значну частку в парку металорізального обладнання (до 30 ... 40%) і призначені для обробки зовнішніх, внутрішніх і торцевих поверхонь деталей типу тіл обертання, а також для нарізування різі. Головним рухом в токарних верстатах є обертання заготовки, інструмент же здійснює прямолінійний, поздовжній або поперечний рух подачі.

Токарно-гвинторізні верстати, як з ручним керуванням, так і з ЧПК, є найбільш універсальними верстатами токарної групи для обробки деталей типу валів, дисків та втулок і забезпечують виконання таких основних видів робіт: обточування різцями зовнішніх циліндричних і конічних поверхонь; обробку торцевих поверхонь; прорізування канавок і відрізування; розточування циліндричних і конічних отворів; фасонне точіння; свердління, зенкування і розгортання отворів; нарізування зовнішньої і внутрішньої різі різцями, мітчиками і плашками. На них можна виконувати також накочування рифлених поверхонь, вигладжування і розкочування поверхонь.

### Компонування, основні вузли і характерні параметри

Верстати з ручним керуванням у переважній більшості випадків мають горизонтальне компонування, зручне для обслуговування і спостереження за зоною обробки. На рис. 4.1 показані найважливіші вузли верстата. Оброблювана заготовка, закріплена в патроні 1, отримує обертання від коробки швидкостей, розташованої в шпindelній (передній) бабці 9, пов'язаній пасовою передачею з привідним двигуном, зазвичай розташованим в тумбі станини 7. Інструмент, що встановлюється в різцетримачі, закріпленому на супорті 2, отримує поздовжнє і поперечне переміщення через коробку подач 8 і фартух 5. Для нарізування різі різцем поздовжнє переміщення супорта здійснюється від ходового гвинта 4; для інших операцій використовуються ходовий валик 6 і зубчаста рейка. Задня бабка 3 служить для підтримання довгих заготовок, а також іноді для закріплення і переміщення осевого інструменту, призначеного для обробки центрових отворів.

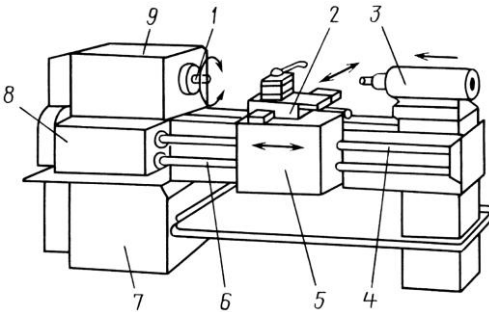


Рисунок 4.1 – Компонування токарно-гвинторізного верстата

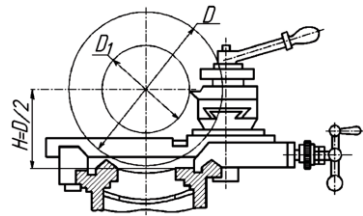


Рисунок 4.2 – Діаметри оброблюваних заготовок

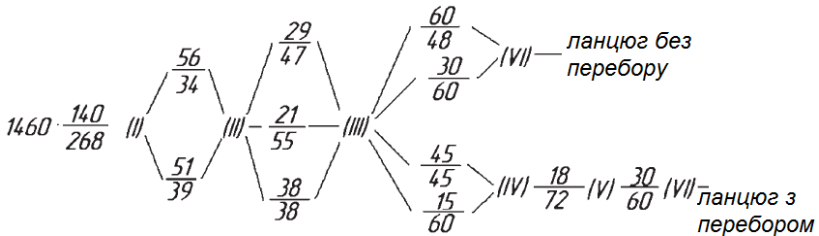
Основними параметрами токарно-гвинторізних верстатів, що визначають його робочий простір, є найбільший діаметр  $D$  (рис. 4.2) оброблюваної заготовки, що установлюється над станиною, і найбільша відстань між центрами передньої і задньої бабок, яка обмежує найбільшу довжину оброблюваної заготовки. Діаметр  $D$  приблизно дорівнює подвоєній висоті центрів  $H$ , вимірюваній від горизонтальної площини напрямних. Важливим розміром верстата є також найбільший діаметр оброблюваної заготовки, що

установлюється над супортом  $D_1$ . За максимальним діаметром токарно-гвинторізні верстати випускаються в межах розмірного ряду з  $\varphi = 1,25$  від 100 до 6300 мм. Верстати з одним і тим самим діаметром можуть мати різні міжцентрові відстані, які у важких верстатах доходять до декількох десятків метрів.

#### 4.2 Токарно-гвинторізний верстат мод. 16К20

Верстат призначений для виконання різноманітних токарних і різенарізувальних робіт в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва, а також для ремонтних робіт.

**Кінематична схема верстата мод. 16К20 (рис. 4.3).** Привід обертання шпинделя (головний рух). Від електродвигуна М1 через клинопасову передачу 140/268 і коробку швидкостей з пересувними ковзними блоками шпиндель отримує 22 різні «прямі» частоти обертання при вмиканні фрикційної муфти (головного фрикціону М1) вліво. При вмиканні муфти М1 вправо через проміжні (паразитні) передачі 50/24 і 36/38 змінюється напрямок обертання, і шпиндель отримує 12 «зворотних» частот обертання в межах 19 ... 1900  $\text{хв}^{-1}$ . Кінематичний ланцюг приводу головного руху можна подати таким чином:



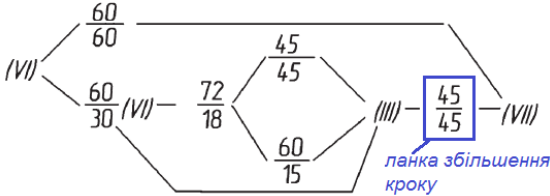
У цій формулі в дужках записані номери валів приводу, а між ними - можливі передавальні відношення передач між валами у відповідних позиціях зубчастих блоків. Частоти обертання шпинделя 500 і 630  $\text{хв}^{-1}$  повторюються двічі (перекриття), що і визначає наявність 22, а не 24 швидкостей. Гальмування шпинделя здійснюється за допомогою стрічкового гальма Т, розташованого на маточині колеса з  $Z = 60$  на валу III.

Привід подачі служить для отримання поздовжньої і поперечної подач супорта від ходового валика XVIII, для нарізування різі при обертанні ходового гвинта XVII. Рух механізму подачі передається від шпинделя VI на ходовий гвинт відповідно до рівняння:

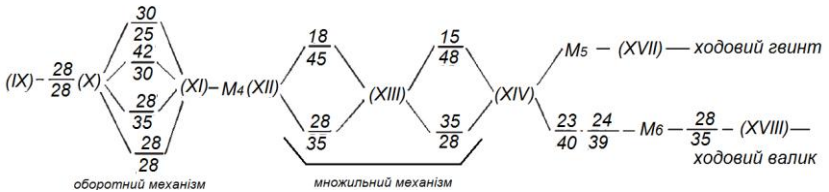


$$I \text{ об. шп. } i_{\text{ЛЗК}} \cdot i_p \cdot i_e \cdot i_{\text{об.мех.}} \cdot i_{\text{мн.мех.}} \cdot p_{\text{х.гв.}} = P \text{ мм.}$$

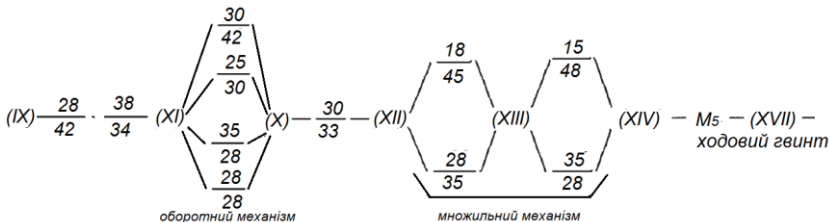
тут  $i_{\text{ЛЗК}}$  – передавальне відношення ланцюга ланки збільшення кроку між шпинделем (VI вал) та VII валом, яке може мати значення 1, 2, 8, 32:



Далі з вала VII обертання через реверсивний механізм (праве обертання -  $i_p = 30/45$ , ліве - передачі  $30/25 \cdot 25/45$ ) передається на вал VIII і через гітару змінних коліс  $a/b \cdot c/d$  на вал IX коробки подач з пересувними зубчастими блоками. Для нарізування метричної і дюймової різі, а також для отримання механічних подач від ходового валика встановлюється гітара  $i_e = a/b \cdot c/d = 40/86 \cdot 86/64$ ; для нарізання модульної і пітчевої різі  $i_e = a/b \cdot c/d = 60/73 \cdot 86/36$ . З валу IX коробки подач рух може передаватися за двома кінематичними ланцюгами. При вмиканні зубчастих муфт М3, М4 і М5 і вимкненій муфті М2 нарізується метрична чи модульна різь, або обертається ходовий валик при вмиканні муфти обгону М6:

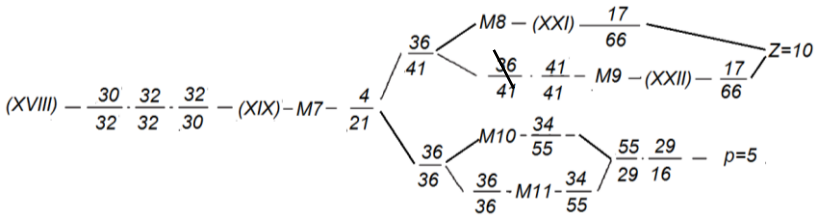


При вмиканні муфт М2, М3 і М4 і вмиканні муфти М5 нарізується дюймова або пітчева різь.



Різь підвищеної точності, а також різь з нестандартним кроком нарізають безпосереднім з'єднанням ходового гвинта зі шпинделем через механізм реверсу і гітару змінних коліс (вони підбираються розрахунком) при включених муфтах М2 і М5.

Для токарної обробки механізми фартуха отримують обертання від ходового валу XVIII через ковзне уздовж нього зубчасте колесо  $Z = 30$ . Муфти М8 і М9 служать для отримання поздовжньої подачі в прямому і зворотному напрямках за допомогою рейкового колеса  $Z = 10$  на валу XXIII і рейки  $m = 3$  мм, жорстко закріпленої на станині. Муфти М10 і М11 служать для отримання поперечної подачі в прямому і зворотному напрямках від гвинта XXIII з кроком  $P = 5$  мм:



На замовлення верстати оснащуються супортом з механічним приводом верхніх різцевих полозків. В цьому випадку колесо  $Z = 29$  на валу XXVI зчіплюється з колесом  $Z = 18$  на валу XXVIII, забезпечуючи через відповідний кінематичний ланцюг обертання гвинта XXX.

Для забезпечення прискореного переміщення супорта на холостих ходах використовується електродвигун М2, від якого пасовою передачею зі шківками  $\varnothing 85/\varnothing 127$  мм рух передається на ходовий валик. Завдяки наявності обгінної муфти М6 на XV валу відпадає потреба в вимиканні коробки подач.

### 4.3 Токарні верстати з ЧПК

Токарні верстати з ЧПК призначені для високопродуктивної обробки в автоматичному режимі заготовок типу тіл обертання в умовах дрібносерійного і серійного виробництва.

У верстатах з ЧПК повністю автоматизований цикл обробки деталі з встановленням необхідних режимів різання, а також всі допоміжні рухи і функції: прискорене переміщення робочих органів, заміна інструменту, що встановлюється в револьверних головках або магазинах, затиск заготовки, переміщення задньої бабки і люнета,

вмикання і вимикання механізмів стружкоподрібнення і стружковидалення, вмикання системи охолодження, введення корекції на положення заздалегідь налаштованого на розмір інструменту, тощо.

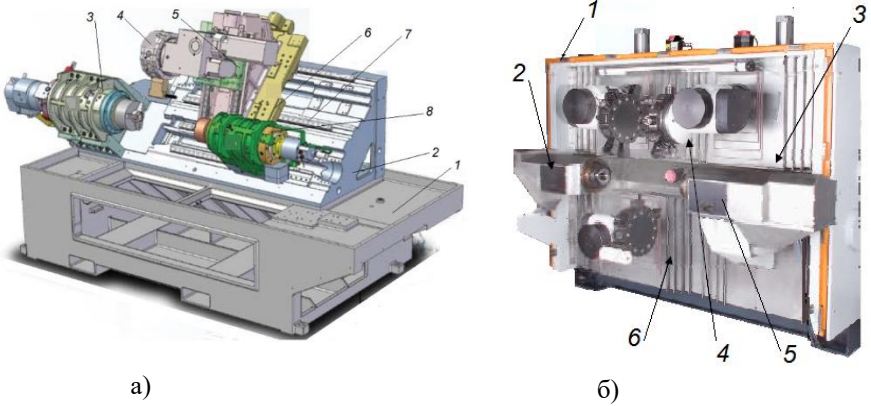
Сучасні верстати середніх розмірів мають, зазвичай, компоновання, що дозволяє підвищити їх жорсткість, поліпшити захист напрямних і гвинтових передач, забезпечити вільне відведення стружки і видалення її з робочої зони, застосовувати завантажувальні пристрої будь-яких типів, забезпечити вільний доступ до інструмента і пристосувань, підвищити безпеку роботи. У більшості випадків верстати з горизонтальною віссю шпинделя мають компоновання таких типів (рис. 4.4): похиле (а), вертикальне (б) або кутове з заднім по відношенню до шпинделя розташуванням станини (в).

В токарних верстатах з ЧПК для поліпшення динамічних характеристик головного приводу широко використовується конструкція мотор-шпинделя, коли електродвигун вбудовується безпосередньо в шпиндельний вузол (рис. 4.4, а; 4.4, б).

В приводах подач токарних верстатів з ЧПК використовуються високомоментні електродвигуни та синхронні двигуни зі збудженням від постійних магнітів, які безпосередньо з'єднуються з ходовими гвинтами кулькових гвинтових передач. Для контролю положення робочого органу під час руху використовуються датчики, які в сучасних верстатах найчастіше вбудовуються в електродвигун або встановлюються на ходовий гвинт. Відсутність в приводі коробки подач суттєво спрощує конструкцію приводу, зменшує навантаження на двигун, підвищує динамічні характеристики приводу. Синхронізація обертового руху шпинделя і поступального руху інструмента в процесі нарізування різі здійснюється використанням датчика осі С (датчика різенарізування), який пов'язується зубчастою або зубчато-пасовою передачею зі шпинделем.

Для закріплення інструментів в токарних верстатах з ЧПК середніх розмірів переважно використовуються револьверні головки, інколи інструментальні магазини. Револьверні головки, найчастіше, мають 8, 12, інколи 16 позицій. В верстатах призначених для виконання традиційних токарних операцій (рис. 4.4, в) у револьверних головках встановлюються різці різних типів та призначення, та інструмент для обробки центральних отворів. В цих верстатах головний обертальний рух здійснює заготовка, а інструмент виконує лише рух подачі. В верстатах, на яких окрім токарних робіт виконується фрезерування

поверхонь, свердління отворів на периферії деталі тощо, застосовуються револьверні головки з приводом інструментів (рис. 4.4, а; 4.4, б). Інколи на верстаті встановлюють до трьох-чотирьох револьверних головок.



в)

Рисунок 4.4 – Компонування токарних верстатів з ЧПК

## ЛЕКЦІЯ 5. ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНІ, КАРУСЕЛЬНІ ТА ЗАТИЛУВАЛЬНІ ВЕРСТАТИ

Токарно-револьверні верстати призначені для виготовлення деталей з прутка або штучних заготовок, що представляють собою тіла обертання складної конфігурації, з застосуванням різноманітних

токарних, свердлильних, розточувальних, різенарізувальних і інших інструментів. Головною особливістю револьверних верстатів є наявність поздовжнього супорта, що несе багатопозиційна револьверну головку, в якій закріплюють різний інструмент в необхідній за технологічним процесом послідовності обробки. Однак через меншу, ніж у токарних верстатів, універсальність, коробки швидкостей і подачі мають менші діапазони регулювання; конструкція приводу подачі простіша, тому що не передбачається нарізування різі різцем. З цієї ж причини відсутній і ходовий гвинт з механізмами його вмикання.

Токарно-револьверні верстати мають більш високу продуктивність у порівнянні з токарними за рахунок скорочення як машинного часу (застосування багатоінструментальних державок, поєднання обробки інструментами револьверної головки і поперечного супорта), так і допоміжного (зменшення часу на заміну заздалегідь налаштованого на розмір інструменту, застосування швидкодіючих автоматичних механізмів подачі і затиску прутка, обробка деталей за принципом автоматичного отримання розмірів за рахунок використання поздовжніх і поперечних упорів, автоматизація перемикання режимів обробки для всіх переходів). Найбільш ефективним є застосування верстатів в серійному виробництві.

За видом оброблюваної заготовки розрізняють револьверні верстати для пруткової або патронної роботи, найчастіше легкі верстати будуються прутковими, середні – прутково-патронними, а важкі - патронними. Верстати для обробки пруткового матеріалу оснащуються пристроями для подачі та затиску прутка, які можуть бути з механічним, гідравлічним чи електричним приводом, та пристроями для підтримки довгих прутків. Найбільший діаметр оброблюваного прутка і найбільший діаметр оброблюваної (над станиною і над супортом) заготовки є їх основними розмірами.

Залежно від розташування осі повороту револьверної головки розрізняють верстати: з вертикальною віссю револьверної головки (рис. 5.1, а); з горизонтальною віссю револьверної головки, паралельною осі шпинделя (рис. 5.1, б), рідше - з віссю, перпендикулярною осі шпинделя. Головним рухом  $V$  є обертання шпинделя, що несе заготовку; рухами подачі - поздовжнє  $S_1$  і поперечне  $S_2$  переміщення супортів з інструментом, причому поперечну подачу  $S_2$  здійснюють або переміщенням поперечного супорта, або повільним поворотом

револьверної головки (рис. 5.1, б). В останньому випадку поперечний супорт, як правило, відсутній.

### Токарно-револьверний верстат з ЧПК фірми “Беверс” моделі 1В340Ф30

Верстат (рис. 5.2) призначений для високоефективної токарної обробки деталей з прутка та штучних заготовок. На верстаті можуть оброблятися деталі зі східчастим та криволінійним профілем.

Верстат оснащений револьверною головкою з вертикальною віссю обертання на 8 позицій. Головка установлена на супорті, що окрім поздовжнього переміщення має і поперечне переміщення.

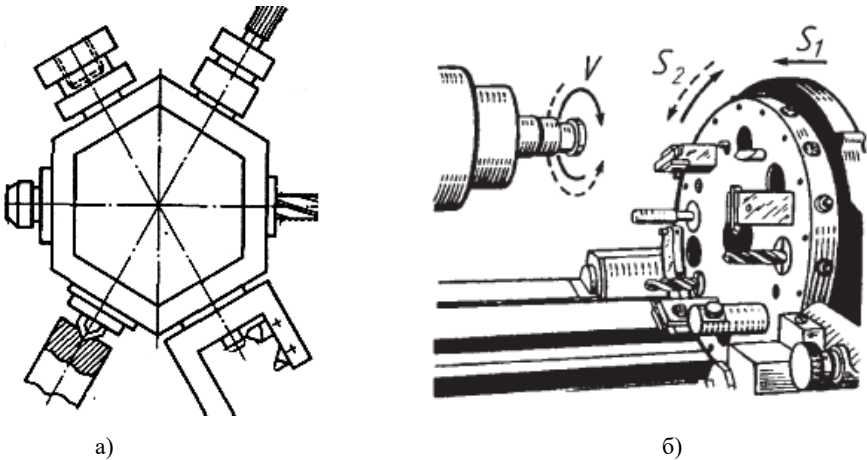


Рисунок 5.1 – Револьверні головки токарно-револьверних верстатів



Рисунок 5.2 – Загальний вигляд верстата моделі 1В340Ф30

Для затискання прутка круглого (20-40 мм) та шестигранного ( $S=19-32$  мм) перетину у цанговому патроні, а також штучних заготовок у трикулачковому патроні використовується автоматичний гідрофікований пристрій. Прутки довжиною до 3000 мм установлюються у захисну трубу з двома стояками.

В приводі обертання шпинделя використовується двигун постійного струму потужністю 15 кВт, з якого рух на шпиндель передається пасовою передачею. Регулювання частот обертання шпинделя безступінчасте в діапазоні 10-2500 хв.<sup>-1</sup>.

В приводах поздовжньої та поперечної подачі револьверного супорта (рис. 5.3) установлені високомоментні двигуни постійного струму в комплекті з кульковими гвинтовими передачами. Контроль положення супорта здійснюється датчиками зворотного зв'язку.

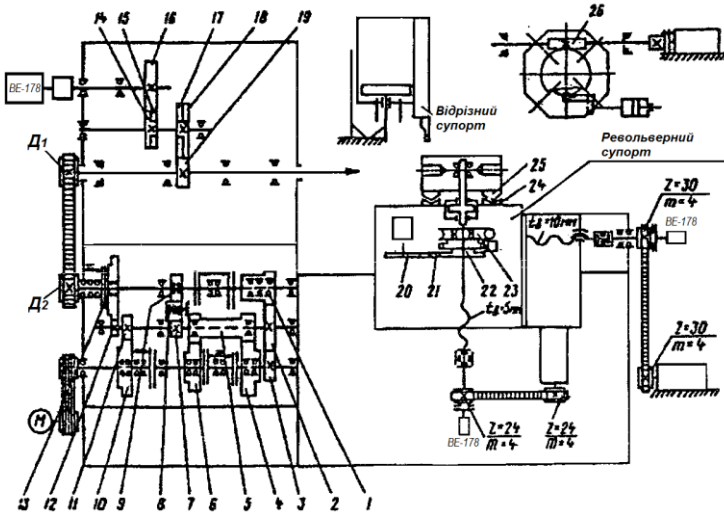


Рисунок 5.3 – Кінематична схема верстата моделі 1B340Ф30

Регулювання величини подачі супорта здійснюється в межах: поздовжньої – 1-2500 мм/хв.; поперечної – 1-1250 мм/хв. Найбільше поперечне переміщення револьверного супорта – 110 мм.

Відрізний супорт призначений для відрізування заготовок, підрізування торців, прорізування канавок, проточування за буртом із застосуванням копіювального пристосування. Швидкі переміщення (8

м/хв.) і робочі подачі (5...600 мм/хв.) відрізного супорта регулюються за допомогою гідроприводу.

### **Токарно-револьверний верстат з ЧПК фірми “Беве́р” моделі 1П420ПФ40**

Верстат призначений для комплексної обробки складних деталей за одну установку. На верстаті можна виконувати повну токарну обробку, включаючи криволінійні поверхні, обробку центрових і позацентричних отворів на торці та по периферії деталі з нарізуванням різі, фрезерування прямолінійних і криволінійних пазів, лисок, кулачків.

У верстаті (рис.5.4) використане похиле компонування станини, що забезпечує вільне сходження стружки. Напрямними станини в поздовжньому та поперечному напрямках рухається супорт з револьверною головою на 12 позицій. В кожній з позицій можуть установлюватися як оправки з різцями, так і осьові та ортогональні (радіальні) свердлильно-фрезерні головки для обертового інструмента.



Рисунок 5.4 – Загальний вигляд верстата моделі 1П420ПФ40

В приводі обертання шпинделя використовується регульований двигун потужністю 22 кВт. Діапазон частот обертання основного шпинделя – 20-4000 хв.<sup>-1</sup>; інструментального шпинделя – 20-2500 хв.<sup>-1</sup>. Висока потужність приводного двигуна забезпечує можливість обробки з високими зусиллями різання та на високих швидкостях.

В приводах подач установлені високомоментні електродвигуни.

Застосування високоточних підшипників в опорах шпинделя, накладних фторопластових напрямних супорта та системи виміру

деталі з автоматичною корекцією положення інструмента дозволяє досягати високої точності обробки.

Найбільший діаметр заготовки, установленої над станиною – 450 мм;

Найбільший діаметр оброблюваної штучної заготовки – 200 мм;  
Найбільший діаметр заготовки оброблюваної з прутка – 50 мм.  
Найбільша довжина оброблюваної заготовки 130 мм.

### Токарно-карусельні верстати

Токарно-карусельні верстати призначені для обробки заготовок деталей типу тіл обертання великого діаметра та відносно невеликої довжини. На них можна обточувати і розточувати циліндричні і конічні поверхні, підрізувати торці, прорізати кільцеві канавки, свердлити, зенкерувати, розгортати тощо. На відміну від інших типів токарних верстатів вони мають вертикальний шпиндель з горизонтальною планшайбою, на якій закріплюється заготовка. Таке розташування площини для встановлення заготовок спрощує процес встановлення важких заготовок та полегшує вивірку заготовка на верстаті.

Токарно-карусельні верстати будують одностояковими (рис. 5.5, а), з діаметром обробки до 2000 мм та двостояковими (рис. 5.5, б), з діаметром обробки понад 2000 мм.

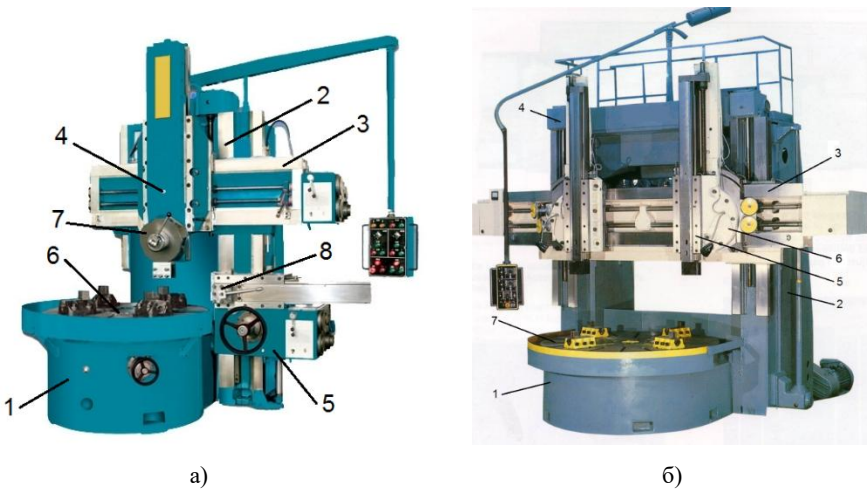


Рисунок 5.5 – Токарно-карусельні верстати

Одностояковий верстат складається зі станини 1, в якій розміщується головний привід і шпindelний вузол з планшайбою 6. Стояк 2 жорстко закріплюється до станини. Вертикальними напрямними стояка рухається бічний супорт 5 і траверса 3 з вертикальним супортом 4. Бічний супорт оснащується чотирипозиційним різцетримачем для інструменту, крім вертикального переміщення він здійснює подачу в радіальному напрямку. Вертикальний супорт, як зазвичай, з п'ятипозиційною револьверною головкою рухається в горизонтальній площині напрямними траверси, а полозки супорта мають переміщення в вертикальній площині. Подача супортів виконується від окремих приводів подач. Рух траверси напрямними стояка є встановлювальним рухом.

Заготовка на планшайбі закріплюється за допомогою кулачків, що переміщуються в радіальному напрямку інструментальними T-подібними пазами.

Двостоякові карусельні верстати (рис. 5.5, б) можуть будуватися з бічним супортом і без нього. Стойки 2 верстата в нижній частині скріплюються зі станиною 1, а в верхній частині з'єднуються балкою 4. На поперечці (траверсі) 3 розміщуються два вертикальних супорти 5, які здійснюють подачу в вертикальній та горизонтальній площинах. Регулювання подачі супортів виконується незалежно від окремих приводів подач. Для обробки поверхонь, розміщених під кутом до осі обертання, один із супортів може встановлюватися на поворотну плиту 6, що забезпечує поворот верхніх полозків супорта відносно горизонтальної осі.

### **Вертикальні токарні верстати з ЧПК**

Токарні вертикальні (карусельні) верстати з ЧПК (рис. 5.6) використовуються для обробки заготовок великого діаметру та відносно невеликої довжини. На них можна виконувати усі види токарної обробки. Додатковий інструментальний шпindel дає можливість виконувати токарну обробку, розточування, свердління, фрезерування, нарізування різі, шліфування поверхонь розташованих асиметрично стосовно осі обертання шпинделя заготовки.

Верстати можуть будуватися на одній колоні, як на рис.5.6, а також порталного типу, на двох колонах встановлених на основі і скріплених в верхній частині балкою (рис. 5.6, б). Вид компонування верстата залежить від розмірів оброблюваної заготовки.

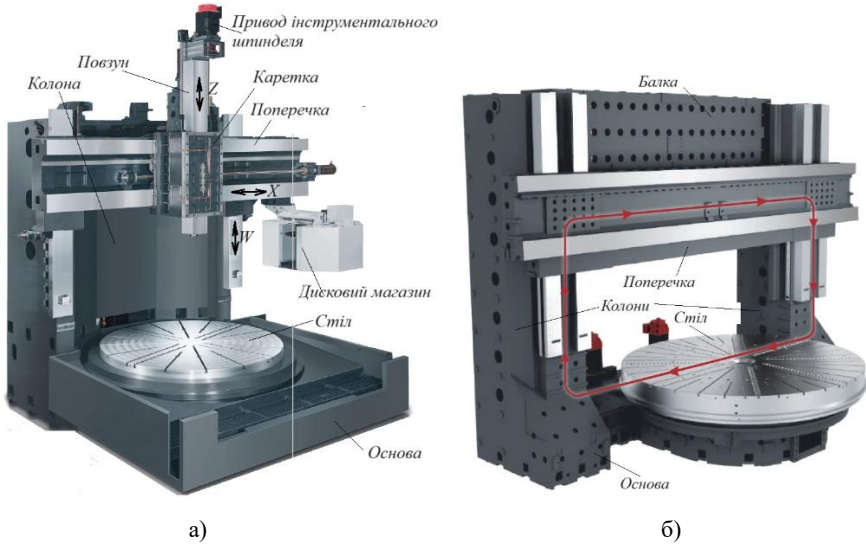


Рисунок 5.6 – Вертикальний токарний верстат з ЧПК

На відміну від верстатів загального виконання, вертикальні токарні верстати з ЧПК не мають бічного супорта. Інструмент для обробки заготовок встановлюється в інструментальний шпиндель, який в більшості випадків має окремий обертовий привод. Верстати оснащуються системою автоматичної заміни інструменту, яка включає накопичувач інструментів у вигляді інструментального магазину та пристрій обміну інструментів.

Більш детально конструкцію вертикального токарного верстата розглянемо на прикладі верстата GVH-2500 компанії Goodway (рис. 5.6,а). Верстат побудований за компонуванням з однією колоною. Він оснащується столом діаметром 2500 мм, на якому встановлюється і закріплюється заготовка діаметром до 3000 мм, висотою до 1700 мм і вагою до 15000 кг.

Базові деталі верстата: основа, колона, поперечка виготовлені литтям з МЕЕНАНІТЕ з великою кількістю ребер, для забезпечення високої жорсткості і довговічності, що дає можливість вести обробку з важкими режимами, підтримуючи високу точність обробки. В опорах шпинделя заготовки встановлений хрестово-роликівий підшипник, який сприймає радіальне, осьове навантаження та перекидні моменти.

Переміщення вузлів верстата здійснюється напрямними виконаними спільно з базовою деталлю. Поверхні контакту оброблені шабруванням, що забезпечує максимальну точність, жорсткість конструкції та розподіл навантаження на поверхні контакту.

Інструмент встановлюється в шпинделі інструменту, який розміщується в повзуні. Програмовані переміщення інструмента здійснюються за двома координатними осями: повзун в каретці переміщується за віссю Z, а каретка переміщується напрямними поперечки, вісь X. Контроль переміщення за осями виконується за допомогою лінійних датчиків.

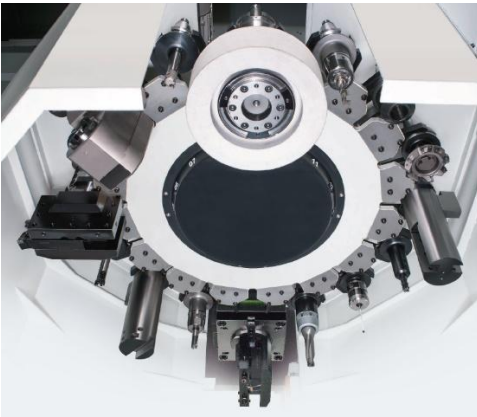


Рисунок 5.7 – Інструментальний магазин

Система автоматичної заміни інструмента включає інструментальний магазин дискового типу на 18 інструментів (рис. 5.7).

В приводах шпинделя заготовки і інструментального шпинделя використовуються асинхронні регульовані електродвигуни з двоступінчастими зубчастими редукторами, що дає можливість суттєво розширити режим повної потужності на шпинделях.

Стіл верстата може працювати в режимі швидкості різання та в режимі осі C. Для утримання в потрібній позиції стіл оснащений дисковим гальмом.

Поперечка переміщується напрямними колони за віссю W з кроком 200 мм. У конструкції поперечки використовуються два набори фіксуючих болтів для її підтримки. Після точного позиціонування болти будуть зафіксовані гідравлічним затискним зусиллям для забезпечення загальної жорсткості.

### Токарно-затилювальні верстати

Затилювальні верстати призначені для затилювання задніх поверхонь різальних кромки зубів дискових фасонних і модульних фрез, черв'ячних циліндричних і конічних зуборізних фрез, а також різбових дискових і кільцевих багатопрофільних фрез, мітчиків і плашок з метою збереження початкового профілю зубів і значень задніх кутів різальних кромки при їх переточуваннях по передніх поверхнях. Затилювання зубів зазвичай виконують за спіраллю Архімеда.

В залежності від напрямку руху інструмента по відношенню до заготовки затилювання розрізняють радіальне (рис. 5.8, а), косе (рис. 5.8, б) та торцеве (рис. 5.8, в).

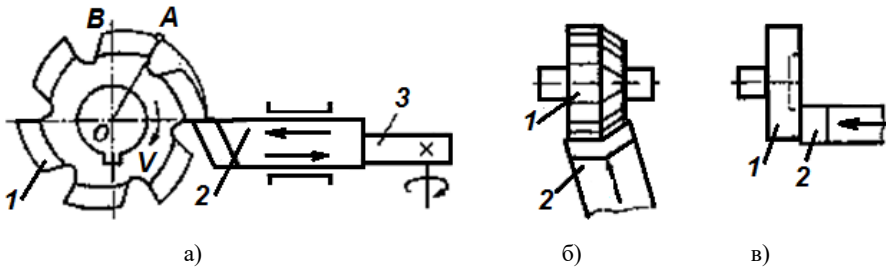


Рисунок 5.8 – Схеми затилювання інструментів

Радіальне затилювання застосовують для виготовлення виробів циліндричної форми, косе - для обробки фасонних фрез, а торцеве знаходить застосування для обробки торцевих поверхонь зубів.

В процесі обробки заготовка 1 (рис. 5.8) рівномірно обертається, а різець 2 виконує поступально-зворотний рух затилювання. Переміщення різця 2 здійснюється від кулачка 3, що рівномірно обертається. Під час затилювання за один оберт заготовки різець повинен підійти до неї стільки разів, скільки зубів має заготовка.

Для затилювання дискових фрез, коли периметр профілю зуба невеликий, використовують один фасонний різець. Під час обробки заготовка рівномірно обертається зі швидкістю різання, а різець виконує рух затилювання і радіальну подачу. Для затилювання циліндричних фрез з прямолінійними стружковими канавками різець додатково переміщується паралельно осі заготовки (рух поздовжньої подачі). Для затилювання циліндричних фрез зі спіральними

стружковими канавками необхідно, щоб різець, рухаючись вздовж осі заготовки, слідкував за спіральною лінією зуба.

### Кінематична структура затилувального верстата

За компонуванням затилувальні верстати нагадують токарно-гвинторізні верстати. Оброблювана заготовка встановлюється в шпинделі верстата, який здійснює головний обертальний рух  $O_1$  (рис. 5.9), в разі потреби заготовка підтримується задньою бабкою. Різальний інструмент виконує поступально-зворотний рух затилування  $\Pi_2$  та рух радіального врізання  $\Pi_4$  для обробки дискових фрез. Поступальне переміщення різця  $\Pi_3$  може виконуватися від зубчато-рейкової передачі, в разі обробки циліндричних фрез, або від гвинтової передачі для обробки черв'ячних фрез, мітчиків тощо. Налаштування на потрібну швидкість руху здійснюється органами налаштування у вигляді коробки швидкостей та гітар змінних коліс.

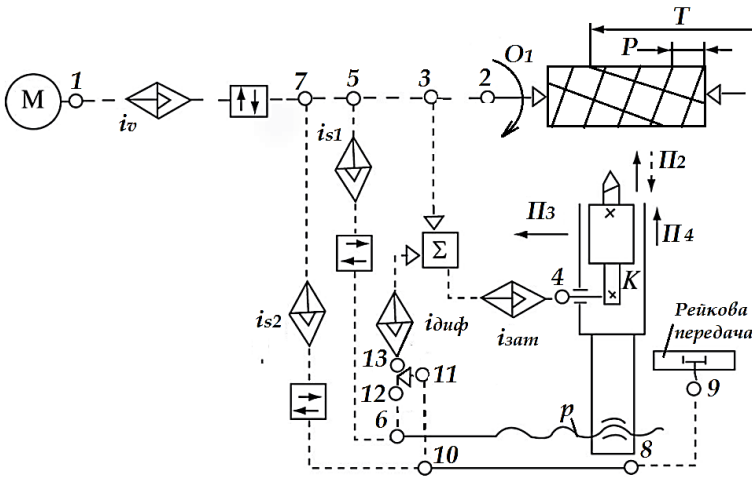


Рисунок 5.9 – Структурна схема токарно-затилувального верстата

Оберти на шпиндель передаються від електродвигуна ланцюгом 1-2 з органом налаштування  $i_v$ . Поступально-зворотне переміщення різця здійснюється від кулачка  $K$ , який отримує рух від шпинделя кінематичним ланцюгом 2-3-4 з органом налаштування  $i_{zam}$ . Налаштування гітари  $i_{zam}$  здійснюється виходячи з узгодженості обертів

заготовки і кулачка  $K$ . Розрахункові переміщення кінцевих ланок ланцюга матимуть вигляд

$$1 \text{ оберт заготовки} \longrightarrow z \text{ обертів кулачка } K,$$

тут  $z$  – число зубів фрези, що затилуються.

Поступальний рух різця паралельно осі заготовки (поздовжня подача) забезпечується кінематичним ланцюгом 2-7-9 з органом налаштування  $i_{s2}$  для затилування циліндричних фрез або ланцюгом 2-5-6 з органом налаштування  $i_{s1}$  для затилування черв'ячних фрез. Розрахункові переміщення кінцевих ланок ланцюга для першого випадку матимуть вигляд

$$1 \text{ оберт заготовки} \longrightarrow S \text{ мм переміщення різця},$$

для другого випадку

$$1 \text{ оберт заготовки} \longrightarrow P \text{ мм переміщення різця},$$

тут  $S$  і  $P$  – величина поздовжньої подачі і крок гвинтової лінії фрези, що затилується, відповідно.

Під час затилування фрез зі спіральними стружковими канавками, для забезпечення слідування різця за стружковою канавкою фрези, кулачку  $K$  дається додаткове обертання. Узгодження поздовжнього руху різця і обертання кулачка  $K$  відбувається за кінематичним ланцюгом 6-12-13-4 або ланцюгом 9-8-10-11-13-4 з органом налаштування  $i_{оиф}$ . Оскільки кулачок є спільною кінцевою ланкою для двох кінематичних груп, то рух на нього передається через підсумовуючий механізм. Розрахункові переміщення кінцевих ланок ланцюга матимуть вигляд

$$\frac{P}{p} \text{ обертів ходового гвинта} \longrightarrow \pm \frac{P \cdot z}{T} \text{ додаткових обертів кулачка},$$

або

$$\left( \frac{s}{\pi m z_{рк}} \right) \text{ обертів рейкового колеса} \longrightarrow \pm \frac{S \cdot z}{T} \text{ додаткових обертів кулачка},$$

тут  $P$  – крок гвинтової лінії зубів фрези,  $p$  – крок ходового гвинта,  $T$  – крок спіральної стружкової канавки,  $z$  – число зубів фрези,  $m$  – модуль рейкового колеса,  $z_{рк}$  – число зубів рейкового колеса.

Знак плюс відповідає лівій, а знак мінус правій спіральній стружковій канавці.

## ЛЕКЦІЯ 6. ТОКАРНІ АВТОМАТИ І НАПІВАВТОМАТИ

Токарні автомати і напівавтомати можна класифікувати за ступенем універсальності, за кількістю шпинделів, за розташуванням та видом оброблюваної заготовки.

За ступенем універсальності автомати поділяють на універсальні, спеціалізовані і спеціальні. Універсальні автомати можуть бути переналагоджені в межах даних методів обробки на виготовлення деталей широкої номенклатури, їх доцільно застосовувати в серійному виробництві. Спеціалізовані автомати можуть переналагоджуватися на обробку однотипних деталей з подібним технологічним процесом обробки в крупносерійному та масовому виробництві зі швидкою зміною об'єктів. Спеціальні автомати призначені для обробки однієї деталі і не можуть бути переналагоджені, їх використовують в масовому виробництві зі стабільним характером.

За кількістю шпинделів автомати бувають одношпиндельні та багатошпиндельні, зазвичай чотири, шести чи восьмишпиндельні. За розміщенням шпинделів вони виготовляються горизонтальними – з горизонтальним розміщенням шпинделя та вертикальними – з вертикальним розміщенням шпинделя.

За видом оброблюваної заготовки токарні автомати будують прутковими - для обробки деталей з прутка і патронними – для обробки штучних заготовок. Пруткові автомати оснащуються пристроями для підтримання довгих (до 3 метрів) прутків.

### Фасонно-відрізні автомати

Фасонно-відрізні автомати застосовуються для обробки порівняно простих деталей невеликої довжини в масовому і крупносерійному виробництві. Схема роботи такого автомата показана на рис. 6.1. Заготовка закріплюється в обертовому шпинделі 1 за допомогою цангового патрона. Верстат має два-чотири супорта 2, що переміщуються тільки в поперечному напрямку і несуть фасонні та відрізні різці.

Для отримання деталі потрібної довжини верстат забезпечений рухомим упором 3, який автоматично устанавлюється на осі шпинделя після закінчення циклу. Матеріал подається за допомогою механізму подачі до зіткнення з упором.

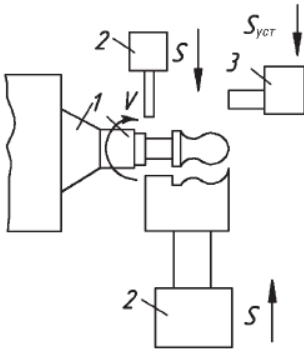


Рисунок 6.1 – Схема обробки на фасонно-відрізному автоматі

переміщенням каретки 7 з механізмами подачі і правки, при цьому з переднього затискача 4 виштовхується раніше оброблена деталь. Після подачі дріт затискається в трьох місцях: переднім 4 і середнім 6 затискачами, розташованими по обидва боки від обертової різцевої головки 3, і заднім затискачем 1, розташованим в шпindelній бабці 2. При відході каретки 7 назад частину дроту, що змотана з бунту 9, під час його подачі, і яка підлягає подальшій обробці, правиться роликками 8. Задній затискач утримує дріт від зсуву в процесі виправлення.

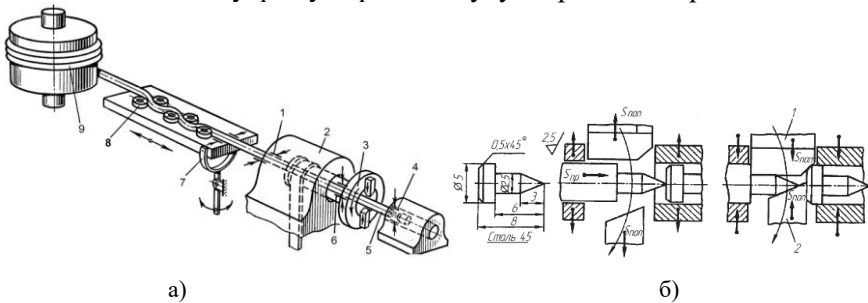


Рисунок 6.2 – Схема роботи (а) і обробки заготовки (б) фасонно-відрізного автомата, що виготовляє деталі з дроту

Фасонно-відрізні автомати пруткового типу випускають з максимальним діаметром обробки від 16 до 40 мм, на автоматах, що обробляють деталі з дроту, максимальний діаметр обробки – 12 мм.

### Автомати поздовжнього точіння

Автомати цього типу призначені для виготовлення деталей зі сталей, кольорових металів і сплавів з високою точністю: по діаметру - до квалітетів 6...8; по довжині - не нижче 8 квалітету.

Обробка заготовок на цих автоматах ведеться з холоднотягнутого каліброваного (шліфованого) пруткового матеріалу високого класу точності.

Характерною особливістю автоматів поздовжнього точіння (рис. 6.3) є те, що пруток в них крім обертального руху має разом зі шпиндельною бабкою 6 поздовжнє переміщення. Всі супорти автомата, яких може бути чотири або п'ять, розташовані віялоподібно навколо оброблюваного прутка. Вони мають тільки поперечне переміщення. Одночасним узгодженим переміщенням шпиндельної бабки з прутком і поперечних супортів на цих автоматах можна без застосування фасонних різців обробляти конічні і фасонні поверхні.

Вертикальні супорти 2, 3 і 5, розташовані на спеціальному стояку, мають прямолінійне переміщення і керуються від індивідуальних кулачків розподільного вала. Два горизонтальних супорта 1 і 9 розташовані на балансірі 10, здійснюють гойдальний рух навколо осі 11 і керуються обидва від одного кулачка 12. У стояку, на якому розташовані вертикальні супорти, встановлений нерухомий люнет 4, що є додатковою передньою опорою для прутка.

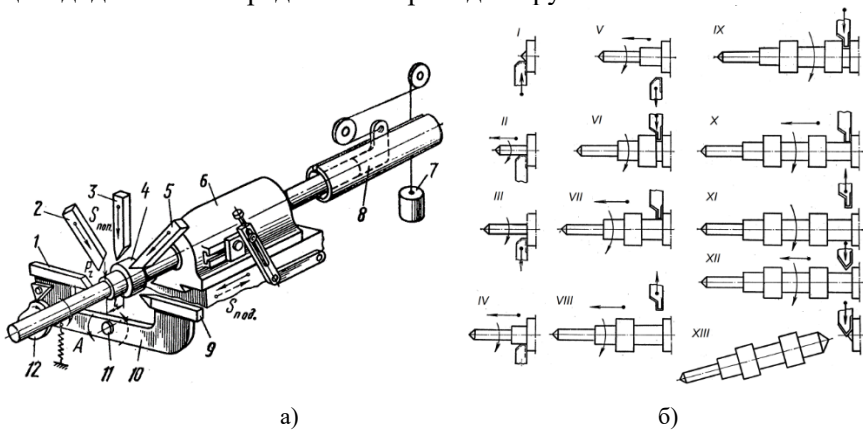


Рисунок 6.3 – Схема роботи автомата поздовжнього точіння

Всі супорти з різцями розташовуються безпосередньо біля люнета, завдяки чому на автоматах поздовжнього точіння можна оброблювати з високою точністю досить довгі заготовки малого діаметра ( $l/d = 20 \dots 30$ ). З заднього кінця прутки постійно підтискається штовхачем 8 під дією вантажу 7 для утримання його в передньому положенні під час відходу шпindelної бабки назад. Шпindel в автоматах поздовжнього точіння завжди обертається в один бік (має ліве обертання), і тому нарізування правої різьби на них виконується методом обгону.

На рис. 6.3, б показана обробка типової заготовки на автоматі поздовжнього точіння. Обробка здійснюється шляхом послідовного почергового поздовжнього переміщення шпindelної бабки з прутком і поперечних переміщень різців (див. позиції 1-11). Тільки на позиціях 12-13, де виконується обробка зворотного конуса і відрізування виготовленої деталі, здійснюється одночасне переміщення прутка з бабкою і відрізного різця.

Автомати поздовжнього точіння виготовляють з максимальним діаметром обробки від 4 до 32 мм.

### **Токарно-револьверні автомати**

Токарно-револьверні автомати призначені для виготовлення деталей зі сталей і кольорових металів і сплавів за 8...11-м квалітетами точності. Обробка на них ведеться з холоднотягнутого каліброваного круглого, квадратного і шестигранного пруткового матеріалу.

У токарно-револьверного автомата (рис. 6.4) шпindel 2 забезпечує більш швидке ліве обертання, на якому виконується більшість робочих операцій, і повільне праве обертання, коли виконується нарізування різі, розгортання і деякі інші операції. Крім поперечних супортів 3, токарно-револьверні автомати мають один поздовжній револьверний супорт 5, на якому встановлена поворотна шестипозиційна револьверна головка 4 з інструментами для обробки з поздовжньою подачею. В одній позиції револьверної головки може встановлюватися регульований упор 6, що обмежує величину подачі прутка 7.

Всі токарно-револьверні автомати однотипні за компонованням і мають практично однакову будову. У основі автомата розміщені системи змащування й охолодження, а також коробка швидкостей. Зверху до основи кріпиться станина, на якій змонтована шпindelна

бабка з розташованим на ній спеціальним кронштейном для одного або двох вертикальних поперечних супортів, станина має поздовжні і поперечні прямокутні напрямні для револьверного супорта з шестипозиційною головкою і двох горизонтальних (переднього і заднього) поперечних супортів. В деяких моделях автоматів на передньому поперечному супорті розміщують додатковий поздовжній супорт.

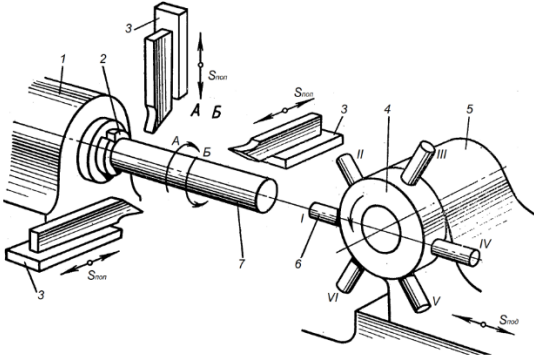


Рисунок 6.4- Схема роботи токарно-револьверного автомата

Подачу і відведення супортів з інструментами і керування циклом роботи автомата здійснює розподільний вал, який у всіх токарно-револьверних автоматах конструктивно виконаний у вигляді двох валів (поздовжнього і поперечного), пов'язаних між собою кінематичним ланцюгом з передавальним відношенням 1:1.

Кінематична схема токарно-револьверного автомата мод. 1Б140 наведена на рис. 6.5. На автоматі можуть оброблюватися деталі з прутка діаметром до 40 мм. Для підтримки довгого прутка (до 3000 мм), закріпленого в шпинделі, використовуються підтримуючі пристрої різної конструкції.

Привід обертання шпинделя складається з асинхронного електродвигуна, коробки швидкостей та пасової передачі. Перемиканням електромагнітних фрикційних муфт *EM1* і *EM2* та обгінною муфтою на валу *II* забезпечується зміна частот обертання шпинделя (3 ступені), а перемикання муфт *EM3* і *EM4* забезпечує зміну напрямків обертання шпинделя. Вмиканням муфти *EM3* забезпечується більше передавальне відношення з *III* валу на *IV*, а отже цим ланцюгом одержують ліві оберти шпинделя. Від коробки швидкостей, розміщеної

в тумбі верстата, на шпindel ь рух передається пасовою передачею  $D_1/D_2$ . Для переходу на обробку іншої деталі частоти можуть бути змінені гітарою А/Б.

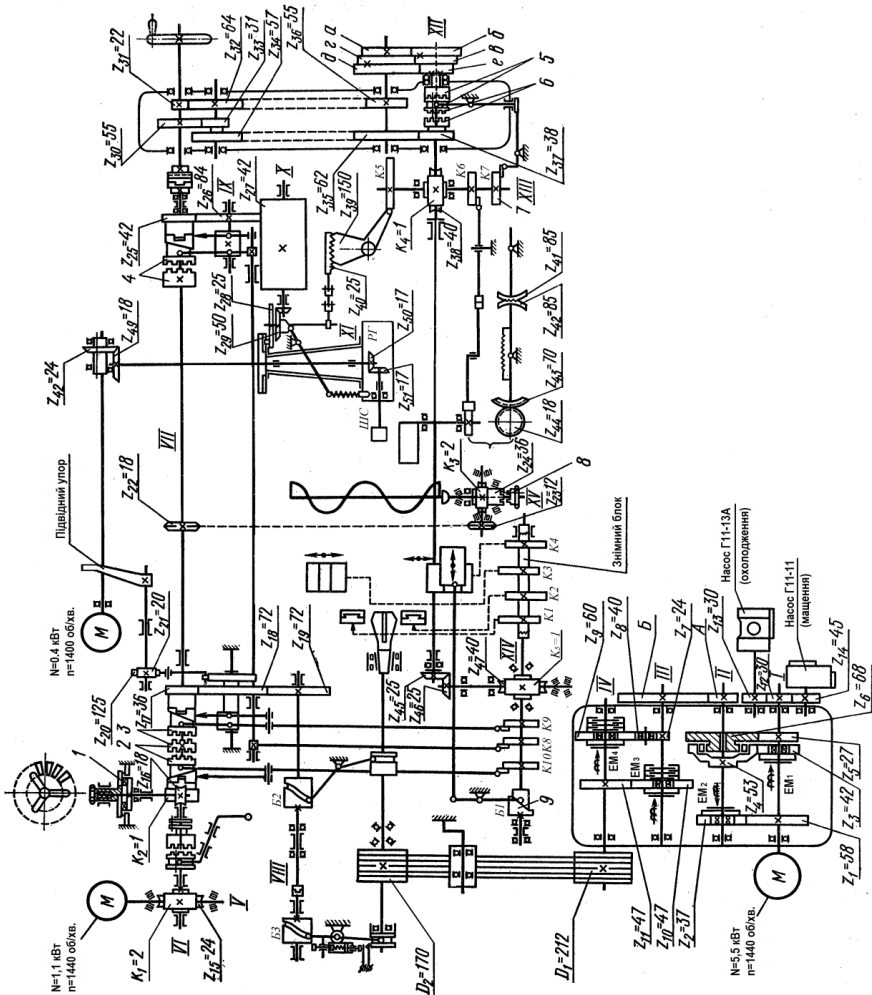


Рисунок 6.5 – Кінематична схема токарно-револьверного автомата мод. 1Б140

Подача супортів виконується кулачками, розміщеними на розподільних валах: поздовжньому  $XIV$  і поперечному  $XIII$ . Розподільні вали одержують обертання від електродвигуна потужністю 1,1 кВт. Від

електродвигуна через черв'ячну передачу  $2/24$  рух передається на VI вал, а з нього, замиканням кулачкової муфти, на VII допоміжний вал. Допоміжний вал обертається з постійною частотою, яка може бути визначена за рівнянням:  $n_{\text{доп.в}} = 1440 \cdot 2/24 = 120 \text{ хв}^{-1}$ .

Від допоміжного валу VII до XII валу рух може передаватися двома ланцюгами: ланцюгом робочого ходу та ланцюгом прискореного руху. Обертання розподільних валів зі швидкістю робочого руху здійснюється від VII валу, в разі замикання муфти 5, зубчастими передачами  $22/64$ ,  $64/55$  далі трипарна гітара змінних коліс  $a/b$   $v/g$   $d/e$  на XII, з якого черв'ячною передачею  $1/40$  на поперечний розподільний вал XIII і кінчними зубчастими колесами  $25/25$  і черв'ячною передачею  $1/40$  на поздовжній розподільний вал XIV. Передавальне відношення гітари змінних коліс визначається виходячи з умови забезпечення необхідного циклу роботи автомата: за час циклу розподільний вал повинен здійснити один оберт.

Замиканням муфти 6 одержують прискорене обертання розподільних валів кінематичним ланцюгом:

$$n_{\text{РВ приск}} = 120 \text{ хв}^{-1} \cdot n_{\text{VII вала}} \cdot 55/31 \cdot 57/62 \cdot 62/38 \cdot 1/40 = 8 \text{ хв}^{-1}$$

Дискові кулачки ( $K1-K4$ ) на валу XIV забезпечують робочу подачу і відведення поперечних супортів: вертикальних і горизонтальних, а барабанний кулачок  $B1$  - додаткового поздовжнього супорта. Кулачок  $K5$  на валу XIII через важіль і передачу зубчастий сектор-рейка переміщує револьверний супорт з голівкою.

Решта кулачків ( $K7-K10$ ) і барабанів ( $B1-B3$ ) на валах VIII і XIV виконують допоміжні дії або керують пристроями, що здійснюють допоміжні руху.

Перемикання частот і напрямку обертання шпинделя виконується електромагнітними муфтами, що керуються командоапаратом 1, поворот вала якого здійснюється від допоміжного вала, вмиканням однообертової муфти 2 командним кулачком  $K10$ .

*Зміна позицій револьверної голівки.* Упори на кулачку  $K8$  через систему важелів вмикають однообертову муфту 4 на допоміжному валу VII, яка через зубчасті колеса  $42-84-42$ , передачі  $25/50$  здійснює один оберт повідця мальтійського механізму (вал XI) і відповідний поворот на  $1/6$  частину оберту мальтійського хреста з револьверною голівкою РГ.

Вал *XI* робить один оборот за два оберти допоміжного валу *VII*, і тому муфта *4* налаштовується таким чином, що вона здійснює два оберти з допоміжним валом і автоматично вимикається.

Зміна позицій револьверної головки супроводжується додатковими допоміжними діями: розфіксацією головки, що забезпечуються торцевим кулачком, закріпленим на конічному колесі *29* (вал *XI*), кулачок важелем виводить фіксатор з гнізда револьверної головки; відведенням револьверного супорта на величину подвоєного ексцентриситету кривошипного диска, яке відбувається автоматично з початком обертання вала *XI*. В ході обробки вал *XI* утримується від довільного повороту фіксатором. По закінченню циклу обертання вала *XI* кривошипний диск повертає супорт в початкове положення, торцевий кулачок звільняє важіль і фіксатор під дією пружини фіксує револьверну головку в новому положенні.

*Подача і затиск матеріалу.* Упор на кулачкові *K9* через систему важеля вмикає однообертову муфту *3* на допоміжному валу *VII*, яка через зубчасті колеса *36-72-72* за два оберти вала *VII* забезпечує валу *VIII* з барабанами *B2* (затиск - розтискування цанги) і *B3* (подача прутка) один оберт. Муфта *3* налаштовується так само, як і муфта *4*. Подачу прутка здійснюють до упору, що встановлюється в одній з позицій револьверної головки.

У разі, якщо при обробці складної деталі все позиції головки зайняті різальним інструментом, використовується підвідний упор, який підводиться і відводиться кулачком, закріпленим на колесі *72*.

## **ЛЕКЦІЯ 7. БАГАТОШПИНДЕЛЬНІ АВТОМАТИ І НАПІВАВТОМАТИ**

Характерною особливістю багатошпиндельних автоматів і напівавтоматів є наявність декількох шпинделів, що працюють одночасно.

За компонованням багатошпиндельні автомати будуються горизонтальними – з горизонтальною віссю шпинделів і вертикальними – з вертикальною віссю шпинделів.

За характером виконання технологічного процесу обробки автомати бувають послідовної, паралельної та послідовно-паралельної дії.

Для обробки заготовок на *автоматах послідовної дії* (рис. 7.1, а) всі операції технологічного процесу розподіляються рівномірно за позиціями, яких може бути 4, 6 або 8. Обробка заготовок, закріплених в кожному шпинделі, ведеться в процесі їх послідовного проходження через всі позиції автомата різними групами різальних інструментів. В одній із позицій виконується завантаження заготовок та вивантаження готових деталей.

Передача заготовок з однієї позиції в іншу виконується періодичним поворотом шпиндельного блоку на одну позицію. Повністю оброблена деталь буде виходити з автомата після кожного повороту шпиндельного блоку на одну позицію.

В *верстатах паралельної дії* концентруються однойменні операції технологічного процесу. Тому в усіх позиціях діють однакові комплекти інструменту і кожна деталь проходить обробку лише в одній позиції. Верстати паралельної дії за характером виконання транспортних переміщень деталей можуть бути дискретної дії і безпервної дії.

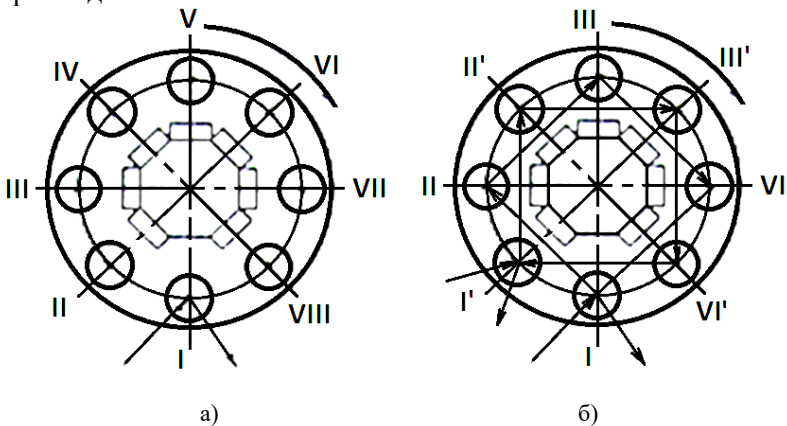


Рисунок 7.1 - Схеми роботи багатошпиндельного автомата

В автоматах *послідовно-паралельної дії* (рис. 7.1, б) концентруються як однойменні так і різнойменні операції. Їх конструктивною ознакою є наявність декількох паралельних потоків обробки, в кожному з яких деталь проходить через кілька робочих позицій.

### Шестишпindelний токарний автомат мод. 1Б240-6К

Багатошпindelний горизонтальний токарний автомат призначений для виготовлення різних деталей з труб і каліброваних прутків круглого, квадратного або шестигранного перетину з різних марок сталі та кольорових сплавів. Максимальний діаметр оброблюваного прутка 40 мм. Автомат має шість шпindelів, розташованих по колу в єдиному шпindelному блоці, які отримують обертання з однаковою частотою від головного приводу. Періодичним поворотом шпindelного блоку шпindelі переводяться з однієї позиції в іншу.

Різальний інструмент встановлюється на індивідуальних для кожної позиції поперечних супортах і на загальному для всіх позицій поздовжньому супорті. Цей супорт виконаний у вигляді багатогранника, число граней якого дорівнює кількості позицій, на яких і розташовуються тримачі з інструментами. Заготовка обробляється різними групами різальних інструментів при послідовному проходженні шпинделя через всі позиції автомата. На останній позиції відбуваються відрізування готової деталі і подача прутка для виготовлення наступної деталі.

Кінематична схема верстата (рис. 7.2) складається з декількох кінематичних ланцюгів.

Ланцюг головного руху забезпечує обертання шпindelів з необхідною швидкістю різання. Рівняння кінематичного балансу ланцюга має вигляд

$$1450 \cdot \frac{230}{330} \cdot \frac{48}{57} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{48}{36} = n_{\text{шп.}}$$

Осьовий, різенарізувальний різальний інструмент, а також прохідні різці, встановлюються в поздовжньому багатопозиційному супорті, причому окремі позиції мають можливість установки інструменту, що обертається (інструментальних шпindelів).

Привод обертання *швидкосвердлильного шпинделя* здійснюється від центрального IV валу кінематичним ланцюгом 60/30, 40/ZII. Шпindel заготовки і свердлильний шпindel обертаються назустріч один одному і їх частоти додаються. Змінне колесо II вибирається виходячи з умови забезпечення необхідної частоти обертання:

$$n_{\text{св}} = n_{\text{ун}} + n_{\text{ін}} = n_{\text{ун}} + n_{\text{ун}} \cdot 36/48 \cdot 60/30 \cdot 40/Z_{\text{II}} = n_{\text{ун}}(1 + 60/Z_{\text{II}}).$$

Привод обертання *різенарізувального шпинделя* включає в себе два ланцюги - нарізування і згвинчування, перемикання яких здійснюється електромагнітними муфтами 28 і 33. В обох випадках різенарізувальний шпиндель обертається в одному напрямку з робочим шпинделем і нарізування відбувається за рахунок:

- відставання інструменту від заготовки (права різь), тоді перемиканням на інший ланцюг з швидким обертанням інструменту забезпечується згвинчування;
- обгону інструментом заготовки (ліва різь), тоді для згвинчування використовується ланцюг з меншою частотою його обертання.

Різниця між частотами обертання шпинделів заготовки  $n_{шп}$  і інструменту  $n_{ін}$  відповідає частоті обертання інструменту, яка визначається швидкістю різання для різенарізування  $n_{різ}$ , тобто  $n_{різ} = |n_{шп} - n_{ін}|$ .

Привод ланцюга різенарізування отримує рух від центрального *IV* валу кінематичним ланцюгом  $i/j, k/l$ , електромагнітна муфта 33, 30/52, 52/57, 60/43 до різенарізувального шпинделя *XIX*. Гітару змінних коліс  $i/j \cdot k/l$  підбирають виходячи з умови

$$n_{різ} = n_{шп} - n_{ін},$$

для чого записують рівняння кінематичного балансу має вигляд:

$$n_{ін} = n_{шп} - n_{шп} \cdot \frac{38}{48} \cdot \frac{i}{j} \cdot \frac{k}{l} \cdot \frac{30}{52} \cdot \frac{52}{57} \cdot \frac{60}{43}$$

Для згвинчування різенарізувального інструмента муфта 33 вимикається, а муфта 28 вмикається, забезпечуючи обертання інструмента з частотою згвинчування за ланцюгом:

$$n_{ін.згв.} = n_{шп} + n_{шп} \cdot \frac{38}{48} \cdot \frac{i}{j} \cdot \frac{52}{57} \cdot \frac{60}{43}$$

Привод обертання *інструментального шпинделя* для розгортання забезпечує обертання інструмента в одному напрямку з заготовкою, але з меншою швидкістю, ланцюгом від центрального валу *IV* на приводну втулку *XIX*.

При цьому  $n_{різ} = n_{шп} - n_{ін}$ , а число зубів змінного колеса  $p$  визначається з рівняння

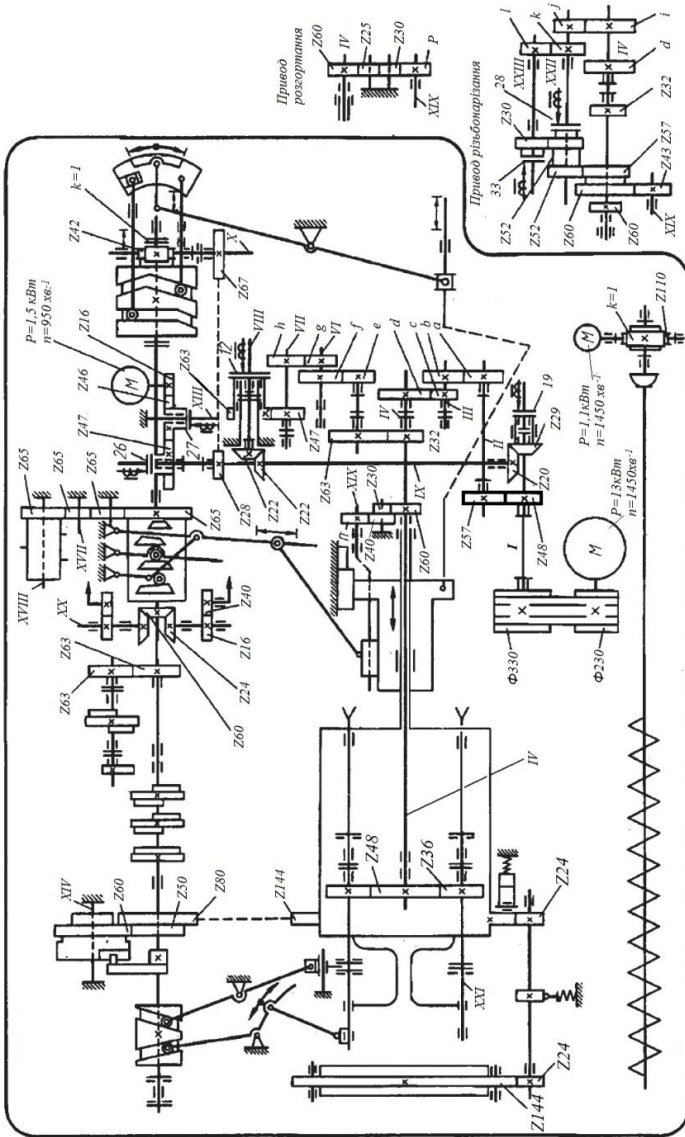


Рисунок 7.2 – Кінематична схема токарного шестишпindelного автомата мод. 1Б240-6К

$$n_{\text{ін}} = n_{\text{шп}} - n_{\text{шп}} \cdot \frac{36}{48} \cdot \frac{60}{25} \cdot \frac{25}{30} \cdot \frac{30}{p}$$

Привод обертання *розподільного валу* здійснюється трьома різними кінематичними ланцюгами відповідно під час робочого ходу, холостого ходу і для налагодження автомата.

Під час виконання робочого ходу розподільний вал одержує обертання від центрального вала *IV* кінематичним ланцюгом *32/63, eff, g/h, 47/63*, електромагнітна муфта *12* увімкнена, *22/22, 28/67, 1/42*.

На холостих ходах муфта *12* розмикається і вмикається муфта *19*. Рух на розподільний вал передається від електродвигуна ланцюгом:

$$1450 \cdot \frac{230}{330} \cdot \frac{29}{20} \cdot \frac{28}{67} \cdot \frac{1}{42} = 14,6 \text{ хв}^{-1}$$

При налаштуванні автомата розподільний вал обертається від окремого електродвигуна  $P=1,5$  кВт через зубчасті колеса *16/46, 46/47*, електромагнітну муфту *26*, колеса *28/67* і черв'ячну передачу *1/42*. Для цього муфти *12* і *19* мають бути вимкнені, а гальмування розподільного валу до повної зупинки здійснюється муфтою *27*. В разі потреби розподільний вал можна повернути вручну за допомогою ключа за кінець вала *X* черв'яка.

### **Багатошпindelні токарні напівавтомати**

*Багатошпindelні токарні напівавтомати* призначені для виготовлення деталей з штучних литих, кованих і штампованих заготовок з різних марок сталей, чавуну, кольорових металів і сплавів. Більшість деталей, що виготовляються на цих напівавтоматах, має довжину меншу за діаметр, і тому вони закріплюються в патронах. Багатошпindelні напівавтомати випускаються з горизонтальним і вертикальним розташуванням робочих шпindelів.

Горизонтальні напівавтомати будуються на базі аналогічних моделей багатошпindelних автоматів, і тому більшість їх вузлів і механізмів має таку саму конструкцію і робочі характеристики. Значну відмінність в конструкції має тільки вузол робочого шпindelю, оскільки знімання готової деталі і установлення заготовки в патроні здійснюються вручну. Для цього в конструкції всіх шпindelів напівавтомата передбачена можливість вимикання їх обертання і гальмування в позиції завантаження, а також встановлені гідروفіковані

механізми затиску і розтискання заготовок. Поперечний супорт в позиції завантаження не встановлюється.

Обробка заготовок на *вертикальних напівавтоматах* послідовної дії (рис. 7.3) здійснюється декількома групами інструментів, закріплених на супортах 2, які розміщені на гранях нерухокої колони 3. Заготовки кріпляться в патронах 1 обертових вертикальних шпинделів, розташованих по колу в загальному шпиндельному блоці у вигляді поворотного столу 4, який періодичним поворотом щодо нерухомих основи 5 і колони 3 здійснює зміну позицій. За один оберт столу заготовка послідовно проходить через всі позиції, піддаючись повній обробці, і після кожного повороту столу на одну позицію з напівавтомата знімається готова деталь.

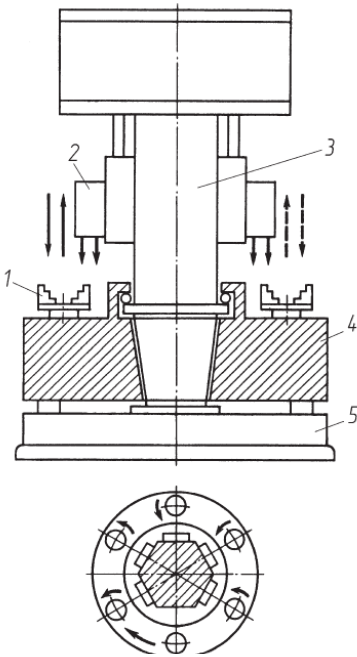


Рисунок 7.3 – Схема роботи вертикального багатшпиндельного напівавтомата послідовної дії

Обертання шпинделів в кожній позиції здійснюється від індивідуальних приводів, а під час зміни позицій і в позиції завантаження вони не обертаються. Поперечних супортів на вертикальних напівавтоматах немає, і для отримання в окремих позиціях напівавтоматів послідовної дії поперечної подачі інструмента використовуються

спеціальні супорти, в яких поздовжнє переміщення перетворюється в поперечне.

Розглянемо кінематичну схему восьмишпиндельного *вертикального напівавтомата мод. 1К282*.

Напівавтомат призначений для обробки штучних заготовок діаметром до 250 мм: поковок, штамповок, литва.

Кінематична схема напівавтомата показана на рис. 7.4. Вона включає в себе кінематичні ланцюги приводу головного руху, приводу

робочої подачі і прискореного руху супортів, обертання командоапарата і приводу механізму повороту стола.

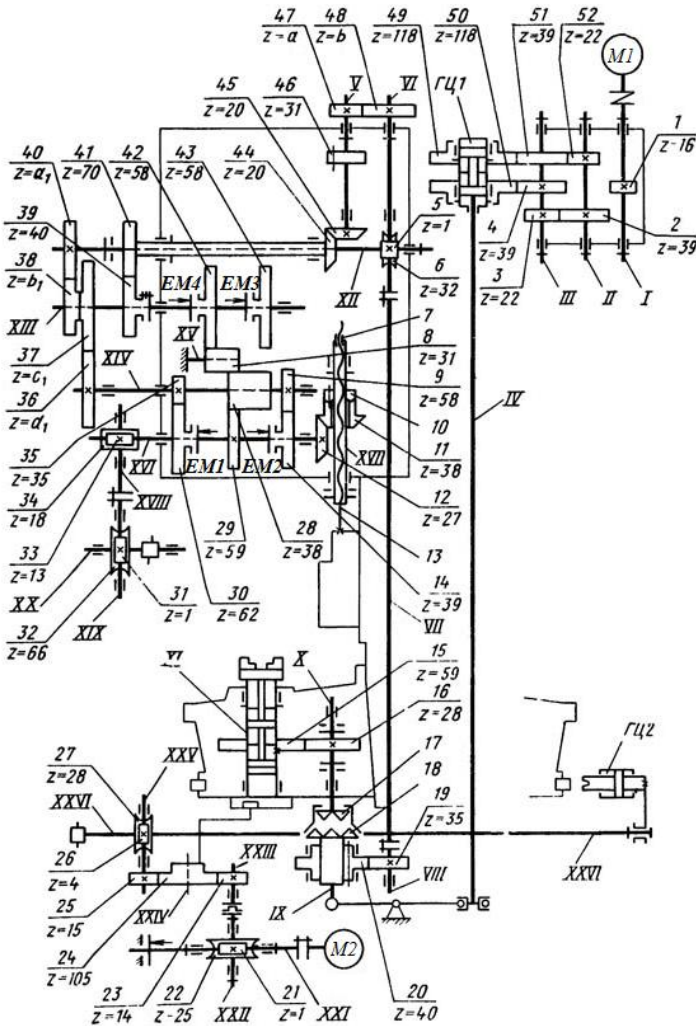


Рисунок 7.4 – Кінематична схема вертикального багатшпindelного напівавтомата мод.1K282

Привод головного руху здійснюється від двигуна M1 через зубчасті колеса редуктора 16/39 і далі 39/118, (високий ряд частот

обертання) або через 22/39, 22/39 і 39/118, (низький ряд частот обертання).

З одним з центральних коліс з'єднується ковзне зубчасте колесо Z31 кожної з коробок подач, що перемикає відповідну позицію на роботу в одному з двох піддіапазонів: на верхньому ряду або нижньому. Потім рух через змінні колеса  $a$  і  $b$  і вал VI надходить на передачу 35/40 синхронізатора, муфти якого після кожної індексації столу сполучаються з наступним перед шпindelним валом VII. Від нього рух через пару 28/59 надходить на шпindel VIII. Кожен шпindel, що знаходиться в робочій позиції, має індивідуальний ланцюг приводу, починаючи з колеса Z31.

Ланцюги робочих подач і швидких переміщень супорта зосереджені в коробках подач. За допомогою вбудованих в них електромагнітних фрикційних муфт подача прискорюється в 2,63 рази.

*Привод робочої подачі* супортів здійснюється від вала VI через черв'ячну передачу 1/32, змінні колеса  $a_1/b_1$ ,  $c_1/d_1$  і далі через зубчасті колеса 35/62 (увімкнена муфта EM1) або 58/39 (увімкнена муфта EM2) на вал XVI. З цього вала через конічну передачу 27/38 обертання передається гайці гвинтової передачі, ходовий гвинт якої ( $P = 12$  мм) закріплений на супорті і здійснює поступальний рух. Перемикати муфти EM1 і EM2 можна в процесі обробки, отримуючи дві робочі подачі супорта: малу і велику.

Привід прискореного руху супортів здійснюється від вала V через конічні колеса 20/20 і циліндричні 70/40 на вал XIII. Для прискореного підводу супорта включається муфта EM3, і обертання передається через зубчасті колеса 58/38, 38/59, 27/38 на гайку ходового гвинта, а для прискореного відведення супорта (вмикається муфта EM4) обертання на гайку ходового гвинта передається через зубчасті колеса: 58-31-38-59 і 27/38. При переході з високого ряду частот обертання на низький для збереження постійної швидкості прискореного переміщення супорта необхідно поміняти місцями колеса в передачі 70/40 між валами XII і XIII. Швидкості швидкого підведення і відведення супорта відповідно дорівнюють 3,6 і 3,5 м/хв.

Ланцюг повороту шпindelного столу приводиться індивідуальним електродвигуном M2, обертання від якого через передачі 21-22-23-24 передається на водило мальтійського механізму повороту (вісь XXIV). Від цього ж ланцюга отримує рух барабан командоапарата індексації (на осі XXVI). Всі синхронізатори і гальма

включаються важільною системою від загальної тяги (вісь IV), що рухається циліндром ГЦ1. Циліндр ГЦ2 керує фіксатором.

Привод обертання командоапарата (вал XX) здійснюється від валу XVI через гвинтову зубчасту передачу 13/18 і черв'ячну 1/66. Командоапарат, з'єднаний з коробкою подач, служить для керування робочими і холостими ходами супорта в автоматичному і налагоджувальному режимах роботи. Через вбудований черв'ячний редуктор рух передається на кулачковий вал XX з встановленими на його різьбових поясах кулачками. Кулачки за допомогою передавальних важелів з регулювальними болтами діють на електричні шляхові вимикачі

## ЛЕКЦІЯ 8. ФРЕЗЕРНІ ВЕРСТАТИ

Фрезерні верстати призначені для обробки зовнішніх і внутрішніх плоских, фасонних поверхонь, уступів, пазів, прямих і гвинтових канавок різного профілю, шліців на валах, нарізування зубчастих коліс, тощо за допомогою фрез.

Головний рух в фрезерних верстатах – обертання фрези, а рух подачі – відносно переміщення інструмента і заготовки, яке може виконуватися як в горизонтальному, так і в вертикальному напрямках, інколи рух подачі обертальний. Рух подачі найчастіше здійснює заготовка, рідше – інструмент.

За призначенням фрезерні верстати можна поділити на такі групи: верстати загального призначення, спеціалізовані верстати та спеціальні. Останні призначені для виконання однієї або декількох фрезерних операцій на конкретних деталях і застосовуються в крупносерійному і масовому виробництві.

В залежності від розміщення основних вузлів (компонування) фрезерні верстата поділяють на консольно-фрезерні, безконсольно-фрезерні, поздовжньо-фрезерні, карусельно-фрезерні.

Основною ознакою *консольно-фрезерного верстата* є наявність консолі (рис. 8.1), що рухається вертикальними напрямними станини (стояка) і несе стіл з закріпленою заготовкою. Консольно-фрезерні верстати будують з горизонтальним та вертикальним шпинделем. Стіл встановлюється на полозках, які рухаються напрямними консолі. Отже заготовка може рухатися за трьома напрямками: стіл – в поздовжньому, полозки – в поперечному і консоль - в вертикальному. В універсальних консольно-фрезерних верстатах на полозках розміщується поворотна

плита з вертикальною віссю обертання, що дає можливість здійснювати переміщення стола з заготовкою не лише перпендикулярно чи паралельно до осі шпинделя, а і під різними кутами. Це забезпечує можливість фрезерування гвинтових канавок та нарізування косозубих коліс.

На горизонтальних консольно-фрезерних верстатах використовуються в основному дискові, циліндричні, фасонні фрези та набори фрез, що встановлюються на оправці, один кінець якої закріплюється в шпинделі, а інший в серзі, розміщеній на хоботі. В широко універсальних фрезерних верстатах на хоботі закріплюється додаткова поворотна головка (рис. 8.1, б), що має окремий привід. Поворотна і накладна головка забезпечують поворот додаткового шпинделя за трьома осями.

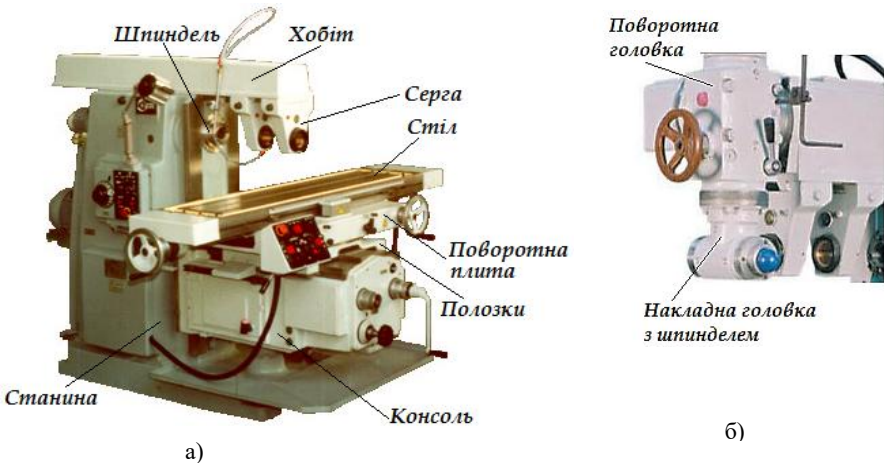


Рисунок 8.1 – Горизонтальний консольно-фрезерний верстат

*Вертикальні консольно-фрезерні* верстати мають вертикальний шпиндель, встановлений в фрезерній головці. На таких верстатах використовуються переважно торцеві та кінцеві фрези. Фрезерна головка може повертатися відносно горизонтальної осі. Такий поворот виконується вручну в процесі налаштування верстата.

*Безконсольно-фрезерні верстати* (рис. 8.2) найчастіше будуються з вертикальним шпинделем, інколи з - горизонтальним. На вертикальних верстатах переважно використовуються торцеві та кінцеві фрези. Заготовка, закріплена на столі, виконує рух

горизонтальної подачі в двох напрямках: поздовжньому – рух стола напрямними полозків та в поперечному – рух полозків разом зі столом напрямними станини. Вертикальне переміщення фрезерної головки напрямними стояка є встановлювальним рухом. В порівнянні з консольно-фрезерними верстами, безконсольні мають меншу універсальність, але жорсткість їх буде більшою за рахунок відсутності достатньо нежорсткої консолі.



Рисунок 8.2 – Вертикальний безконсольно-фрезерний верстат

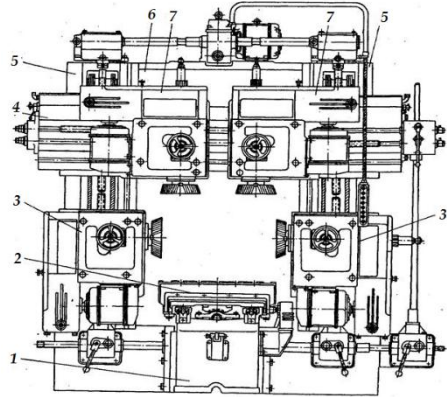


Рисунок 8.3 – Поздовжньо-фрезерний верстат

*Поздовжньо-фрезерні верстати* застосовуються для обробки великих заготовок. Вони будуються одностояковими і двостояковими. Стіл верстата 2 (рис. 8.3) з заготовкою рухається тільки в поздовжньому напрямку - це рух подачі. Обробка на верстаті виконується переважно торцевими фрезою, які встановлюються в шпинделях фрезерних головок 3 і 7. Фрезерні головки розміщуються на стояках 5 і траверсі 4, або лише на траверсі. Стояки в нижній частині кріпляться до станини 1, а зверху скріплюються балкою 6. Напрямами стояків рухаються горизонтальні фрезерні головки і траверса, а напрямними траверси – вертикальні фрезерні головки. Ці рухи, як і осьові переміщення шпинделів, є встановлювальними рухами. Інколи одна із фрезерних головок монтується на поворотній плиті, що дає можливість обробляти не лише поверхні розташовані паралельно чи перпендикулярно до площини стола, але і поверхні розміщені під кутами до базової поверхні.

*Карусельно-фрезерні верстати* (рис. 8.4), призначені для обробки поверхонь торцевими фрезами, мають один або кілька шпинделів 5 для чистової й чорнової обробки. Напрямами стояка 2 переміщається шпиндельна головка 4. Стіл 3, обертаючись безперервно, забезпечує, встановленим на ньому заготовкам 6, рух обертової подачі. Стіл з санчатами має установлювальне переміщення напрямними станини 1.

### 8.1 Широкоуніверсальний консольний горизонтально-фрезерний верстат мод. 6Д82Ш.

Верстат служить для виконання різних фрезерних робіт, а також свердлильних і нескладних розточувальних робіт в заготовках з чавуну, сталі, кольорових металів. Верстат оснащується основним горизонтальним шпинделем і допоміжним поворотним шпинделем, що

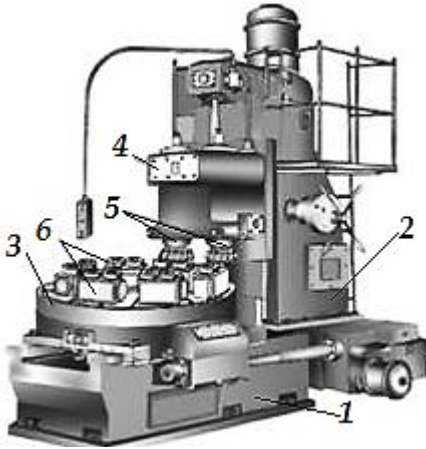


Рисунок 8.4 – Карусельно-фрезерний верстат

вбудований в поворотну чи накладну головку. На висувному хоботі закріплена поворотна головка із шпинделем з наявним незалежним приводом, і може бути приєднана накладна головка з власним шпинделем. Перша з головок має дві осі повороту: горизонтальну (вісь хобота) і перпендикулярну до неї. Накладна головка може повертатися навколо третьої осі, перпендикулярної до перших двох. Фрези закріплюють безпосередньо на шпинделях або оправках.

*Привод головного руху* (рис. 8.5) служить для обертання фрези і здійснюється двигуном М1 (основний шпиндель). У приводі передбачений перебір з передачами 22/53 і 21/56, при цьому подвійний блок знаходиться завжди в правому положенні (передача 20/58); для виключення перебору пересувають вправо колеса 21 і 22, причому останнє входить в зачеплення з внутрішнім зубчастим вінцем і стає напівмуфтою М<sub>1</sub>. У приводі допоміжного шпинделя від двигуна М2 перебір містить передачі 23/63 і 22/63.

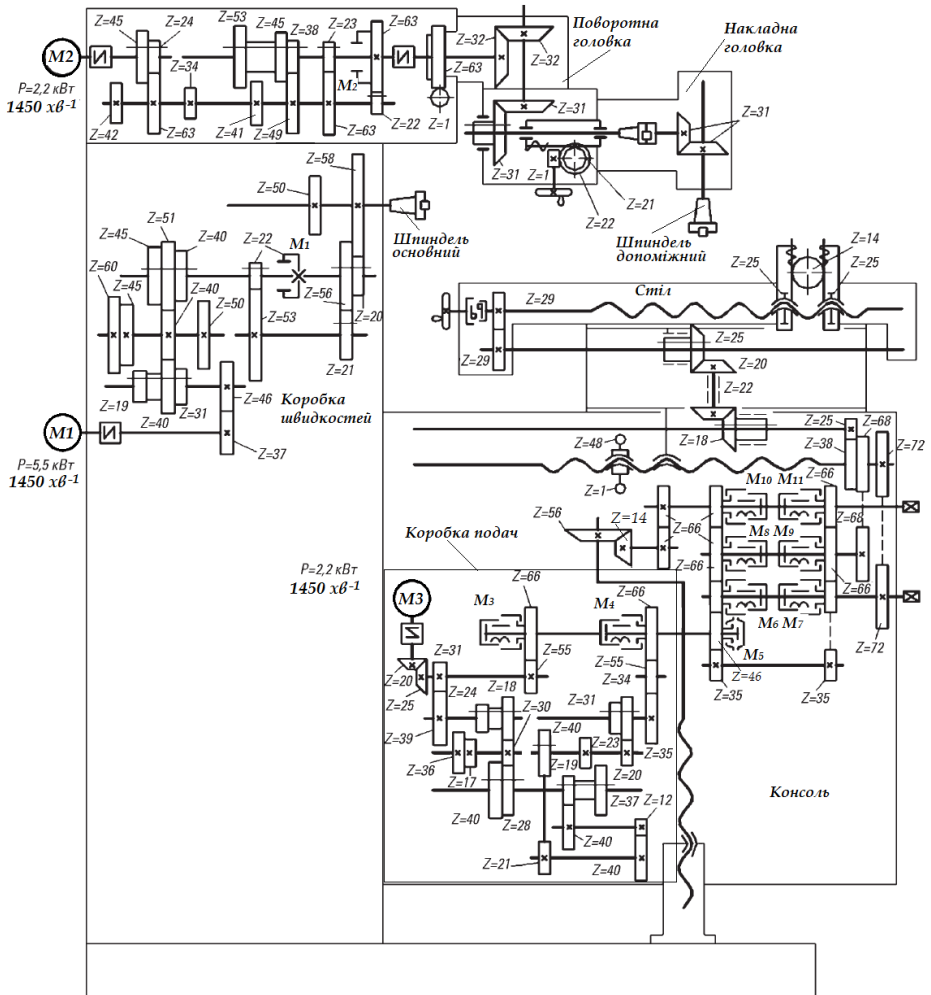
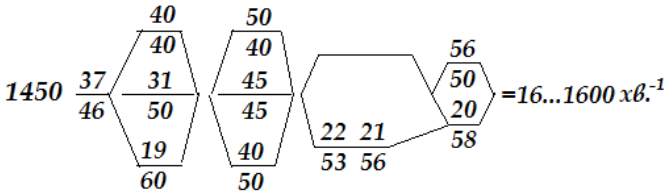


Рисунок 8.5 – Кінематична схема верстата мод. 6Д82Ш

Привод основного шпинделя забезпечує 21 частоту обертання, допоміжного шпинделя 12 частот. Розгорнуте рівняння кінематичного балансу приводу основного шпинделя має вигляд:



Привод подачі служить для переміщення заготовки за однією з трьох координат і зміни швидкості цього руху. Коробка подач одержує обертання від двигуна МЗ і містить чотири подвійні блоку і перебір з передачами 19/40 і 21/40. Перебір вимикають переміщенням вправо останнього його колеса до зачеплення з колесом  $Z = 19$  (кінець перебору з'єднується з його початком) або переміщенням блоку до зачеплення коліс 37/20. Від коробки подач рух передається далі при ввімкненій муфті М<sub>4</sub>. При роботі муфти М<sub>3</sub> (М<sub>4</sub> в цьому випадку вимкнена) рух від двигуна передається, оминаючи коробку подач, через передачу 55/66 для прискореного переміщення. Однією з муфт М<sub>6</sub>, М<sub>8</sub>, М<sub>10</sub> вмикається відповідно поперечне, поздовжнє або вертикальне переміщення; муфти М<sub>7</sub>, М<sub>9</sub> і М<sub>11</sub> виконують реверс відповідних рухів. Кожен ходовий гвинт може обертатися, а два з них - для столу і консолі - також рухаються поступально відносно нерухомих гайок. В гайках горизонтальних переміщень передбачено регулювання зазору, в гайці консолі зазор вибирається її силою тяжіння.

## 8.2 Фрезерні верстати з ЧПК

Такі верстати ефективніші традиційних верстатів з ручним керуванням через підвищення продуктивності (більш ніж втричі) і можливості обробки без спеціального дорогого оснащення (шаблонів, фасонних фрез, тощо). Важливою характеристикою є число керованих координат (від 2 до 5, частіше 3), в тому числі одночасно керованих (зазвичай 2-3). Крім прямолінійних переміщень може програмуватися обертання поворотного стола з заготівкою або нахил осі фрезерного шпинделя. Найбільш поширені такі компонування фрезерних верстатів з ЧПК: вертикальні з хрестовим столом (безконсольні), поздовжні з рухомою (а іноді нерухомою) поперечкою, широкоуніверсальні інструментальні.

В приводах головного руху використовуються безступінчасті приводи з регульованими електродвигунами: асинхронними, інколи постійного струму та, в разі потреби, простою коробкою швидкостей

на 2 – 4 ступені. Приводи подачі за лінійними осями реалізуються у вигляді синхронних електродвигунів з постійним збудженням, рідше високомоментних двигунів, безпосередньо з'єднаних з гвинтами кулькових гвинтових передач.

На рис. 8.6 показано будову фрезерного верстата з ЧПК з хрестовим столом (безконсольного). Напрямними станини в поперечному напрямку рухаються полозки – вісь Y, стіл виконує поздовжнє переміщення – вісь X, а вертикальними напрямними стояк рухається шпindelна бабка – вісь Z. В шпindelній бабці розміщується шпindelний вузол, привод головного руху і пристрій закріплення інструмента (на рисунку не показаний).

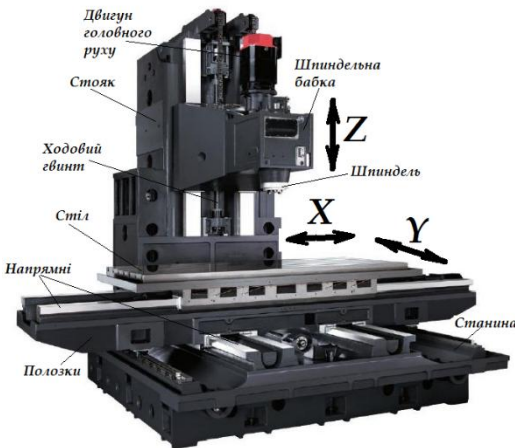


Рисунок 8.6 – Будова фрезерного верстата з ЧПК

### 8.3 Типові компонування 3-осьових фрезерних верстатів з ЧПК

Фрезерні верстати з ЧПК будують за усіма типами компонувань, які характерні для традиційних фрезерних верстатів: консольними, безконсольними та порталним. Найбільш широко використовуються останні два види компонувань. Вибір між цими компонуваннями відбувається на підставі розмірів і маси оброблюваних заготовок: заготовки малих і середніх розмірів оброблюють на верстатах безконсольних, а більші заготовки – на верстатах порталного компонування. Портальне компонування використовується також для обробки заготовок середніх розмірів, що зумовлюється високими

показниками жорсткості і динаміки. Фрезерні верстати будують з горизонтальним та вертикальним шпинделем. Верстати з вертикальним шпинделем будують як за компонуванням безконсольним, так і порталним, горизонтальні верстати зазвичай з компонуванням безконсольним.

За кількість керованих осей в фрезерних верстатах з ЧПК може бути від 3 до 5.

В залежності від умов обробки привод шпинделя може виконуватися з редуктором, пасовою передачею або з вбудованим електродвигуном. Переміщення виконавчих органів за лінійними осями зазвичай здійснюється кульковими гвинтовими передачами, рідше лінійним електродвигуном. В якості лінійних напрямних переважно використовуються напрямні кочення кулькові чи роликові, залежно від умов обробки (навантаження, швидкість руху, тощо). Інколи для забезпечення високої динамічності конструкції застосовуються напрямні ковзання (box way).

**3-осьові фрезерні верстати** будують переважно з вертикальним шпинделем, вони можуть бути з хрестовим столом і стояком, що несе фрезерну головку (рис. 1,а), а також порталного типу (рис. 8.7,б).

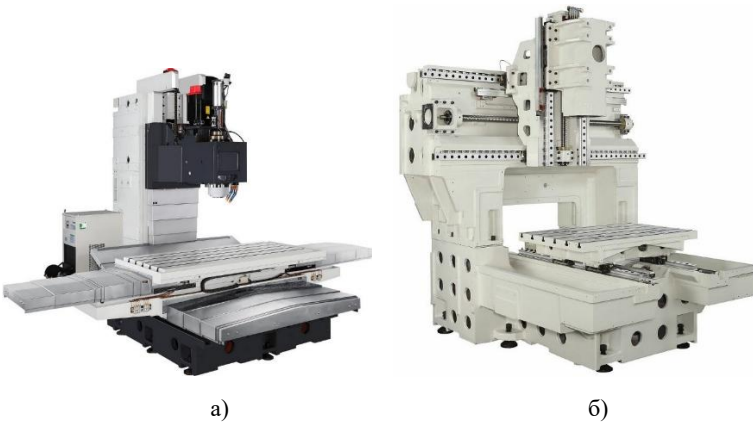


Рисунок 8.7 – Компонування 3-осьових фрезерних верстатів: а – з хрестовим столом; б – порталне

Такі верстати знаходять застосування для виготовлення інструментів, прес-форм, компонентів верстатів та загального машинобудування. Вони характеризуються високою жорсткістю та

міцністю конструкції. Несучі елементи конструкції верстата: станина, стояк, портал та інші виготовлені з високоміцного чавуну Meehanite. Що для одного, що для іншого компонувань станини виконані симетричної форми, що сприяє зменшенню температурних деформацій від нагріву вузлів верстата.

В верстатах серії V/VC від TAKUMI, побудованих за схемою 8.7,а використовується шпindel з приводом пасовою передачею, який для відведення тепла і зменшення температурних деформацій піддається охолодженню. Шпindel розвиває частоту обертання 8000 об/хв. і потужність 15 кВт (в режимі S1). В верстатах серії H тієї ж компанії (схема 8.7,б) використана конструкція вбудованого шпинделя з внутрішнім охолодженням і частотою обертання 15000 об/хв. та потужність 10 кВт (в режимі S1). Для всіх осей передбачена абсолютна пряма вимірювальна система та система компенсації теплового розширення шпинделя, що забезпечують додаткову надійність, термостійкість і точність роботи обладнання.

Переміщення за лінійними осями в обох варіантах верстатів здійснюється лінійними роликowymi напрямними, що забезпечують високу жорсткість і вантажопідйомність. Рух забезпечується кульковими гвинтовими передачами, гвинти яких попередньо розтягнуті для компенсації теплового видовження.

#### **8.4 4 -координатні фрезерні верстати з ЧПК**

Конструкцію і роботу 4-осьових верстатів розглянемо на прикладі фрезерних верстатів з горизонтальним шпindelем (рис. 8.8). Використання четвертої осі в верстатах з вертикальним шпindelем є не настільки актуальним.

Верстати оснащені 3 лінійними і однією обертовою осями. Заготовка встановлена на столі виконує лінійний рух за віссю Z і обертовий рух за віссю B. Рух за віссю B може виконуватися безперервно, а також як дільний рух. Колона (стояк) верстата зі шпindelним вузлом переміщується в поперечному напрямку (вісь X), а шпindelний вузол рухається вертикальними напрямними колони (вісь Y). Отриманню високої плавності руху та уникненню перекосів і викривлень, внаслідок дії навантажувальних моментів, сприяє використання в приводі поздовжнього переміщення стола за віссю Z двох ходових гвинтів в обох моделях, а в моделі FH-SX Series здвоєний привод застосований і для вертикального руху шпindelного вузла за

віссю Y. Швидкості прискорених переміщень за лінійними осями складають 55-60 м/хв., прискорення за осями знаходиться в межах 5-8 м/с<sup>2</sup>, в залежності від розмірів верстата.

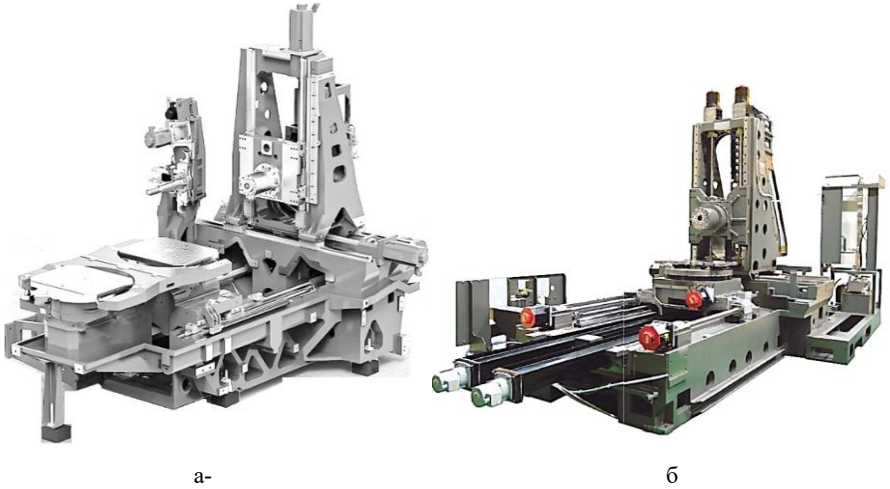


Рисунок 8.8 – 4-осові фрезерні верстати з ЧПК: а – моделі H4000 компанії HELLER; б - FH-SX Series компанії Toyota

Для обертання стола в верстатах компанії HELLER використовується черв'ячний здвоєний привод, що сприяє вибору зазорів і уникненню «мертвого» ходу. Як опція може використовуватися прямий цифровий привод обертання стола (моментний двигун). Те саме стосується і верстатів компанії Toyota. Перший варіант приводу доцільно використовувати для отримання високого крутного моменту та ефективності демпфування, другий - для забезпечення високої динаміки та швидкості позиціонування.

В опорі стола встановлений підшипник YRT великого діаметру, що забезпечує високу навантажувальну здатність та сприйняття перекидальних моментів.

Контроль положення за лінійними осями здійснюється прямими абсолютними системами вимірювання з оптичними лінійками, чим забезпечується точність вимірювання 0,003-0,005 мм.

Шпиндельні вузли верстатів виконуються з вбудованим електродвигуном (моторшпиндель), в деяких моделях верстатів для отримання високих крутних моментів можуть використовуватися

приводи з редуктором. Інструмент в шпинделі встановлюється за допомогою оправок HSK або SK/ BT. Для зберігання інструментів зазвичай використовують ланцюгові магазини ємністю 55-60 інструментів. В разі збільшення кількості інструментів, зазвичай як опція, використовуються магазини стелажного типу. В верстатах H4000 компанії HELLER може використовуватися стелажний магазин ємністю 375 інструментів.

Завантаження заготовок на верстат виконується з використанням піддонів (палет), заміна яких здійснюється автоматично за допомогою пристрою, показаному на рис. 8.9.



Рисунок 8.9 - Пристрій для заміни піддонів

Затискання піддону на столі верстата здійснюється за допомогою спеціально механізму, який забезпечує стабільне та точне утримання піддону.

### 8.5 5-координатні фрезерні верстати з ЧПК

П'ятиосові фрезерні верстати зазвичай виконують з вертикальним шпинделем та мають додаткову обертову вісь, рух за якою може здійснювати стіл з заготовкою або шпиндельна (фрезерна) головка, в залежності від розмірів верстата (рис. 8.10). Верстати (рис. 8.10,а) оснащуються двохосьовим поворотним столом, який забезпечує рух за осями С і А. Рух за віссю С ( $360^\circ$ ) здійснюється безперервно, за віссю А для верстата U 600 Takumi -  $+30^\circ/-110^\circ$ , для інших моделей верстатів кути повороту подібні за значеннями. Таке компонування використовується в верстатах з масою оброблюваних деталей до 1000 кг. В верстатах F-series компанії HELLER (рис.8.10,б) стіл з заготовкою

масою 1500 – 2000 кг виконує рух за віссю В, а інший обертовий рух здійснює поворотна шпиндельна головка – вісь С (350°) (рис. 8.11).

В верстатах для обробки заготовок значної маси рух за обома поворотними осями зазвичай виконує шпиндельна головка (рис. 8.12). На таких верстатах можуть оброблюватися заготовки вагою до 8500 кг.

## ЛЕКЦІЯ 9. ВЕРСТАТИ ДЛЯ ОБРОБКИ ОТВОРІВ

### 9.1 Свердлильні верстати

Свердлильні верстати призначені для обробки наскрізних і глухих отворів і інших поверхонь кінцевим інструментом (свердла, зенкери, розгортки, мітчики). Застосовуючи спеціальні інструменти і пристосування, на свердлильних верстатах можна розточувати отвори, вирізати отвори великого діаметру в листовому матеріалі, притирати точні отвори, тощо.

Найбільш поширені такі типи свердлильних верстатів:

- 1) вертикально-свердлильні одношпиндельні верстати;
- 2) радіально-свердлильні верстати;

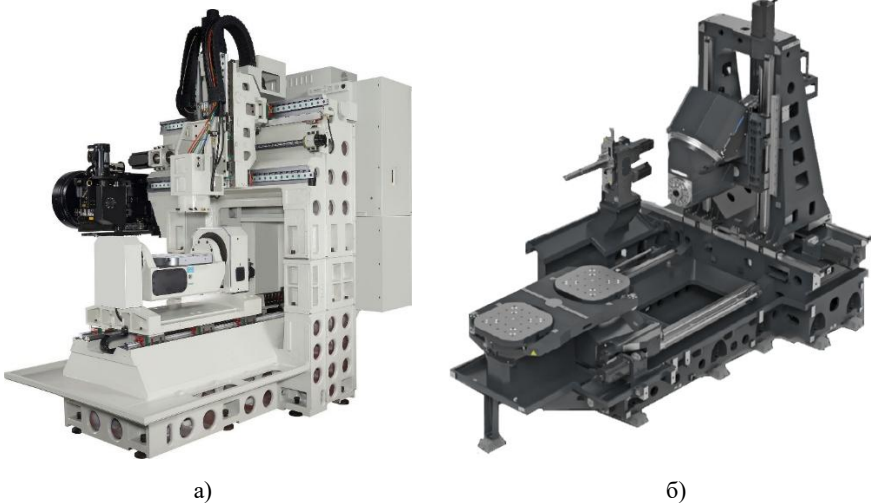


Рисунок 8.10 – 5-осьові фрезерні верстати з ЧПК: а – U 600 компанії Takumi; б – серії F компанії HELLER

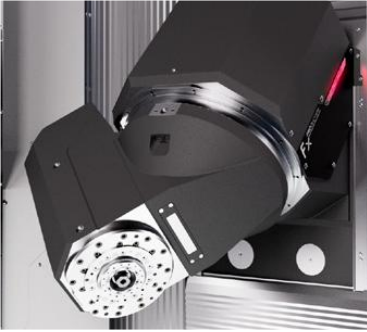


Рисунок 8.11 – Поворотна шпindelна головка верстата серії F компанії HELLER



Рисунок 8.12 - 5-осьовий фрезерний верстат з ЧПК UB 3222 компанії Takumi

3) настільні одношпindelні свердлильні верстати вертикального компонування (рис. 9.1, а). Рух подачі в більшості випадків здійснюється вручну;



а)



б)



в)

Рисунок 9.1 – Компонування свердлильних верстатів

4) багатошпindelні свердлильні верстати, в яких передбачено шарнірне кріплення шпindelю і регулювання відстані між осями

шпинделів. Це дозволяє проводити одночасну обробку декількох отворів;

5) верстати для глибокого свердління (горизонтального компонування), в яких довжина отворів значно більша їх діаметра. Верстати оснащуються пристроями для відведення стружки.

Для свердлильних верстатів регламентується найбільший умовний діаметр свердління в деталі зі сталі 45. Настільні свердлильні верстати будують з діаметром обробки до 12-16 мм, вертикально-свердлильні з найбільшим діаметром обробки 18, 25, 35, 50, 75 мм, радіально-свердлильні – 35, 50, 70 і 100 мм.

### **Вертикально-свердлильні верстати**

На вертикально-свердлильних верстатах можуть виконуватися такі операції: свердління наскрізних і глухих отворів, розсвердлювання, зенкерування, розгортання циліндричних і конічних отворів, зенкування, підрізка (цекування) торців бобишок і нарізування внутрішньої різі мітчиками. Використання спеціального інструменту може збільшити кількість операцій, наприклад, виконувати розкочування отворів роликowymi і кульковими розкатками, вирізувати диски з листового матеріалу різцями в спеціальній оправці, отримувати отвори великого діаметру кільцевими свердлами, проточувати канавки, тощо.

Оброблювана на верстаті деталь встановлюється на столі, для співпадання осей отвору і інструмента деталь переміщується відносно нерухомого інструмента. Верстати з невеликим діаметром обробки (до 25-30 мм) можуть виконуватися з круглою колоною (стояком) (рис. 9.1, б), на якій закріплюється стіл, а зверху встановлюється свердлильна головка. Стіл може переміщуватися по стояку за допомогою рейкової пари. Деталь встановлюється на столі або на плиті, що дозволяє обробляти отвори в достатньо високих (довгих) деталях, наприклад на торцях валів. Верстати для обробки отворів великих діаметрів виконують зі стояком, з профілем близьким до квадрата, який має підвищену жорсткість на вигин (рис. 9.1, в). В таких верстатах окрім вертикального переміщення стола може рухатися свердлильна головка. Рух подачі в вертикально-свердлильних верстатах здійснюється переміщенням пінолю зі шпинделем.

## 9.2 Вертикально-свердлильний верстат з ЧПК мод. 2P135Ф2-1

Вертикально-свердлильний верстат мод. 2P135Ф2-1 оснащений шестипозиційною револьверною головкою, що перемикається за керуючою програмою, в п'яти позиціях якої встановлюють інструмент для обробки отворів (свердла, розгортки тощо), а в одній - фрези. Верстат оснащений пристроєм ЧПК, який забезпечує одночасне або роздільне переміщення столу за координатами X і Y, переміщення супорта з револьверною голівкою за координатою Z, дає можливість керувати поворотом револьверної головки, за програмою вибирати величину робочої подачі і частоту обертання шпинделя. Зазначене оснащення дає можливість виконувати на верстаті обробку отворів без попереднього розмічування і застосування кондукторів.

Кінематична схема верстата (рис. 9.2) складається з таких незалежних кінематичних ланцюгів: приводу головного руху (обертання шпинделів револьверної головки), приводу переміщення хрестового столу, приводу ползків, приводу подачі супорта з револьверною голівкою, приводів повороту револьверної головки і випресовування інструменту з шпинделів.

*Ланцюг головного руху* верстата складається з асинхронного двошвидкісного електродвигуна, автоматичної коробки швидкостей з електромагнітними муфтами та механізму револьверної головки. Від електродвигуна M1 зубчастою передачею 29/41 оберти передаються на вал I з якого на вал II через передачі 24/48, 36/36 або 14/56 при ввімкнених муфтах M1 і M2 або через M3 відповідно, далі на вал III через передачу 14/56 чи 48/24 при ввімкнених муфтах M4 чи M5. З коробки швидкостей рух кінцевою парою 21/21 передається на вал V механізму супорта і далі передачами 35/42 31/49 49/47 47/35 - на шпиндель револьверної головки, який знаходиться в робочій позиції. Коробка швидкостей в поєднанні з двошвидкісним електродвигуном забезпечують 12 частот обертання шпинделя в діапазоні 32...1400 хв.<sup>-1</sup>.

*Подача інструмента* здійснюється переміщенням супорта з револьверною головкою за віссю Z. Привід подачі складається з двигуна постійного струму M2, редуктора та гвинтової пари кочення. Від електродвигуна рух передається через зубчасту передачу 13/86 (ввімкнена муфта M9) або 37/37 – муфта M11. Перший варіант використовується для отримання робочої подачі, величина якої регулюється електродвигуном, а другий – для швидкого підведення

інструмента до поверхні деталі. Далі рух передається черв'ячною передачею 4/25 на ходовий гвинт. Положення супорта за віссю Z контролюється датчиком ДЗ. Привод оснащений гальмівною муфтою, розміщеною на правому кінці XV валу, що запобігає довільному опускання супорта в разі відключення електродвигуна.

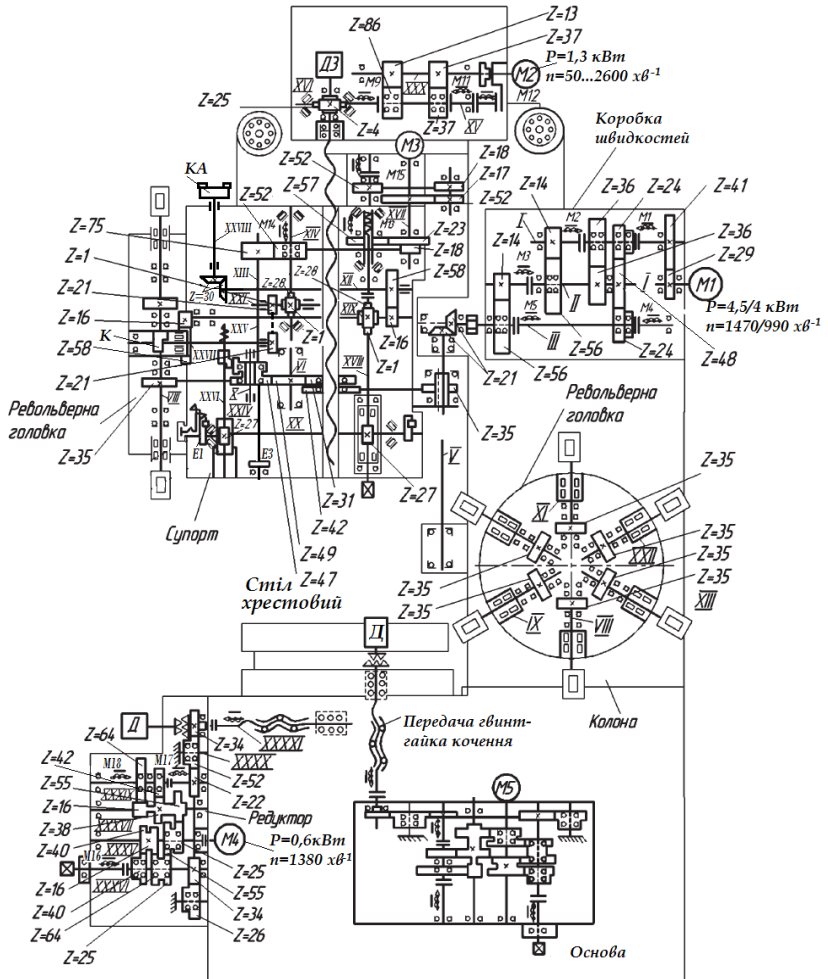


Рисунок 9.2– Кінематична схема верстата мод. 2P1335Ф2-1

*Рух заготовки за двома осями* виконується від незалежних однакових приводів, що забезпечують рух столу полозками (вісь X), і рух полозків станиною (вісь Y).

Кінематичний ланцюг приводу забезпечує їх швидке, середнє і повільне переміщення. Швидке переміщення при підході вузла до визначеної координати (зі швидкістю 7000 мм/хв.) здійснюється за ланцюгом: електродвигун М4 - передачі 40/40, (М16) 34/26, 26/22, 22/52, 52/34 - кульковий гвинт ХХХІ. Переміщення з середньою швидкістю 200 мм/хв., яка дозволяє виконувати легке фрезерування забезпечується ланцюгом: М4 - передачі 16/64, 25/55, 25/55, 38/42, (М17) 22/52, 52/34 - кульковий гвинт. Повільне (повзуче) переміщення (зі швидкістю 50 мм/хв.) для точного установалення вузла одержується ланцюгом: М4 - передачі 16/64, 25/55, 25/55, 16/64, (М18) 22/52, 52/34 - кульковий гвинт. На кульковому ходовому гвинті змонтований датчик Д зворотного зв'язку. Переміщення столу на полозках виконується від електродвигуна М5, кінематичний ланцюг приводу аналогічний описаному вище.

*Привод повороту револьверної головки* забезпечує розтискання, поворот та затискання револьверної головки. Поворот револьверної головки здійснюється від електродвигуна М3 ( $P=0,7/0,9$  кВт;  $n=1400/2720$  хв<sup>-1</sup>) через передачу (23/57) при включеній муфті М13, черв'ячну пару (1/28), вал ХІХ, передачу (16/58), яка повертає револьверну головку. Перш ніж виконати поворот револьверної головки, її необхідно розфіксувати, оскільки вона закріплена пружинними тягами супорта, що знаходяться в пазах револьверної головки. При включенні електродвигуна черв'як  $Z = 1$  на валу ХVІІІ буде викручуватися з черв'ячного колеса  $Z = 28$  і рухом вниз, через рейкову передачу з колесом  $Z = 27$  модулем  $m = 2$  мм поверне вал ХХ з ексцентриком Е1, який через систему важелів звільнить револьверну головку; одночасно інше рейкове колесо  $Z = 27$  переміщує рейку на валу ХVІ і тим самим виводить колесо  $Z = 47$  на валу ХІV з зачеплення. Таким чином звільняється револьверна головка і розривається кінематична ланцюг, що з'єднує привід обертання зі шпинделем револьверної головки. Після цього черв'як доходить до жорсткого упору і починає обертати револьверну головку через передачу (16/58), змінюючи інструмент (пряме обертання).

Одночасно з обертанням револьверної головки через передачу (16/58), вал ХІІ і передачу 30/30 обертається позиційний

командоапарат, встановлений на валу XXVIII, який зупиняє пряме обертання револьверної головки реверсом електродвигуна, попередньо зменшивши частоту його обертання до  $1400 \text{ хв}^{-1}$ , при зворотному обертанні револьверна головка доходить до жорсткого упору супорта і зупиняється; при цьому черв'як  $Z = 1$ , вкручуючись в черв'ячне колесо  $Z = 28$ , рухається догори. Вал XX обертається в зворотному напрямку, зубчасте колесо  $Z = 47$  вводиться в зачеплення з колесом  $Z = 35$  шпинделя револьверної головки. Головка фіксується і шпиндель починає обертатися. Послідовність роботи шпинделів револьверної головки програмується.

Випресовування інструменту з шпинделів револьверної головки виконується від електродвигуна МЗ за допомогою передач (18/52), з включеною муфтою М14, на вал XIII, черв'ячної передачі (1/28), передачі (21/21), вала XVII і ексцентрика К, змонтованого в пазу осі повороту револьверної головки.

### 9.3 Радіально-свердлильні верстати (рис.9.3)

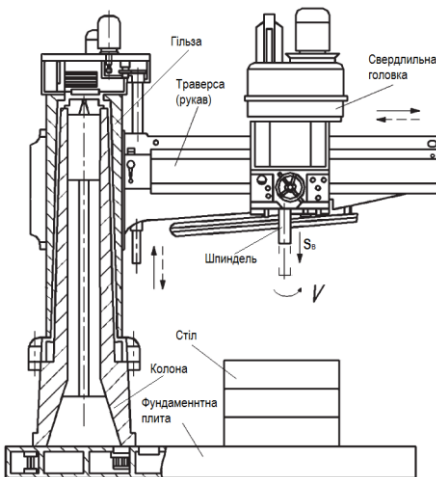


Рисунок 9.3 – Радіально-свердлильний верстат

Призначені для обробки різних отворів і поверхонь кінцевим інструментом (свердла, зенкери, розгортки, мітчики) в великих корпусних деталях в умовах як одиничного, так і серійного виробництва. На відміну від вертикально-свердлильних, в радіально-свердлильних верстатах суміщення осі отвору заготовки з віссю

інструмента досягається переміщенням шпинделя відносно нерухокої заготовки. Компонування верстата (рис. 9.3) дозволяє встановити шпindel з інструментом в будь-якій точці робочої зони верстата за рахунок переміщення шпindelної свердлильної головки напрямними траверси (рукава) і повороту траверси навколо колони.

Головним рухом у радіально-свердлильних верстатах є обертання шпинделя, а рухом подачі - осьове переміщення шпинделя разом з піною (гільзою). До допоміжних рухів відносяться: поворот траверси і закріплення її на колоні, вертикальне переміщення і закріплення траверси на потрібній висоті, переміщення і закріплення головки шпинделя на траверсі, тощо.

Радіально-свердлильні верстати будують стаціонарними (з установкою фундаментної плити верстата на підлогу цеху); переносними (встановлення верстата на великогабаритну оброблювану корпусну деталь), самохідними, які монтують на візках, що пересуваються рейками.

Заготовку закріплюють на фундаментній плиті або переставному столі. Всі рухи виконує шпindel свердлильної головки. Він обертається (головний рух), переміщається уздовж осі (рух подачі), пересувається під час переходу від отвору до отвору разом з головкою по рукаву і разом з останнім обертається навколо колони. Рукав можна також переміщати вертикально напрямними колони. У верхній частині свердлильної головки розташовані коробки швидкостей і подач, а також гідравлічні механізми перемикання.

#### **9.4 Розточувальні верстати**

Розточувальні верстати призначені для обробки корпусних деталей. На них можна виконувати розточування, свердління, зенкування, розгортання отворів, нарізування різі, торцеве і циліндричне фрезерування, обточування поверхонь і підрізування торців. Розточувальні верстати поділяють на такі види:

- а) горизонтально-розточувальні верстати;
- б) координатно-розточувальні верстати;
- в) алмазно-розточувальні (вікінчувально-розточувальні) верстати.

### *Горизонтально-розточувальні верстати*

Характерною особливістю верстатів є наявність горизонтального шпинделя, що здійснює рух осьової подачі. Діаметр висувного шпинделя, що визначає основний розмір верстата,  $D = 80 \dots 320$  мм. Верстати є широкоуніверсальні і дозволяють проводити всі види зазначених вище робіт.

За компонованням горизонтально-розточувальні верстати поділяють на легкі з діаметром розточувального шпинделя до 125 мм; середні з діаметром шпинделя  $125 < D \leq 220$  мм та важкі з діаметром  $D \leq 320$  мм.

В легких горизонтально-розточувальних верстатах (рис.9.4) заготовка, встановлена на столі, виконує переміщення в двох напрямках: поздовжньому – рух полозків напрямними станини і поперечному – рух стола напрямними полозків. Ці рухи стола можуть бути рухами подачі, в разі виконання фрезерних робіт, чи встановлювальними рухами в процесі свердління чи розточування отворів. В багатьох моделях верстатів стіл може повертатися навколо вертикальної осі, що дає можливість виконувати обробку деталі з різних боків без переустановлення. Легкі верстати будуються з заднім стояком, який несе люнет, або без нього. Люнет використовується в разі розточування отворів довгою борштангою для зменшення прогину борштанги.

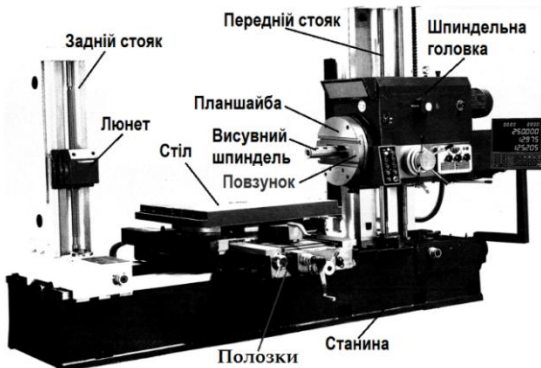


Рисунок 9.4 – Горизонтально-розточувальний верстат (легкий)

Крім розточувального висувного шпинделя горизонтально-розточувальні верстати мають співвісний шпindel планшайби. На

планшайбі встановлюється повзунок з Т-подібними інструментальними пазами для закріплення різцетримача. Повзунок може переміщуватися планшайбою в радіальному напрямку.

В середніх горизонтально-розточувальних верстатах (рис. 9.5, а) заготовка, встановлена на столі, рухається лише в одному напрямку, поздовжньому чи поперечному, інший рух в горизонтальній площині здійснює стояк з шпindelною (розточувальною) головкою. Обробка деталі на важких верстатах (рис. 9.5, б) ведеться без її переміщення; усі виконавчі рухи здійснює шпindelна головки та шпindel з інструментом, встановлені на рухомому стояку.

### *Координатно-розточувальні верстати*

Координатно-розточувальні верстати використовуються, в основному, для обробки деталей, до поверхонь яких висуваються високі вимоги за точністю. На верстатах можна свердлити і розточувати отвори (в тому числі здійснювати тонке розточування), зенкерувати, виконувати чистове фрезерування площин і фрезерувати канавки, нарізувати різь мітчиком (див. рис. 9.6). За допомогою похило-поворотного столу можлива обробка отворів, розташованих під кутом до базових поверхонь. Верстати можна використовувати і як вимірювальні машини для контролю: лінійних розмірів за трьома осями, кутових розмірів, міжцентрових відстаней. Можна здійснювати точний поділ і розмічування на металевих поверхнях. Середнє значення похибок на верстатах складає:

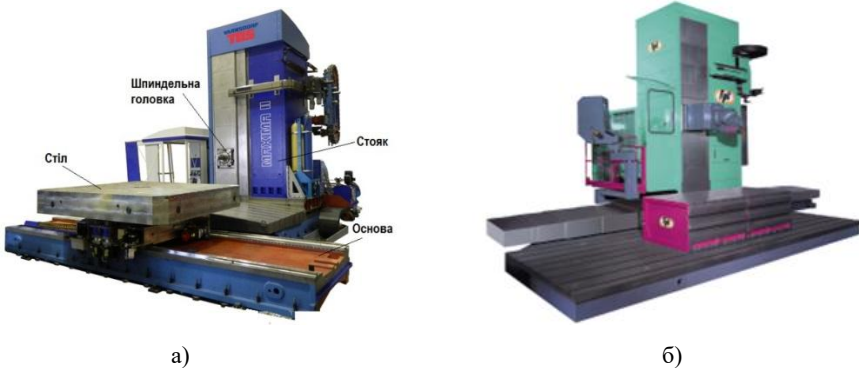


Рисунок 9.5 – Горизонтально-розточувальний верстат середнього та важкого типу

- відхилення від круглості оброблюваного отвору - 2 ... 3 мкм;
- сталість діаметра в поздовжньому перетині (на довжині 50 мм) - 2 ... 5 мкм;
- похибка міжосьових відстаней отворів - 4 ... 5 мкм;
- точність лінійних координатних переміщень - 2 ... 3 мкм;
- точність відліку - 1 мкм;
- кутова похибка - 1 с.

Для точних вимірів координатних переміщень застосовують механічні, оптико-механічні і електронні системи.

За компонованням верстати поділяються на двостоякові з вертикальною віссю шпинделя (рис. 9.6, б) і одностоякові (рис. 9.6, а). Двостоякові верстати можуть виготовлятися з однією або двома шпиндельними бабками. Стіл з заготовкою рухається в подовжньому напрямку (вісь X), в поперечному напрямку рухається шпиндельна бабка 4 напрямними поперечки 6. Рух осьової подачі (вісь Z) виконує шпиндель, а поперечка забезпечує встановлювальне переміщення напрямними стояків 3 (вісь W).

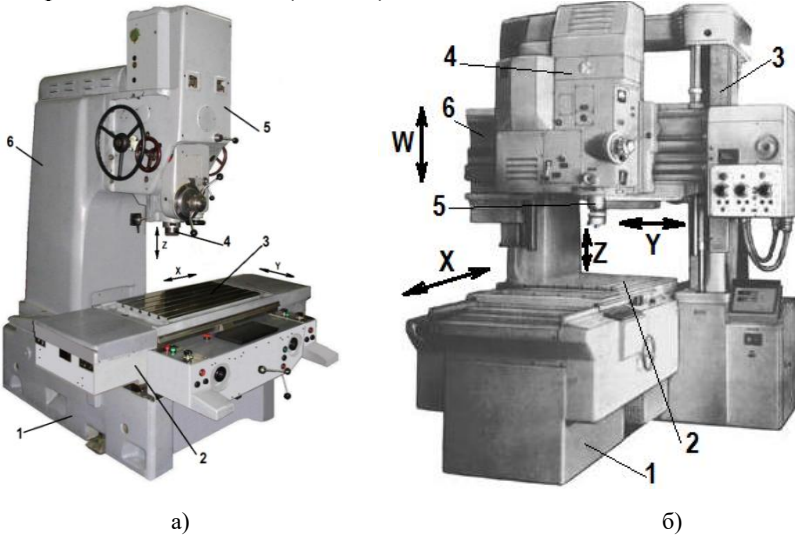


Рисунок 9.6 – Координатно-розточувальні верстати

Перевага двостоякового компоновання полягає в тому, що завдяки симетричній конструкції теплові деформації менше позначаються на точності. Крім того, похибка положення за кожною

віссю (переміщення столу 3 або шпindelної бабки 4) не залежить від похибки переміщень за іншими осями. Одностоякове компонування (рис. 9.6, а) забезпечує зручний доступ до заготовки. Стіл з заготовкою переміщується за двома осями: в поздовжньому напрямку (вісь X) рухається стіл 3 і в поперечному напрямку (вісь Y) переміщуються полозки 2. Рухи в вертикальній площині такі самі, як і в двостоякового верстата. За такого компонування має місце взаємний вплив переміщень стола на точність за кожною координатою. Внаслідок вильоту головки шпindelя температурні деформації вище в 2...3 рази, ніж в двостоякових верстатах.

Для розширення технологічних можливостей координатно-розточувальні верстати оснащуються двома типами ділильних столів: поворотними та похило-поворотними (рис. 9.7). Столи першого типу забезпечують поворот планшайби стола навколо вертикальної осі; другі – поворот навколо вертикальної осі і нахил осі стола відносно горизонтальної осі. Використання перших столів дає можливість проводити обробку отворів, координати яких задані в полярній системі координат, а на похило-поворотних столах, крім того, можна вести обробку поверхонь, розташованих під різними кутами відносно базової поверхні.



Рисунок 9.7 – Двокоординатний похило-поворотний стіл

### *Алмазно-розточувальні верстати*

Алмазно-розточувальні верстати належать до групи викінчувальних верстатів. Вони призначені для тонкого розточування точних циліндричних поверхонь, а за наявності додаткового оснащення - для обробки торців, канавок, конічних і фасонних поверхонь обертання. Ці верстати найбільш ефективні в

умовах масового або крупносерійного виробництва. Під тонким розточуванням розуміють остаточну викінчувальну обробку отворів, що виконується алмазним або твердосплавним різальним інструментом. Алмазне розточування деколи замінює шліфування. Процес тонкого розточування характеризується високими

швидкостями різання до 1000 м/хв., малою подачею 0,01...0,1 мм/об, невеликою глибиною різання 0,05...0,5 мм. На верстатах досягається висока точність обробки отворів - відхилення від круглості 3...5 мкм і шорсткість поверхні Ra 0,16...0,63.

До алмазно-розточувальні верстатів висувають високі вимоги, головними з яких є: висока частота обертання шпинделя 6000 ... 12000 хв<sup>-1</sup>; сталі малі подачі - менше 0,04 мм/об; безступінчасте регулювання подачі, досить висока швидкість прискорених ходів 4...7 м/хв.; підвищені вимоги до рівня вібрацій.

За розташуванням осі шпинделя в просторі верстата бувають горизонтальні і вертикальні. Найбільш поширені - горизонтальні верстати з рухомих столом, що переміщається паралельно осі шпинделя (рис. 9.8). Стіл 5 рухається напрямними вздовж станини 1, а шпиндельні головки 3 встановлені на нерухомих містках 2. На містку розташовуються одна (рис. 9.8, а) або кілька (рис. 9.8, б) шпиндельних головок.

Привід головного руху і подачі горизонтальних викінчувально-розточувальних верстатів виконується з використанням мінімальної кількості передач, що усуває температурні деформації і знижує вібрації в верстаті. В приводі шпинделя використовується електродвигун, від якого рух на шпиндель передається, зазвичай, пасовою передачею. Для можливості регулювання частоти обертання шпинделя можуть використовуватися регульовані електродвигуни або змінні шківні пасової передачі.

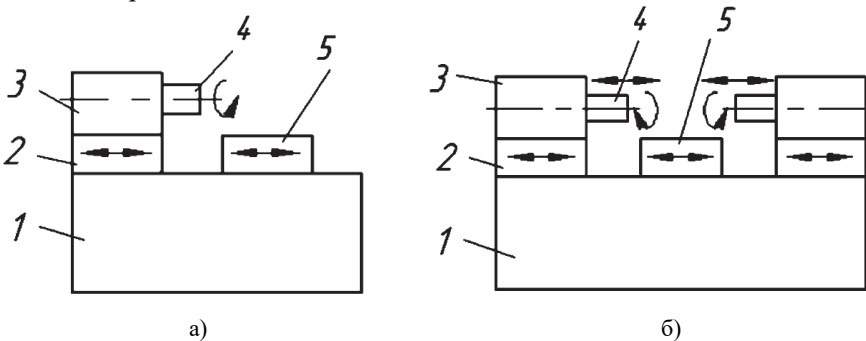


Рисунок 9.8 – Горизонтальні алмазно-розточувальні верстати

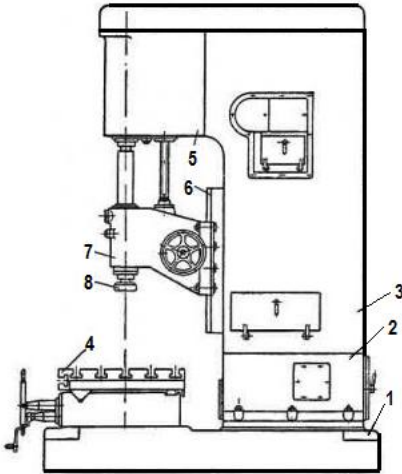


Рисунок 9.9 – Вертикальний алмазно-розточувальний верстат

Вертикальні алмазно-розточувальні верстати (рис. 9.9) на відміну від горизонтальних можуть оснащуватися коробками швидкостей і коробками подач, що, з одного боку, розширює їх технологічні можливості, вони стають більш універсальними, а з іншого боку може супроводжуватися підвищеними температурами і температурними деформаціями та виникненням коливань в системі, а це впливає на точність обробки і якість обробленої поверхні. Такі верстати використовуються в серійному виробництві.

## ЛЕКЦІЯ 10. БАГАТОЦІЛЬОВІ ВЕРСТАТИ

Металорізальні верстати, призначені для виконання великої кількості різних технологічних операцій без переустановлення оброблюваних деталей, що мають пристрій автоматичної зміни інструменту і оснащені системами ЧПК, називають багатоцільовими (БВ). Багатоцільові верстати будують для обробки як корпусних і плоских деталей так і деталей типу тіл обертання. Корпусні і плоскі деталі можна обробляти з однієї установки з декількох боків (до п'яти). Типовими технологічними операціями є розточування, свердління, зенкування, розгортання, цекування, нарізування різі мітчиками, фрезерування площин, контурів і фасонних поверхонь. Поряд з високою концентрацією виконуваних технологічних операцій для БВ характерна висока точність обробки (6-й, 7-й квалітет).

Багатоцільові верстати характеризуються найбільш високим рівнем автоматизації і продуктивності, вищими вимогами до точності виготовлення деталей, вузлів, систем керування в порівнянні з універсальними верстатами. Продуктивність БВ в 4-10 разів вище продуктивності універсальних верстатів завдяки різкому зменшенню частки допоміжного часу в циклі обробки і, отже, збільшенню (до 60-75%) частки машинного часу в цьому циклі. Скороченню допоміжного

часу сприяють автоматична заміна інструменту; висока швидкість (до 30 м/хв. і більше) швидких переміщень (на допоміжних ходах) виконавчих органів; налаштування інструменту на розмір поза межами верстата; виключення контрольних операцій та ін. Більшу ефективність від застосування БВ отримують з разі обробки складних деталей, що потребують більшої точності.

БВ для обробки корпусних деталей будують з вертикальним та горизонтальним шпинделем. Верстати з вертикальним шпинделем виконують за компонуванням вертикально-фрезерних консольних та безконсольних верстатів, поздовжньо-фрезерних та двостоякових координатно-розточувальних верстатів. Такі верстати призначені для обробки плоских деталей з великою кількістю отворів.

Верстати з горизонтальним шпинделем будуються за компонуванням горизонтальних консольних і безконсольних фрезерних верстатів та горизонтально-розточувальних верстатів. Вони в багатьох випадках мають поворотний стіл і призначені для обробки корпусних деталей з різних боків.

Сучасні БВ в приводах головного руху мають потужні регульовані електродвигуни, найчастіше асинхронні, з мінімальною кількістю механічних передач на шпиндель, часто використовується конструкція вбудованого двигуна (мотор-шпинделя). Використання електродвигунів високої потужності дозволяє навіть на середніх частотах обертання шпинделя виконувати обробку заготовок з достатньою потужністю різання.

Приводи подач БВ забезпечують широкий діапазон робочих подач, часом до 15 – 20 м/хв., і високі швидкості допоміжних ходів – до 50 м/хв. В приводах подач використовуються регульовані електроприводи з синхронними двигунами з постійним збудженням, рідше високомоментні двигуни, які безпосередньо з'єднуються з ходовими гвинтами кулькових гвинтових передач.

Важливою ознакою багатоцільових верстатів є наявність у них накопичувачів інструментів, які найчастіше виконуються у вигляді револьверних головок та інструментальних магазинів.

*Револьверні головки* являють собою поворотний корпус, в якому змонтовані шпинделі інструментів. За зовнішнім виглядом вони можуть бути подібними до револьверних головок токарно-револьверних верстатів, але на відміну від останніх в гніздах револьверної головки БВ монтуються не інструментальні оправки, а

шпинделі з різальним інструментом. Шпиндель, що знаходиться в робочій позиції отримує обертання від приводу головного руху верстата. За розміщенням осі шпинделів револьверні головки можуть мати різне компонування: з осями шпинделів перпендикулярними до осі головки (рис. 10.1, а); з осями шпинделів паралельними до осі головки (рис. 10.1, б); і з осями шпинделів розташованими під кутом до осі головки (рис. 10.1, в).

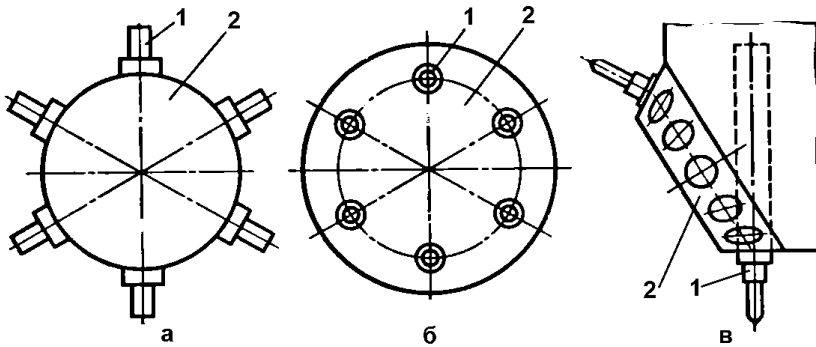


Рисунок 10.1 – Компонування револьверних головок багатоцільових верстатів

До недоліків БВ з револьверними головками можна віднести знижену жорсткість шпинделя, внаслідок чого понижується точність обробки та обмежену ємність накопичувача (4 – 12 інструментів), в той же час заміна інструменту в револьверних головках потребує менше часу ніж в разі використання інструментальних магазинів.

Інструментальні магазини зазвичай виконуються у вигляді автономних пристроїв (агрегатів), призначених для зберігання значного запасу інструменту (від 16 до 150 штук і більше). У відповідності до програми обробки інструменти автоматично вибираються з магазину і завантажуються в шпиндель верстата. Конструктивно інструментальні магазини виконуються у вигляді таких основних типів: дискові, барабанні, ланцюгові і стелажні.

*Дискові магазини* (рис. 10.2, а) використовуються для зберігання порівняно невеликої кількості інструментальних оправок (15 – 40). Вони можуть встановлюватися як на конструкції верстата (на стояку або на шпиндельній головці), так і поряд з верстатом на окремому стояку.

*Барабанні магазини* (рис. 10.2, б) відрізняються від дискових схемою розміщення інструментальних гнізд на торцях або зовнішньої поверхні циліндра або конуса.

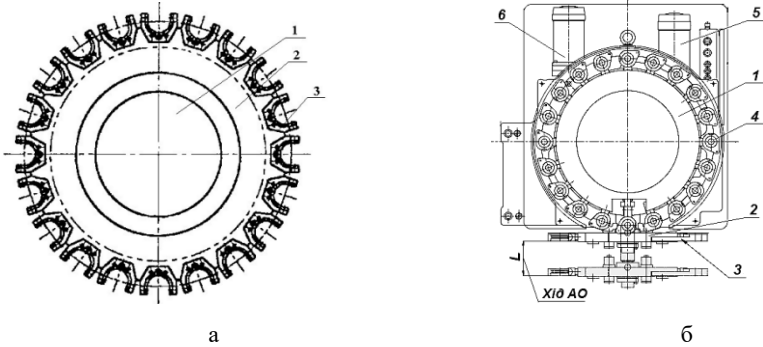


Рисунок 10.2 – Інструментальні магазини: а – дисковий; б - барабанний

Магазини *ланцюгового типу* виконуються у вигляді ланцюгового транспортера з визначеною кількістю гнізд для інструментів. Крок ланцюгового транспортера визначається діаметральними розмірами інструмента, а його довжина – ємністю магазину, яка може досягати 80 – 120 інструментів.

Форма ланцюгових інструментальних магазинів може бути різноманітною (рис. 10.3), що визначається їх ємністю, розміщенням, способом обміну інструментів тощо.

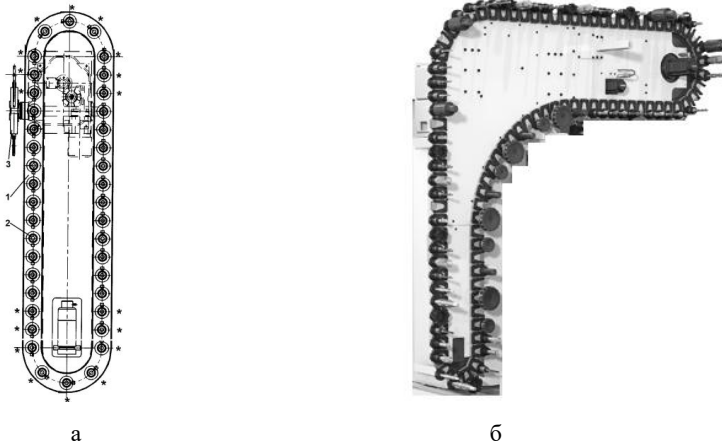


Рисунок 10.3 – Ланцюгові інструментальні магазини

В разі застосування інструментальних магазинів в БВ зберігається висока жорсткість інструмента і, як наслідок, підвищена точність обробки, ємність накопичувача практично необмежена, але потрібні конструктивні зміни верстата, а час заміни інструмента зростає.

*Пристрої автоматичної заміни інструмента (АЗІ)* призначені для автоматичного обміну інструментів між накопичувачем і шпинделем верстата, забезпечення стабільності і точності положення інструмента в шпинделі після його закріплення, а також надійності закріплення. До пристроїв АЗІ відносяться накопичувачі інструментів, автооператори, захватні пристрої, транспортуючі пристрої, затискні пристрої в шпинделі та автооператорі, пристрої кодування, що забезпечують вибір визначеного інструмента з накопичувача.

Пристрої АЗІ можуть виконуватися з автооператором, який здійснює обмін інструментів між шпинделем і магазином, та без автооператора за системою PISC-UP. Заміна інструментів в пристроях АЗІ з інструментальними магазинами, побудованих за системою PISC-UP (рис. 10.2, а), здійснюється за рахунок рухів шпиндельного вузла і інструментального магазину. В пристроях АЗІ з інструментальним магазином та автооператором (рис. 10.2, б; рис. 10.3, а) обмін інструментів між шпинделем верстата та магазином відбувається за допомогою одного чи двох автооператорів.

*Автоматичний пошук інструменту.* Для програмування автоматичної зміни інструменту застосовуються три методи:

- установка інструменту в магазині згідно послідовності його використання;

- кодування інструменту;
- кодування гнізд магазину.

Якщо під час обробки заготовки кожен інструмент використовується тільки один раз, почергово, то інструментальні оправки в магазині можна встановити в послідовності, згідно з технологічним процесом, і для кожної заміни інструменту зміщувати магазин на один крок. Але, зазвичай, кожен з інструментів може застосовуватися кілька разів, а послідовність їх роботи для виготовлення різних деталей змінюється. Тому автоматичний пошук інструменту здійснюють із застосуванням або кодування інструментальної оправки, або кодування гнізда магазину.

У першому випадку на оправці встановлюються змінні кодові кільця або використовується система з магнітним кодовим носієм, вмонтованим в оправку, оснащена безконтактним датчиком зчитування коду. Під час переміщення магазину кодові кільця взаємодіють з кінцевими вимикачами. В разі появи потрібної комбінації пристрій ЧПК забезпечує зупинку магазину в позиції, на якій необхідний інструмент знаходиться в положенні перевантаження.

В разі кодування інструментальних оправок інструмент, що відпрацював, повертається не в попереднє гніздо, а в гніздо тієї оправки, яка перевантажується в шпindel, що скорочує загальну тривалість циклу заміни інструменту. За такого методу інструмент можна розташовувати в будь-якому гнізді магазину, що виключає можливість помилок при його завантаженні. Однак цей метод має і недоліки - істотно ускладнюється конструкція інструментальних оправок; виключається можливість застосування інструменту, діаметр якого перевищує крок між гніздами магазину, оскільки сусідні гнізда можуть бути зайняті іншими інструментами; ускладнюється пошук потрібного інструменту. При кодуванні гнізд магазину кожному гнізду присвоюється свій номер, який вводиться в потрібному місці в програму роботи верстата. Тому інструмент (разом з оправкою), взятий з певного гнізда, повинен після використання обов'язково повертатися в колишнє гніздо. Пошук потрібного гнізда здійснюється за допомогою різних датчиків, пов'язаних з обертанням вала магазину, в сучасних верстатах функції такого датчика може виконувати датчик обертів електродвигуна приводу інструментального магазину.

В разі кодування гнізд магазину спрощуються інструментальна оправка і з'являється можливість залишати порожніми гнізда, розташовані поруч з тими, в яких знаходиться великогабаритний інструмент, що розширює технологічні можливості верстата. Однак в цьому випадку ускладнюється цикл заміни інструмента, оскільки пошук здійснюється двічі: один раз для інструмента, що замінюється, другий - для відпрацьованого. Для усунення цього недоліку в конструкцію механізму вводять додаткові вузли, що дозволяють поєднати час пошуку потрібного інструмента і порожнього гнізда для відпрацьованого інструмента з часом виконання робочих операцій.

### Багатоцільовий верстат мод. 2623ПМФ4

Призначений для виконання розточування, свердління, зенкерування, розгортання, нарізування різі, фрезерування в корпусних деталях. Верстат побудований за компонованням одностоякового горизонтально-розточувального верстата. Система ЧПК здійснює керування за п'ятьма осями (рис. 10.4): чотирма лінійними і однією обертовою. Стіл з заготовкою рухається перпендикулярно осі шпинделя (вісь X) і обертається навколо вертикальної осі (вісь V). Інструмент встановлюється в висувному розточувальному шпинделі, який здійснює осьове переміщення за віссю Z, шпиндельна головка рухається вертикальними напрямними стояка (вісь Y) і стояк разом зі шпиндельною головкою виконує рух паралельно осі шпинделя (вісь W). Зазначені рухи дають можливість виконувати обробку корпусних деталей з різних боків без переустановлення.

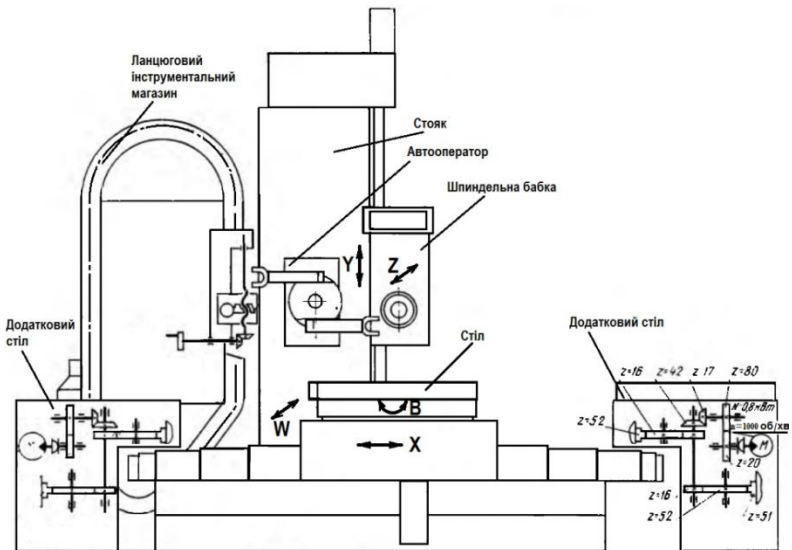


Рисунок 10.4 – Схема багатоцільового верстата мод. 2623ПМФ4

Привод головного руху верстата – обертання шпинделя з інструментом, складається з електродвигуна постійного струму і двоступінчастої коробки швидкостей, перемикання передач якої виконується гідроциліндром за командами від системи керування. В

приводах лінійних осей використовуються високомоментні електродвигуни, з'єднані через муфти з гвинтами кулькових гвинтових передач. Стояк рухається гідростатичними напрямними. Обертання стола виконується від регульованого електродвигуна через редуктор з усуненням зазору за рахунок передачі руху великому зубчастому колесу  $z=283$  від двох зубчастих коліс  $z=25$ . Зазор вибирається використанням замкнутого ланцюга зубчастих коліс, в якому один з валів попередньо закручений під час складання.

Верстат оснащений ланцюговим інструментальним магазином на 50 гнізд, який встановлюється на окремому фундаменті поряд з верстатом. Заміна інструментів здійснюється двозахватним автооператором.

В верстаті передбачена автоматична заміна заготовок, які закріплюються на столах-супутниках. Передача столів-супутників на стіл верстата виконується з додаткових столів, розміщених справа і зліва від верстата, які оснащені механізмом передачі.

#### **П'ятиосьовий фрезерний (багатоцільовий) верстат з ЧПК DMG/MORI SEIKI DMU 50.**

Верстат призначений для обробки деталей складної форми в індивідуальному та дрібносерійному виробництві в автомобілебудуванні, верстатобудуванні, авіаційній галузі тощо. На верстаті можна виконувати фрезерну, свердлильну, розточувальну обробку на деталі з п'яти боків без переустановлення на інше обладнання. Приклади оброблюваних деталей наведені на рис. 10.5.

Конструкція верстата (рис. 10.6) забезпечує керування рухами за 5-ма осями: трьома лінійними та двома обертовими. Лінійні рухи виконує фрезерна головка з інструментом. Каретка рухається горизонтальними напрямними станини (вісь X), напрямними каретки рухається супорт фрезерної головки (вісь Y), і вертикальними напрямними супорта рухається фрезерна головка (вісь Z). Оберткові рухи здійснює стіл з заготовкою, корпус якого обертається за віссю B, а планшайба стола – за віссю C.

Для забезпечення автоматичної заміни інструмента верстат оснащений дисковим інструментальним магазином, ємність якого в стандартній комплектації складає 16 інструментів. Заміна інструмента виконується без автооператора шляхом переміщення шпindelного

вузла в зону інструментального магазину і відповідних рухів шпиндельного вузла і магазину.



Рисунок 10.5 – Приклади деталей, що обробляються на верстаті DMU 50.

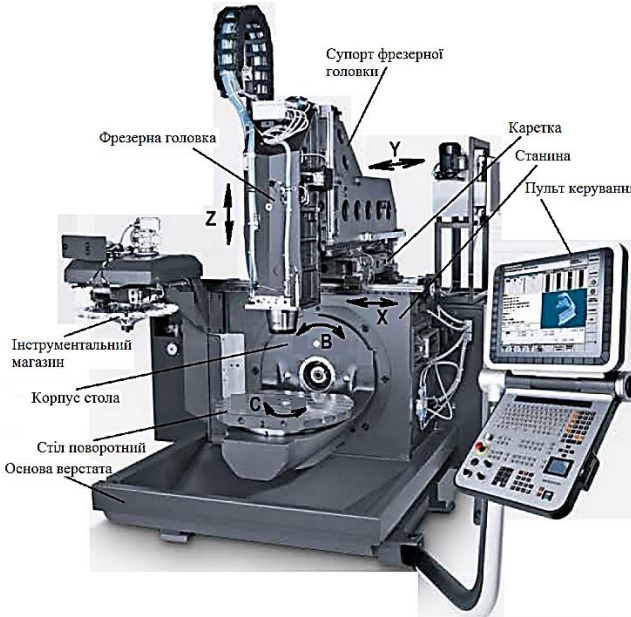


Рисунок 10.6 – Конструкція верстата DMU 50

Конструкція поперечної каретки і супорта виконані з чавуну з ребрами для забезпечення високої жорсткості, а станина і основа з мінерального композитного литва, що забезпечує високу стабільність, точність та якість обробленої поверхні.

Для переміщення за лінійними осями використовуються напрямні кочення з приводом від кулькових гвинтових передач. В приводі шпинделя використовується конструкція вбудованого електродвигуна (мотор-шпиндель). Для оберткових осей також застосовується прямий привід – моментні електродвигуни.

Технічна характеристика базової версії верстата наведена в таблиці 10.1.

Система керування з 19" монітором забезпечує можливості 3D моделювання заготовок.

Таблиця 10.1 Технічна характеристика верстата DMU 50

Параметр	Розмірність	Значення
Розміри стола	мм	700×500
Найбільше навантаження на стіл	кг	200/300
Переміщення стола за осями: X	мм	500
Y	мм	450
Z	мм	400
B	град.	-5 ÷ +110
C	град.	360
Швидкість подачі за лінійними осями	м/хв.	24
Прискорення за лінійними осями	м/с <sup>2</sup>	5
Частота обертання шпинделя	хв. <sup>-1</sup>	20 ÷ 10000
Потужність електродвигуна шпинделя (S1/S640%)	кВт	9/13
Ємність інструментального магазину	шт.	16
Максимальний діаметр інструмента	мм	80/130
Максимальна маса інструмента	кг	6
Максимальна довжина інструмента	мм	300

### Багатофункціональний токарно-фрезерний центр Super NTX

На верстаті можуть виконуватися як токарна, так і фрезерна обробка, а також обробка отворів довільно розміщених в просторі в умовах дрібносерійного, серійного, а також масового виробництва; він може легко вбудовуватися в різні виробничі процеси, особливо в гнучкі виробництва.

Верстат (рис. 10.7) оснащений двома шпинделями для заготовок: основним та протишпинделем, двома револьверними головками на 12 позицій кожна та інструментальним шпинделем.

На верстаті може вестися обробка штучних заготовок в кулачковому патроні діаметром 200 мм та деталей з прутка з найбільшим діаметром 65 мм. Максимальна частота обертання шпинделів заготовок 4500 хв.<sup>-1</sup>. Програмовані переміщення шпинделів: лівого – вісь С, правого (протишпинделя) – осі С та В2 (паралельно осі шпинделів). Потужність двигунів шпинделя та протишпинделя 22 кВт за нетривалої, та 18,5 кВт в режимі постійної роботи.

В револьверних головках можуть бути установлені як токарні, так і обертові інструменти в кожній з 12 позицій. Максимальна частота обертання приводного інструмента 3600 хв.<sup>-1</sup>. Потужність на обертовому інструмента 5,5/3,7 кВт. Револьверні головки виконують переміщення за двома осями: X та Z.

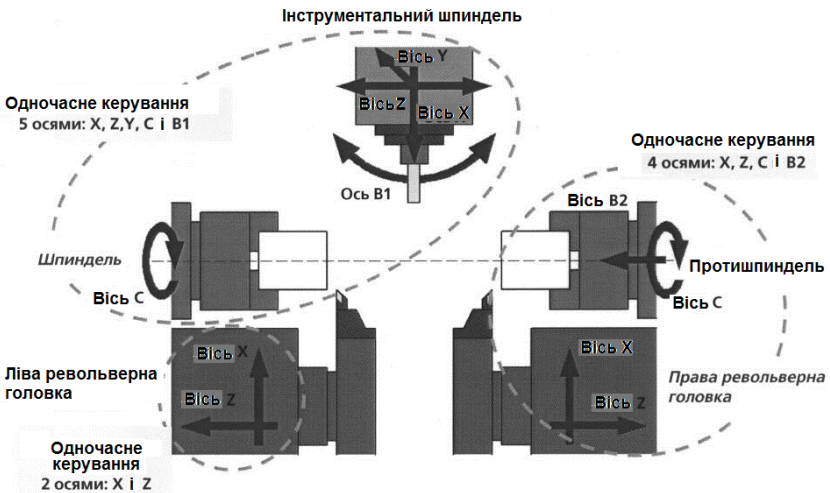


Рисунок 10.7 – Схема розміщення вузлів верстата Super NTX

Інструментальний шпиндель переміщується за чотирма осями, трьома лінійними X, Y, Z та однією обертовою B1 ( $\pm 115^\circ$ ), що забезпечує обробку поверхонь розміщених під різними кутами та з кутовим зміщенням. Максимальна частота обертання

інструментального шпинделя 8000 хв.<sup>-1</sup>. Інструмент в інструментальний шпиндель завантажується двозахватним маніпулятором з інструментального магазину на 24 інструменти, який розміщений позаду верстата. В інструментальний шпиндель може установлюватися токарний, фрезерний та свердлильний інструмент, діаметр якого не перевищує 120 мм (з пропуском сусідніх позицій).

Робота на верстаті може вестися безперервно: під час заміни інструмента в інструментальному шпинделі працюють інструменти револьверних головок; одночасна токарна обробка однієї деталі в одному шпинделі та токарно-фрезерна обробка в іншому (протишпинделі), тощо.

В шпиндельних вузлах використовуються вбудовані електродвигуни з охолодженням корпусу бабок рідиною.

Швидкості прискорених переміщень за осями X і Y – 16м/хв., за осями Z, B2 – 27 м/хв.

Система ЧПК FANUC16i-TB забезпечує керування за 11 осями. Кількість одночасно керованих осей: 5 осей інструментального шпинделя - X, Z, C, Y та B1; 4 осі лівої револьверної головки - X, Z, C та B2) та 2 осі правої револьверної головки - X, Z). Найменше програмоване переміщення за лінійними осями - 0,001мм, за обертовими осями - 0,001°.

## ЛЕКЦІЯ 11. АГРЕГАТНІ ВЕРСТАТИ

Агрегатними називаються спеціальні верстати, які компонується з функціонально самостійних нормалізованих і частково спеціальних вузлів і деталей. Основними уніфікованими одиницями агрегатних верстатів (АВ) є силові вузли: головки і столи, транспортні пристрої, шпиндельні вузли, затискні пристрої, базові корпусні деталі тощо.

На агрегатних верстатах виконується свердління, розточування, нарізування різі, розгортання отворів і їх зенкування та цекування, проточування канавок, підрізування торців, фрезерування. В таких верстатах заготовка, як правило, нерухома, що дозволяє обробляти її одночасно великою кількістю інструментів з кількох боків. Агрегатні верстати знаходять застосування для обробки складних деталей в крупносерійному та масовому виробництвах. Вони бувають спеціальні і переналагоджувані, з напівавтоматичним і автоматичним циклом роботи; можуть працювати як окремі технологічні одиниці, так і в складі потокових та автоматичних ліній.

Основні переваги АВ: а) скорочення термінів і витрат на проектування і виготовлення верстатів; б) висока продуктивність завдяки багатоінструментальній обробці і мінімальній кількості допоміжних ходів; в) можливість автоматизації циклу обробки. В той же час вони мають низьку гнучкість.

Компонування агрегатних верстатів досить різноманітне. Воно залежить від форми і розмірів оброблюваних виробів, розміщення на них оброблюваних поверхонь та вибраного технологічного процесу.

За компонуванням агрегатні верстати (рис. 11.1) поділяють на одно- та багато агрегатні; одно- та багатосторонні; одно- та багатопшпіндельні; одно- та багатопозиційні; вертикальні, горизонтальні, похилі та комбіновані.

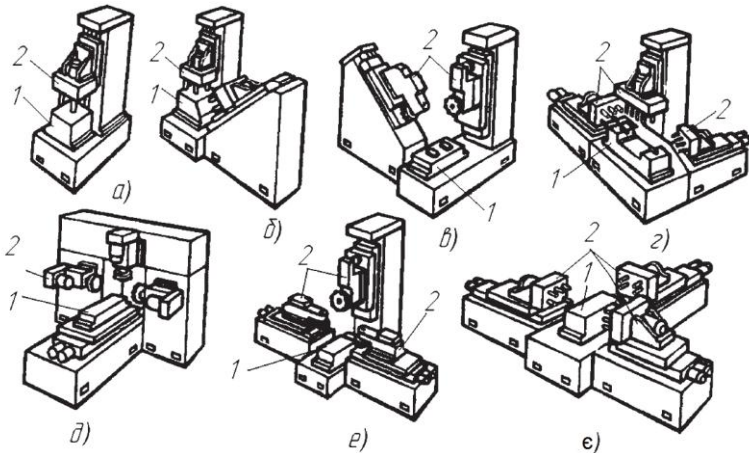


Рисунок 11.1 – Компонування агрегатних верстатів

На однопозиційних верстатах операція повністю завершується в одному постійному положенні деталі. На багатопозиційних верстатах обробка деталей ведеться паралельно або послідовно на декількох позиціях. Періодичне переміщення деталі з однієї позиції в іншу виконується за допомогою багатопозиційних столів.

#### *Нормалізовані вузли агрегатних верстатів*

Агрегатні верстати складаються з таких основних нормалізованих вузлів: станини, колони, силові головки, силові столи, шпіндельні коробки, підставки під пристосування; в верстатах з

гідрофікованим приводом застосовуються нормалізовані гідропанелі. Спеціальні механізми, такі як пристосування для встановлення та закріплення заготовок мають окремі нормалізовані елементи.

### *Шпиндельні коробки*

Шпиндельні коробки призначені для розміщення робочих шпинделів і передач руху від вихідного вала силової головки до шпинделів. Типова шпиндельна коробка (рис. 11.2) складається з корпусу 2, задньої плити 1 і передньої кришки 3. Шпинделі 5 отримують обертання від приводного вала 4 силової головки через кілька зубчастих пар. Зубчасті колеса розміщуються в шпиндельній коробці в чотири ряди (від 0 до III), змінні зубчасті колеса 6 в ряду 0 призначені для зміни частоти обертання шпинделів. Шпиндельні коробки монтують на силових головках з корпусом, що переміщається, і на силових столах. В останньому випадку на силовому столі закріплюють упорний кутник, на вертикальній площині якого монтують шпиндельну коробку. Всі деталі шпиндельних коробок стандартизовані, за індивідуальними кресленнями виконуються лише розточування в корпусі під опори валів і шпинделів.

*Силкові головки* (рис. 11.3) з обертовим приводом головного руху та вбудованим приводом подачі називають самодіючими (автоматичними), а з окремим приводом подачі, розташованим в базовій деталі – не самодіючими. Перевага останніх полягає у спрощенні обслуговування і ремонту завдяки зручному доступу до елементів приводу. За типом приводу руху подачі силкові вузли бувають гідравлічними, електромеханічними (з передачею гвинт-гайка або кулачковою), пневмо-гідравлічними і пневматичними.

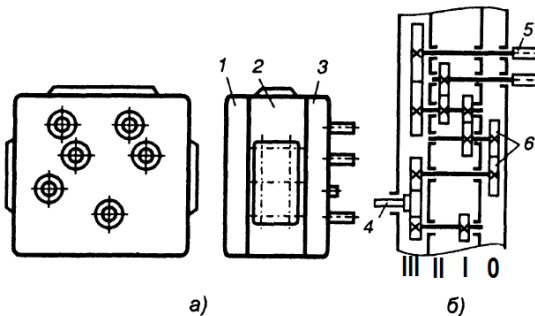


Рисунок 11.2 – Шпиндельна коробка агрегатного верстата

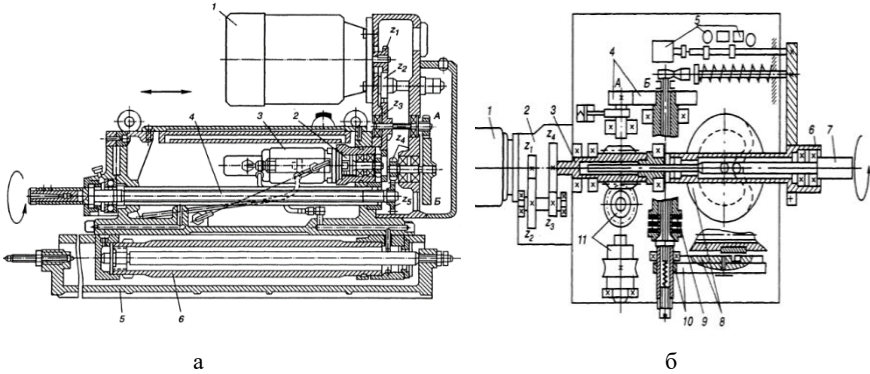


Рисунок 11.3 – Силкові головки агрегатних верстатів: а – з пересувним корпусом; б – з подачею пінолю

Подача інструмента в силових головках може виконуватися переміщенням корпусу головки (рис. 11.3, а), яка несе шпиндельну коробку та переміщенням пінолю з інструментом і нерухомим корпусом (рис. 11.3, б). Подачу інструмента пересуванням пінолю зазвичай виконують в головках малої потужності (до 1,5 кВт), що забезпечує зручний підхід до оброблюваної заготовки. Силкові головки середньої і великої потужності виконують з корпусом що пересувається.

Привод головного руху силової головки виконується у вигляді окремого блоку з використанням мінімальної кількості передач.

Не самодіючі силкові головки встановлюють на силкові столи. Силкові столи застосовуються для прямолінійних встановлювальних переміщень та руху подачі інструмента. Силкові столи також використовуються для встановлення на них шпиндельних вузлів з самостійним обертним приводом (фрезерних, розточувальних, свердильних головок, тощо) або пристосувань з оброблюваною заготовкою для здійснення робочих циклів прямолінійної подачі.

### Агрегатні верстати з ЧПК

В умовах багатонаменклатурного дрібносерійного виробництва, коли необхідно часто змінювати технологічний процес обробки, основною умовою ефективної роботи верстатів є можливість їх швидкого переналадження для випуску інших деталей, чого не можна досягти з використанням традиційних нормалізованих

елементів та побудованих з них агрегатних верстатів. Досягнення гнучкості обладнання забезпечується використанням уніфікованих елементів, якими можна керувати за допомогою систем ЧПК. Верстати побудовані з таких елементів називаються агрегатними верстатами з ЧПК.

Типове компонування такого верстата наведено на рис. 11.4. Верстат складається з таких уніфікованих елементів: поворотного столу 1, розміщеного на центральній станині 2; стояків 3 зі шпиндельними вузлами 4 та пристроями автоматичної зміни інструменту 5; хрестового 6 та хрестово-поворотних 7 столів.

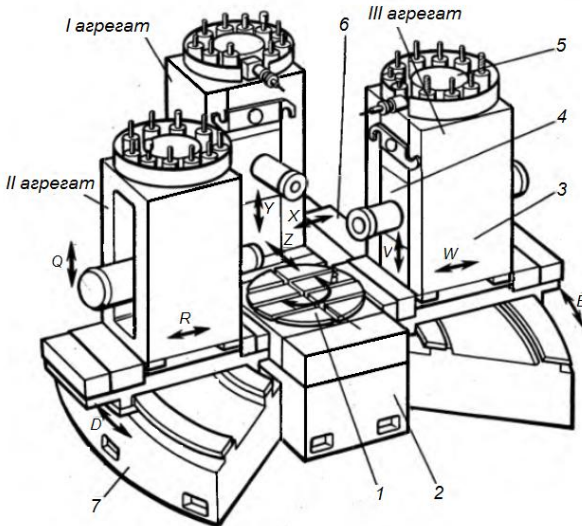


Рисунок 11.4 – Компонування агрегатного верстата з ЧПК

Оброблювана заготовка закріплюється на планшайбі поворотного столу, навколо якого розміщені силові агрегати, встановлені на хрестовому та хрестово-поворотних столах. Силові агрегати виконують одночасну обробку поверхонь заготовки з різних боків. Інструмент кожного силового агрегату переміщується за трьома координатними осями: агрегат I забезпечує рух за лінійними осями: вертикальний рух шпиндельної головки напрямними стояка – вісь Y, переміщення стояка паралельно (вісь Z) та перпендикулярно (вісь X) осі шпинделя. Інструменти силових агрегатів II і III забезпечують вертикальне переміщення шпиндельної головки (осі Q і V, відповідно),

переміщення стояків паралельно осі шпинделя (осі R і W, відповідно), та рухи за обертовими осями (центр кола співпадає з віссю планшайби поворотного стола) D і E, відповідно. Кожен агрегат може працювати за автономною програмою.

Рухи за осями D і E дають можливість виконувати одночасну обробку поверхонь деталі, розміщених під різними кутами одна до одної.

Переналадження верстата полягає в заміні керуючої програми, та в разі потреби - пристосування для закріплення заготовки і інструментальних наладок в магазинах силових агрегатів.

На агрегатних верстатах з ЧПК виконують такі технологічні операції: свердління, зенкерування, розгортання та розточування отворів, нарізування різі мітчиками, прямолінійне та контурне фрезерування.

Агрегатні верстати з ЧПК можуть складатися з таких уніфікованих елементів (рис. 11.5): стояків з шпиндельними головками (а), столів – поздовжніх (в), поперечних (г), хрестових (б), поворотно-хрестових (д), обертового руху – вертикальних(е), горизонтальних (ж) чи похило-поворотних (з); механізмів автоматичної заміни інструментів (і).

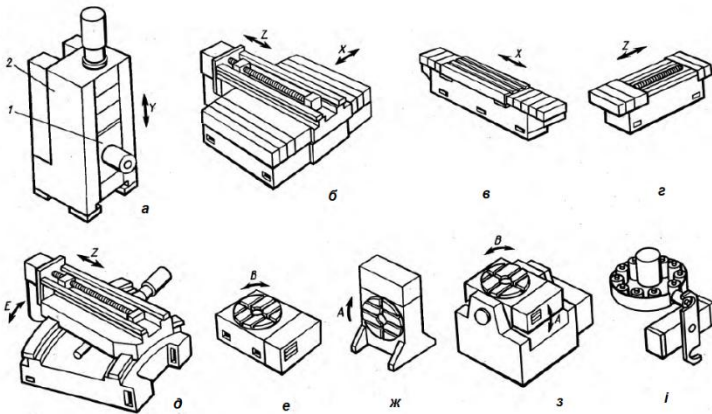


Рисунок 11.5 – Уніфіковані елементи агрегатних верстатів з ЧПК

## ЛЕКЦІЯ 12. АВТОМАТИЧНІ ЛІНІЇ

Автоматична лінія (АЛ) представляє собою сукупність технологічного обладнання, встановленого у відповідності до технологічного процесу обробки, сполученого автоматичним транспортом зі спільним керуванням. АЛ призначені для виготовлення деталей в крупносерійному та масовому виробництві. Економічна ефективність використання АЛ досягається завдяки їх високій продуктивності, скороченню обслуговуючого персоналу, стабільній якості виробів, ритмічності випуску, створення умов для сучасних методів організації виробництва і, як наслідок, низькою собівартістю продукції.

Функції оператора на автоматичних лініях полягають в контролі за роботою обладнання, налаштуванні його, а також завантаженню виробів на початку лінії та вивантаженню в кінці. Останні функції можуть виконуватися промисловим роботом.

За наявністю міжопераційних запасів АЛ поділяють на *синхронні* (зблоковані) та *несинхронні* (не зблоковані). Синхронні лінії (рис. 12.1, а) характеризуються відсутністю операційних запасів. Все обладнання зблоковане між собою і працює в єдиному ритмі. Зупинка будь-якого агрегату зумовлює зупинку всієї лінії.

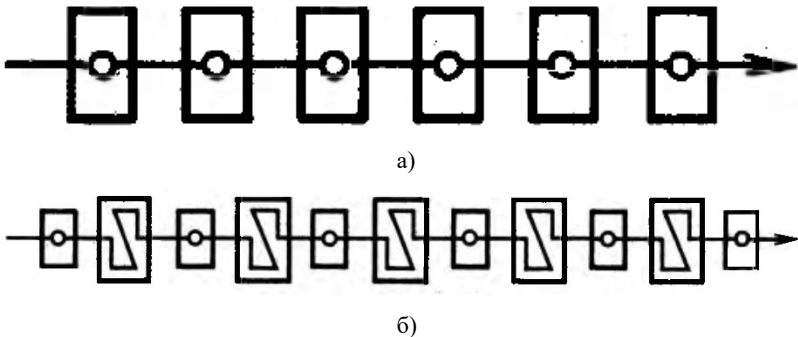


Рисунок 12.1 – Схеми автоматичних ліній: а – синхронної; б – несинхронної

Несинхронними АЛ називають лінії, в яких міжопераційні накопичувачі запасів встановлені між усіма технологічними машинами. В таких лініях (рис. 12.1, б) взаємний вплив сусідніх агрегатів може бути зведений до мінімуму за достатньої ємності

накопичувачів. Та все ж додаткові втрати будуть, оскільки реальна смність накопичувачів обмежена.

За ступенем поєднання часу обробки з транспортуванням заготовки АЛ поділяють на *стаціонарні, роторні і конвеєрні*.

За типом вбудованого основного технологічного обладнання розрізняють АЛ на базі *типового обладнання, агрегатних верстатів, спеціального обладнання*. В АЛ на базі *типового обладнання* основним обладнанням є верстати, що випускаються серійно. Це велика група універсальних автоматів і напівавтоматів типу багатощпindelних, револьверних, багаторізцевих та інших автоматів. Високий рівень автоматизації дає можливість порівняно просто об'єднувати це обладнання в лінії.

АЛ з *агрегатних верстатів* є одним з найбільш ефективних варіантів автоматизації. Важливою особливістю ліній такого типу є значний ріст продуктивності в порівнянні з лініями на базі типового обладнання. Лінії будують з агрегатів і механізмів, які випускаються серійно, що зменшує витрати на автоматизацію, значно скорочує час на проектування, виготовлення та налаштування лінії. Лінії з агрегатних верстатів призначені переважно для обробки корпусних деталей, що мають складну форму і велику кількість технологічних переходів.

Для обробки деталей в масовому виробництві зі стабільним характером АЛ можуть створюватися на базі *спеціального обладнання*. Такі лінії в більшості випадків призначені для обробки лише одного виду деталей, переналагодження пов'язане зі значними витратами, а інколи неможливе. До таких деталей відносяться підшипники, металовироби, тощо. Перевагами АЛ такого виду є можливість забезпечення високої продуктивності, оскільки технологічний процес і обладнання проектується спеціально для обраної деталі. В цих випадках часто вдається поєднати в єдиному технологічному ланцюгу процеси отримання заготовки, механічну і термічну обробку, контроль та складання.

За кількістю потоків (рис. 12.2) розрізняють однопотоківі (кожна операція виконується на одній заготовці) і багатопотокові (одна і та сама операція виконується одночасно на декількох заготовках).

Транспортні потоки на лініях можуть бути залежними і незалежними, тобто заготовки на подальшу обробку надходять на певне обладнання чи ні.

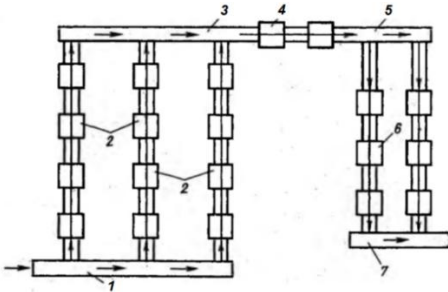


Рисунок 12.2 - Схема автоматичної лінії зі змінними потоками

За видом транспортних систем і способом передачі оброблених заготовок з верстата на верстат розрізняють АЛ: з наскрізним транспортуванням через робочу зону (рис. 12.3, а), використовуються в основному для обробки корпусних заготовок на АВ; з верхнім транспортуванням (рис. 12.3, в), застосовуються для обробки заготовок шестерень, фланців, валів та інших деталей; з бічним (фронтальним) транспортуванням (рис. 12.3, б). Використовуються для обробки заготовок колінчастих і розподільних валів, гільз, великих коліс.

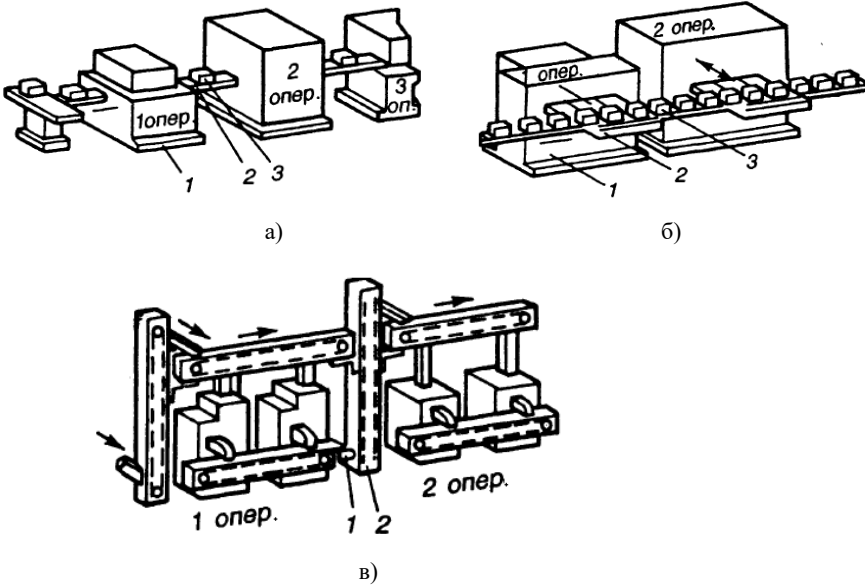


Рисунок 12.3 – Схеми транспортування деталей в автоматичних лініях

### 12.1 Роторні лінії

Головною особливістю роторних ліній є поєднання в часі транспортування заготовок і їх обробки. Роторні лінії (рис. 12.4) комплектуються з роторних машин, на яких обробка заготовок виконується в процесі безперервного транспортування їх спільно з різальним інструментом в робочих роторах 7 - 9. Заготовки подаються до лінії з магазину-накопичувача 1 і переміщуються до всіх роторних машин транспортними роторами 2 - 5. Готові деталі видаляються в приймальний магазин 6.

Застосування роторів з різною кількістю позицій доцільне в разі коли різні операції мають різну тривалість. Довготривалі операції виконуються на машинах з великою кількістю позицій, а короткотривалі – на машинах малопозиційних.

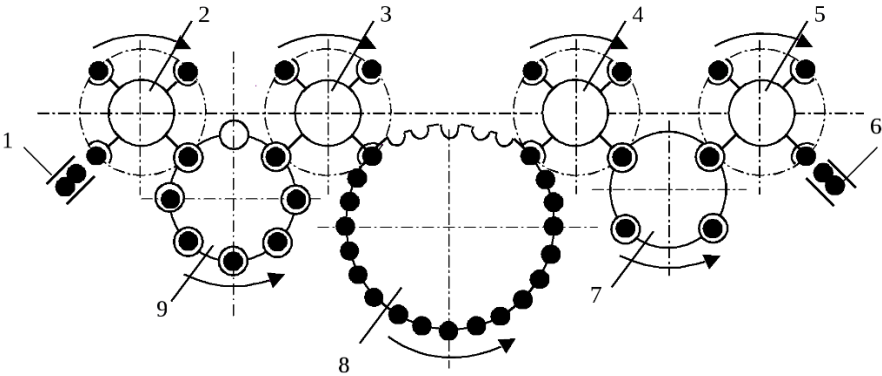


Рисунок 12.4 – Схема роторної лінії

Зміна в широких межах кількості позицій в кожному роторі дає можливість одержати однакову продуктивність на всіх операціях роторної лінії. Це дає можливість включати до одного технологічного ланцюга різноманітні види обробки, комплексно вирішуючи проблеми автоматизації.

Роторні лінії крім робочих та транспортних роторів можуть містити також складальні, контрольно-вимірювальні ротори, ротори накопичувачі, запам'ятовуючі пристрої, механізми заміни інструмента, тощо. Контрольно-вимірювальні операції можуть виконуватися, коли деталь знаходиться або в спеціальному, або в транспортному роторі.

Включення до роторної лінії контрольних пристроїв дає можливість без особливого збільшення витрат і зі збереженням заданої продуктивності виконувати контроль усіх оброблених деталей без збільшення обсягів незавершеного виробництва. Безперервне переміщення деталей і висока продуктивність роторних машин зумовлює потребу, в деяких випадках, створення пристроїв автоматичної заміни інструмента без зупинки ротора за командою спеціальних пристроїв, що контролюють стан інструмента і якість обробки.

Найбільш успішно на роторних лініях здійснюються штампувальні, складальні та контрольні операції. З механічної обробки можуть виконуватися свердлильні, токарні та фрезерні роботи. Застосування роторних ліній для механічної обробки обмежується порівняно невисокою жорсткістю робочих машин, складністю відведення стружки, недостатньою для низки технологічних процесів точністю обробки.

Застосування роторних ліній обмежується зростанням діаметральних розмірів роторів для операцій великої тривалості.

### *Робочі ротори РЛ*

Робочі ротори призначені для виконання основних технологічних операцій, вони є найбільш важливими та різноманітними за конструктивним виконанням елементами роторних ліній. Відмінності в конструкції робочих роторів зумовлюються характером технологічних операцій, що визначає кінематичну схему ротора і тип виконавчого органу.

Конструкція робочого ротора для обробки зовнішніх поверхонь тіл обертання наведена на рис. 12.5. Заготовка 1, що закріплюється в цанзі 2 і підтримується центром 13, здійснює обертаний рух, який передається на шпиндель зубчастим колесом 4 замиканням муфти 5. Муфта забезпечує розмикання приводу

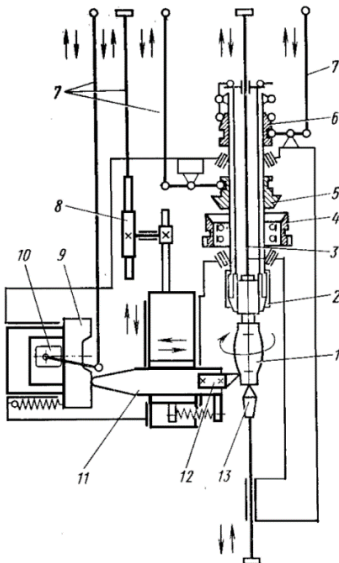


Рисунок 12.5 – Схема робочого органу ротора для обробки деталей типу тіл обертання

обертання для заміни оброблених заготовок. Затискання цанги здійснюється механізмом закріплення 6, а видалення заготовки з цанги – упором-виштовхувачем 3.

Інструмент 12, закріплений на супорті 11 може здійснювати осьове і радіальне переміщення. Осьове переміщення супорт отримує від повзуна через зубчато-рейкові передачі 8. Поперечний рух каретки здійснюється від плоского копіра 9, який відводиться за допомогою механізму відведення копіра 10. Окремі механізми і елементи ротора сполучені з приводами елементами з'єднання (повзунами) 7.

### 12.2 Роторно-конвеєрні лінії

Для вирішення проблеми автоматизації на роторно-конвеєрних машинах суттєве значення має можливість поділу кожної операції на елементи, що послідовно виконуються в окремих роторах, та поділ кожного комплекту технологічного оснащення, необхідного для виконання операції, на функціональні частини, змонтовані в окремих конвеєрах.

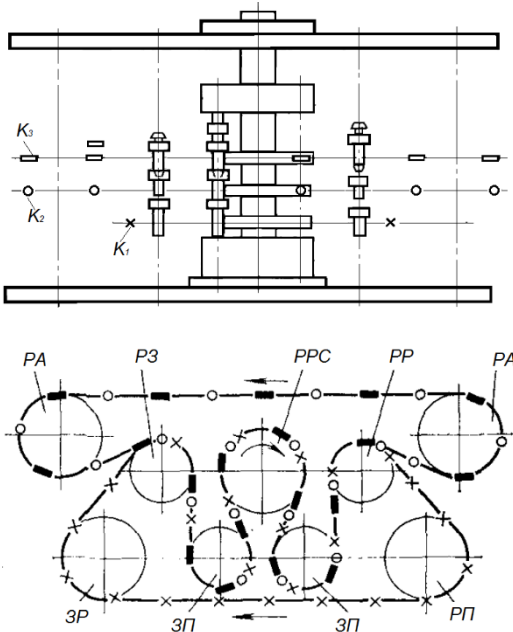


Рисунок 12.6 – Схема роторно-конвеєрної лінії свердління

Розглянемо типову схему роторно-конвеєрної лінії для операцій, що виконуються обертовим інструментом (рис. 12.6) (свердління, розгортання, тощо). Машина містить три конвеєри: К1 – несе затискні пристрої для предметів обробки; К2 – несе кондукторні втулки; К3 – оснащений обертовими осьовими шпинделями з затискачами для інструментів. Органи кожного конвеєра виконуються у вигляді рухомих блоків в вертикальному напрямку з можливістю виймання для сполучення, шляхом переміщення догори.

Конвеєр затискних пристроїв обходить завантажувальний ротор (ЗР), де відбувається завантаження предметів обробки. Ротор в нижній частині оснащений повзунами, що керують розкриттям затискних пристроїв, наприклад цанг, а в верхній частині – штовхачами для встановлення предметів обробки в цанги. Наступний ротор (ротор змикання РЗ) обводиться також конвеєрами кондукторів і шпинделів. В ньому переміщенням затискних пристроїв догори і шпинделів вниз здійснюється змикання їх з кондукторами.

Робочий ротор свердління (РРС) обводиться всіма конвеєрами, робочі органи яких знаходяться в положенні, підготовленому для виконання операції. В цьому роторі шпинделі сполучаються з обертовими приводами, а затискні пристрої одержують рух осьової подачі. Зворотні рухи затискних пристроїв і шпинделів, для виведення їх з кондукторів доцільно виконувати в окремому роторі (роторі розмикання РР), позиції якого містять лише нижні і верхні повзуни. Після ротора розмикання транспортні конвеєри розходяться: конвеєри затискних пристроїв ідуть на ротор передачі предметів обробки (РП), який оснащений повзунами, що керують розтисканням цанг і забезпечують виштовхування деталей, і обійшовши його спрямовуються на ротор ЗР; конвеєри кондукторів і шпинделів обходять, в загальному випадку, ротори автоматичної заміни інструменту (РА) і повертаються до ротора змикання.

Наведена схема дає можливість виконувати декілька переходів з однієї установки предметів обробки, для чого достатньо передбачити декілька груп роторів, що обводяться іншими конвеєрами, оснащеними інструментом для виконання інших переходів, які обводяться також конвеєром затискних пристосувань.

## ЛЕКЦІЯ 13. ГНУЧКІ ВИРОБНИЧІ СИСТЕМИ

Гнучка виробнича система (ГВС) складається з групи робочих станцій (позицій), з'єднаних між собою за допомогою автоматизованої системи завантаження і зберігання виробів і інтегрованої системи управління комп'ютером (СІМ).

ГВС є гнучкою в тому сенсі, що вона здатна обробляти безліч різних типів деталей одночасно на робочих позиціях і кількість продукції можна регулювати в залежності від зміни структури попиту. ГВС найбільше підходить для діапазону виробництва середньої номенклатури, середнього обсягу.

Доцільність використання ГВС в виробництві зумовлюється потребою швидко пристосовуватися до постійних змін на ринку, знижувати собівартість продукції, запаси матеріалів, заготовок, напівфабрикатів з метою підтримання конкурентоздатності виробів.

Для забезпечення гнучкості виробництва система повинна мати такі можливості:

- ◆ ідентифікація різних об'єктів виробництва для виконання належної операції;
- ◆ швидка зміна керуючої програми в пристроях комп'ютерного керування виробничими машинами;
- ◆ швидка заміна фізичних пристроїв: затискних пристосувань, інструментів та інших робочих вузлів

У сучасних системах робочі позиції це, зазвичай, верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК), які виконують операцію механічної обробки на групах деталей. Гнучкі виробничі системи можуть розроблятися і з іншим типом робочого обладнання, включаючи контрольні позиції, складальні машини і інші. Різні робочі станції можуть реалізовуватися як:

- обробні центри (верстати з ЧПК, багатоцільові верстати);
- станції завантаження і розвантаження;
- складальні робочі станції;
- контрольні станції;
- ковальське обладнання;
- обладнання для обробки листового металу і таке інше.

Різноманітні *системи завантаження* використовуються для транспортування виробів між робочими позиціями, а інколи

поєднуються з системами зберігання. До функцій систем завантаження і зберігання відносяться:

випадкове і незалежне переміщення виробів між робочими позиціями;

завантаження виробів різної конфігурації;

тимчасове зберігання;

зручний доступ для завантаження та вивантаження виробів;

сумісність з комп'ютерним керуванням.

*Комп'ютерна система керування* служить для координації діяльності обладнання робочих позицій і системи завантаження виробів в ГВС. Вона керує роботою усіх верстатів та допоміжного обладнання, контролює належне транспортування та завантаження виробів, рух піддонів (палет), столів-супутників, здійснює контроль та діагностику роботи та стану обладнання.

Типова комп'ютерна система ГВС складається з центрального комп'ютера і мікрокомп'ютерів. Мікрокомп'ютери керують окремими робочими машинами та іншими компонентами. Центральний комп'ютер координує дії окремих компонентів для досягнення узгодженої загальної роботи системи.

Функції, що виконуються людиною, включають в себе: завантаження заготовок виробів в систему, вивантаження готових деталей (або збірок) з системи, зміна та налаштування інструменту, технічне обслуговування та налагодження обладнання, програмування обробки деталей в системі ЧПК і програмування та робота комп'ютерної системи.

Гнучкі виробничі системи відповідно до кількості машин в системі можуть бути поділені на такі типові категорії:

1. Одиночна машинна чарунки - осередок з однією машиною - складається з одного обробного центру з ЧПК об'єднаного з системою зберігання виробів для роботи без нагляду. Виготовлені деталі періодично вивантажується з пристрою зберігання виробів, і заготовки виробів завантажуються в нього.

2. Гнучкий виробничий осередок - гнучкий виробничий елемент, що складається з двох або трьох робочих станцій обробки (зазвичай, обробні центри з ЧПК) та системи завантаження виробів. Система завантаження виробів сполучена зі станцією завантаження / розвантаження.

3. Гнучка система виробництва, що має чотири або більше робочих станції обробки механічно з'єднаних загальною системою завантаження виробів і в електронному вигляді розподіленою комп'ютерною системою.

В залежності від характеру виконання технологічних операцій та послідовності обробки різних деталей ГВС поділяють:

- послідовні: на них виконується обробка партії деталей одного типу, а потім проводиться планування і підготовка для виготовлення наступної партії деталей іншого типу. Вони працюють як гнучка потокова лінія дрібносерійного виробництва;
- випадкові: на них виконується обробка будь-якого випадкового поєднання окремих типів деталей в будь-який момент часу;
- спеціалізовані: постійно виготовляється протягом тривалого часу обмежене поєднання партій типів штучних деталей.

### Види компонувань ГВС

Розрізняють різні типи компонувань ГВС.

*Поступальні або лінійного типу* (рис. 13.1, а). Верстати і система завантаження встановлюються в лінію. Це найбільш властиво для систем, в яких заготовки надходять з однієї робочої позиції на іншу в добре визначеній послідовності без зворотних потоків.

*Петельного типу* (рис. 13.1, б). Вироби зазвичай рухаються в одному напрямку довкола петлі з можливістю зупинки і переміщення на будь-яку позицію. Позиції завантаження і розвантаження зазвичай розміщуються на одному кінці петлі.

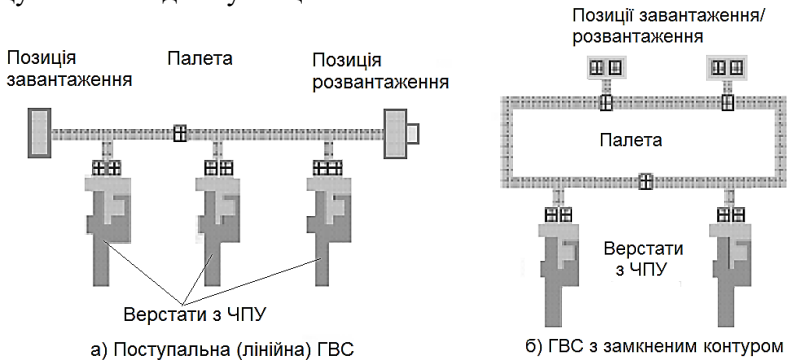


Рисунок 13.1 – Компонування гнучких виробничих систем

Компонування східчасте показано на рис. 13.2. Положення завантаження і розвантаження зазвичай знаходиться на одному кінці системи. Послідовність обробки і транспортування виробів від одного верстата до іншого відбувається в формі послідовних кроків по «сходинах».

**Open Field Type** Компонування *Типу відкритого (вільного) простору* показано на рис. 13.3. Положення завантаження і розвантаження зазвичай розміщуються на одному кінці системи. Вироби проходять через всі позиції, такі як верстати з ЧПК, координатно-вимірвальні машини, позиції миття за допомогою АКТЗ (AGV's) з однієї позиції на іншу. (**AGV - automatic guided vehicle** - автоматично керований транспортний засіб).

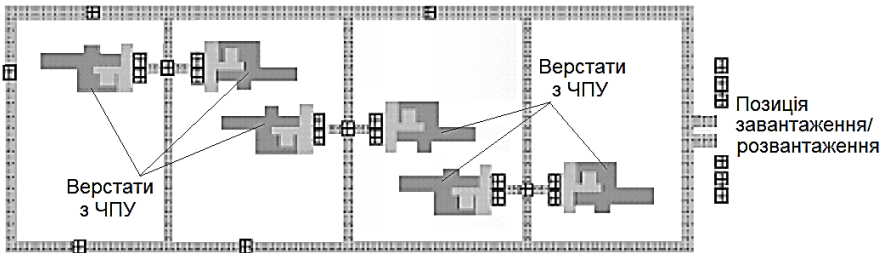


Рисунок 13.2 – Гнучка виробнича система зі східчастим компонуванням

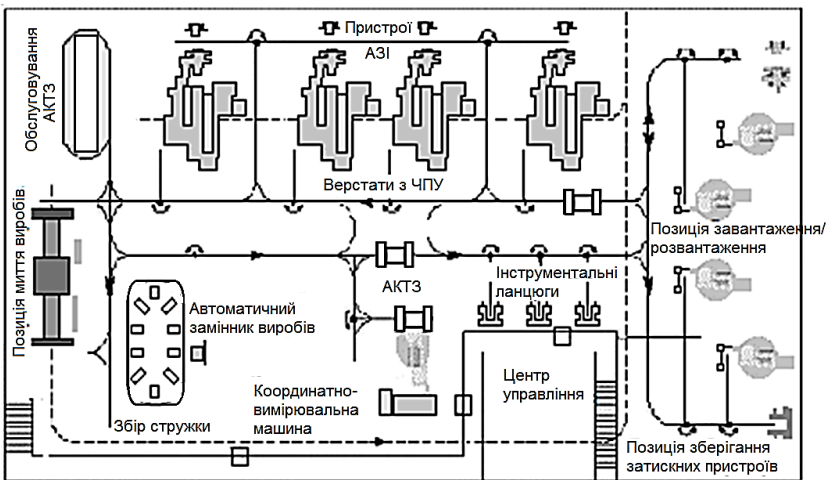


Рисунок 13.3 – Гнучка виробнича система з компонуванням типу «відкрите поле»

*Компонування з центральним роботом* це форма гнучкої системи, в якій один чи більше роботів використовуються в системі завантаження виробів (рис. 13.4). Промислові роботи оснащуються захватами, що робить їх зручними для встановлення і перевертання виробів.

*Головні завдання використання ГВС:*

- зниження штучного часу;
- зростання пропускної здатності;
- зростання ефективності використання верстатів;
- поліпшення фінансової надійності;
- зниження рівня запасів;
- зниження незавершеного виробництва;
- поліпшення якості.

*Переваги використання ГВС:*

- швидший і з меншими витратами перехід з випуску однієї деталі до іншої, що сприяє кращому використанню капіталів;
- зниження витрат на робочу силу, внаслідок зменшення кількості робітників;

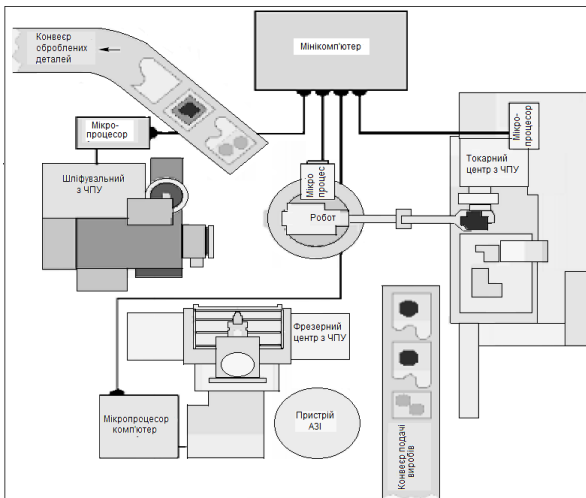


Рисунок 13.4 - Гнучка виробнича система з компонуванням з центральним роботом

- зниження потреби в оснащенні завдяки точності планування і програмування;
- стабілізація і підвищення якості завдяки автоматизації контролю;
- зниження коштів на одиницю продукції завдяки підвищенню продуктивності за тієї ж кількості робітників;
- економія непрямих витрат через зниження помилок, доопрацювання, браку і ремонтів.

#### *Недоліки:*

- обмежена здатність адаптуватися до змін в продукції або асортименту продукції (напр., машини мають обмежену пропускну здатність і необхідне інструментальне забезпечення для виробів, навіть вироби одного типу, не завжди можна обробляти на даній FMS);
- істотна діяльність попереднього планування;
- висока вартість;
- складність виробничої системи.

#### **Види обладнання і його функції, необхідні для ГВС**

Важливими видами обладнання ГВС є:

Основне обладнання, що складають обробні центри, які безпосередньо виконують обробку деталей, і технологічні центри, на яких виконується складання, контроль, миття деталей, тощо.

Допоміжне обладнання, що використовується для підтримки основного обладнання в досягненні його цілей. Воно складається з допоміжних станцій, таких як станції завантаження – вивантаження та закріплення піддонів, і зон установки інструмента. Може включати допоміжне обладнання таке як роботи, стелажний склад затискних пристосувань (піддонів), склад інструментів, склад заготовок, транспортні системи для заготовок і інструменту.

Прикладом гнучкої виробничої системи може служити ГВС на базі верстатів *DMG NHX 5000 2nd Generation*, яка пропонується в трьох варіантах: з круговою системою розміщення піддонів (палет) (**RPP - Round Pallet Pool System**); з лінійною системою розміщення (**CPP - Carrier Pallet Pool System**); зі стелажною системою зберігання піддонів (**LPP - Linear Pallet Pool System**). Вибір системи того чи

іншого типу здійснюється в залежності від розмірів виробництва і типів оброблюваних заготовок (рис. 13.5).

ГВС з круговою системою розміщення піддонів (RPP) (рис. 13.6, а) містить один верстат, займає невелику площу, має високу відносну густоту позицій. Подача заготовок з позиції завантаження на позиції зберігання і на верстат здійснюється поворотним завантажувальним столом.

Верстатна система з лінійною системою розміщення позицій заготовок (CPP) (рис. 13.6, б) може містити до чотирьох верстатів та двох завантажувальних позицій. Позиції для піддонів розміщуються на одному рівні і їх кількість може досягати 29. Переміщення піддонів з заготовками між позиціями завантаження, зберігання та робочими машинами здійснюється маніпулятором.

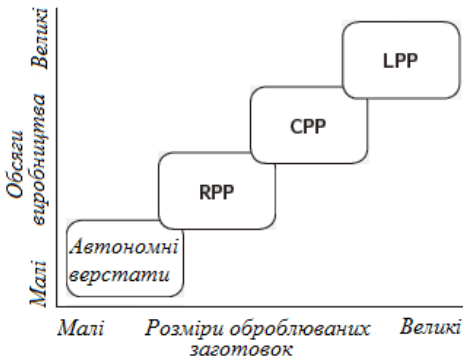


Рисунок 13.5 – Доцільне використання різних типів ГВС на базі верстатів DMG NHX 5000

ГВС зі стелажною системою зберігання піддонів (LPP) (рис. 13.6, в) може включати до восьми верстатів, для забезпечення заготовками яких встановлений дворівневий стелаж, кількість піддонів на якому може досягати 99, число завантажувальних позицій до п'яти. Транспортні і завантажувальні операції між позиціями завантаження та стелажа і верстатом виконуються спеціальним краном штабелером.

### Гнучкі верстатні модулі

До системи верстатного модуля (рис. 13.7, 13.8) входять: найчастіше один верстат з числовим програмним керуванням; підсистема транспортування, завантаження і вивантаження виробів;

підсистема накопичення і заміни інструменту; підсистема контролю якості виготовлених деталей; внутрішній накопичувач заготовок, що забезпечує запас не менше ніж на 8 годин роботи.

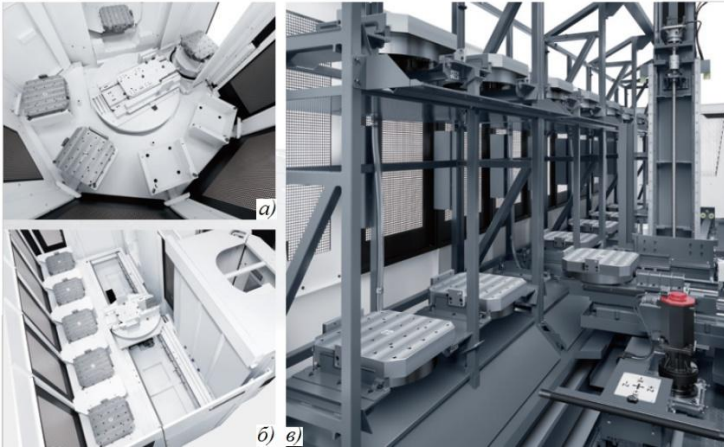


Рисунок 13.6 - Варіанти ГВС на базі верстатів DMG NHX 5000



Рисунок 13.7 – Гнучка верстатна чарунка з верстатом HURON MX12 з пристроєм заміни піддонів

Верстатні модулі високого рівня містять підсистему контролю розмірного зносу інструменту з відповідним розмірним налаштуванням і підсистему автоматизованої діагностики. Перераховані підсистеми об'єднані системою керування, яка будується за ієрархічним принципом, тобто містить центральний комп'ютер, що здійснює

функції диспетчеризація, та реалізує головну керуючу програму і повну інформацію про стан технологічного обладнання, яка надходить від керуючих підсистем нижчого рівня. Такими підсистемами є: системи оперативного числового програмного керування верстатами; підсистеми керування переналадкою завантажувальних пристроїв на розмір заготовки, що подається, в широкому діапазоні розмірів; підсистеми програмованого навчання промислових роботів, які є складовою частиною верстатного модуля, тощо.



Рисунок 13.8 – Гнучка виробнича система з великих токарних вертикальних верстатів компанії Pietro Carnaghi

Основними вимогами, що визначають можливість включення верстатів до складу верстатного модуля, є наступні: числове програмне керування циклом роботи, механізований затиск - розтискання деталей, автоматична заміна інструменту, механізоване відведення огорожі, механічне відведення стружки, автоматичний контроль і діагностика.

## ЛЕКЦІЯ 14. ШЛІФУВАЛЬНІ ВЕРСТАТИ

Шліфувальні верстати це обладнання, що використовує в якості ріжучого інструменту абразивний або алмазний круг. Застосування цих верстатів визначається високими вимогами до якості поверхні, точності

розмірів, форми і положення оброблюваних поверхонь і можливістю обробки загартованих та важкооброблюваних матеріалів. На шліфувальні верстати, як правило, надходять заготовки, попередньо оброблені на інших верстатах із залишенням невеликого припуску під шліфування, величина якого залежить від вимог до шорсткості і точності обробки, але шліфування може бути і єдиним видом обробки.

На шліфувальних верстатах обробляють зовнішні і внутрішні циліндричні та конічні поверхні, плоскі та фасонні поверхні, профілі різі, зубчастих вінців, шліців, складного інструменту.

В залежності від виду оброблюваної поверхні шліфувальні верстати поділяють на круглошліфувальні центрові та безцентрові, внутрішньошліфувальні, плоскошліфувальні, різешліфувальні, зубошліфувальні, шліцешліфувальні тощо.

Головний рух в шліфувальних верстатах здійснює інструмент – абразивний круг, що обертається зі швидкістю різання, яка, в залежності від характеристики круга, може складати 30 – 100 м/с. Рух подачі можуть здійснювати вузли, що несуть як інструмент так і заготовку, в залежності від компонування верстата. За напрямком відносного переміщення інструмента і деталі подача може бути поздовжньою, поперечною, вертикальною, урізною.

### 14.1 Круглошліфувальні верстати

За характером встановлення на верстаті заготовки круглошліфувальні верстати бувають центровими і безцентровими.

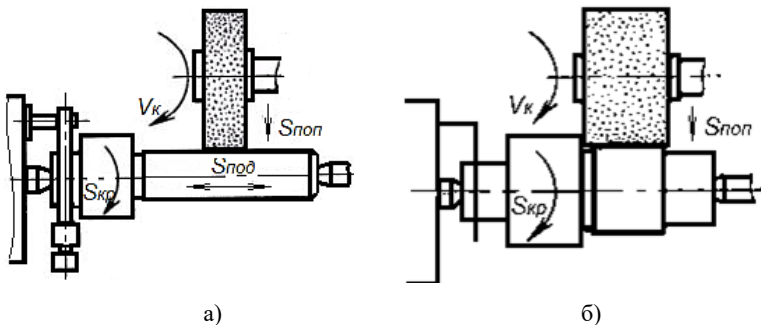


Рисунок 14.1 – Схеми круглого зовнішнього шліфування

На центрових круглошліфувальних верстатах заготовка переважно закріплюється в центрах передньої і задньої бабок. Вони

призначені для зовнішнього шліфування гладких і переривчастих циліндричних поверхонь обертання, а також торцевих поверхонь. Шліфування може виконуватися з поздовжньою (рис. 14.1, а) та урізною подачею (рис. 14.1, б).

В першому випадку заготовка здійснює обертання з швидкістю кругової подачі та поступальне переміщення зі швидкістю поздовжньої подачі. Періодично, на кожен одинарний чи подвійний хід заготовки, шліфувальний круг здійснює рух урізання. Короткі поверхні шліфуються без поздовжньої подачі, круг здійснює безперервний рух врізання з швидкістю урізної подачі.

В круглошліфувальних верстатах загального призначення стіл має можливість повертатися навколо вертикальної осі на незначний кут, що дає можливість шліфувати конусні поверхні з незначним кутом конуса. В універсальних круглошліфувальних верстатах окрім повороту стола можливий поворот передньої та шліфувальної бабок на значний кут, що дозволяє шліфувати конуси зі значним кутом та торцеві поверхні (рис. 14.2). Такі верстати зазвичай оснащуються додатковим пристроєм для шліфування отворів.

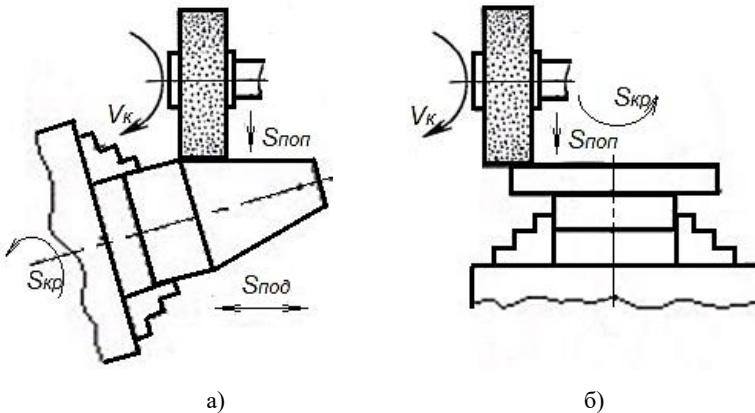


Рисунок 14.2 – Схеми шліфування на універсальних круглошліфувальних верстатах: а – конусів; б – торців

Частота обертання шліфувального круга в круглошліфувальних верстатах, зазвичай, не регулюється. Вона встановлюється виходячи з умови забезпечення швидкості різання  $V = 30 - 50$  м/с та діаметра шліфувального круга. Привід шпинделя круга складається з

асинхронного електродвигуна та пасової передачі. Шпиндель в більшості верстатів встановлюється на гідродинамічних підшипниках, що забезпечує високу точність обробки та якість обробленої поверхні.

Бабка шліфувального круга переміщується найчастіше напрямними кочення, інколи напрямними ковзання з антифрикційним покриттям від регульованого електродвигуна та кулькової гвинтової передачі.

На заготовку, встановлену в центрах, що не обертаються, рух передається повідковими патронами різних типів від шпинделя виробу. На універсальних круглошліфувальних верстатах заготовка може закріплюватися в патроні (рис. 14.3). Частота обертання заготовки визначає швидкість кругової подачі, яка може змінюватися в широких межах, тому в приводі шпинделя виробу застосовують регульовані електродвигуни, з яких рух на шпиндель передається пасовою передачею. В універсальних круглошліфувальних верстатах передня бабка може повертатися відносно вертикалі на  $90^\circ$  проти годинникової стрілки і на  $30^\circ$  за годинниковою стрілкою.

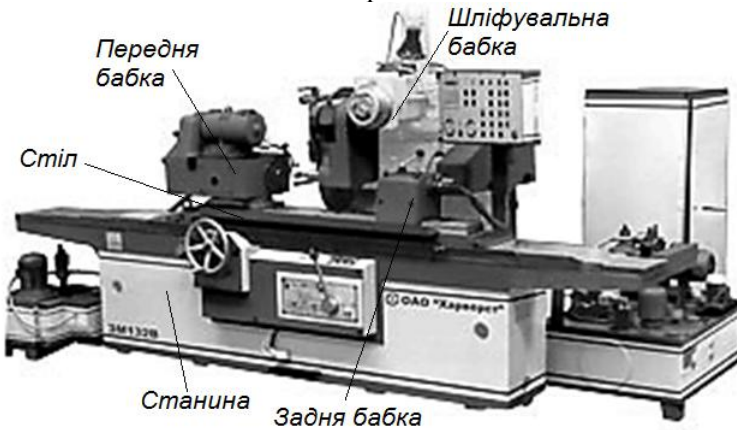


Рисунок 14.3 – Основні вузли круглошліфувального верстата

Стіл виробу в верстатах традиційного виконання переміщується напрямними станини з швидкістю поздовжньої подачі  $S_{pod}$  від гідроциліндра, кінці штока якого закріплені до стола, швидкість подачі регулюється гідроприводом. В верстатах з ЧПК для переміщення стола використовують кулькові гвинтові передачі та регульовані електродвигуни. Для зменшення тертя та підвищення довговічності

напрямних використовують їх покриття полімерними антифрикційними матеріалами (фторопласт, Turcite В).

#### 14.2 Круглошліфувального верстата 3М151Ф2

Круглошліфувального верстата 3М151Ф2 з ЧПК призначений для шліфування гладких і переривчастих зовнішніх циліндричних поверхонь, а також шліфування буртів східчастих валів в умовах дрібносерійного і серійного виробництва; клас точності верстата П. Шліфування заготовок можна здійснити поздовжніми робочими ходами, врізанням і уступами, коли поверхню шліфують з поперечною подачею з остаточною обробкою декількома поздовжніми ходами. Обробка ступенів ведеться послідовно одним кругом. При обробці здійснюється активний контроль і автоматичний перехід від однієї ступені до іншої.

Основна економія при роботі на верстаті досягається за рахунок скорочення допоміжних операцій: переустановлення, налаштування і вимірювання. Тому найбільший економічний ефект досягається при обробці багатоступеневих валиків з одного установа.

*Технічна характеристика круглошліфувального верстата 3М151Ф2.* Найбільші розміри заготовки: діаметр 200 мм, довжина 700 мм, діаметр заготовки, що обробляється з активним контролем, 0-85 мм, частоти обертання заготовки 50-500 хв<sup>-1</sup> (регулюється безступінчасто), швидкість шліфувального круга не більше 50 м/с, робочі подачі шліфувальної бабки для попередньої обробки 0,2-0,12 мм/хв., остаточної 0,1- 0,6 мм/хв., викінчувальної 0,02-0,12 мм/хв., швидкість швидкого підведення шліфувальної бабки 1700-930 мм/хв., швидкість переміщення стола 0,05-5 м/хв. (число ступенів 10).

На верстаті використовується спеціалізований для шліфувальних верстатів пристрій ЧПК. Керуюча програма (КП) вводиться за допомогою декадних перемикачів. Розміри в КП задаються в абсолютних значеннях. За КП можна шліфувати вісім ступенів заготовки. Число програмованих координат - 2. Робота виконується послідовно за кожною координатою. Верстат оснащений двома вимірювальними пристроями і відповідними їм коректуючими системами: для визначення відхилення розмірів заготовки і круга. Контроль діаметрального зносу круга (координата Х) виконується і коригується непрямым шляхом при вимірюванні заготовки в процесі обробки приладом активного контролю. Контроль базового торця



шліфування торця. Шпindelъ повертається у вихідне положення пружиною.

*Переміщення столу* виконує гідроциліндр Ц1 або механізм ручного переміщення від маховичка 9 через передачі  $Z = 14/62$ ,  $Z = 12/48$  і рейкову передачу. При переміщенні столу від гідроприводу механізм ручного переміщення автоматично вимикається. Гідроциліндр Ц2 виводить із зачеплення вал-колесо  $Z = 14$ .

*Обертання заготовки* здійснює від електродвигуна постійного струму М2 через дві клинопасові передачі. Шпindelъ II нерухомий, обертання заготовки передається повідцем планшайби.

*Механізм поперечних подач* забезпечує прискорену подачу, яка знижується в ході циклу вдвічі, робочу подачу і установче ручне переміщення шліфувальної бабки. Установче підведення здійснюється маховичком 8 через конічні колеса  $Z = 39/39$ , черв'ячну пару  $Z = 2/40$  і пару гвинт-гайка кочення X ( $P = 10$  мм). Прискорене переміщення шліфувальної бабки виконується від двохшвидкісного асинхронного двигуна М4 через черв'ячну передачу  $Z = 2/30$  і пару гвинт-гайка кочення X. Рух бабки шліфувального круга здійснюється напрямними кочення.

*Автоматична робоча подача шліфувальної бабки* виконується від регульованого електродвигуна постійного струму М3 (типу СЛ-569) через черв'ячні пари 2/30 і 2/40 при включеній електромагнітної муфти М1 і потім через передачі 39/39, 2/40 і передачу гвинт – гайка кочення з кроком  $P = 10$  мм. Частота обертання валу електродвигуна М3 контролюється тахогенератором ТГ. Періодична поперечна подача можлива при періодичному вмиканні муфти М1.

*Задня бабка.* Осьове відведення пінолю задньої бабки здійснюється гідроциліндром при переміщенні поршня рейки ( $t = 2$  мм) і вручну поворотом валу колеса  $Z = 24$ . Заготовка затискається в центрах пружиною.

*Правка шліфувального круга.* Алмазний інструмент, встановлений в пінолю механізму правки, подається на шліфувальний круг автоматично гідросистемою або вручну обертанням маховичка 2, розташованого на валу V, через зубчасті пари 22/22, 27/27 і ходовий гвинт III з кроком  $P = 2$  мм. При автоматичної правці плунжер (на рис. не показаний) за допомогою собачки повертає храпове колесо  $Z = 200$ , встановлений на гвинті III. Кут повороту регулюється упором. Поздовжнє переміщення пристрою правки відбувається від

гідроциліндра ЦЗ. На каретці під кутом  $45^\circ$  переміщується від гідроциліндра Ц4 корпус, що спирається щупом на прямолінійний копір 3. Копір забезпечує правку за один або два робочих ходи. Тонке регулювання положення виконують гвинтом ( $P = 1,5$  мм).

### 14.3 Безцентрово-шліфувальні верстати

Ці верстати використовуються в крупносерійному виробництві для високопродуктивного шліфування поверхонь типу тіл обертання малого діаметра і великої довжини, а також заготовок, що не мають центрових отворів, і забезпечують високу точність і якість обробленої поверхні та продуктивність обробки. Це досягається завдяки підвищеним режимам різання і скорочення часу на установку, вивірку і зняття заготовок.

Застосовуються три способи безцентрального шліфування (рис. 14.5): шліфування «на прохід», урізне і шліфування до упору. Останній спосіб використовується для обробки заготовок, що мають уступ. Способом «на прохід» шліфують гладкі заготовки без уступів при безперервному подаванні їх між обертовими кругами. Урізним шліфуванням обробляють циліндричні, конічні і фасонні заготовки. Заготовку встановлюють так, щоб обробка відбувалася одночасно по всій довжині, тому висота шліфувального круга більша, ніж довжина заготовки. Заготовка тільки обертається, а ведучий або шліфувальний круг отримують поперечну подачу в радіальному напрямку. При шліфуванні конічних або фасонних поверхонь шліфувальному кругу або обом кругам правкою надається відповідна форма робочої поверхні.

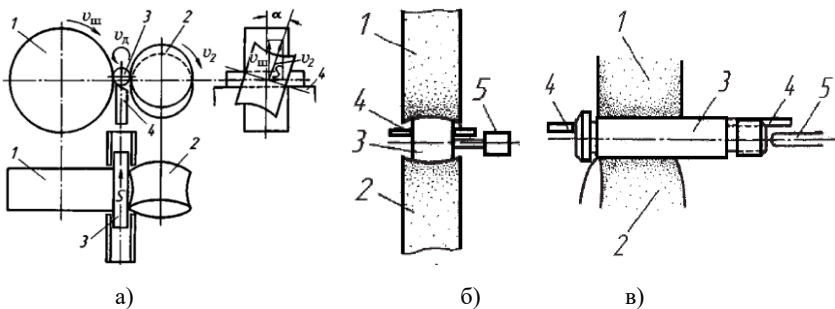


Рисунок 14.5 – Схеми безцентрального шліфування

Оброблювана заготовка 3 (рис. 14.5) при безцентровому шліфуванні не закріплюється, а, базуючись на зовнішній поверхні опорного ножа 4, контактує з двома кругами 1 і 2. Шліфувальний круг 1, обертаючись з коловою швидкістю 30 ... 40 м/с, знімає припуск з заготовки, а інший круг 2 - ведучий, обертаючись з коловою швидкістю 10 ... 50 м/хв., забезпечує заготовці обертання (кругову подачу) і поздовжнє переміщення (осьову подачу). Поздовжня подача заготовки, що шліфується, забезпечується ведучим кругом 2 або внаслідок установки його під деяким кутом  $\alpha$  (від  $1^\circ$  до  $8^\circ$ , див. рис. 14.5) по відношенню до шліфувального круга 1, або нахилом опорного ножа на той самий кут  $\alpha$ . Ніж і ведучий круг підтримують заготовку і беруть на себе виникаючі сили різання. Щоб забезпечити дотик ведучого круга із заготовкою по всій ширині круга, йому надають форму гіперболоїда (див. рис. 14.5). Швидкість обертання заготовки задається ведучим кругом. Оскільки внаслідок меншої швидкості обертання ведучого круг тертя між шліфувальним кругом і заготовкою менше, ніж між заготовкою і ведучим кругом, то лінійна швидкість заготовки в зоні контакту відповідає лінійній швидкості ведучого кола. Як ведучі круги можуть використовуватися дрібнозернисті тверді круги на вулканітовій зв'язці, однак вони можуть бути також сталевими, чавунними або алюмінієвими.

Для забезпечення циліндричності оброблюваної заготовки її встановлюють дещо вище центрів шліфувального і ведучого кругів, приблизно на 0,15 ... 0,25 діаметра заготовки, але не більше 10 ... 12 мм, щоб уникнути вібрацій.

#### 14.4 Внутрішньошліфувальні верстати

Призначені для шліфування отворів циліндричної і конічної форми методами поздовжньої і поперечної подач. Ці верстати, як правило, забезпечені спеціальним торцешліфувальним пристроєм для обробки торців. Головним рухом є обертання шліфувального круга  $V$  (рис. 14.6), кругова подача  $S_{кр}$  забезпечується або обертанням заготовки (рис. 14.6, а), або планетарним обертанням шліфувального шпинделя (рис. 14.6, б). Подовжня і поперечна подачі  $S_{под}$ ,  $S_{пр}$  забезпечуються переміщенням шліфувального шпинделя або бабки виробу. Верстати цієї групи можуть бути патронними або безцентровими. У першому випадку заготовка базується в патронах різних конструкцій, у другому - на роликах або башмаках.

Основною розмірною характеристикою верстатів є найбільший діаметр оброблюваної заготовки. Швидкість різання звичайними кругами обмежена 35 м/с.

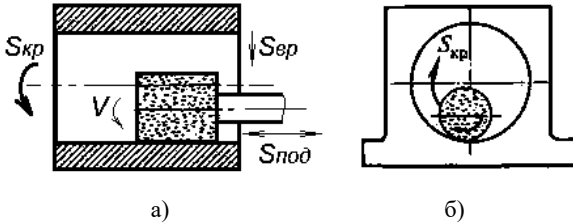


Рисунок 14.6 – Схеми внутрішнього шліфування

Найбільш поширені патронні верстати. Внутрішньошліфувальні верстати з планетарним рухом шпинделя (рис. 14.6, б) використовуються, якщо оброблювана заготовка має великі розміри, отвори розташовані в важких заготовках і з несиметричною формою, або коли заготовці неможливо задати обертальний рух кругової подачі. Кругова подача в цих верстатах створюється обертанням осі круга щодо осі оброблюваного отвору по колу. Подовжня подача виходить за рахунок зворотно-поступального руху круга або столу із заготовкою. Поперечна подача здійснюється періодичним радіальним переміщенням осі шліфувального круга.

*Універсальний внутрішньошліфувальний верстат 3К228А*, кінематична схема якого представлена на рис. 14.7, призначений для шліфування глухих і наскрізних циліндричних і конічних, з кутом конуса при вершині до  $60^\circ$ , отворів. Верстат оснащений торцешліфувальним пристосуванням, що дозволяє шліфувати зовнішній торець виробу відразу ж після шліфування отвору.

На станині розташована бабка виробу, в патроні шпинделя якої затискають деталь, що шліфується. На подовжніх напрямних кочення станини встановлений стіл. На поперечних напрямних столу розміщена шліфувальна бабка, що несе шпиндель зі шліфувальним кругом. Торцешліфувальне пристосування змонтовано на корпусі передньої бабки.

*Головний рух* здійснюється від електродвигуна 65 через плоскопасову передачу 55 - 56. Шліфувальні шпинделі - змінні, зі шківками діаметром 60-160 мм, чим досягається зміна частоти обертання шліфувального круга.



63. Заслінкою 37, що керується кнопкою 55, можна обмежити число зубців храпового колеса 47, що захоплюються собачкою 40, тобто встановити певну величину періодичної поперечної подачі шліфувального круга, або взагалі відключити подачу від гідроприводу.

*Торцешліфувальне пристосування.* Верстат оснащений торцешліфувальним пристосуванням, що дозволяє шліфувати торцеві деталі спеціальним кругом. Шпиндель цього пристосування обертається від індивідуального електродвигуна 1 через пасову передачу 23 - 24. Налагоджувальне подовжнє переміщення шліфувального круга досягається обертанням маховичка 6 через зубчасту пару 5-4 з внутрішнім зачепленням і пару 3 - 2. Робоча (осьова) подача здійснюється при обертанні маховичка 29; при цьому через черв'ячну пару 25-27 і гвинтову пару кочення 70 подовжньо переміщається гільза торцевого шпинделя, що несе круг. Хобот 26 має три позиції і повертається від гідроприводу 69 з верхнього неробочого положення в нижнє робоче і назад, а також в положення, при якому здійснюється правка круга.

*Механізм коливального руху столу* забезпечує йому поздовжні коливальні рухи, змушує шліфувальний круг здійснювати осцилюючі рухи, що сприяють отриманню менш шорсткої поверхні, що шліфується. Механізм має індивідуальний електродвигун 39, від якого через черв'ячну пару 66 - 58 обертається регульований ексцентрик 59, а від нього приходить в коливальний рух важіль 60, що передає, в свою чергу, хитання столу.

Для виправлення круга підводять алмазно-металевий олівець 28 в робоче положення за допомогою циліндра і рейкової передачі 64-62. Рухом столу круг, що обертається, повільно (0,1 ... 2 м/хв.) переміщається щодо олівця, забезпечуючи зняття шару абразивного матеріалу.

#### 14.5 Плоскошліфувальні верстати

Верстати призначені для обробки плоских поверхонь деталей. Шліфування може виконуватися як периферією, так і торцем круга. За компонуванням плоскошліфувальні верстати будують з вертикальним та горизонтальним шпинделем, з прямокутним або круглим столом. Розрізняють такі основні типи плоскошліфувальних верстатів рис.14.8:

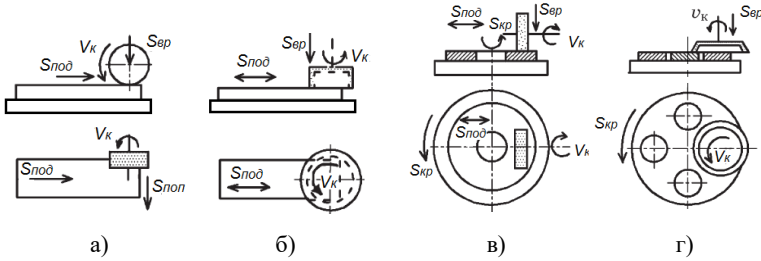


Рисунок 14.8 – Схеми плоского шліфування

- з горизонтальним шпинделем і прямокутним столом (а);
- з вертикальним шпинделем та прямокутним столом (б);
- з горизонтальним шпинделем та круглим столом (в);
- з вертикальним шпинделем та круглим столом (г).

В верстатах з горизонтальним шпинделем і прямокутним столом обробка ведеться периферією круга. Заготовка, встановлена на столі, здійснює поздовжнє переміщення з швидкістю поздовжньої подачі  $S_{под}$ , а шліфувальний круг обертається з швидкістю різання  $V_k$ , виконує періодичне переміщення в напрямку, перпендикулярному переміщенню стола  $S_{под}$ , та, по завершенню шліфування всієї площини, вертикальний рух врізання,  $S_{вер}$ .

В верстатах з вертикальним шпинделем та прямокутним столом обробка ведеться торцем круга по всій ширині оброблюваної деталі без поперечної подачі.

В верстатах з круглим столом стіл з закріпленими заготовками обертається зі швидкістю кругової подачі, а шліфувальник круг здійснює обертання з швидкістю різання і періодичний рух врізання. В верстатах з горизонтальним шпинделем рух  $S_{под}$  виконує або стіл, або шпиндель шліфувального круга.

## ЛЕКЦІЯ 15. РІЗШЛІФУВАЛЬНІ ВЕРСТАТИ. ШЛІФУВАЛЬНІ ВЕРСТАТИ З ЧПК

### 15.1 Шліфування різі

Для шліфування різі використовують одноститкові і багатониткові абразивні круги. При шліфуванні різі одноститковим кругом (рис. 15.1, а) його вісь обертання встановлюють під кутом  $\alpha$  до осі обертання заготовки, що дорівнює куту підйому гвинтової лінії різі.

Профіль абразивного круга відповідає профілю западини різі, що шліфується. Під час обробки круг отримує обертальний рух (головний рух), а заготовка - обертання з круговою подачею і переміщення уздовж своєї осі на крок різі за один оберт заготовки (подовжня подача  $S_n$ ). Цим способом можна шліфувати різь високої точності, різного профілю і довжини.

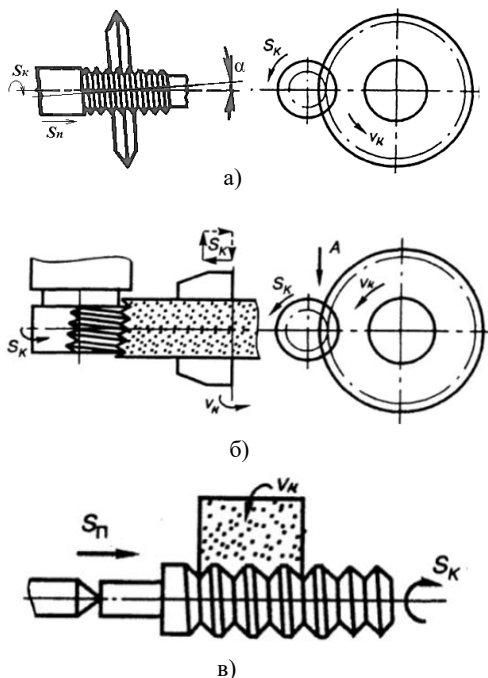


Рисунок 15.1 – Схеми шліфування різьби

Шліфування різі багатонитковими кругами виконують з подовжньою подачею і методом радіального врізання (урізне шліфування). Осі абразивного круга і заготовки встановлюють паралельно. Урізне шліфування (рис. 15.1, б) застосовують для обробки короткої різі і деталей з кільцевою нарізкою (накатні ролики). При обробці круг, що обертається, врізається з радіальною подачею  $S_{ep}$  на повну або встановлену глибину профілю різі за час 1/2 оберту заготовки, при цьому заготовка за один оберт переміститься вздовж своєї осі на крок різі. Обробка завершується за 1,5 оберти заготовки. Ширина круга повинна перевищувати довжину різі більше ніж на 2 кроки Шліфування різі багатонитковим кругом з подовжньою подачею (рис. 15.1, в) застосовують для шліфування довгих різьб. Кругу, встановленому на повну глибину профілю різі, повідомляють головний обертальний рух, заготовці - обертання з круговою подачею і переміщення з подовжньою подачею  $S_n$  на крок за кожен її оберт. Перші за рухом нитки круга виконують попереднє шліфування, а останні – остаточне.

Шліфування багатонитковими кругами доцільно застосовувати для різі невисокої точності з кроком до 4 мм. Оскільки осі абразивного круга і заготовки розташовані паралельно, то при обробці різі виникає певне викривлення профілю різі. Для нормальної різі з малим кутом підйому гвинтової лінії це викривлення незначне. Для шліфування різі з великим кроком і кутом підйому багатониткові круги не застосовують.

### 15.2 Різешліфувальний верстат 5К822В

Універсальний різешліфувальний верстат напівавтомат 5К822В призначений для шліфування зовнішніх і внутрішніх циліндричних і конічних різьб на мітчики, калібрах, накатних роликах, черв'яках і черв'ячних фрезах, ходових гвинтах тощо. На верстаті можна затилувати шліфуванням зуби модульних дискових фрез, черв'ячних фрез, мітчиків, гребінчастих фрез в серійному і багатосерійному виробництві. Шліфування різі здійснюється однонитковим і багатонитковим абразивним кругом.

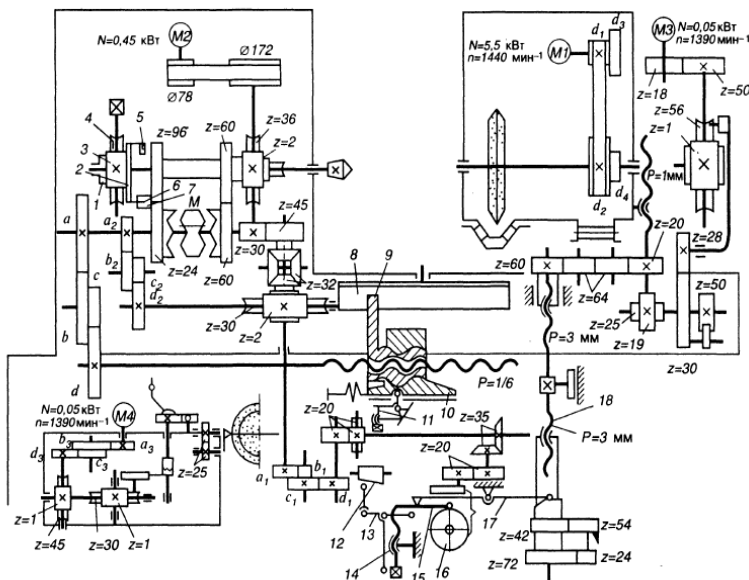


Рисунок 15.2 - Кінематична схема різешліфувального верстата мод. 5К822В

*Технічна характеристика.* Діаметр різі, що шліфується: одностороннім кругом - 150 мм, багаторонним кругом 10-120 мм; крок різі, що шліфується: одностороннім кругом - метричної 0,25-24 мм, модульної 0,3-14 мм; багаторонним кругом - метричної 1-4 мм; діаметр абразивного круга для внутрішнього шліфування 25- 125 мм.

*Головний рух верстата* - обертання абразивного круга (рис. 15.2) здійснюється від електродвигуна *M1* через клинову пасову передачу зі змінними шківками, що дозволяють регулювати частоту обертання шпинделя шліфувального круга в діапазоні 1430-860 хв<sup>-1</sup>; при внутрішньому шліфуванні - 6000, 9000 і 11800 хв<sup>-1</sup>.

*Кругова подача* - обертання заготовки здійснюється від електродвигуна постійного струму *M2* через пасову і черв'ячну передачі 78/172, 2/36. Частота обертання шпинделя регулюється безступінчасто в діапазоні 0,3-45 хв<sup>-1</sup>. Маточина блоку черв'ячного колеса *Z* = 36 з блоком зубчастих коліс *Z* = 60 і *Z* = 96 з'єднана зі шпинделем через палець 7 з механізмом компенсації зазорів в закріпленні, що дозволяє шліфувати різь в обидва боки під час реверсування напрямку руху стола.

*Гвинторізний рух* - переміщення столу із заготовкою на крок оброблюваної різі за один її оберт здійснюється при узгодженні обертання шпинделя, від якого через зубчасту передачу 60/60 або 96/24, гітару змінних коліс *a/b*, *c/d* обертання надходить на ходовий гвинт з кроком *P* = 1/6", який при обертанні угвинчується в гайку, закріплену на станині, і переміщує стіл з деталлю.

Гайка ходового гвинта змонтована у втулці на опорах кочення і має можливість повороту у втулці, укладеній в нерухомий щодо станини корпус.

При обертанні гайки відбувається переміщення столу з виробом уздовж осі гвинта, що використовується для осьової подачі виробу на шліфувальний круг і для введення шліфувального круга в нитку різі, що шліфується.

Рівняння кінематичного балансу гвинторізного ланцюга:

$$1 \text{ об. ум} \times i_n \times (a/b) \times (c/d) \times (1/6) 25,4 = P_p,$$

де  $i_n$  - передавальне відношення перебору.

З рівняння кінематичного балансу отримуємо формулу налаштування гвинторізного ланцюга  $(a/b) \cdot (c/d) = 6P_p i_n \cdot 25,4$ . При

шліфуванні різі з кроком  $P_p \leq 8$  мм  $i_n = 1$ ; при шліфуванні різі з кроком  $P_p > 8$  мм  $i_n = 4$ .

Коли наявний набір змінних зубчастих коліс не дозволяє здійснювати точне налаштування верстата на необхідний крок різі зі змінним кроком, похибку налаштування зменшують розворотом корекційної лінійки 8 на розрахунковий кут. Лінійка, рухаючись разом зі столом, повертає важіль 9 разом з гайкою. Гайка столу має крім внутрішньої різі з кроком, рівним кроку ходового гвинта, зовнішню різь з іншим кроком. Тому при повороті гайки від корекційної лінійки відбувається додаткове зміщення столу в тому чи іншому напрямку.

*Швидке відведення і підведення круга при затилуванні* здійснюється переміщенням шліфувальної бабки напрямними кочення в поперечному напрямку від змінного кулачка 16, який при обертанні через важіль 17 переміщує гвинт 18, з'єднаний зі шліфувальною бабкою. Кулачок пов'язаний кінематичним ланцюгом зі шпинделем бабки і його обертання погоджено з обертанням деталі. Рівняння кінематичного балансу ланцюга затилування має вигляд:

$$1 \text{ об. шп.} \cdot (36/2) \cdot (30/45) \cdot (i_{\text{диф}} = 1/2) \cdot (a_1/b_1) \cdot (c_1/d_1) \cdot (20/20) \cdot (35/35) \cdot (26/26) = Z,$$

де  $Z$  - число зубів затилованого інструменту.

Формула налаштування ланцюга затилування  $(a_1/b_1) \times (c_1/d_1) = Z/6$ .

Затилування регулюють зміною довжини лівого важеля 17, а також положенням важеля 15 щодо кулачка гвинтом 14. При шліфуванні конічної різі одночасно з подовжнім переміщенням столу шліфувальній бабці повідомляється безперервна подача (поперечна) від важеля 17, поворот якого здійснюється важелем 13 від лінійки 12. Урізне шліфування застосовують при нарізанні короткої різі багатонитковим шліфувальним кругом. У цьому випадку замість кулачка затилування встановлюють кулачок радіального врізання, а на вали гітари ланцюга затилування встановлюють зубчасті колеса 30/90, 30/120.

*Диференціальний рух* використовують для затилування різального інструменту зі спіральними стружковими канавками (черв'ячні фрези, мітчики та ін.) для додаткового повороту кулачка затилування при переміщенні столу з деталлю в подовжньому напрямку. Рівняння кінематичного балансу ланцюга диференціального руху має вигляд:

*Іоб.х.з. · (d/c) · (b/a) · (a<sub>2</sub>/b<sub>2</sub>) · (c<sub>2</sub>/d<sub>2</sub>) · (2/30) · (i<sub>оиф</sub> = 1/2) · (a<sub>1</sub>/b<sub>1</sub>) · (c<sub>1</sub>/d<sub>1</sub>) · (20/20) · (35/35) · (26/26) = P<sub>z</sub>/P<sub>k</sub>, об кулачка*

де P<sub>z</sub> - крок ходового гвинта; P<sub>k</sub> - крок спіралі стружкової канавки.

Формула налаштування  $(a_2/b_2) \times (c_2/d_2) = 180 \cdot P_z/P_k = 762/P_k$ .

*Привід механізму подачі пристроїв правки і компенсуючої подачі шліфувальної бабки здійснюється від електродвигуна МЗ. Рівняння кінематичного балансу:*

$$(1390) \times (18/50) \times (1/56) \times (28/30) \cdot (Z_{xp}/50) \times (19/25) \times P = S_{пм},$$

де S<sub>пм</sub> - подача механізмів правки; Z<sub>xp</sub> - число зубів храпового колеса Z=50, яке захоплює собачка.

Одночасно від гвинта з кроком 1 мм через зубчасті передачі 20/64, 64/64, 64/60 обертання передається на гайку подачі круга, тобто разом з подачею каретки правлячих пристроїв здійснюють компенсуючу подачу шліфувальної бабки. Рівняння кінематичного балансу:

$$1390 \cdot (18/50) \cdot (1/56) \cdot (28/30) \cdot (Z_{xp}/50) \cdot (19/25) \cdot (20/64) \cdot (64/64) \cdot (60/60) \cdot P = S_{кп},$$

де S<sub>кп</sub> - компенсуюча подача шліфувальної бабки.

Переміщення алмазів автоматичного правлячого пристрою здійснюється від електродвигуна М4 через змінні зубчасті колеса  $(a_3/b_3) \times (c_3/d_3)$ , черв'ячні передачі 1/45, 1/30, кулісний механізм і систему важелів, які повідомляють алмазам робочий зворотньо-гойдальний рух. Рівняння кінематичного балансу:  $1390 \times (a_3/b_3) \times (c_3/d_3) \times (1/45) \times (1/30) = n_d$ .

Верстат оснащений пристосуванням для шліфування внутрішньої різи, зубчастих рейок, різьбофрезерних гребінок, плоских плашок, тощо.

## ЛЕКЦІЯ 16. ШЛІФУВАЛЬНІ ВЕРСТАТИ З ЧПК

Застосування систем ЧПК в шліфувальних верстатах має свою специфіку, пов'язану з конструкцією приводів верстатів та особливістю різального інструменту – абразивних кругів, зношування яких набагато переважає зношування лезового інструменту. Системи ЧПК застосовуються в усіх типах шліфувальних верстатів: круглошліфувальних центрових та безцентрових, внутрішньошліфувальних, плоскошліфувальних, різьбошліфувальних, зубошліфувальних та інших. Система ЧПК забезпечує керування як

процесом шліфування, так і процесом профілювання шліфувального круга. В сучасних шліфувальних верстатах з ЧПК кількість керованих координат досягає п'яти.

В приводі обертання шліфувального круга сучасних шліфувальних верстатів з ЧПК використовуються регульовані електродвигуни: вбудовані (мотор-шпинделі) або з приводом пасовою передачею, що дає можливість працювати з постійною швидкістю різання в разі зношування круга, чи використання кругів іншого діаметра. Бабка виробу круглошліфувальних верстатів для зовнішнього та внутрішнього шліфування та ведучий круг безцентрово-шліфувальних верстатів оснащуються серводвигунами з широким діапазоном регулювання частот обертання для забезпечення необхідної кругової подачі виробу. В універсальних круглошліфувальних верстатах часто забезпечується рух заготовки за віссю  $C$ , що використовується для шліфування різі.

Переміщення каретки шліфувальної бабки за віссю  $X$ , що здійснюється напрямними кочення або антифрикційними напрямними ковзання (покриття типу Turcite В з шабруванням), забезпечується електромеханічним приводом з кульковими гвинтовими передачами, в деяких верстатах використовуються лінійні електродвигуни.

Рух стола за віссю  $Z$  забезпечується електромеханічним приводом з серводвигуном та кульковою гвинтовою передачею напрямними ковзання з антифрикційним покриттям, інколи, гідростатичними.

Універсальні круглошліфувальні верстати з ЧПК будують з револьверними головками для автоматичної заміни шліфувальних кругів, з шліфувальними головками з поворотом осі шліфувального круга за віссю  $A$ , тощо, що дає можливість використовувати такі верстати для шліфування різноманітних за формою поверхонь деталей.

### **16.1 Шліфувальний верстат з ЧПК S22 компанії STUDER**

Шліфувальний верстат S22 має широкі можливості налаштування на будь-яке циліндричне шліфування та шліфування різі з високою швидкістю (рис. 16.1). Випускається модель верстата для стандартного, швидкість шліфування до 50 м/с, та для високошвидкісного шліфування (HSG), швидкість може досягати 140 м/с.



Рисунок 16.1 – Приклади поверхонь деталей, що можуть оброблятися на верстаті S22

Основні розміри верстата, що визначають параметри оброблюваних заготовок: відстань між центрами бабки виробу і задньої бабки 650 мм; висота центрів 175 мм, максимальна маса встановленої заготовки 150 кг.

Шліфувальна головка встановлюється на хрестовій каретці. В залежності від потреби верстата можуть оснащуватися головками потрібної конфігурації: з поворотним вузлом для повороту на кут  $\pm 9^\circ$  з правим чи лівим розміщенням шліфувального круга, без поворотного вузла. В приводі шліфувального круга використовується мотор-шпиндель або регульований електродвигун з пасовою передачею, які забезпечують обертання шпинделя круга з частотою 1400 – 3200  $\text{хв}^{-1}$ , для режиму HSG частота 6000 – 9000  $\text{хв}^{-1}$ .

Для ефективного високоточного шліфування різі верстат оснащується автоматичною поворотною віссю A з кутом повороту  $\pm 15$  град. (рис. 16.2). Більші кути нахилу можуть досягатись за допомогою StuderThread завдяки компенсації помилок профілю.

Переміщення шліфувальної головки відбувається за осями X і Z, які виконані у вигляді хрестових полозків: подовжнє переміщення каретки за віссю Z і поперечне переміщення бабки за віссю X. Стіл заготовок жорстко прикріплений до станини верстата. Ця система хрестових полозків зарекомендувала себе у верстатах STUDER протягом багатьох років.



Рисунок 16.2 - Шліфувальна головка з поворотною віссю А

Заготовки можуть закріплюватись в нерухомих центрах або в патроні шпинделя, який встановлений в високоточних роликкових підшипниках. Шпиндель головки має конус MT4 або ISO50.

Обробка на верстаті передбачає операції шліфування поверхонь та різі. Шліфування різі можливе завдяки наявності керованої осі С. Стандартна вісь С з вимірювальною системою на приводному двигуні підходить для шліфування різі. Щоб забезпечити вищу точність форми, на шпинделі головки виробу (вісь С) встановлена система прямого вимірювання. Сили прискорення та шліфування поглинаються завдяки високій динамічній жорсткості осьових приводів.

Великі відстані між напрямними забезпечують стабільність та міцність конструкції поперечних полозків і шліфувальної головки.

V-подібні та плоскі напрямні для поздовжніх і поперечних полозків формуються безпосередньо в основу машини та мають антифрикційне покриття напрямних Granitan® S200.

Напрявні забезпечують високу точність у всьому діапазоні швидкості з високою вантажопідйомністю та рівнем демпфування. Завдяки міцній конструкції, що не вимагає технічного обслуговування, ці високі характеристики напрямних повністю зберігаються тривалий час. Немагнітна станина особливо придатна для використання лінійних двигунів.

Вісь X - антифрикційні напрямні з кульковою гвинтовою передачею.

Вісь Z - напрямна із запатентованою поверхневою структурою та кульковим гвинтом. Структура поверхні запобігає спливанню, а також усуває ефект стрибкоподібного руху, який спостерігається у звичайних напрямних. Лінійна вимірювальна система встановлена на напрямній, тому на неї не впливають зміни температури. Теплове розширення кулькових гвинтів компенсується прямим відліком на скляній шкалі.

Високоточні системи напрямних і динамічні осьові приводи в поєднанні з міцною конструкцією гарантують високу надійність процесу виробництва

Основа машини виготовлена з мінерального лиття Granitan® S103 (рис. 16.3). Високі демпфуючі властивості основи машини забезпечують високу якість поверхні шліфованих заготовок. Термін служби шліфувального круга також збільшується, що призводить до скорочення простоїв. Температурні коливання значною мірою компенсуються низьким коефіцієнтом теплопровідності матеріалу, що забезпечує високу точність розмірів протягом роботи.

S22 оснащений системою керування Fanuc серії 31i-A.



Рисунок 16.3– Станина верстата з мінерального лиття Granitan® S103

Шафа керування може бути розташована зліва, справа або позаду машини, відповідно до вимог клієнта. Силловий і контрольний відсіки розділені.

StuderWIN як інтерфейс користувача та програмні модулі StuderGRIND створюють стабільне середовище програмування та

сприяють ефективності машини. ПК інтегрований в ЧПК. Можливість повної інтеграції вимірювальної та сенсорної технології для моніторингу процесу, а також систем виявлення контактів і автоматичного балансування в систему керування Windows дозволяє стандартизоване програмування різних систем. Програмне забезпечення для внутрішньої системи завантаження також інтегровано в систему керування. Елементи приводу оптимально адаптовані до управління.

Концепцію машинобудування S22 доповнює програмне забезпечення для шліфування, розроблене компанією STUDER і оптимізоване у співпраці з клієнтами. Це програмне забезпечення пропонує:

- StuderPictogramming: оператор об'єднує окремі цикли шліфування разом – блок керування генерує код ISO.
- STUDER Quick-Set: програмне забезпечення для порівнювання шліфувальних кругів скорочує час переналаштування до 90 %.
- Мікрофункції: вільне програмування послідовностей процесів шліфування та правки для оптимізації процесу шліфування.
- StuderGRIND: програмне забезпечення для спеціальних застосувань, таких як шліфування форми та різи, та профілювання шліфувального круга для складних форм заготовок; програма створюється на ПК і передається безпосередньо в блок керування машиною.

## 16.2 Шліфувальний центр S242 компанії «Studer»

Тенденція об'єднання в одній машині декількох видів механічної обробки поширилася і на шліфувальні верстати, що можна прослідкувати на прикладі верстата S242 компанії «Studer», в якому поєднуються процеси зовнішнього і внутрішнього циліндричного шліфування, токарної і фрезерної обробки. Верстат доцільно використовувати для обробки загартованих заготовок малих і середніх розмірів в умовах як дрібносерійного, так і крупносерійного виробництва (рис. 16.4).

Можливість виконання твердого точіння і шліфування на даному верстаті з однієї установки забезпечує підвищення продуктивності обробки за рахунок скорочення допоміжного часу, підвищення точності обробки і якості обробленої поверхні внаслідок обробки з однієї база і здешевлення виробництва деталей.



Рисунок 16.4 – Типові деталі для обробки на верстаті

Виконання різноманітних технологічних операцій на верстаті досягається завдяки тому, що на поздовжніх полозках розміщуються дві (три) поперечні каретки (рис. 16.5), які несуть головку шліфувального круга для зовнішнього шліфування, револьверну головку на 8/12 інструментів та шліфувальну головку для внутрішнього шліфування (до 3 шпинделів).

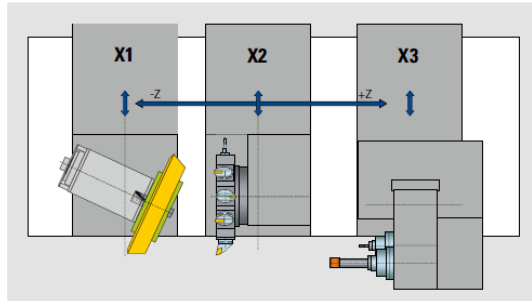
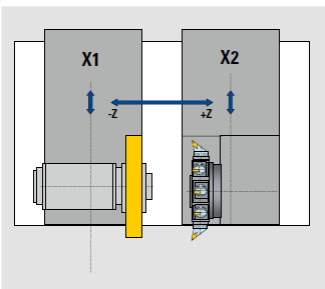


Рисунок 16.5 – Варіанти поперечних кареток на 2 і 3 інструментальних головки

### Конструктивні особливості верстата

Верстат побудований на базі станини, виготовленої з мінерального лиття Granitan® S103 похилої конструкції (рис. 16.6,а), що забезпечує зручне видалення стружки. Матеріал станини забезпечує значно кращі демпфуючі властивості в порівнянні з чавуном (рис.

16.6,б), що забезпечує високу якість обробленої поверхні та підвищує стійкість шліфувального круга. Крім того за рахунок значно меншої теплопровідності матеріалу зростає теплова інерція конструкції, що також сприяє забезпеченню високої точності і якості обробки.

Шліфувальна головка встановлена на поперечних каретці у фіксованому положенні і є неповоротною. Вона може монтуватися в положеннях показаних на рис. 16.7.

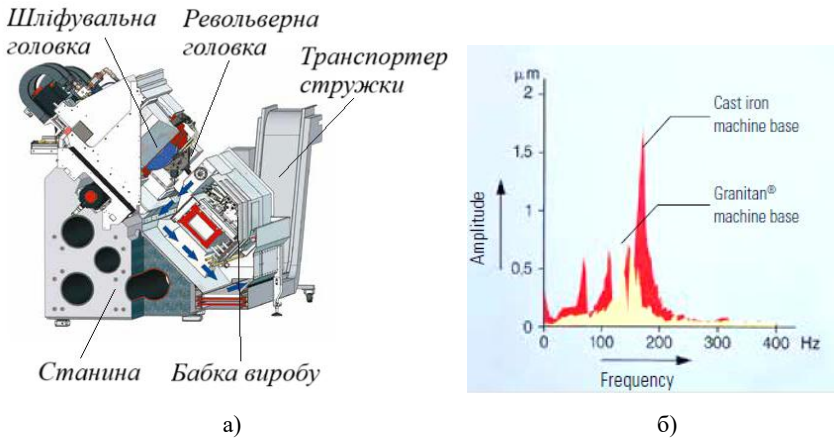


Рисунок 16.6 – Компонування верстата: а – вид збоку; б – порівняння вібрацій станини з чавуну і мінерального литва

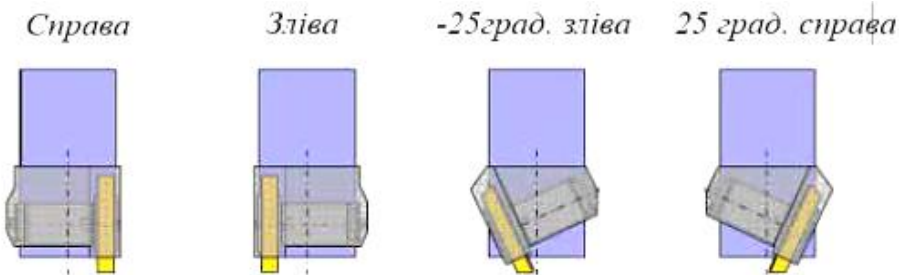


Рисунок 16.7 – Можливі положення шліфувального круга

Револьверна головка в базовому варіанті (рис. 16.8) виконується на 8 з оправками Сарто 5 чи VDI 40 або 12 позицій з оправками VDI 30 без приводу обертового інструмента, як опція може бути встановлена головка з приводом інструментів на 12 позицій з оправками VDI 30.

Шліфувальна головка для внутрішнього шліфування (рис. 16.9) оснащується трьома шпинделями, заміна яких виконується автоматично з гідравлічним затиском на зубчастий вінець. В позиціях головки встановлені мотор-шпинделі, частота обертання яких досягає до 120000 об/хв.

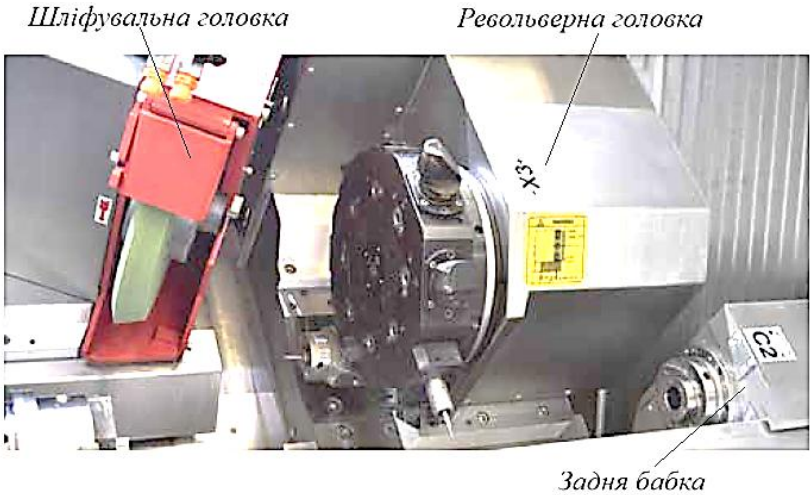


Рисунок 16.8 – Розташування вузлів верстата



Рисунок 16.9 – Головка для внутрішнього шліфування

Оброблювана заготовка встановлюється в головці виробу і задній бабці в центрах або патроні (рис. 16.10). Головка виробу оснащена мотор шпинделем потужністю 10,5 кВт з широким діапазоном частот обертання (1-7500 об/хв.), що забезпечує роботу як в режимі кругової подачі під час шліфування, так і в режимі швидкості різання для токарної обробки. Задня бабка для закріплення заготовки може оснащуватися піною або синхронним приводом. Вона може автоматично позиціонуватися за віссю W, в залежності від довжини заготовки.

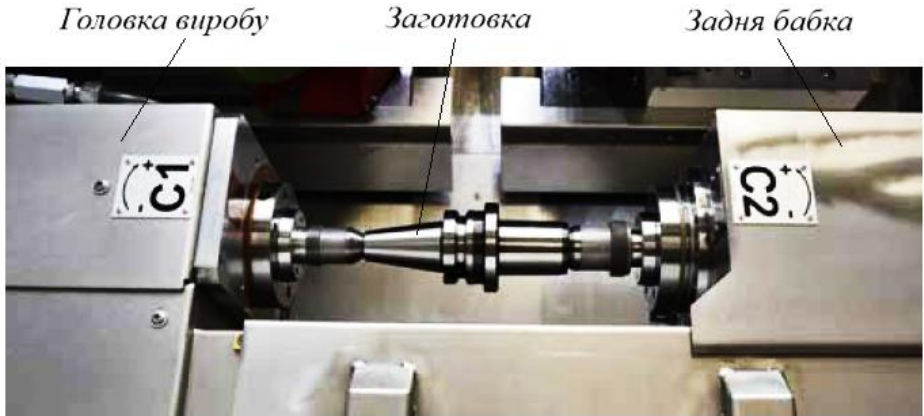


Рисунок 16.10 – Закріплення заготовка в головці виробу і задній бабці

Пристрій для правки забезпечує правку як круга для зовнішнього шліфування, так і кругів для внутрішнього шліфування.

S242 оснащений контролером Fanuc серії 3i-A з вбудованим ПК. 15-дюймовий сенсорний екран полегшує інтуїтивне керування та програмування машини.

Електрична шафа розташована позаду машини. Силовий і контрольний відсіки просторово розділені.

Важливу роль відіграє блок ручного керування, що полегшує налаштування поряд з процесом шліфування.

Інтерфейс користувача StuderWIN створює стабільне середовище програмування та сприяє ефективному використанню верстата. Можливість повної інтеграції вимірювальної та сенсорної технології для керування процесом дозволяє стандартизоване програмування різних систем. Також інтегровано програмне забезпечення додаткової

системи завантаження. Елементи приводу оптимально підігнані до системи керування.

Складна концепція машинобудування S242 доповнює програмне забезпечення для шліфування, розроблене власною компанією STUDER. Це програмне забезпечення пропонує:

- StuderPictogramming: Оператор об'єднує окремі цикли шліфування разом – система керування генерує код ISO.
- STUDER Quick-Set: Програмне забезпечення для вирівнювання шліфувального круга скорочує час переналаштування до 90 %.
- Мікрофункції: вільне програмування послідовностей процесів шліфування та правки для оптимізації процесу шліфування.
- Інтегрована інструкція з експлуатації сприяє безпечній роботі машини.
- Опції програмного забезпечення для розрахунків технології шліфування, оптимізоване правлення, а також цикли шліфування контуру, різи та форми розширюють функціональність машини.
- Програмне забезпечення для офлайн-токарної обробки CAM, розроблене для StuderWIN.

### 16.3 Універсальний шліфувальний верстат з ЧПК Schütte 325linear (рис.16.11)



Рисунок 16.11 – Загальний вигляд верстата

Основною сферою застосування верстата є виготовлення та підготовка різальних інструментів для металообробної та деревообробної промисловості. Завдяки своїй універсальності верстат також використовується для виготовлення дуже різноманітних виробничих деталей, наприклад в медичній промисловості.

На верстаті може виконуватися виготовлення і переточування різальних інструментів, попередня і фінішна обробка деталей, шліфування, фрезерування, полірування та доведення імплантатів, прецизійне шліфування деталей від черв'ячних фрез до мікроінструментів (рис. 16.12).



Рисунок 16.12 – Номенклатура оброблюваних деталей

Верстат 325linear оснащений 5 координатною системою ЧПК (рис. 16.13) та сучасною цифровою технікою керування, що гарантує просте керування та програмування верстата завдяки програмному забезпеченню SIGSpro.

Заготовка, закріплена в головці виробу, виконує лінійне переміщення разом з головкою в поздовжньому напрямку (вісь X) та обертання за круговою віссю A.

Шліфувальний шпиндель встановлений із кутом нахилу  $30^\circ$ , що забезпечує жорстку осьову конструкцію, виконує рухи за 3 осями, двома лінійними і однією круговою. Поперечне переміщення (вісь Y) здійснює каретка зі шліфувальною головкою, шліфувальна головка переміщується вертикальними напрямними (вісь Z) та здійснює поворот за віссю C (кут повороту  $225^\circ$  з роздільною здатністю  $< 0,0001^\circ$ ).

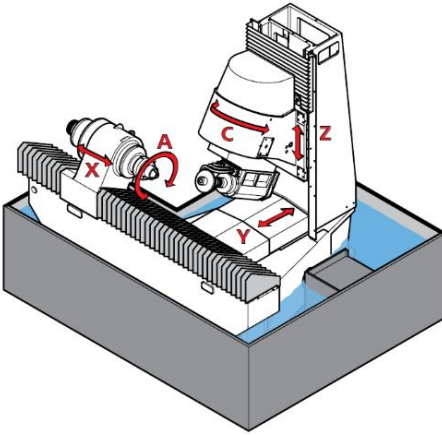


Рисунок 16.13 – Координатні осі верстата

Поворот шліфувальної головки забезпечує необхідне розташування шліфувального круга відносно заготовки (рис. 16.14)

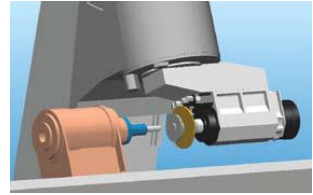
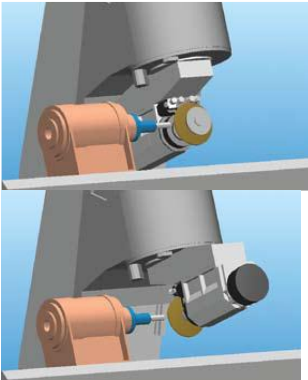


Рисунок 16.14 – Положення шліфувальної головки

Виконавчі органи верстата оснащені потужними високоточними приводами, з узгодженням відносних рухів завдяки програмному забезпеченню та техніці керування.

Усі приводи обертання виконані як цифрові прямі приводи та мають системи прямого вимірювання високої роздільної здатності. Високі потужність шліфувального шпинделя (до 15 кВт) та швидкість обертання до  $12000 \text{ хв}^{-1}$  забезпечують великі обсяги знімання

матеріалу, а також дають можливість виконувати такі операції, як шліфування з повзучою подачею.

Привод обертання заготовки (вісь А) забезпечує високий крутний момент (88 Нм), високі показники концентричності й точності індексування за віссю обертання заготовок (роздільна здатність в режимі поділу –  $0,0001^\circ$ ), що дає можливість керувати процесом обробки на таких операціях як спіральне шліфування або шліфування контурів і кутів інструменту. У той же час привод обертання заготовки може забезпечувати роботу на швидкостях до  $2500 \text{ хв}^{-1}$ . Таким чином можна виконувати операції циліндричного шліфування, шліфування циліндричних контурів або осьове контурне шліфування. Показники жорсткості і динаміки дозволяють охопити діапазон діаметрів заготовок від 0,01 мм до 200 мм.

Приводи лінійних рухів забезпечують переміщення виконавчих органів верстата з високою швидкістю (за осями Y і Z –  $24 \text{ м/хв.}$ , за віссю X –  $48 \text{ м/хв.}$ ) і високою роздільною здатністю ( $<0,1 \text{ мкм}$ ).

Для закріплення шліфувальних кругів використовуються тримачі HSK, що забезпечують високу точність повторюваності та швидку ручну або автоматичну заміну наборів шліфувальних кругів. Особливістю конструкції є те, що форсунки охолоджувальної рідини змінюються разом із набором шліфувальних кругів.

Заміна шліфувальних кругів може виконуватися автоматично з накопичувача кругів (рис. 16.15) на 5 кругів у стандартному виконанні, як опція накопичувач може мати 12 або 24 позиції.

Заготовка в головці виробу може закріплюватися за допомогою цангового затискача, автоматичних широкодіапазонних патронів або високоточних гідравлічних розширювальних патронів, залежно від необхідної точності концентричності та заданих допусків хвостовика заготовки. Проміжні втулки можуть змінюватися автоматично. Для заготовок із великим відношенням довжини до діаметра можна використовувати задню бабку та/або різні варіанти опор, які або фіксуються під точкою шліфування, або рухаються паралельно заготовці (рис. 16.16).

Пристрої для затискання, підтримки та точної обробки на верстаті зумовлюються характером заготовки.

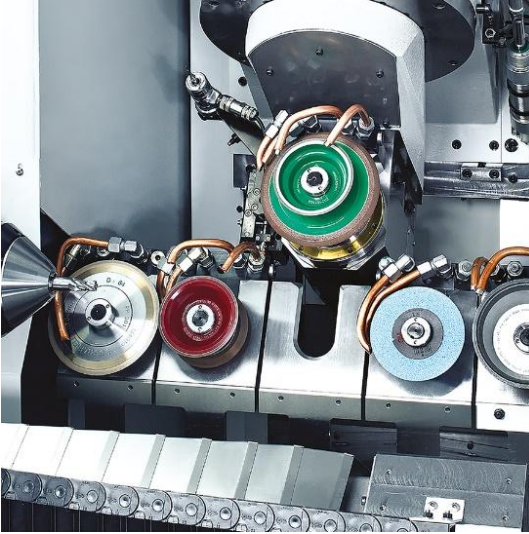


Рисунок 16.15 – Накопичувач шліфувальних кругів



а)



б)

Рисунок 16.16 – Способи закріплення заготовки: а – опора; б – нерухова задня бабка

Для надійного затискання всієї різноманітності заготовок 325lineag може бути оснащений однією або двома допоміжними каретками (рис. 16.17). Допоміжна каретка X1 може використовуватися як каретка опори або каретка задньої бабки. Опору можна використовувати у фіксованому положенні по відношенню до деталі (наприклад, для торцевої обробки) або по відношенню до шліфувального круга (наприклад, для шліфування канавок). Функція задньої бабки реалізована пневматичним допоміжним ходом.

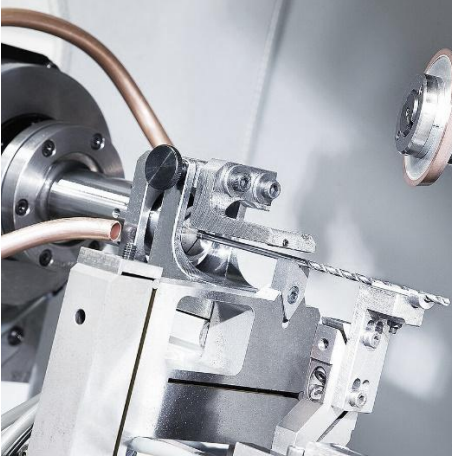


Рисунок 16.17 - Підтримка і направлення заготовки

Таким чином, на допоміжній каретці X1 можна використовувати такі затискні засоби: відкидна або фіксована опора, відкидна або фіксована задня бабка, система напрямної заготовки або будь-яка комбінація двох із зазначених вище варіантів, дві відкидні або фіксовані опори.

Допоміжна каретка X2 може бути налаштована як каретка задньої бабки або каретка піддонів. У версії каретки задньої бабки функцію затиску виконує пневматичний хід; у версії з кареткою піддону встановлений піддон заготовки переміщується від осі ЧПК під час циклу завантаження.

Прийняття, встановлені на допоміжних каретках X1 і X2, можна комбінувати одне з одним за бажанням. Для кожної операції обробки оператори можуть визначати, яке оснащення в яких положеннях використовувати.

Джерела тепла в машині, такі як потужні приводні двигуни для шліфувального шпинделя, обертання заготовки та поворотної осі, охолоджуються, щоб забезпечити постійний і рівномірний рівень температури у всій конструкції машини.

Рішення автоматизації 3251lineag дозволяють ефективно та гнучко виготовляти деталі з різними параметрами від одиничних партій до оптимізованого масового виробництва. Для цього верстат автоматизований як окремий осередок і, отже, може рентабельно

працювати в безлюдні зміни або може бути взаємопов'язаний у виробничих системах.

Залежно від заготовки та розміру партії на верстаті доступні різні системи користування: від ручного завантаження за допомогою системи відбору з палетного або ланцюгового магазину до повністю гнучкої роботизованої чарунки.

Стандартне завантаження та вивантаження заготовки здійснюється за допомогою маніпулятора з пневматичним приводом. Якщо робот оснащений подвійним захватом, обидві процедури можна виконувати безпосередньо одну за одною (рис. 16.18). Маніпулятор — це пристрій для відбору, інтегрований в простір установки, який можна поєднувати з піддонами різної ємності (макс 400 палетних позицій) або ланцюговим магазином (макс 140 заготовок).



Рисунок 16.18 - Завантаження роботом у поєднанні із зовнішнім палетним магазином

Як альтернатива системі захоплення патрон заготовки також може завантажуватися безпосередньо роботом. Роботизована чарунка забезпечує значно вищі потужності та можливості для додаткових дій, таких як реверс, вимірювання, видалення тощо.

## ЛЕКЦІЯ 18. ТОКАРНІ БАГАТОШПИНДЕЛЬНІ АВТОМАТИ З ЧПК

Сучасне машинобудівне виробництво характеризується обробкою більш складних деталей, меншими розмірами партій деталей, скороченням життєвого циклу деталей, зростанням конкуренції на ринку. Для збереження конкурентоспроможності в таких умовах виробник має використовувати обладнання, що забезпечує продуктивність, наближену до умов масового виробництва, та гнучкість, властиву серійному виробництву, для переходу на випуск інших виробів з мінімальними витратами.

Таким умовам здатні відповідати багатошпиндельні токарні верстати з ЧПК, які поєднують продуктивність традиційних багатошпиндельних автоматів з гнучкістю властивою верстатам з ЧПК.

### 18.1 Багатошпиндельні токарні верстати з ЧПК компанії Schütte

Багатошпиндельні токарні верстати з ЧПК серії „Generation SCX“, що випускає компанія Schütte, включають верстати на 8 і 6 шпинделів. Восьмишпиндельний токарний верстат ACX 36, має максимальний діаметр обробки 40 мм, в ньому послідовно поєднуються характеристики перевіреного класичного багатошпиндельного токарного автомата з точки зору швидкості, жорсткості, надійності та продуктивності.

Верстат може працювати як машина послідовної дії з проходженням деталі послідовно через усі позиції автомата (рис.18.1,а). В разі обробки більш простих деталей, верстат може використовуватися в режимі послідовно-паралельної дії з двома потоками деталей через 4 позиції автомата (рис. 18.1, б).

Цикл обробки з двома протишпинделями призначений для деталей, які потребують обробки з заднього кінця.

На верстаті можуть оброблятися деталі з круглого та профільного прутка, литих або кованих заготовок з закріпленням в цанзі або патроні.

Один із основних вузлів верстата, шпиндельний барабан (рис. 18.2), точно позиціонується у кутовому положенні у високоточному трикомпонентному замку Hirth. Це разом із термосиметричною конструкцією шпиндельної коробки забезпечує високу надійність процесу обробки в усіх положеннях шпинделя.

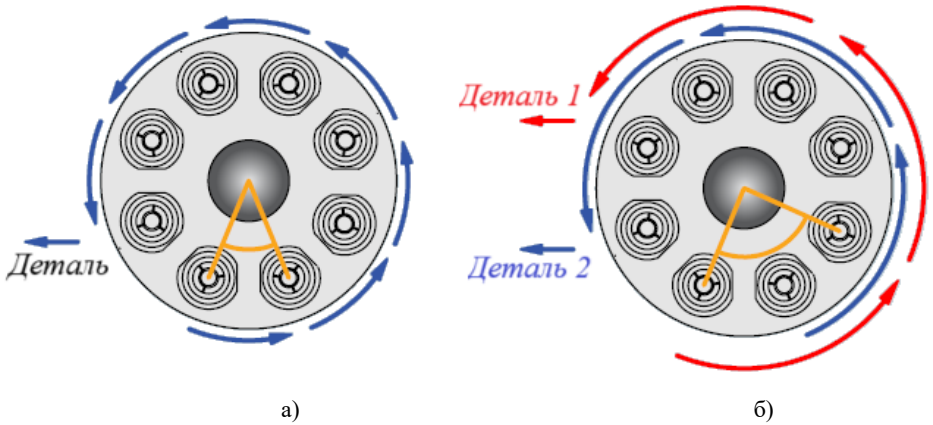


Рисунок 18.1 – Схеми роботи токарного автомата: а - 8-шпindelьна робота з 1 протишпindelем, крок перемикання  $45^\circ$  ( $1 \times 8 + 1$ ); б - подвійний 4-шпindelьний режим роботи з 2 протишпindelями крок перемикання  $90^\circ$  ( $2 \times 4 + 2$ )

Шпindelьні вузли представляють собою моторшпindelі з рідинним охолодженням статора, що дозволяє змінювати швидкість в кожному окремому шпindelі або зупиняти шпindel з високою динамікою. Це дає можливість отримання оптимальної швидкості різання на кожній позиції автомата.



Рисунок 18.2 – Шпindelьний блок автомата

Інструменти встановлюються на позиціях шпинделів в поперечних супортах (рис. 18.3, а) і на поздовжньому супорті в кожній позиції шпиндельного блока.

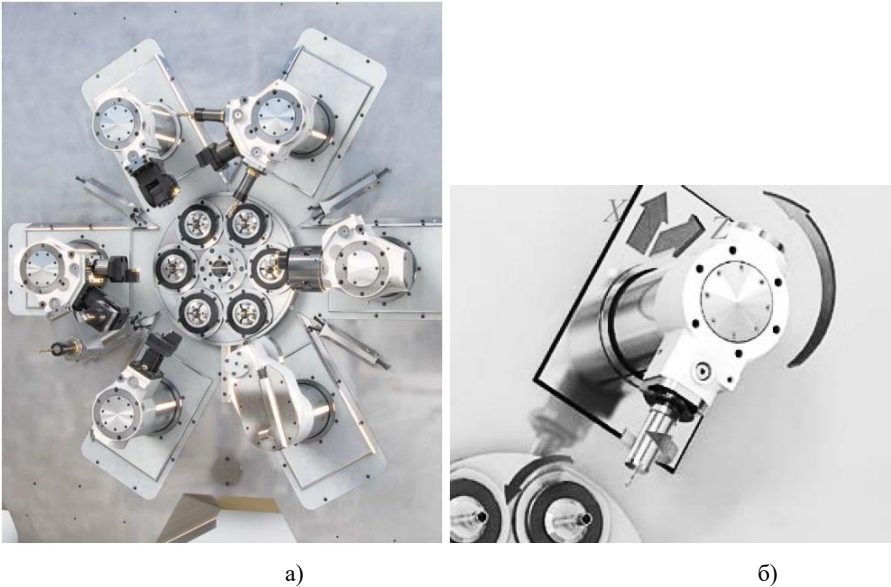


Рисунок 18.3 – Інструментальні блоки: а – поперечні; б – поперечна каретка

Стандартна версія блоків поперечної обробки виконана у вигляді поперечних кареток з двома координатними осями, що керуються від ЧПК (рис. 18.3, б). Рух за осями X (радіальне переміщення) спрямовується за допомогою роликових напрямних, а осі Z сконструйовані гідростатично як піноль. Обидві осі мають електромеханічний привід. Така конструкція кареток поєднує високу точність переміщення та значне демпфування під час обробки.

Інструментальні блоки оснащуються як нерухомим інструментом, так і обертовим приводним інструментом, а також револьверними головками до 3 позицій. Інструментальні блоки встановлюються на пінолю на зубчасту муфту Хірта (рис. 18.4), що забезпечує високу точність і надійність закріплення. До інструментальних вузлів здійснюється внутрішня подача охолоджуючої рідини. Кожен блок може бути оснащений револьверною функцією для допоміжних або різальних інструментів.

Крім того, існує можливість інтегрувати додаткову вісь Y на кожному позиції.

На верстаті SCX можливо одночасно обробляти циліндричну і торцеву поверхню заготовки в будь-якому позиції шпинделя.

Усі інструменти для поздовжньої обробки закріплюються в інструментальних блоках на поздовжньому супорті (рис. 18.5). Основні сили різання діють у прямолінійному потоці сил на жорсткий корпус пінолю, що дозволяє уникнути значних згинальних моментів на інструменті. На одному інструментальному блоці для поздовжньої обробки можна використовувати два інструменти. Вони можуть бути як стаціонарні, так і приводні інструменти



а)

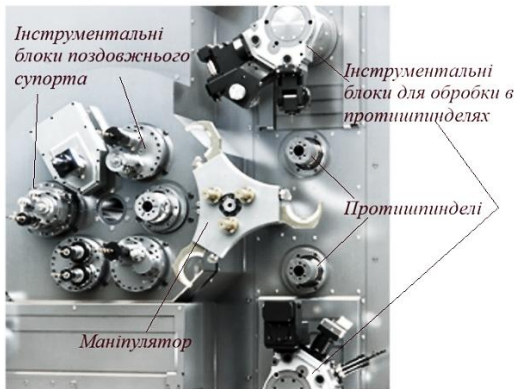


б)



в)

Рисунок 18.4 – Зубчаста муфта Хірта в пінолі (рис. а) та на інструментальних блоках для нерухомого інструмента (рис. б) і для револьверної головки (рис. в)



а)



б)

Рисунок 18.5 – Інструментальні блоки: а - поздовжнього супорта та протишпинделі; б - обробка деталі в протишпинделі

Складні заготовки, що потребують обробки з заднього кінця, можуть виготовлятися за одну операцію, без переустановлення на інші верстати.

Після обробки передньої сторони заготовка відрізується і переноситься маніпулятором на нову робочу зону в протишпindel (позиція шпindelю 8 або 9) (рис. 18.5, а). Протишпindelі оснащені електроприводами, що розвивають максимальний момент 21 Нм і максимальну частоту  $10000 \text{ хв}^{-1}$ . В протишпindelях обробка заготовок ведеться двома інструментальними блоками, які мають усі функціональні можливості блоків поперечних кареток і можуть оснащуватися револьверними головками (рис. 18.5, б). Привод інструмента забезпечує крутний момент 15 Нм за максимальної частоти обертання  $10000 \text{ хв}^{-1}$ .

## 18.2 Одношпindelний автоматичний токарний верстат Schütte ECX з ЧПК

Токарний верстат ECX поєднує в собі гнучкість і зручність керування одношпindelними верстатами з продуктивністю багатошпindelних верстатів. Його доцільно використовувати для обробки складних деталей в серійному виробництві. Як заготовка використовуються прутки. Заготовки оброблюються як з одного боку в основному шпindelі, так і з іншого в протишпindelі (рис.18.6).



Рисунок 18.6 – Зона обробки верстата.

Обробка заготовок виконується інструментом стаціонарним та осьовим обертовим, який розміщується в інструментальних блоках, поряд з основним шпинделем і протишпинделем.

Основний шпиндель оснащений чотирма інструментальними блоками (рис.18.7,а) у вигляді трипозиційних револьверних головок. Інструмент переміщується за двома координатами: в радіальному напрямку – координата  $X$  та в осьовому – координата  $Z$ . Величина переміщення за віссю  $X$  – 140 мм, за віссю  $Z$  – 150 мм, максимальна швидкість переміщення за обома осями 30 м/хв. Обертовий інструмент оснащується приводом потужністю 7,4 кВт з максимальною частотою обертання 8500 об/хв.

Протишпиндель може мати до двох інструментальних блоків (револьверних головок) (рис.18.7,б). Параметри переміщень інструментів такі самі як і на основному шпинделі. Протишпиндель виконує переміщення за координатою  $Z$  на величину 498 мм зі швидкістю 45 м/хв. Цей рух використовується для передачі заготовки після відрізування в основному шпинделі. Видалення обробленої деталі з протишпинделя здійснюється маніпулятором.

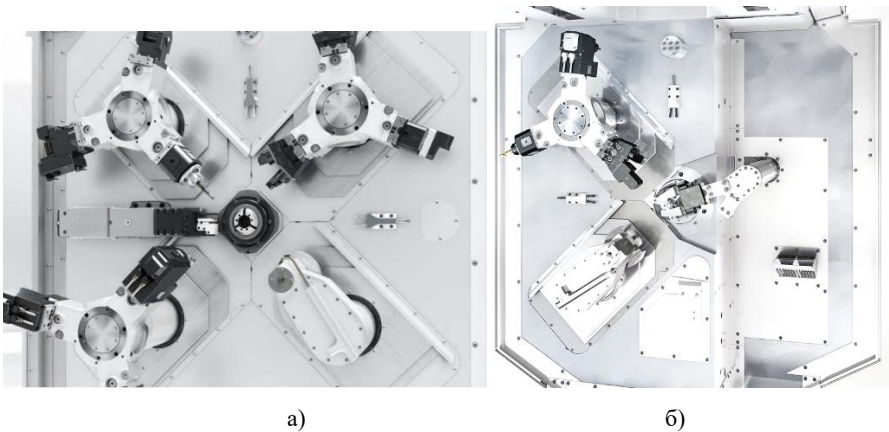


Рисунок 18.7 – Основний (а) і протишпиндель (б)

Шпинделі оснащені потужними електродвигунами, що дозволяє виконувати обробку з високою продуктивністю та можливістю регулювання частоти обертання у відповідності до вимоги обробки. Двигун основного шпинделя має потужність 17 кВт (в режимі S1) з

максимальною частотою 7000 об/хв., а двигун протишпинделя 8 кВт з максимальною частотою 10000 об/хв.

### 18.3 Багатошпindelні верстати з ЧПК INDEX MS40-8 (рис. 18.8)

Багатошпindelний автоматизований токарний верстат з ЧПК може використовуватися для обробки складних деталей з пруткового матеріалу, а також штучних заготовок з закріпленням в патроні. Приклади оброблених деталей наведені на рис. 18.9.

Багатошпindelний верстат з ЧПК INDEX оснащується обертовим інструментом, віссю С і віссю Y (опція), що дає можливість виконувати нові процеси, такі як: свердління поза центром і нарізання різі, свердління під кутом, поперечне свердління, фрезерування по контуру, зубофрезерування (нарізання зубів), точіння багатогранника.

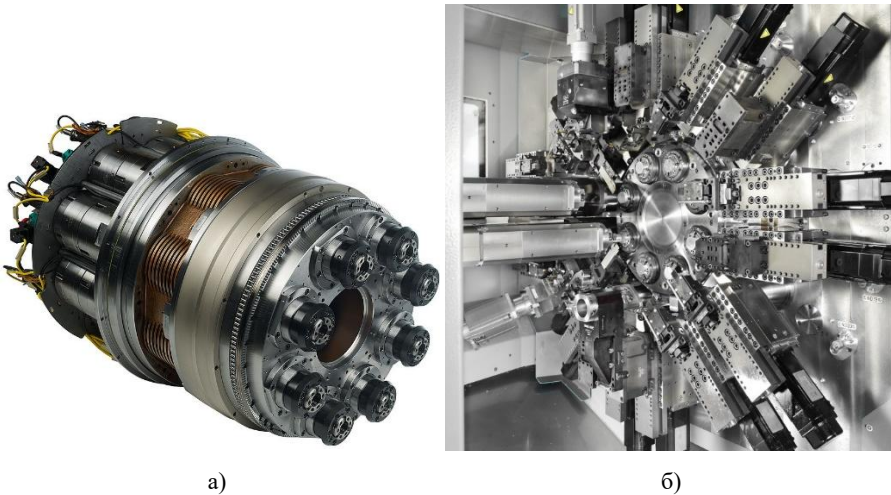


Рисунок 18.8 – Загальний вигляд верстата

Верстат має 8 шпинделів, розміщених в шпиндельному блоці (рис. 18.10, а). Шпиндельний блок фіксується трикомпонентною муфтою Хірта в положенні обробки, що забезпечує максимальну жорсткість та динамічні властивості. Всі шпиндели оснащені вбудованими синхронними електродвигунами з рідинним охолодженням, що забезпечує можливість незалежного керування частот обертання кожного шпинделя в окремих позиціях з високою динамікою. Шпиндельні вузли мають компактну конструкцію, що не вимагає технічного обслуговування.



Рисунок 18.9 – Деталі, що оброблюються на верстаті



а)

б)

Рисунок 18.10 – Шпиндельний блок верстата (а) і поперечні супорти для обробки деталей (б)

В ході обробки оптимальну швидкість, яку можна змінювати під час різання, завжди можна запрограмувати для кожного положення шпинделя та кожного різального інструменту. Це сприяє оптимальному стружкоутворенню, отриманню поверхні високої якості, скороченню часу виготовлення деталей і збільшенню терміну служби інструменту. На автоматі можна обробляти високоміцні матеріали, які досі не

піддавалися обробці на багатошпindelних верстатів. Змінювати швидкість шпинделя можна також під час індексації барабана, що сприяє зниженню додаткового часу на обробки.

Для обробки деталі з заднього кінця верстат оснащується синхронним протишпindelем, обробка в якому може виконувати до 7 інструментами. Синхронний шпindel оснащений двигуном потужністю 10 кВт з максимальною частотою обертання 8000 об/хв., він виконує переміщення за віссю Z, величина якого складає 150 мм.

В усіх позиціях шпindelного блоку верстат оснащений поперечними супортами, які оснащуються каретками руху за віссю X з напрямними ковзання (рис. 18.10, б). Максимальна кількість кареток може бути 16 на яких можуть бути встановлені 14 інструментів. Каретка для зворотного свердління з максимум 7 інструментами та 4 приводи для торцевої обробки.

Максимальне переміщення каретки за віссю X складає 85 мм; каретки за віссю Y - 42 мм; каретки за віссю Z - 120 мм.

Восьмишпindelний верстат може працювати з одинарною і подвійною індексацією (рис. 18.11)

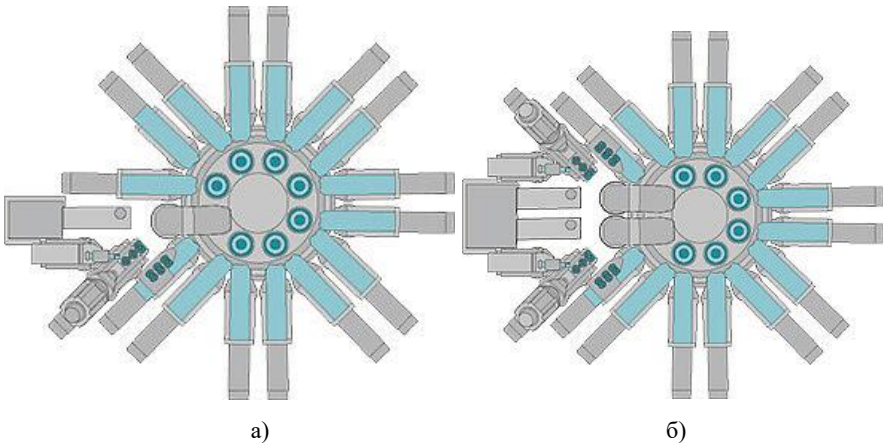


Рисунок 18.11 – Конфігурація верстата: а – одинарна індексація; б – подвійна індексація

Перший варіант використовується для обробки деталей складного профілю, а варіант з подвійною індексацією доцільний для обробки простіших деталей, що забезпечить зростання продуктивності обробки і зниження витрат на виготовлення.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Обладнання для новітніх технологій [Текст]: навчальний посібник / В.В. Солоха, Л.Й. Івченко, І.А. Бойко, В.Ю. Коцюба, В.Л. Карнаух. – Запоріжжя: ПАТ «Мотор Січ», 2020. – 210 с.

2. Кузнецов Ю. М. Верстати з ЧПУ и верстатні комплекси [Текст] / Ю. М. Кузнецов. — К. — Тернопіль: ООО «ЗМОК», 2001. – 298с.

3. Кузнецов Ю. М. Верстати-автомати та автоматичні лінії комплекси [Текст] / Ю. М. Кузнецов. — К.: ТОВ «ЗМОК» — ПП «ГНОЗИС», 2001. — 198с.

4. Шевченко О.В. Конструкторсько-технологічне забезпечення машинобудівних виробництв. Кінематичний аналіз металорізальних верстатів. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Конструювання та дизайн машин» спец. 131 Прикладна механіка / О.В. Шевченко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 253 с.

5. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Обладнання автоматизованих виробництв. Частина 1. Верстати-автомати : навчальний посібник / Р. Д. Іскович-Лотоцький, О. Д. Манжілевський – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 91 с. <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/15291>.

6. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Обладнання автоматизованих виробництв. Частина 2. Автоматичні лінії. Гнучкі виробничі системи. Транспортно-завантажувальні пристрої: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Р. Д. Іскович-Лотоцький, О. Д. Манжілевський – Вінниця: ВНТУ, 2022. – 155 с. [https://pdf.lib.vntu.edu.ua/Iskovich\\_P2\\_2022\\_155](https://pdf.lib.vntu.edu.ua/Iskovich_P2_2022_155).

7. Stephenson D. A. Metal Cutting Theory and Practice / D. A. Stephenson, J. S. Agapiou. - Third Edition. - CRC Press Taylor & Francis Group, - 2016.- chapter 3.  
[https://www.researchgate.net/publication/317081872\\_Metal\\_Cutting\\_Theory\\_And\\_Practice\\_3rd\\_by\\_D\\_A\\_Stephenson](https://www.researchgate.net/publication/317081872_Metal_Cutting_Theory_And_Practice_3rd_by_D_A_Stephenson).

### Інформаційні джерела

8. The production platform for your individual grinding solution S22 - Printed in Switzerland V2 04/2014 -20 p.·(en). [www.studer.com](http://www.studer.com)

9. The flexible Machine for grinding and turning operations S242.  
Printed in Switzerland V5 11/2015 - 16 p. (en). [www.studer.com](http://www.studer.com)
10. Schütte CNC Mehrspindeldrehautomaten – Die Generation SCX.  
– 28 p. (de). [www.schuette.de](http://www.schuette.de)