

Б.О. ПАЛЬЧЕВСЬКИЙ

# Технологічні основи гнучкого автоматизованого виробництва

---

*Затверджено  
Міністерством освіти України  
як навчальний посібник  
для студентів вузів,  
що навчаються за спеціальністю  
«Технологія машинобудування»*

ЛЬВІВ  
ВИДАВНИЦТВО «СВІТ»

1994

ББК 34.5—5я7

П14

УДК 658.52.011:621.9.02.06

У навчальному посібнику описана методика проектування технологічного процесу механічної обробки деталей машин в умовах багатоменклатурного автоматизованого виробництва, що реалізується на базі верстатів із числовим програмним керуванням. Викладені питання вибору баз, визначення послідовності обробки поверхонь за допомогою матриць передування, технологічного розмірного аналізу, складання керуючих програм для основних типів верстатів з числовим програмним керуванням, оперативного-календарного планування, проектування роботизованих технологічних комплексів тощо. Уміщена значна кількість прикладів, що полегшує використання матеріалу в курсовому та дипломному проектуванні з технології автоматизованого виробництва.

Для студентів машинобудівного фаху вузів. Може бути корисна для інженерно-технічних працівників, які займаються питаннями технології автоматизованого виробництва.

Рецензенти:

д-р техн. наук, проф. *Є. С. Пуховський*  
(Київський політехнічний інститут),  
канд. техн. наук, доц. *О. В. Дерібо*  
(Вінницький політехнічний інститут)

П 2402000000—007 БЗ-9-7-93  
225—94

ISBN 5-7773-0138-X

© Пальчевський Б. О., 1994

## ВСТУП

---

Головним завданням машинобудівного виробництва є виготовлення машини належної якості з мінімальною собівартістю та забезпеченням високої продуктивності виробничого процесу. Один із найважливіших шляхів розв'язання цієї проблеми — технічне переозброєння машинобудівного виробництва на основі його комплексної автоматизації.

Скорочення життєвого циклу виробів машинобудування характеризується зростанням обсягів продукції, що виробляється в умовах багатомоделного (одиночного, дрібносерійного, серійного) виробництва, частка якого становить 80...85% загального обсягу продукції машинобудування.

Комплексна автоматизація багатомоделного виробництва, для якого характерна часта змінюваність виробів, сприяла розвитку гнучкого автоматизованого виробництва.

Технічні засоби автоматизації гнучкого автоматизованого виробництва, які мають властивості автоматично виконувати свої функції та швидко переналагоджуватися при заміні об'єкта виробництва, утворюють гнучкі виробничі системи. Останні характеризуються використанням сучасного обладнання з широкими технологічними можливостями, оснащеного системами числового програмного керування, промисловими роботами та засобами автоматизації транспортних, нагромаджувальних, контрольних та обслуговуючих операцій. Ця зміна технічної бази машинобудівного виробництва безпосередньо впливає на його організацію і технологію.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ГНУЧКОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ЗАСОБІВ ЙОГО АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 1.1. ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Для сучасних машин характерні швидкодія та надійність, що досягаються підвищенням точності та інших характеристик деталей і вузлів. Процес виготовлення таких машин стає все складнішим і трудомістким, а потреба швидкого оновлення продукції машинобудування вимагає скорочення термінів освоєння її виробництва. Дія цих чинників дещо змінює сучасне машинобудівне виробництво, характер якого визначається мобільністю, тобто спроможністю швидко перейти на новий вид продукції, та ефективністю, що залежить від ряду виробничих показників, зокрема, від ступеня використання обладнання.

Мобільність властива також неавтоматизованому дрібносерійному та серійному виробництву, яке, однак, при відсутності авто-



Рис. 1.1. Розподіл часу завантаження верстата.

матизації стає малоефективним. Ступінь використання обладнання в дрібносерійному виробництві, наприклад, становить усього 6% річного фонду часу, у серійному — 8%, тоді як у великосерійному та масовому — 22% (рис. 1.1). Для неавтоматизованого



виробництва характерний також тривалий виробничий цикл, оскільки лише 5% загального часу перебування деталі в цеху припадає на її обробку на верстаті, решта витрачається на міжопераційне очікування.

Автоматизацію дрібносерійного та серійного виробництва не можна здійснювати тими ж методами, що й масового. В умовах масового виробництва металообробку розділяють на прості операції, кожна з яких виконується швидко та простими технічними засобами. Однак при цьому ускладнюється автоматизація завантаження виробів на кожній робочій позиції, контролю якості їхньої обробки та міжопераційного транспортування. Можна вважати, що складність автоматизації зростає пропорційно до ступеня дроблення обробки.

У зв'язку з цим при автоматизації дрібносерійного та серійного виробництва широко застосовують концентрацію операцій, що дає змогу підвищити якість виробів, скоротити час їхньої обробки шляхом зменшення кількості допоміжних операцій, поліпшити умови керування виробництвом. Технічною базою підвищення концентрації обробки є обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК), що забезпечує автоматичне переміщення робочих органів верстата по складних траєкторіях, застосування великої кількості автоматично замінюваних інструментів та можливість швидкої заміни керуючих програм.

Нові технологічні можливості механічної обробки на основі використання верстатів з ЧПК безпосередньо впливають на вимоги до конструкції виробу і технології його виготовлення. При розчленуванні вузла на деталі замість принципу «деталі прості, їх кількість у виробі несуттєва» доцільно використовувати принцип «складність деталей несуттєва», їх кількість у виробі мінімальна». У цьому випадку повніше використовуються технологічні можливості верстатів з ЧПК, знижується як вартість механічної обробки за рахунок зменшення витрат часу на допоміжні та обслуговуючі операції, так і вартість наступного складання завдяки точнішому взаємному розташуванню поверхонь у складних деталях та зменшенню загальної кількості складальних одиниць.

Інша важлива перевага обладнання з ЧПК — нескладність переналагодження — забезпечує мобільність виробництва, що сприяє підвищенню ступеня використання обладнання та скороченню термінів освоєння нових виробів.

Проблеми автоматизації багатомономенклатурного виробництва вирішує гнучке автоматизоване виробництво (ГАВ). Однією з основних характеристик ГАВ є гнучкість. Під гнучкістю виробничої системи розуміють її властивість адаптуватися до виготовлення виробів довільної номенклатури з певними обмеженнями їхніх характеристик.

Гнучкість визначається:

1) універсальністю, що характеризує потенційні можливості адаптації виробничої системи, тобто її технологічні можливості (для системи, що випускає стабільну номенклатуру, універсальність визначається як кількість типорозмірів виробів, що їх можна виготовити);

2) мобільністю, що характеризує час адаптації виробничої системи при переході на виготовлення виробу іншого типорозміру.

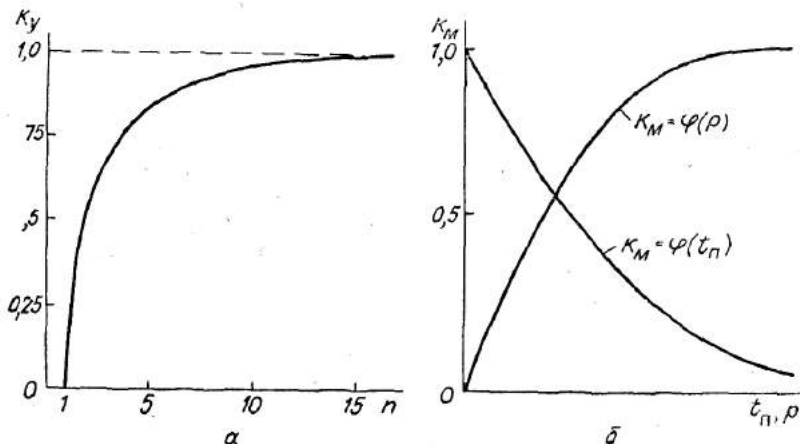


Рис. 1.2. Залежності коефіцієнта універсальності виробничої системи від кількості типорозмірів оброблюваних деталей (а) та коефіцієнта мобільності від тривалості переналадження та обсягу виробничої партії (б).

Кількісну характеристику гнучкості виробничої системи обчислюють за допомогою виразу

$$G = K_y K_M,$$

де  $K_y$  — коефіцієнт універсальності виробничої системи;  $K_M$  — коефіцієнт її мобільності.

Коефіцієнт універсальності  $K_y$  залежить від кількості різних функціональних станів гнучкої виробничої системи (ГВС), кожен з яких відповідає працездатному стану для обробки одного з типорозмірів деталей, закріплених за системою. Враховуючи, що граничні значення  $K_y$  дорівнюють 0 і 1 при коливанні кількості типорозмірів деталей від 1 до  $\infty$ , отримуємо формулу для визначення коефіцієнта універсальності:

$$K = 1 - \frac{1}{n},$$

де  $n$  — кількість типорозмірів деталей, що обробляються на ГВС (рис. 1.2, а).

Універсальність виробничої системи залежить від універсальності кожного функціонально самостійного її елемента та характеру взаємодії між цими елементами. Наприклад, роботизований технологічний комплекс для токарної обробки деталей включає такі функціонально самостійні елементи: верстат з ЧПК, затискний пристрій верстата, завантажувальний промисловий робот (ПР) із захватом та магазин-нагромаджувач деталей. Можна вважати, що верстат з ЧПК має достатню кількість технологічних рухів та широкий діапазон регулювання швидкостей і подач, щоб обробляти велику номенклатуру виробів. Кожен з інших функціонально самостійних елементів відповідно зменшує універсальність виробничої системи. Тільки певні деталі можна закріплювати одним затискним пристроєм, деякі поверхні можна обробляти тільки спеціальним інструментом, деякі деталі не можна вставляти в магазин-нагромаджувач або вони не взаємодіють із захватом ПР.

Таким чином, чим більше функціонально самостійних елементів містить виробнича система, тим нижча її універсальність. Універсальність виробничої системи, що складається з  $M$  функціонально самостійних елементів, які послідовно взаємодіють з оброблюваною деталлю, можна визначати з формули

$$K_y = \prod_{j=1}^M K_{y_j},$$

де  $K_{y_j}$  — коефіцієнт універсальності  $j$ -го елемента виробничої системи.

Коефіцієнт мобільності характеризує витрати часу на адаптацію верстатної системи до обробки нового виробу. Його обчислюють з виразу

$$K_m = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n T_{pi} / \sum_{i=1}^n t_i P_i},$$

де  $T_{pi}$  — час переналагодження верстатної системи для обробки деталі  $i$ -го типорозміру;  $t_i$  — час обробки деталі  $i$ -го типорозміру;  $P_i$  — величина партії запуску деталі  $i$ -го типорозміру;  $n$  — кількість типорозмірів деталей, що обробляються верстатною системою.

Для підвищення коефіцієнта мобільності потрібно забезпечити швидке переналагодження всіх основних і допоміжних пристроїв верстатної системи, що взаємодіють із деталлю. Крім цього, як бачимо з аналізу виразу для  $K_m$ , мобільність верстатної системи зростає при збільшенні величини партії запуску деталей (див. рис. 1.2, б).

Коефіцієнт гнучкості верстатної системи

$$G = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n T_{ni} / \sum_{i=1}^n t_i P_i}$$

Надання автоматизованому машинобудівному виробництву гнучкості поліпшило його ефективність у таких основних напрямках.

1. Скорочення часу освоєння нового виробу.

2. Підвищення якості виробів, що забезпечується більшою точністю та шорсткістю верстатів з ЧПК, високою концентрацією обробки на кожному верстаті, та усунення впливу суб'єктивного чинника на процес обробки. Підвищення якості деталей спрощує та здешевлює автоматичне складання виробів. На IV Міжнародній конференції з автоматизації виробництва (травень 1987 р., м. Бірмінгем, Англія) було зауважено, що на сучасному етапі розвитку автоматизації виробництва головним завданням є поліпшення якості продукції та скорочення часу освоєння нового виробу.

3. Підвищення продуктивності, що при гнучкій автоматизації досягають не так інтенсифікацією режимів обробки, як шляхом використання резервів часу. Справді, в автоматизованих гнучких верстатних системах застосовують одноінструментальну обробку з режимами різання, подібними до режимів традиційного виробництва. Отже, тільки раціональне використання резервів часу дає змогу значно підвищити завантаження верстата. Найперше відчутно скорочується час виконання допоміжних і контрольних операцій, оскільки концентрація обробки приводить до вкорочення технологічних маршрутів. Крім цього, зменшуються простой верстата, зумовлені технічними (відмова обладнання та інструментів) й організаційними (відсутність персоналу, матеріалів, інструментів, оснастки, енергії тощо) причинами та потребою переналагодження обладнання. Верстат також простоє у вихідні та святкові дні, під час третьої зміни. Інша організація роботи верстата з ЧПК, наприклад, функціонування в складі ГВС, дає змогу використовувати його протягом 6 год у третій зміні без обслуговування, що становить 14% фонду часу (рис. 1.3). Верстат може працювати під час обідніх перерв (3% фонду часу), можна поліпшити його постачання інструментами, заготовками, оснасткою (4%). Усе це дає змогу підвищити, згідно з даними іноземних авторів, час роботи верстата до 48% календарного фонду часу.

4. Зниження собівартості продукції, що досягають за рахунок дешевого обслуговування ПР порівняно з оплатою заміненних ним робітників та зменшення витрат на зберігання міжопераційних

запасів деталей. За даними японських авторів, один ПР коштує 10 млн ієн, що дорівнює заробітній платі робітника за 5 років при його роботі по 8 год на день. Зважаючи на те, що ПР може працювати більше 8 год на добу, а строк його служби перевищує 5 років, то очевидно, що його застосування знижує собівартість продукції. Ще одним джерелом зниження собівартості продукції є зменшення обсягу незавершеного виробництва на 30...60%, ско-

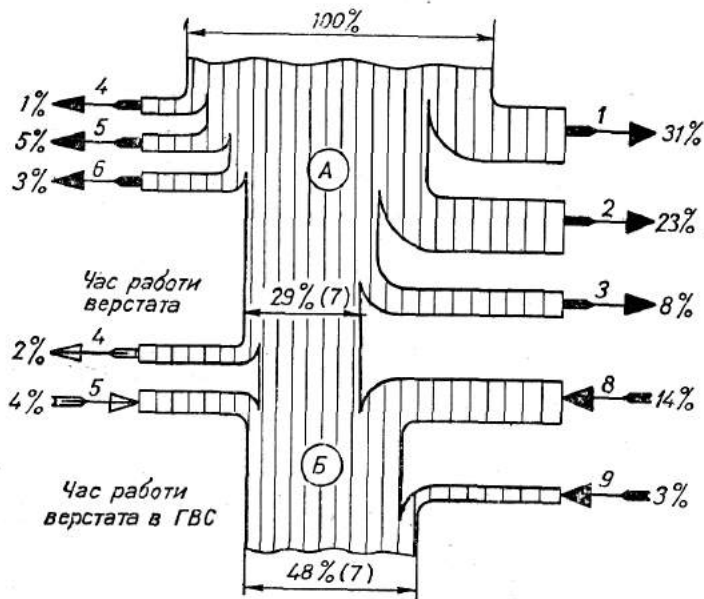


Рис. 1.3. Баланс часу верстата з ЧПК, що працює окремо (А) та в складі ГВС (Б):

1 — вихідні та святкові дні; 2 — третя зміна; 3 — відсутність матеріалів, інструменту тощо; 4 — відмови обладнання; 5 — заміна інструменту; 6 — переналагодження; 7 — безперервна робота верстата; 8 — робота без персоналу протягом 6 год у третю зміну; 9 — робота під час обідньої перерви.

рочення міжопераційних запасів матеріалів та комплектувальних виробів. Якщо в традиційному серійному виробництві деталь, яка є в цеху, тільки 5% часу перебуває на верстатах, із яких лише 30% часу її обробляють, то в умовах ГВБ деталь перебуває на верстатах 75% часу, із яких 60% часу витрачається на її обробку.

5. Зменшення кількості працюючих, що досягають використанням автоматичних верстатних систем, підвищенням автономності їх функціонування, застосуванням допоміжних автоматичних систем для забезпечення функціонування основного технологічного обладнання, впровадженням у виробництво систем автоматизації технологічної підготовки виробництва.

## 1.2. ГНУЧКІ ВИРОБНИЧІ СИСТЕМИ

*Технічні засоби ГАВ, об'єднані загальним виробничим призначенням, утворюють гнучкі виробничі системи (ГВС). Їх створюють у всіх основних галузях промисловості, передусім у машинобудівному виробництві як найбільш динамічному. Із діючих у світі ГВС більше 50% належить до металообробки різанням. Перехід від дільниць універсальних верстатів до ГВС механообробки дає змогу підвищити якість продукції, збільшити продуктивність праці у дрібносерійному та серійному виробництві, поліпшити завантаженість технологічного обладнання, зменшити виробничу площу та кількість обслуговуючого персоналу, знизити обсяг незавершеного виробництва.*

*Згідно з ГОСТ 26228—85 гнучка виробнича система — сукупність по-різному об'єданого обладнання з ЧПК, роботизованих технологічних комплексів (РТК), гнучких виробничих модулів (ГВМ), окремих одиниць технологічного обладнання та системи забезпечення їхнього функціонування в автоматичному режимі протягом заданого проміжку часу, якій властиве автоматизоване переналагодження при виготовленні виробів довільної номенклатури у визначених межах значень їхніх характеристик.*

До функцій ГВС належать: планування, облік, диспетчеризація та контроль ходу виробництва; забезпечення технологічного обладнання заготовками, інструментами та оснасткою; приймання, зберігання та використання керуючих програм; автоматичне керування всіма технічними засобами; контроль якості обробки; діагностування стану інструментів та обладнання; видалення відходів виробництва; технічне обслуговування, ремонт та очистка технологічного обладнання. Залежно від того, які з перелічених функцій виконують автоматизовані засоби, змінюється структура ГВС. Обладнання ГВС поділяють на основне, що утворює технологічну підсистему, та обслуговуюче, що входить у систему забезпечення його функціонування.

Технологічна підсистема ГВС може складатися з верстатів із ЧПК, РТК, ГВМ та окремих одиниць технологічного обладнання для забезпечення завершеності обробки виробу. Вона може містити неавтоматизоване обладнання, наприклад, верстати для виконання фінішних операцій, обладнання для термічної обробки, фрезерні та фрезерно-центрувальні верстати для підготовки технологічних баз тощо.

*Система забезпечення функціонування ГВС — сукупність взаємопов'язаних автоматизованих систем, що забезпечують проектування виробів, технологічну підготовку їхнього виготовлення, керування ГВС за допомогою ЕОМ та автоматичне переміщення предметів виробництва, оснастки й інструментів. Загалом вона*



включає автоматизовану транспортно-складську систему (АТСС); автоматизовану систему інструментального обслуговування (АСІО), систему автоматизованого контролю (САК), автоматизовану систему видалення відходів (АСВВ), автоматизовану систему керування технологічними процесами (АСКТП), автоматизовану систему наукових досліджень (АСНД), автоматизовану систему технологічної підготовки виробництва (АСТПВ) тощо.

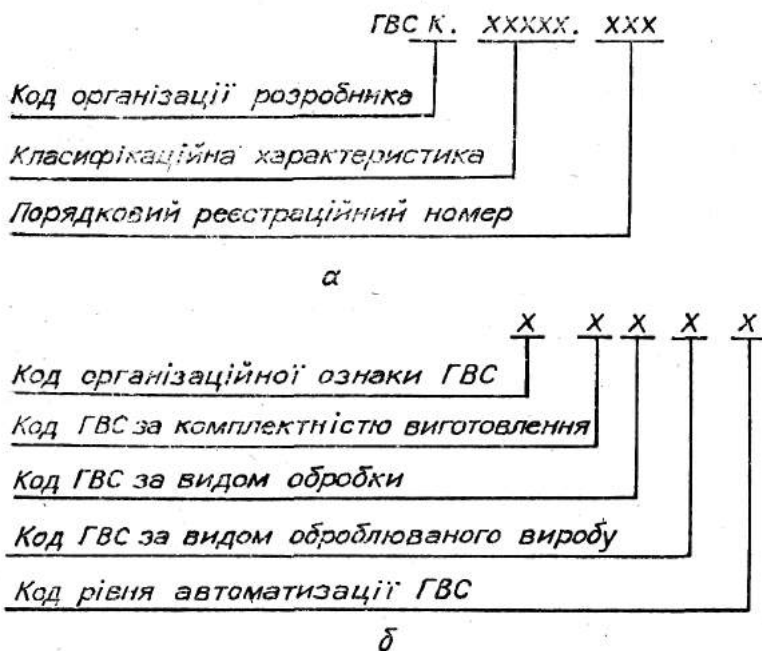


Рис. 1.4. Структура позначення (а) та класифікаційного шифру (б) ГВС.

ГВС класифікують за такими ознаками (рис. 1.4): організаційною; комплектною виготовлення виробу; видом обробки; різном видом оброблюваних виробів; рівнем автоматизації.

Згідно з організаційною ознакою розрізняють (ГОСТ 26228—85) три види ГВС: гнучку автоматизовану лінію (ГАЛ); гнучку автоматизовану дільницю (ГАД); гнучкий автоматизований цех (ГАЦ).

Гнучка автоматизована лінія — ГВС, що складається з ГВМ, РТК та іншого технологічного обладнання, розташованого відповідно до прийнятої послідовності технологічних операцій уздовж основного транспортного шляху (рис. 1.5, а). Гнучкість ГАЛ залежить від можливості обробити на кожному робочому місці будь-яку деталь із заданої номенклатури.

Гнучка автоматизована дільниця — це ГВС, в якій передбачена можливість зміни послідовності використання технологічного обладнання (див. рис. 1.5, б). Гнучкість такої виробничої системи вища, ніж у попередньої, оскільки вона дає змогу застосувати для кожного виду виробу індивідуальний технологічний маршрут.

Гнучкий автоматизований цех — це ГВС, що об'єднує ГАЛ, ГАД та окремі одиниці технологічного обладнання, потрібні для виготовлення виробів заданої номенклатури.

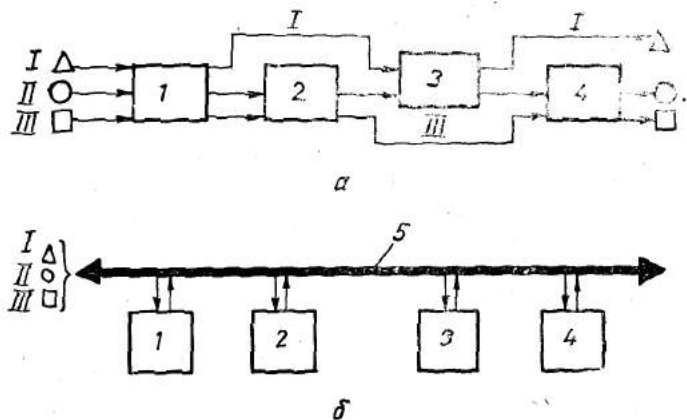


Рис. 1.5. Схема транспортних зв'язків у ГАЛ (а) та ГАД (б):

1—4 — технологічне обладнання; 5 — основний транспортний шлях; I, II, III — деталі різних типорозмірів.

Згідно з ГОСТ 26962—86 ці організаційні види ГВС кодуються таким чином: 1 — ГАЛ; 2 — ГАД; 3 — ГАЦ; 4—9 — резерв.

Вибір форми організації ГВС залежить від цілого ряду чинників, основними з яких є номенклатура виробів та обсяг випуску. ГАЛ використовують при виробництві деталей 20—30 найменувань, а ГАД — декількох сотень найменувань (рис. 1.6).

За комплексністю виготовлення виробів розрізняють: операційні, предметні, комплексні та вузлові ГВС.

Операційні ГВС виконують однорідні технологічні операції, наприклад, ГВС обробки тиском, ГВС ливарних робіт, ГВС складання тощо.

Предметна ГВС виконує повну обробку певної групи деталей, наприклад, ГВС обробки валів, ГВС виготовлення корпусів тощо.

Продуктом комплексної ГВС є комплект деталей певних типорозмірів.

Вузлова ГВС забезпечує виробництво вузлів певних типорозмірів. Для отримання готового вузла комплекти виготовлених деталей доповнюють зі складу потрібними комплектувальними ви-



робами. Прикладами вузлових ГВС є система виробництва пневмоциліндрів декількох типорозмірів, система виробництва запірних вентилів тощо.

Ці види ГВС кодуються таким чином: 1 — операційна ГВС; 2 — предметна ГВС; 3 — комплексна ГВС; 4 — вузлова ГВС; 5—9 — резерв.

Кодування видів обробки, видів оброблюваних виробів та рівня автоматизації наведені в табл. 1.1—1.3.

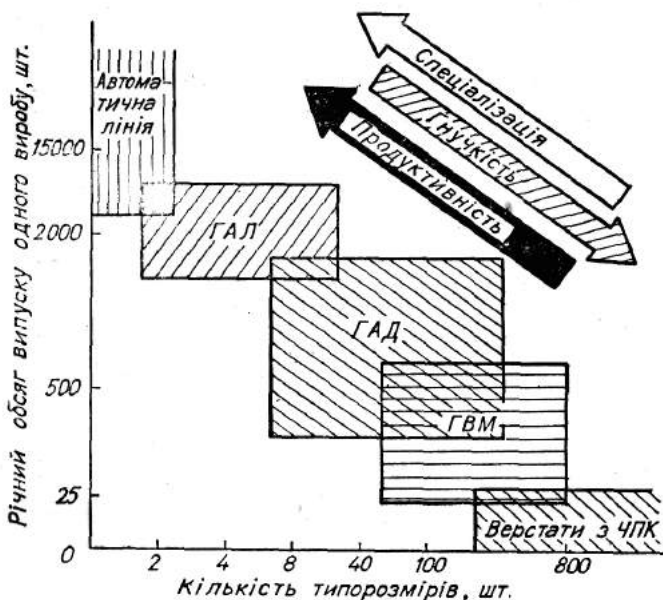


Рис. 1.6. Залежність організаційної форми ГВС від кількості типорозмірів та річного обсягу випуску деталей.

Таблиця 1.1

Кодування видів обробки

Вид обробки	Код
Лиття	1
Обробка тиском	2
Зварювання та паяння	3
Обробка різанням	4
Термообробка	5
Покривання	6
Складання	7
Контроль та випробування	8
Багатоцільова та інша обробка	9

Таблиця 1.2

Кодування видів оброблюваних виробів

Вид оброблюваного виробу	Код
Корпусні деталі	1
Плоскі деталі	2
Деталі, що є тілами обертання	3
Інші деталі	4
Універсальні деталі	5
Складні одиниці	6
Резерв	7—9

Таким чином, кожен ГВС можна описати п'ятизначним кодом. Наприклад, шифром ГВС.К.22411.001 позначають ГАД обробки різанням корпусних деталей.

Таблиця 1.3

**Кодування рівнів автоматизації ГВС**

Перелік функцій ГВС	Код		
	1	2	3
Нагромадження матеріалів, заготовок, оснастки, інструменту на складі	+	+	-
Транспортування матеріалів, заготовок, оснастки, інструменту між складом та робочим місцем	+	+	+
Керування технологічним процесом	+	+	+
Аварійний захист	+	+	+
Заміна керуючих програм	+	+	+
Завантаження-розвантаження матеріалів, заготовок, виробів	-	+	+
Подавання допоміжних матеріалів до робочих місць	-	+	+
Видалення відходів	-	+	+
Встановлення та затискання заготовок у супутниках	-	-	(+)
Контроль якості виготовлення	-	-	+
Інші функції	-	-	(+)

Примітка. + автоматичне виконання; (+) напівавтоматичне виконання; - виконання вручну.

**1.3. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ З ЧПК**

Придатність технологічного обладнання для роботи в складі ГВС визначається його здатністю автономно функціонувати в автоматичному режимі та гнучкістю, тобто властивістю швидко переналагоджуватися на інший вид об'єкта виробництва. Найповніше ці вимоги задовольняються обладнанням із ЧПК. Верстати з ЧПК мають значну шорсткість, що дає змогу суміщати чистову та чорнову обробку; широку універсальність, якої досягають застосуванням інструментальних магазинів; високу мобільність, що забезпечується швидкою заміною керуючої програми. На основі верстатів із ЧПК створюють автоматичні верстатні системи, що, крім верстата з ЧПК, включають пристрої для нагромадження заготовок та інструментів, заміни інструментів, завантаження та розвантаження заготовок, контролю оброблюваних деталей, діагностування стану обладнання та інструменту і т. ін.

Для того щоб обробити деталь на верстаті, керуюча програма повинна містити: інформацію про зміст циклу обробки (послідовність дій робочих органів верстата); інформацію про режими об-

робки, тобто про швидкості переміщень робочих органів; геометричну інформацію про величини переміщень робочих органів.

Система циклового програмного керування (ЦПК) дає змогу задати частину інформації (зміст циклу та режими обробки) в числовому вигляді на пульті за допомогою клавіатури або штекерів, а іншу частину (геометрична інформація довжин переміщень робочих органів) — за допомогою шляхових упорів, розміщених на спеціальних лінійках або барабанах. Переналагодження верстатів з ЦПК вимагає багато часу, є трудомістким, тому такі верстати мають низьку мобільність.

Система ЧПК дає змогу програмувати зміст робочого циклу, режими обробки та величини переміщень робочих органів за допомогою букв та цифр, нанесених на програмоносії.

Системи ЧПК класифікують за такими ознаками:

- функціональна спроможність;
- вид керування рухом робочих органів;
- вид потоку інформації в системі ЧПК.

За функціональними можливостями розрізняють чотири системи ЧПК.

Система *NC (Numerical Control)* забезпечує обробку за програмою, заданою в алфавітно-цифровій формі на перфострічці, наприклад пристрій ЧПК типу H221M токарного верстата 16K20Ф3С5.

Система *HNC (Hand Numerical Control)* дає змогу задавати програму з пульта. Її різновидом є система *TNC (Total Numerical Control)*, яка містить зовнішню пам'ять для зберігання керуючих програм.

У технічній літературі системи цього типу часто називають оперативними системами керування. Оперативна система керування типу «Електроніка-НЦ31» встановлена на токарних верстатах моделей 16K20Т1.02, 16Б16Т1 тощо.

Автономна система *CNC (Computer Numerical Control)* базується на застосуванні міні- або мікроЕОМ, наприклад, пристрій ЧПК 2С42 для керування багатопільовим верстатом моделі 2254ВМФ4.

Для колективного керування групою верстатів за допомогою ЕОМ застосовують систему *DNC (Direct Numerical Control)*.

За видом керування рухом робочих органів розрізняють позиційну, контурну та комбіновану системи ЧПК. Позиційна система ЧПК забезпечує встановлення робочого органу в позицію, що задана керуючою програмою, але не забезпечує виконання цього переміщення по певній траєкторії. Її застосовують для керування свердлильними та розточувальними верстатами, ПР, тобто там, де швидкість і траєкторія переміщення робочих органів не пов'язані з точністю обробки.

За допомогою контурної системи ЧПК здійснюється переміщення робочого органу верстата по заданій траєкторії із заданою контурною швидкістю. При цьому забезпечується безперервне керування інструментом по кожній із координат послідовно або одночасно по декількох координатах. Ця система використовується для керування токарними та фрезерними верстатами, дає змогу обробляти криволінійні контурні поверхні деталей.

Комбінована система ЧПК є комбінацією контурної та пози-

Таблиця 1.4

Позначення виду системи керування верстатом

Код системи керування	Ц	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4
Вид керування	Циклова	Числова з індикацією переміщень робочих органів	Позиційна система ЧПК	Контурна система ЧПК	Комбінована система ЧПК
Модель верстата	1А341Ц	2455АФ1	2Р135Ф2	16К20Ф3	ІР500МФ4

ційної систем. Її застосовують, як правило, для керування багатоцільовими верстатами.

Вид системи керування вказують у позначеннях моделей верстатів із ЧПК (табл. 1.4).

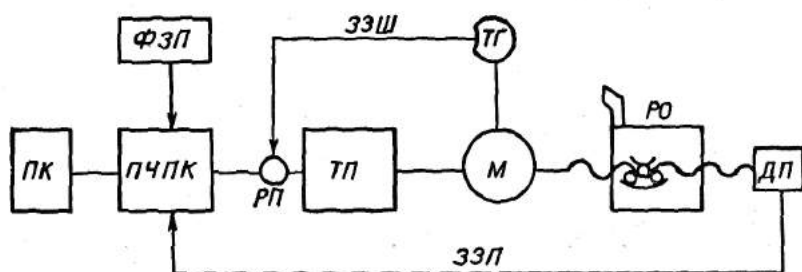


Рис. 1.7. Схема керування переміщенням різця на токарному верстаті з оперативною системою ЧПК:

ТП — тиристорний перетворювач; ФЗП — фотозчитувальний пристрій; М — електродвигун; ЗЗШ — зворотний зв'язок за швидкістю; ЗЗП — зворотний зв'язок за положенням; ПК — пульт керування; ТГ — тахогенератор; РО — супорт; ДП — датчик положення; РП — регулюючий пристрій; ПЧПК — пристрій ЧПК.

За видом потоку інформації системи ЧПК поділяють на розімкнені, замкнені та самонастроювальні.

На рис. 1.7 зображена схема керування переміщення різця на токарному верстаті 16К20Т1.02 з контурною замкненою системою керування, що має два зворотних зв'язки: за положенням (ЗЗП) та за швидкістю (ЗЗШ).

#### 1.4. ГНУЧКІ ВИРОБНИЧІ МОДУЛІ, ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

*Гнучкий виробничий модуль (ГВМ) — одиниця технологічного обладнання для виробництва виробів довільної номенклатури у встановлених межах значень їхніх характеристик, з програмним керуванням, яка автономно функціонує та автоматично виконує функції, пов'язані з їх виготовленням, може бути вмонтована в гнучку виробничу систему.* Для забезпечення автономності роботи верстатів із ЧПК, які є основою ГВМ, їх оснащують допоміжними пристроями. ГВМ для обробки корпусних деталей на основі багатоцільового верстата з ЧПК, наприклад, включає нагромаджувач заготовок на плитах-супутниках, пристрій для заміни супутників, магазин інструментів та автооператор для їх автоматичної заміни. Комплект цих допоміжних пристроїв дає змогу ГВМ автономно функціонувати протягом декількох годин.

Багатоцільові верстати з ЧПК, обладнані магазином інструментів та пристроєм для їх автоматичної заміни, виконують фрезерні, токарні, розточувальні, свердлильні та інші види робіт. За призначенням багатоцільові верстати розділяють на дві групи: 1) для обробки корпусних та плоских деталей; 2) для обробки деталей, що є тілами обертання.

Багатоцільові верстати, що застосовують для обробки корпусних і плоских деталей, поділяють залежно від компоновки на: 1) горизонтальні, в яких вісь обертання шпинделя розташована горизонтально (верстати моделей ИР500МФ4, ИР320ПМФ4, 2204ВМФ4); 2) вертикальні з вертикальною віссю обертання шпинделя (верстат моделі 2254ВМФ4); 3) поздовжньо-оброблювані, які мають декілька шпинделів (верстат моделі 6М610МФ4).

Багатоцільові верстати забезпечують реалізацію на одному робочому місці різноманітних видів обробки (токарна, розточувальна, фрезерна, свердлильна, різенарізна тощо) завдяки значній місткості інструментальних магазинів (до 120 інструментів). Висока шорсткість цих верстатів дає змогу поєднувати чорнову та чистову обробку, досягаючи точності відповідно до 6—7 квалітетів. Багатоцільові верстати оснащують комбінованою системою ЧПК. Вони мають безступінчасте регулювання частот обертання шпинделя та робочих подач.

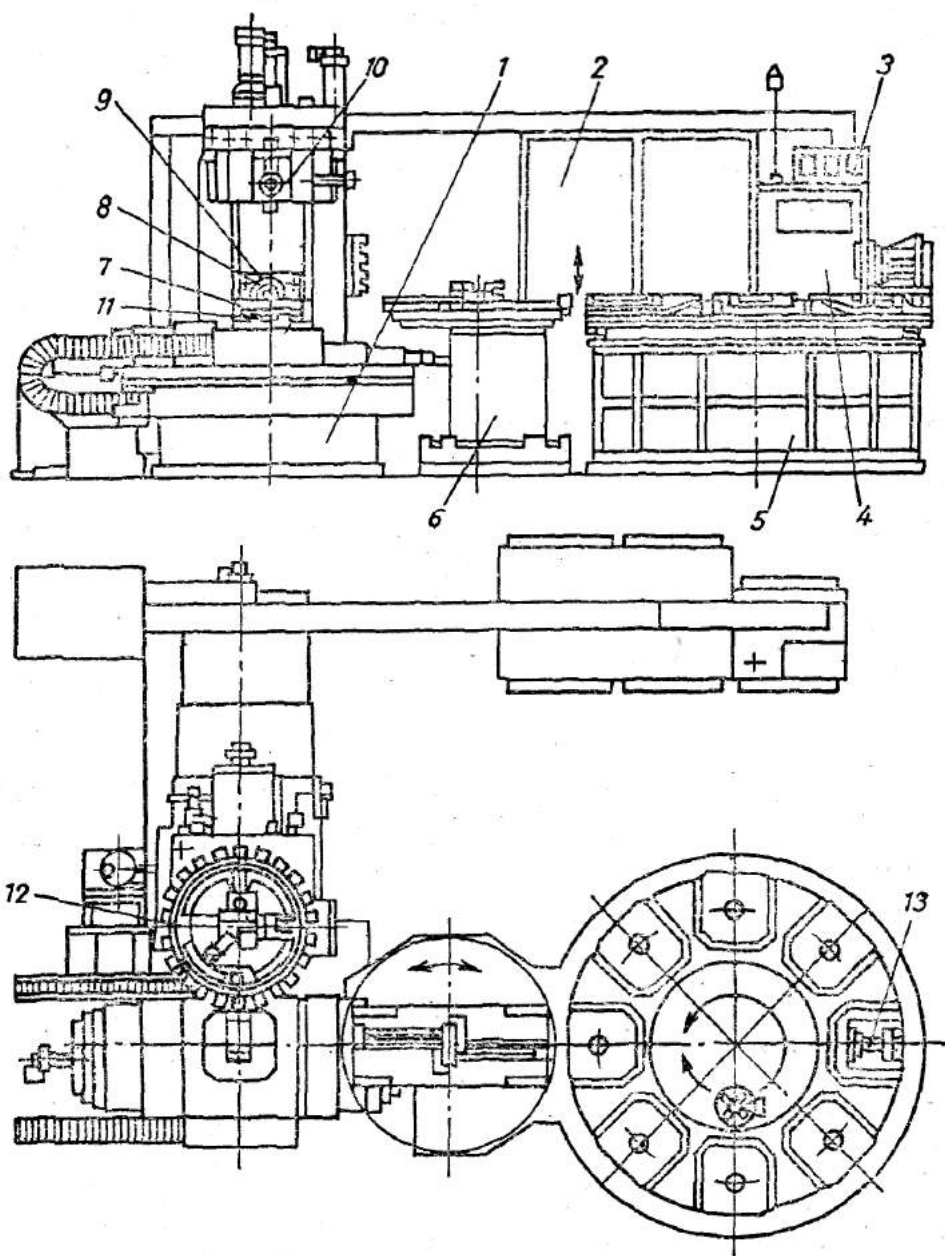


Рис. 1.8. ГВМ на основі багаточільового верстата моделі ИР500МФ4:  
 1 — верстат; 2 — електрообладнання; 3 — система керування; 4 — пристрій ЧПК;  
 5 — нагромаджувач супутників; 6 — пристрій заміни супутників; 7 — супутник;  
 8 — шпиндельна бабка; 9 — шпиндель; 10 — автооператор; 11 — поворотний стіл;  
 12 — магазин інструментів; 13 — касета з інструментом.



Горизонтальний багатоцільовий верстат, наприклад, моделі ИР500МФ4, призначений для обробки корпусних деталей. Він має шпindelьну бабку 8 (рис. 1.8) зі шпindelем 9, поворотний стіл 11. На верхньому кінці стояка змонтований магазин 2 для інструментів, а біля станини розташована поворотна платформа 6, на якій встановлені два супутники 7 для оброблюваних деталей. На стояку також розміщений автооператор 10 для заміни інструмента. Технічна характеристика верстата моделі ИР5000МФ4:

Розміри робочої поверхні стола, мм	500×500
Частота обертання шпindelя, хв <sup>-1</sup>	2—3000
Потужність головного привода, кВт	14
Найбільше переміщення, мм:	
стола (вісь X)	800
шпindelьної бабки (вісь Y)	500
стояка (вісь Z)	500
Швидкість прискорених переміщень, мм/хв	10000
Подача, мм/хв	1—2000
Кількість інструментів у магазині, шт	30
Точність позиціонування, мм	0,025
Найбільша довжина інструмента від торця шпindelя, мм	300

Автономність функціонування верстата забезпечується допоміжними автоматичними пристроями, основними з яких є автооператор для заміни інструментів та пристрій для автоматичної заміни супутників.

Автооператор включає два захвати з губками 9 та 10, що повертаються відносно осей 11 і 12 (рис. 1.9). Захвати змонтовані в корпусі 20, з'єднаним гільзою 18. Під час руху поршня 22 гідроциліндра 21 разом із штоком 15 рухається гільза 18. Цим рухом інструмент виймається із магазину або шпindelя. Гідроциліндр 8, з'єднаний з рейкою 3, повертає на 180° корпус 20 із захватами за допомогою зубчастого вінця 2 стакану 1. Права частина стакану з'єднана шпонками 14 і 19 з гільзою 18. При захваті інструмента з магазину корпус автооператора 4 піднімається гідроциліндром 6 в граничне верхнє положення по напрямних 5 та 7. Оправка з інструментом утримується в захваті пружинами 13.

Пристрій автоматичної заміни супутників застосовують для з'єднання багатоцільового верстата з нагромаджувачем заготовок, закріплених на супутниках. Конструкція супутника подана на рис. 1.10, а пристрій для заміни — на рис. 1.11. Супутник 11 встановлюють на плиту 7, що має гідроциліндри 10 та 13, на штоках яких закріплені два Т-подібні захвати 6 і 14, що з'єднуються при встановленні на плиту супутника з його фігурним пазом 12. Ролики 8 центрують супутник, що котиться по роликах 9 до поворотного стола багатоцільового верстата. Там супутник опускається на два фіксатори, а захват 6 виходить із зачеплення зі супутни-

ком. Стіл прискорено переміщується в зону обробки. Після завершення обробки стіл переміщується до пристрою заміни супутників, поки його фігурний паз не опиниться під захватом 6, який, захопивши супутник, перемістить його в крайнє праве положення, де перебуває в очікуванні супутник, на якому закріплена нова заготовка. Щоб поміняти супутники місцями, гідроциліндри 5 та 16 повертають плиту 7 на 180° за допомогою зубчастих колеса 3

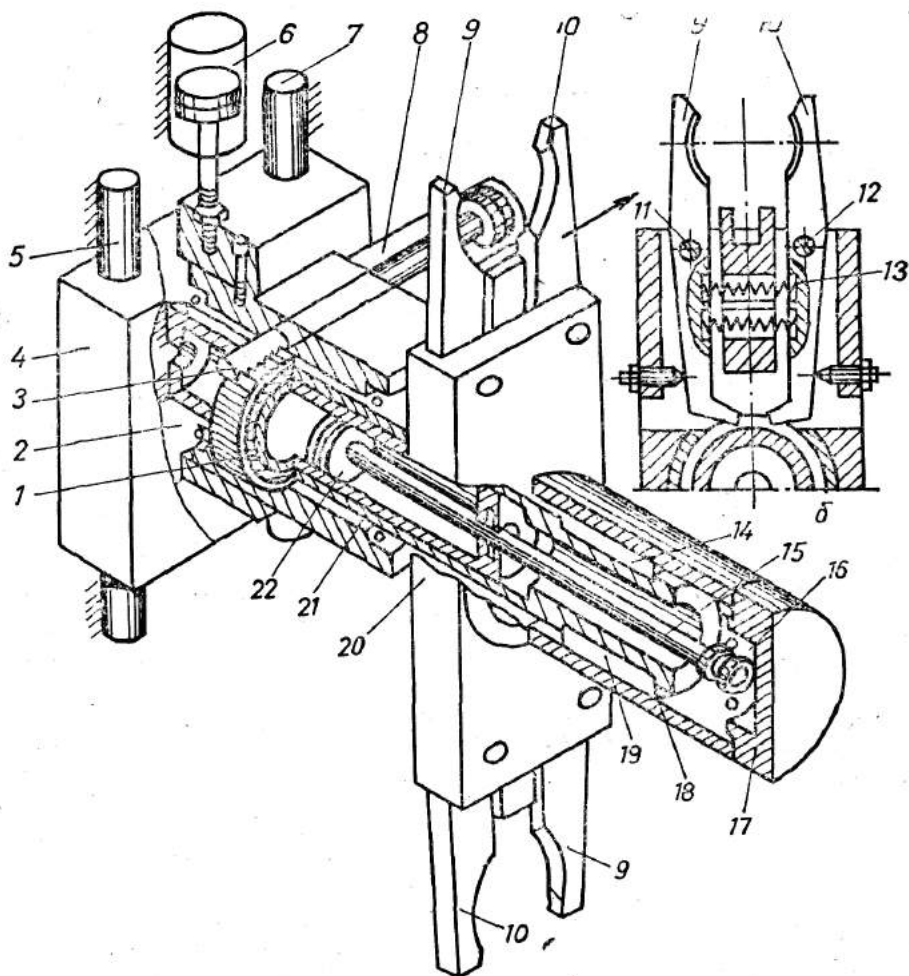


Рис. 1.9. Автооператор для заміни інструментів:

1 — стакан; 2 — зубчастий вінець; 3 — рейка; 4 — автооператор; 5, 7 — напрямні; 6, 8, 21 — гідроциліндри; 9, 10 — захвати з губками; 11, 12 — осі повороту захватів; 13 — пружина; 14, 19 — шпонки; 15 — шток; 16 — підшипник; 17 — покриття гільзи; 18 — гільза; 20 — корпус; 22 — поршень.



та рейки 4. Болти 2 та 17 використовують для вивіряння положення пристрою.

Супутники, що застосовують у ГВМ, мають два основних конструктивних виконання: з одним Т-подібним напрямним пазом та різьбовими кріпильними отворами; з двома Т-подібними напрямними пазами та системою Т-подібних кріпильних пазів. Для базування супутників на столі багатоцільового верстата використовують одну зі схем базування: за площиною та двома отворами

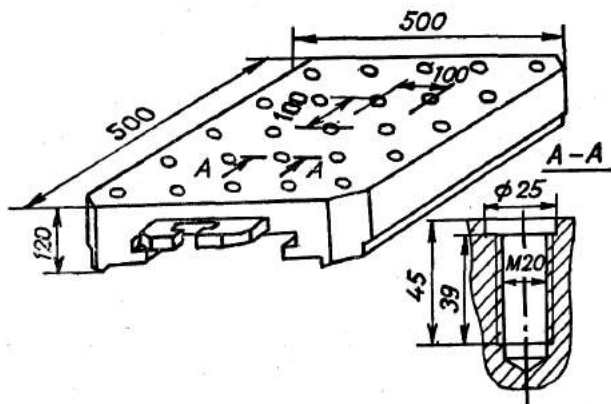


Рис. 1.10. Супутник.

(рис. 1.12) або в координатний кут (рис. 1.13). При базуванні супутника за площиною та двома отворами поршень 8 гідроциліндра 6, рухаючись під дією тарілчастих пружин 7, висуває важелями 9 фіксатори 2, які входять в отвори супутника 1. Супутник затискається двома планками під дією пружин 4, встановлених у чотирьох гідроциліндрах 5. Розтискання супутника здійснюється при подаванні мастила під тиском у порожнину 12 гідроциліндрів 5.

При базуванні супутника у координатний кут (див. рис. 1.13, а) робоча порожнина гідроциліндра 3 з'єднується зі зливом, тарілчасті пружини за допомогою байонетного механізму та зубчасто-рейкової передачі висувають ексцентриковий палець 4 і розвертають його, притискаючи супутник до поверхонь базуючих планок 2 та 5. Затискання супутника виконується так само, як в попередньому випадку. Базування супутника в координатний кут може також здійснюватись клиновим механізмом (див. рис. 1.13, б). Супутник подають ланцюговим механізмом в робочу зону, не доводячи близько 2 мм до напрямної та 5 мм до опорної планок. Бічна поверхня супутника має зріз під кутом  $\alpha = 38^\circ$ , із яким взаємодіє клин 6 базуючого механізму. Спочатку під дією зусилля  $F$

супутник досилається до напрямної планки, потім ковзанням по клину — до опорної планки.

Для виробництва деталей, що є тілами обертання, також використовують ГВМ. Їх основою є багатоцільові токарні верстати з ЧПК. Інструментальна головка включає інструмент, що має привід обертання. Це дає змогу крім токарної обробки фрезерувати лиски, свердлити нецентрові отвори, виконувати в них різенарі-

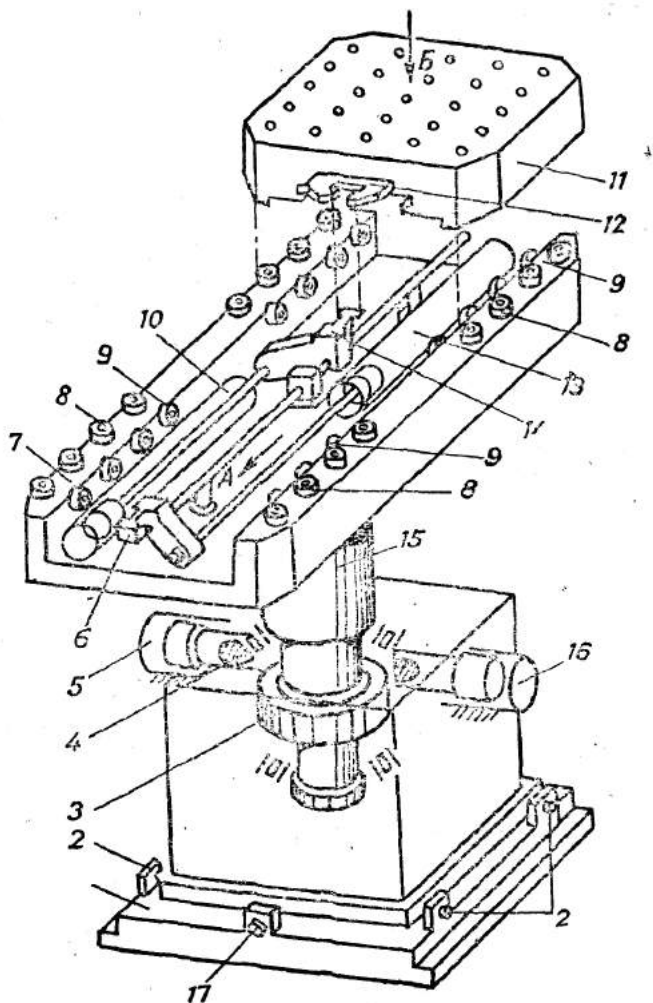


Рис. 1.11. Пристрій для автоматичної заміни супутників:

1 — основа; 2, 17 — болти; 3 — зубчасте колесо; 4 — рейка; 5, 10, 13, 16 — гідроциліндри; 6, 14 — захвати; 7 — плита; 8, 9 — ролики; 11 — супутник; 12 — паз; 15 — гільза.

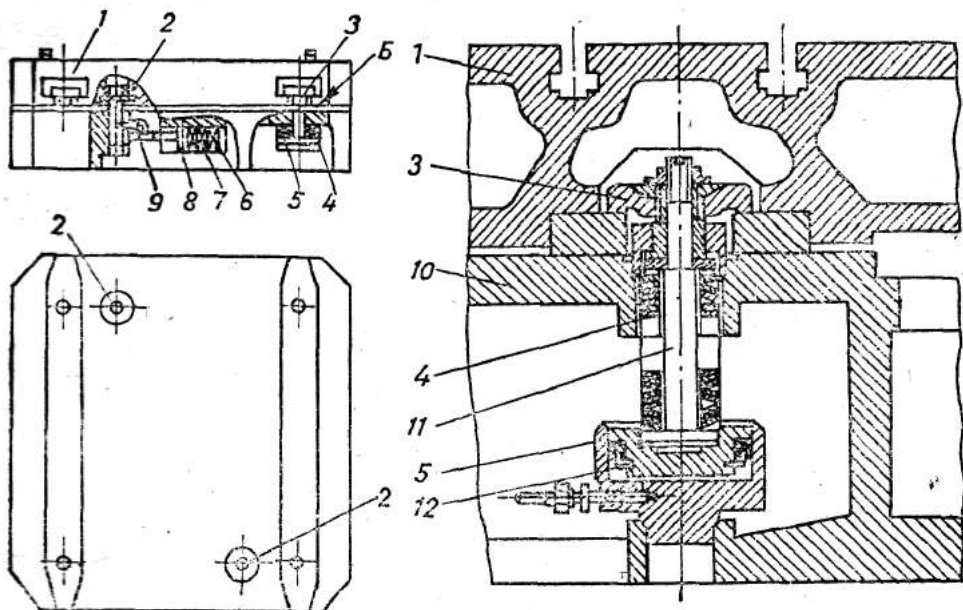


Рис. 1.12. Пристрій для закріплення супутників (а) та його механізм затискування (б):

1 — супутник; 2 — фіксатор; 3 — затискні планки; 4, 7 — пружини; 5, 6 — гідроциліндри; 8 — поршень; 9 — важіль; 10 — стіл верстата; 11 — шток; 12 — порожнина відтискування.

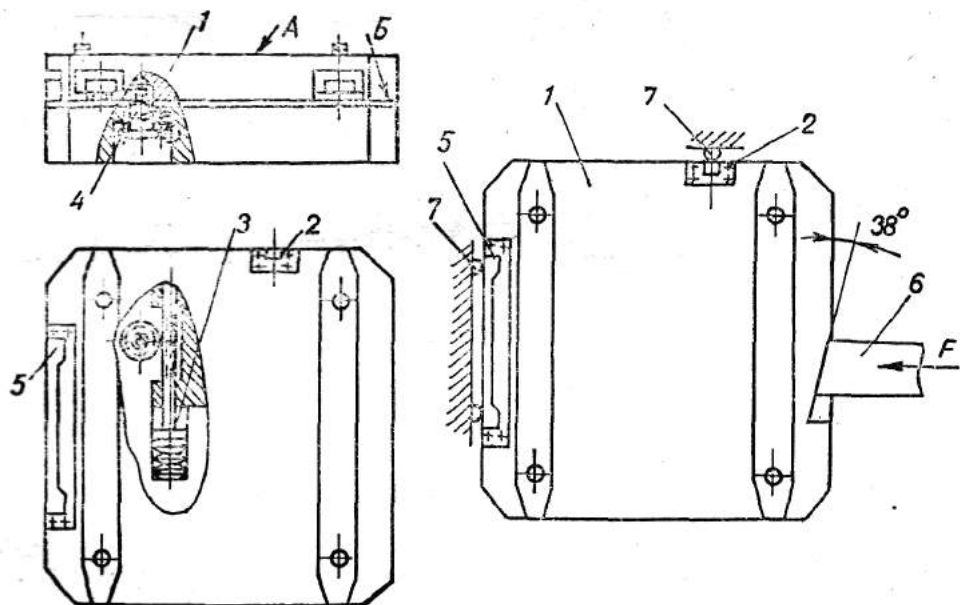


Рис. 1.13. Ексцентрикний (а) та клиновий (б) пристрої для закріплення супутника:

1 — супутник; 2, 5 — планки; 3 — гідроциліндр; 4 — палець; 6 — клиновий шток; 7 — упор.

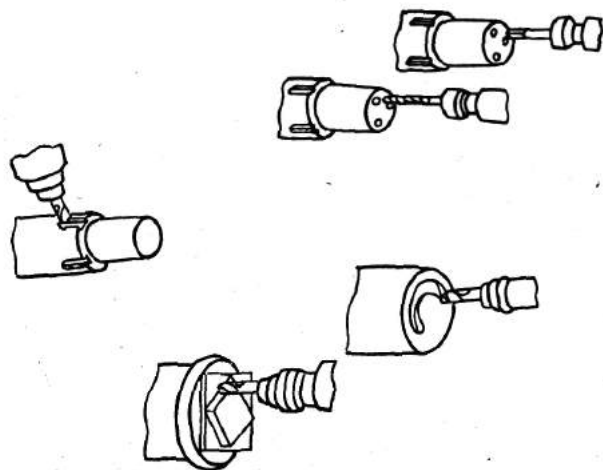


Рис. 1.14. Технологічні можливості токарного багатогільового верстата.

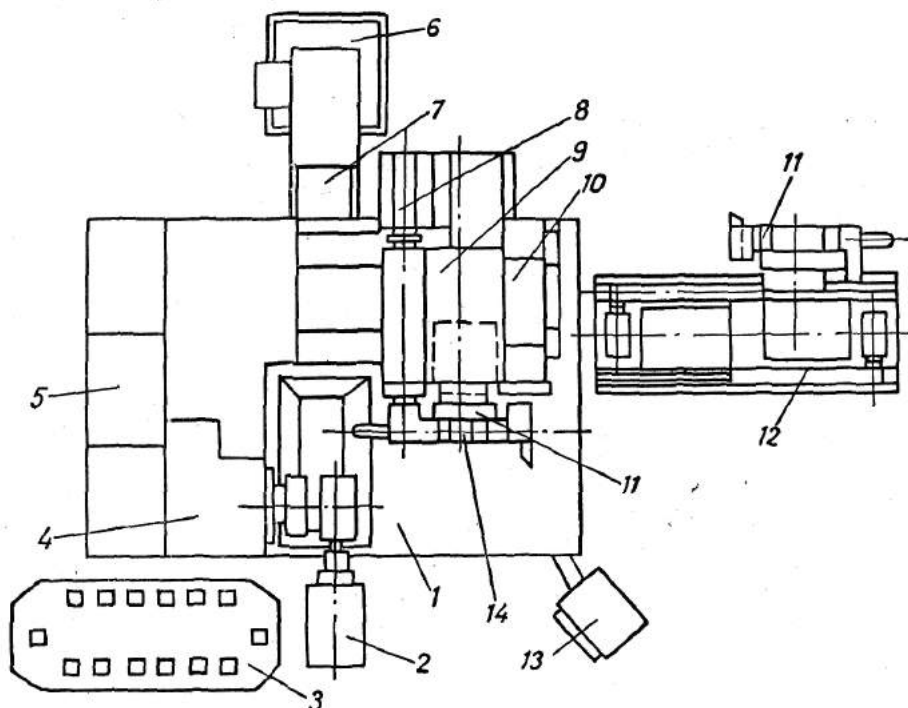


Рис. 1.15. Токарний ГВМ моделі ИРТ 180ПМФ4:

1 — станина; 2 — промисловий робот; 3 — тактовий стіл; 4 — передня бабка; 5 — шафа керування; 6 — тара для стружки; 7 — пристрій для видалення стружки; 8 — привод обертання інструмента; 9 — поперечний повзун; 10 — полозки поздовжнього переміщення; 11 — револьверна головка; 12 — двомісний нагромаджувач револьверних головок; 13 — шафа живлення; 14 — гнізда для інструментів.

зання і т. ін. (рис. 1.14). ГВМ на основі токарного верстата моделі ИРТ180ПМФ4, наприклад, включає магазин інструментів та нагромаджувач заготовок (рис. 1.15). У револьверній головці розміщені 12 інструментів, що забезпечує високу концентрацію технологічних переходів. Точність діаметральних розмірів, одержаних на верстаті, коливається в межах  $\pm 0,012$  мм.

Класифікують ГВМ, згідно ГОСТ 26962—86, за такими ознаками: видом обробки, видом виробу та рівнем автоматизації. Структура шифру ГВМ та його класифікаційних ознак подана на

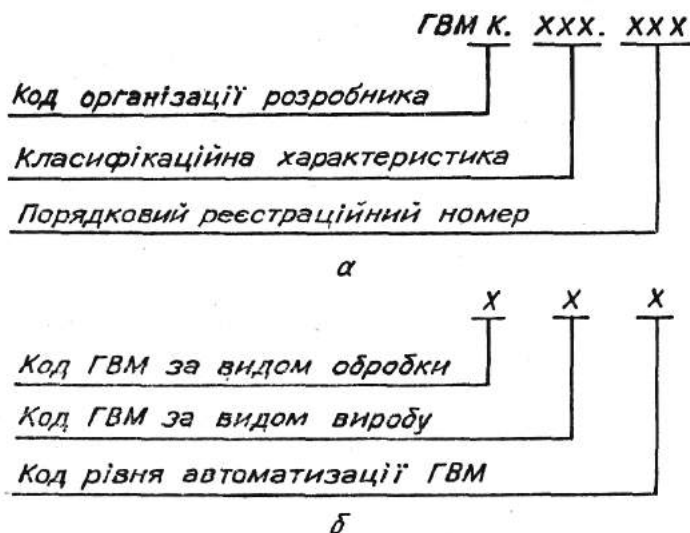


Рис. 1.16. Структура позначення (а) та класифікаційного шифру (б) ГВМ.

Таблиця 1.5

Код рівня автоматизації ГВМ

Перелік функцій ГВМ	Код		
	1	2	3
Обробка	+	+	+
Завантаження та зняття виробу	+	+	+
Заміна інструментів	+	+	+
Очистка робочої зони та пристрою	+	+	+
Заміна керуючої програми	+	+	+
Контроль інструменту та його підналагоджування	—	+	+
Контроль якості обробки	—	+	+
Заміна комплектів інструментів	—	—	+
Заміна комплектів пристроїв	—	—	+
Адаптація режимів роботи	—	—	+

рис. 1.16. Код виду обробки та виду виробу відповідає кодові ГВС (див. табл. 1.1, 1.2). Код рівня автоматизації наведений в табл. 1.5.

ГВМ на основі багатоцільового верстата моделі ІР500МФ4, що призначений для обробки корпусних деталей, позначають тризначним шифром: ГВМ.І.411.001.

## 1.5. РОБОТИЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ

Автоматичні верстатні системи, до складу яких входить промисловий робот (ПР), називають роботизованими технологічними комплексами (РТК). РТК визначається як сукупність одиниці технологічного обладнання, ПР та засобів оснащення, яка автономно функціонує і здійснює багаторазові цикли. Як засоби оснащення

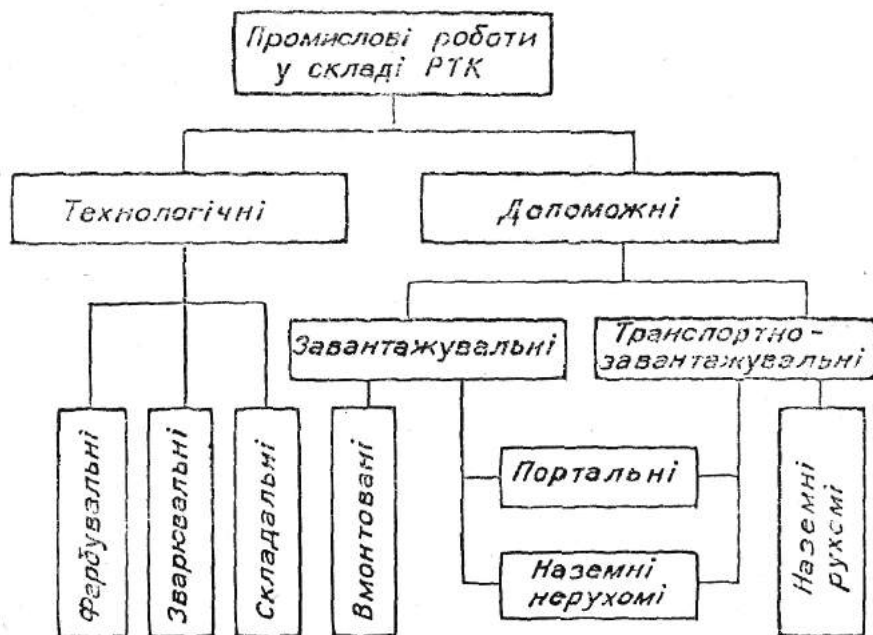


Рис. 1.17. Класифікація промислових робіт за технологічною ознакою.

ня РТК використовують пристрої для нагромадження, орієнтації, поштучної видачі виробів тощо. Для функціонування у складі ГВС РТК повинен автоматично переналагоджуватися та бути зв'язаним із ГВС.

ПР, що входять до складу РТК, поділяють на технологічні та допоміжні (рис. 1.17). Технологічні ПР є базою РТК, вони

виконують основні технологічні операції, наприклад фарбування, зварювання, складання тощо. Допоміжні ПР виконують завантажувальні й транспортні операції. За зв'язком з основним технологічним обладнанням розрізняють вмонтовані, наземні та порталні ПР. Створення РТК відбувається у двох напрямках:

— створення однопозиційних РТК, в яких завантажувальний ПР обслуговує один верстат;

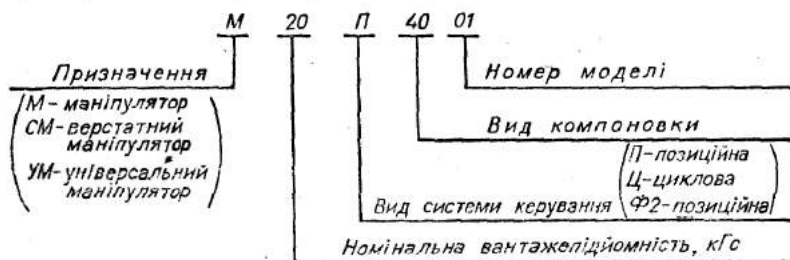


Рис. 1.18. Структура позначення промислового робота.

— створення багатопозиційних РТК, в яких транспортно-завантажувальний ПР обслуговує декілька верстатів.

ПР складається з виконавчого механізму, який має декілька ступенів рухомості, та пристрою програмного керування. Виконавчий механізм називається маніпулятором. Пристрій програмного керування керує рухами робочих органів маніпулятора. Маніпулятор, що не піддається перепрограмуванню, називається автооператором. Для керування ПР здебільшого застосовують системи циклового програмного керування (ЦПК) та позиційні системи ЧПК. У системах ЦПК команди задаються буквоцифровим кодом, а величини переміщень та поворотів робочих органів ПР — за допомогою упорів та кінцевих вимикачів. У позиційних системах ЧПК вся інформація задається літероцифровим кодом. Основними показниками ПР є номінальна вантажопідйомність, розміри зони обслуговування, число ступенів рухомості, швидкості переміщень, похибка позиціонування. Деякі з цих характеристик вказують у моделі ПР (рис. 1.18).

У механооброблювальній промисловості поширені РТК на базі токарних верстатів з ЧПК, що пояснюється відносно малим циклом обробки деталей, що є тілами обертання. Із токарних верстатів з ЧПК у складі РТК найчастіше застосовують верстат моделі 16К20Т1 з оперативним пристроєм ЧПК «Електроніка НЦ-31» (рис. 1.19). Його технічна характеристика:

Найбільший діаметр виробу, встановленого над станиною, мм	500
Найбільший діаметр виробу, встановленого над супортом, мм	215

Висота різця, встановленого у різцетримач, мм	25
Найбільша довжина виробу, мм	
Діапазон частот обертання шпинделя, хв <sup>-1</sup>	22,4—2240
Діапазон подач, мм/об	
поздовжніх	0,01—2,8
поперечних	0,005—1,4
Швидкість прискорених переміщень, мм/хв	
поздовжніх	7500
поперечних	5000
Дискретність системи керування, мм	
поздовжні переміщення по осі Z	0,01
поперечні переміщення по осі X	0,005
Число позицій поворотного різцетримача	6
Потужність електродвигуна, кВт	11
Габаритні розміри верстата, мм	3760×1770× ×1700
Маса верстата без ПЧПК, кг	3800

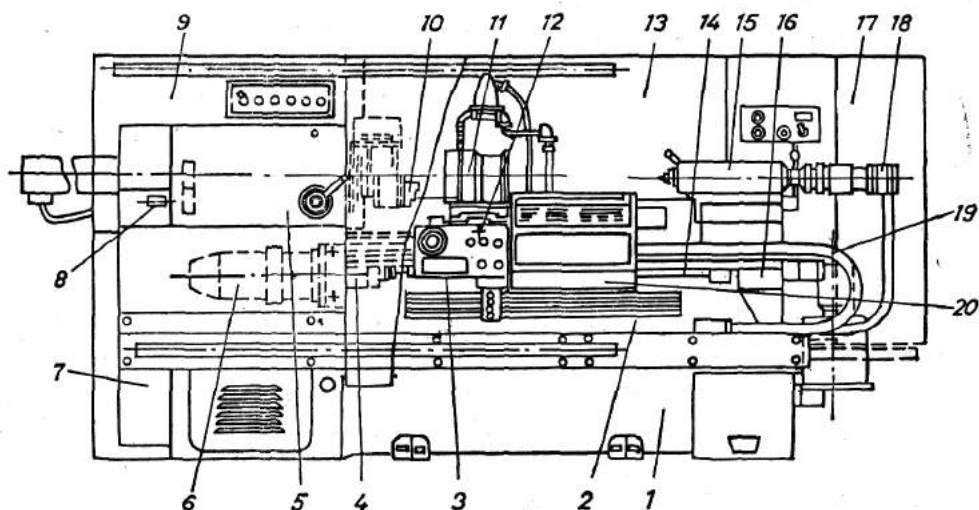


Рис. 1.19. Токарний верстат з оперативною системою ЧПК моделі 16K20T1: 1 — основа; 2 — станина; 3 — каретка; 4 — ліва опора поздовжнього гвинта; 5 — шпиндельна бабка; 6 — привод поздовжнього переміщення; 7 — передня бабка; 8 — датчик різнарізання; 9 — шафа керування; 10 — шпиндельний вузол; 11 — поворотна револьверна головка; 12 — пульт керування; 13 — нерухома огорожа; 14 — гвинтова кулькова пара; 15 — задня бабка; 16 — права опора поздовжнього гвинта; 17 — електромеханічний привід пінолі задньої бабки; 19 — каретка; 20 — рухома огорожа.

Окрім верстата моделі 16K20T1 промисловість випускає ще ряд токарних верстатів з оперативною системою ЧПК, придатних для створення на їх основі РТК (табл. 1.6).

Допоміжне обладнання РТК складається передусім із нагромаджувачів заготовок, які дають змогу створити запас, необхідний для автономної роботи верстата протягом декількох годин. Для нагромадження заготовок використовують, як правило, магазинні пристрої двох типів:



- з переміщенням заготовок у зону їх захвату ПР;
- без переміщення, коли заготовки розташовують у магазині з певним кроком, величину якого вводять у програму керування ПР.

До магазинних пристроїв першого типу належать тактові столи, сковзала, вібраційні та гравітаційні площадки (рис. 1.20). Магазинними пристроями другого типу є різні піддони та касети, в яких певним чином розташовують заготовки. При застосуванні

Таблиця 1.6

Токарні верстати з оперативною системою керування «Електроніка НЦ-31»

Назва та модель	Найбільший діаметр виробу, мм	Довжина виробу, мм	Частота обертання шпинделя, хв <sup>-1</sup>	Потужність головного привода, кВт	Габаритні розміри, мм	Маса, кг
Токарно-гвинторізний 16Б16Т1	320	750	40—2000	7,1	3100×1390× ×1870	2350
Токарно-гвинторізний 16К30Ф323	630	1400	6,3—1250	22	5500×2530× ×2150	7850
Токарно-гвинторізний 1А660Ф3	1250	8000	1,6—200	110	12875×2120× ×2090	43800
Токарно-револьверний 1325Ф3	25	80	90—4000	6	2250×1122× ×1700	7000

магазинів другого типу відпадає потреба у перекладанні заготовок із складської тари у приверстатний магазин-нагромаджувач, оскільки піддони і касети із заготовками зберігаються на складі.

Тактові столи, наприклад моделей СТ220, СТ220.1, застосовують для нагромадження певної кількості заготовок та їх поштучного транспортування у зону дії захвату ПР (див. рис. 1.20, а). Кожна із заготовок встановлюється або безпосередньо на пластину тактового стола, якщо її форма дає змогу це зробити, або ж на супутник, закріплений на пластині. Після завершення обробки деталь може укладатися назад на тактовий стіл, або ж в окрему тару для готових виробів. Супутники, які кріпляться на пластині тактового стола, проектують відповідно до конструкції деталі або комплексної деталі (заготовки групи) (рис. 1.21).

Касети, які застосовуються для нагромадження заготовок у РТК (рис. 1.22), складаються з корпусу 1, переставного дна 2 та сепаратора 3, який дає змогу розташувати заготовки 4 у довільному порядку. Уникнути переналадження магазину для підви-

щення мобільності РТК можна, використовуючи касети з універсальними базуючими елементами (рис. 1.23).

Основною деталлю такої касети є корпус 1, який встановлюється на центруючі пальці стола-нагромаджувача верстата за допомогою базуючих елементів 3 і 7. Втулка 7 має паз, поздовжня вісь якого розташована на діагоналі, що з'єднує її центр із центром пальця, що забезпечує точне положення корпуса касети на столі та виключає заїдання при заміні касети. Встановлення ка-

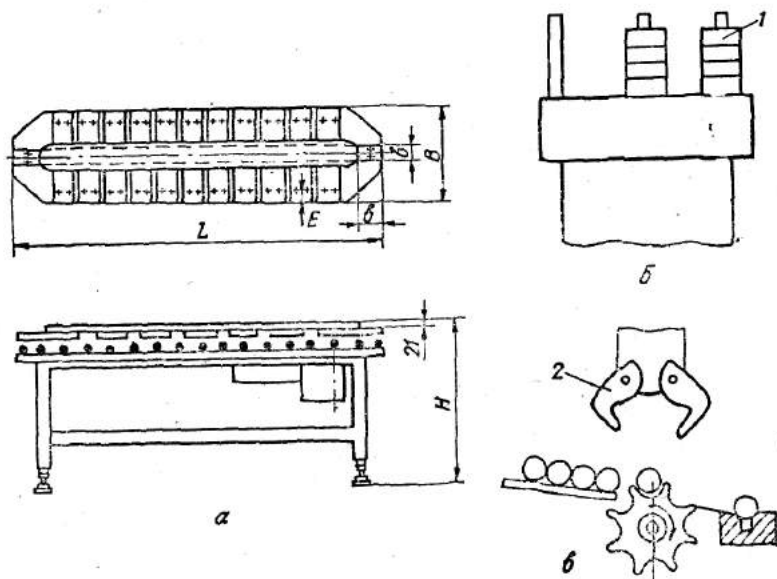


Рис. 1.20. Магазины, які забезпечують подавання заготовки 1 в точку захоплення 2 промисловим роботом: а — тактовий стіл; б — поворотний стіл; в — лотік.

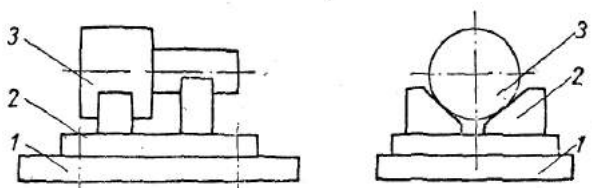


Рис. 1.21. Приклад розміщення заготовки на тактовому столі:  
1 — пластина тактового стола; 2 — супутник; 3 — заготовка.

сети здійснюється транспортним роботом, захват якого утримує її за прямокутні пази, розташовані на чотирьох бічних стінках корпуса. До корпуса прикріплені змінні елементи касети: плита

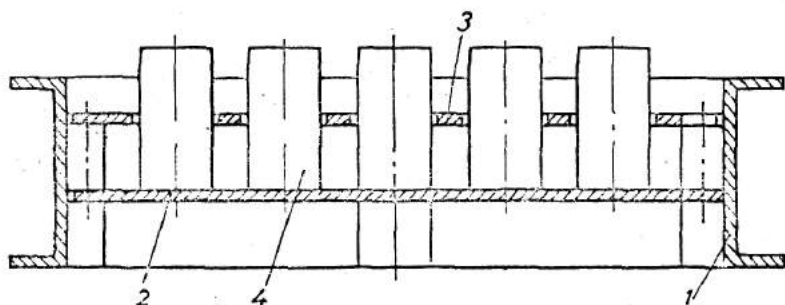


Рис. 1.22. Кассета:

1 — корпус; 2 — дно; 3 — сепаратор; 4 — заготовка.

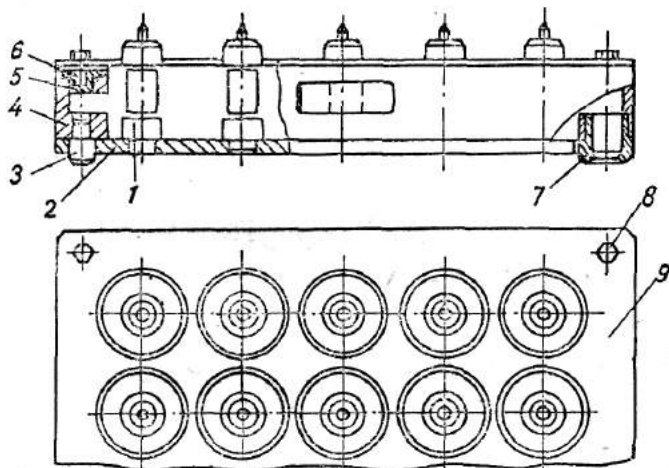


Рис. 1.23. Універсальна базуюча кассета:

1 — корпус; 2 — дно; 3, 7 — сепаратори; 4 — базуючий елемент; 5, 6 — елементи для встановлення сепараторів; 8 — закріплювальний болт; 9 — основа.

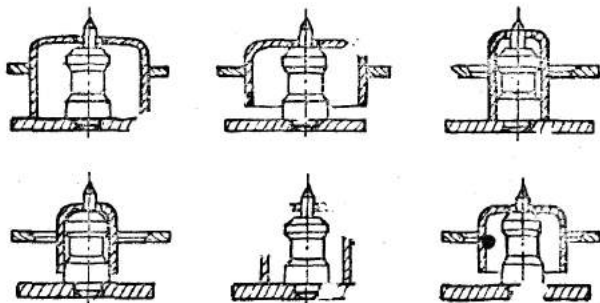


Рис. 1.24. Приклади базування деталей різних конструкцій.

2 з робочими пальцями 1 і сепаратор 8. Закріплення плити та сепаратора відносно базуючих елементів корпусу здійснюється по пальцях 3, 6 та втулці 5. Варіанти розташування різних типів деталей на універсальному базуючому елементі касети зображені на рис. 1.24.

Подальше підвищення універсальності касет досягають застосуванням адаптивних базуючих елементів. Для базування деталей типу стаканів (рис. 1.25) використовують касету, базові елементи якої мають вигляд підпружиненого штиря 4 з конічним наконечником. Деталь 7 центрується конусом наконечника в радіальному

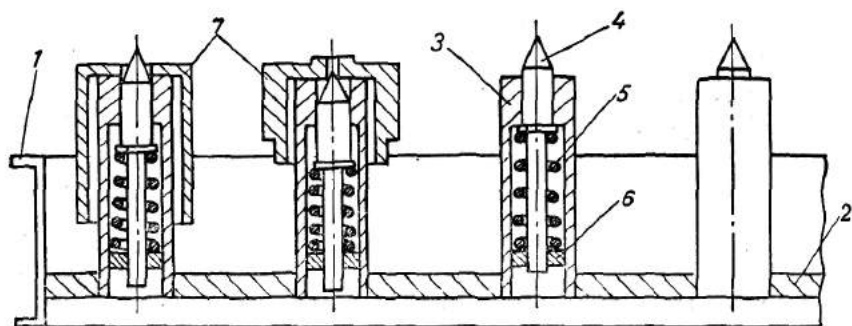


Рис. 1.25. Касета з рухомими базуючими елементами для завантаження деталями типу стаканів:

1 — корпус; 2 — дно; 3 — корпус базуючого елемента; 4 — рухомий штир; 5 — пружина; 6 — гайка; 7 — заготовка.

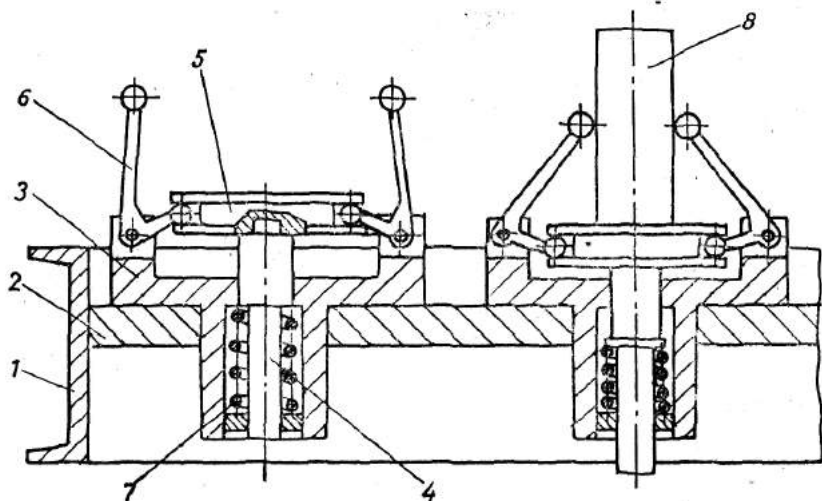


Рис. 1.26. Касета з рухомими базуючими елементами:

1 — корпус; 2 — основа; 3 — корпус базуючого елемента; 4 — штир; 5 — площадка; 6 — центральні важелі; 7 — пружина; 8 — заготовка.

напрямку, втоплює своєю вагою штир 4 і розташовується денцем на торці базуючого елемента 3, чим і виконується базування деталі в осьовому напрямку. При базуванні деталі по зовнішній поверхні (рис. 1.26) застосовують базуючі елементи у вигляді рухомих важелів 6, кінематично зв'язаних з підпружиненою площадкою 5, на яку встановлюють деталь 8. Під дією ваги деталі площадка опускається, а важелі центрують деталь відносно центра площадки (а. с. СРСР 1564056, 1722961).

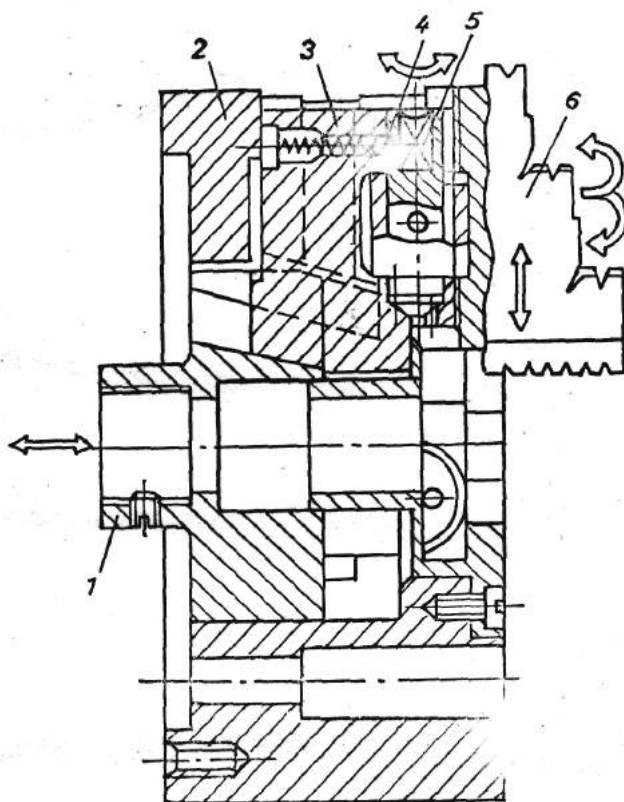


Рис. 1.27. Клиновий швидкопереналагоджувальний патрон:

1 — втулка клинова; 2 — корпус; 3 — основа кулачка;  
4 — фіксатор кульковий; 5 — гвинт; 6 — кулачок.

Технологічна оснастка верстата з ЧПК повинна сприяти його автономному функціонуванню та підвищенню гнучкості. Затискний патрон, наприклад, має виконувати автоматичне затискання заготовок та бути придатним для затискання будь-якої з деталей групи без суттєвих витрат часу на переналагодження. Для затискан-

ня деталей обертання часто використовують трикулачковий клиновий швидкопереналагоджуваний патрон (рис. 1.27).

Затискання заготовки здійснюється переміщенням втулки 1 із клиновими замками відносно корпуса 2 патрона. Заміна або регулювання положення кулачків 6 відносно основи 3 здійснюється поворотом на  $90^\circ$  гвинта 5 із зрізаною різьбою в позицію, що фіксується кулькою 4. При цьому кулачок 6 виймають із напрямних для заміни іншим або переміщують в потрібне положення, після

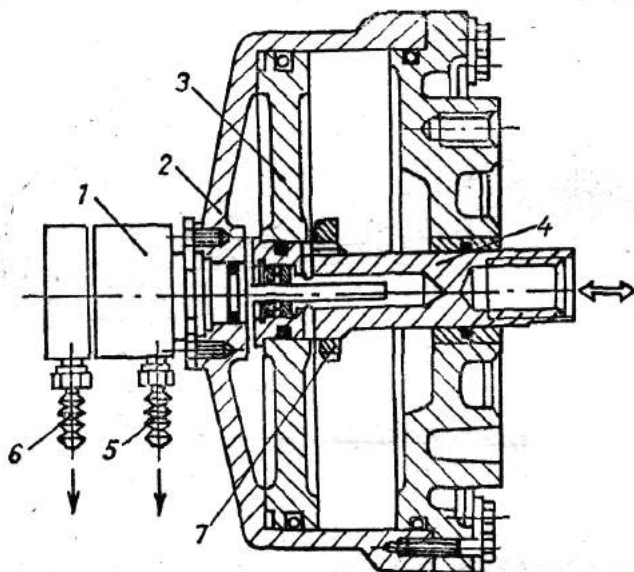


Рис. 1.28. Пневмоциліндр обертовий:

1 — муфта; 2 — циліндр; 3 — поршень; 4 — шток; 5, 6 — кіпелі; 7 — стержень.

чого поворотом гвинта 5 вводять його різьбу в зачеплення з різьбою кулачка 6, при цьому фіксатор 4 входить у лунку гвинта 5.

Пневмоциліндр механізованого затискання складається з муфти 1 (рис. 1.28), циліндра 2, штока 4, зв'язаного з поршнем 3. Стиснуте повітря подається через штуцер 6, центровий отвір 7 у порожнину циліндра, поршень рухається вліво, створюючи на штоці 4 тягове зусилля.

При обробці труб, втулок, стаканів, коли необхідно здійснити їх закріплення по внутрішній поверхні і забезпечити точне осьове положення деталі в системі координат верстата з ЧПК, використовують цангові патрони спеціальних конструкцій. Цанговий патрон (рис. 1.29) містить конічний елемент 3, виступи якого контактують із лівою конічною поверхнею двобічної цанги 1. Під час ру-

ху штока 6 вліво конічний елемент діє на ліву конічну поверхню цанги і розсуває її пелюстки, затискаючи при цьому ліву частину деталі. Одночасно рухається конічна втулка 4, що зменшує її зазор із виступами правої конічної поверхні. Після затиску лівої частини деталі конічний елемент 3 зупиняється, але шток продовжує рухатися вліво, пересуваючи конічну втулку 4, яка стискає тарічасті пружини аж до повного затиску правої частини деталі. Задане під час завантаження деталі її осьове положення зберігається при затиску, оскільки деталь уздовж осі не переміщується, (а. с. СРСР 1646702).

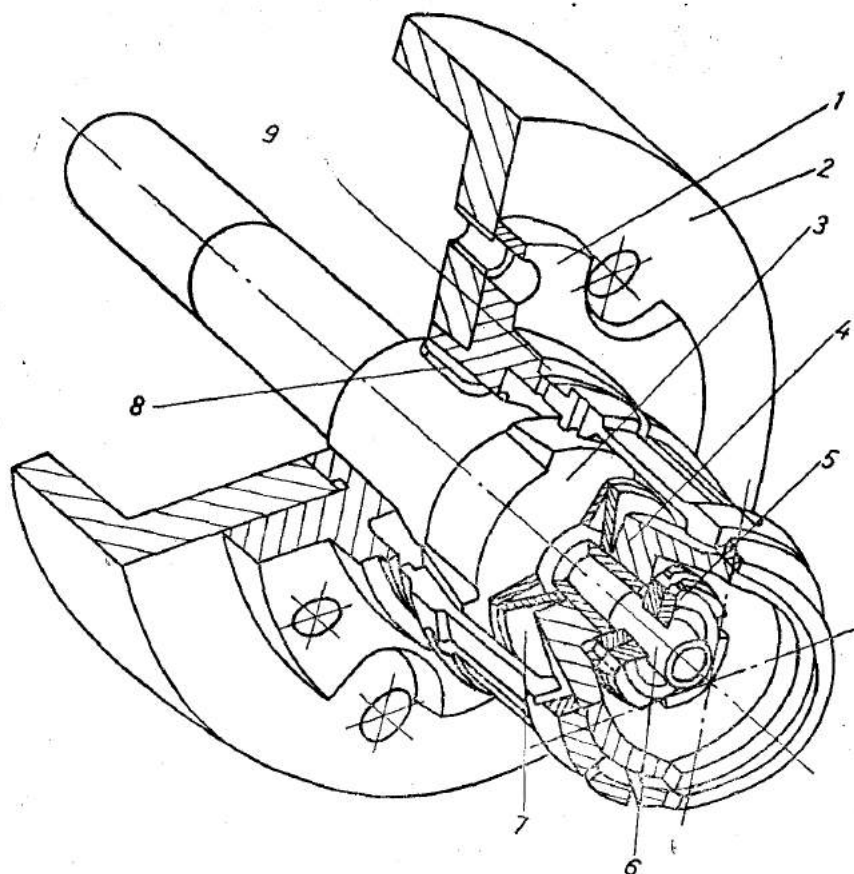


Рис. 1.29. Цанговий патрон:

1 — цанга; 2 — корпус; 3 — конічний елемент; 4 — конічна втулка; 5 — гайка; 6 — шток; 7 — тарічаста пружина; 8 — шпонка; 9 — упор.



## 1.6. НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ГВС

Удосконалення технологічного обладнання ГВС спрямоване на підвищення автономності його функціонування та гнучкості. Багатоцільові верстати з ЧПК і ГВМ на їх основі, наприклад, забезпечують поворотними шпиндельними вузлами, що дає змогу обробляти корпусні деталі з п'яти боків, а також здійснювати обробку похилих поверхонь (рис. 1.30).

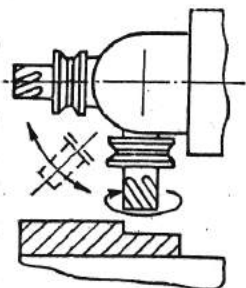


Рис. 1.30. Шпиндель поворотний.

За допомогою поворотних столів можна обробляти деталь із чотирьох боків, здійснювати розточування й точіння на багатоцільових верстатах (рис. 1.31). Поворотний стіл (рис. 1.32) складається з платформи 5 із двома фіксаторами 6 і 12 для базування супутника 7, яка спирається на гільзу гідроциліндра 11. Вона встановлена на осі 1, яка обертається від черв'ячної пари 14, 15. Перед поворотом платформа 5 трохи піднімається поршнем 10 гідроциліндра 11, напівмуфти 2 і 3 розчеплюються, а черв'ячне колесо 14 повертає гільзу гідроциліндра 11 та зв'язану з нею шпонкою 4 платформу 5 на потрібний кут. У верхній частині стола розміщений гідроциліндр 9, призначений для затискання супутника 7 на поворотному столі.

При необхідності обробити корпусну деталь з п'яти боків використовують так звані глобусні столи, які мають дві взаємноперпендикулярні осі обертання.

Застосовують також верстатні пристрої з ЧПК, які виконують переміщення та перебазування заготовок під час обробки за керуючою програмою. Заготовки зубчастих коліс обробляють, наприклад, за допомогою токарного пристрою, що складається з патрона, в порожнині якого розміщена розтиска оправа, яка може здійснювати осьове переміщення за командою з системи керування верстатом (рис. 1.33). Застосування цього пристрою дає змогу підвищити концентрацію обробки, оскільки деталь обробляється за одну операцію. Спочатку заготовку затискають у патроні 2 і обробляють частину зовнішнього контуру та внутрішню поверхню, потім, за командою системи керування верстатом, висувається оправа 3, яка затискає заготовку 6 за оброблену внутрішню поверхню, патрон розтискається і оправа, рухаючись уздовж осі шпинделя, виносить заготовку у зону доступу

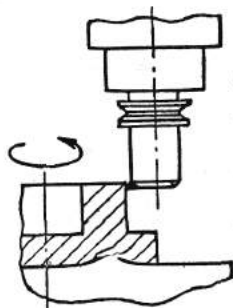


Рис. 1.31. Схема поворотного стола.



інструменту для обробки лівого торця заготовки (пат. ФРН 1192027).

Для підрізання торців та обробки конічних і фасонних отворів у корпусних деталях застосовують розточувальний інструмент, який переміщується в радіальному напрямку за програмою (рис. 1.34). Таку розточувальну головку встановлюють у шпиндель 1 і через вузол 19 з'єднують із блоком привода 17. Останній змонтований на шпиндельній бабці 7, а його вхідний

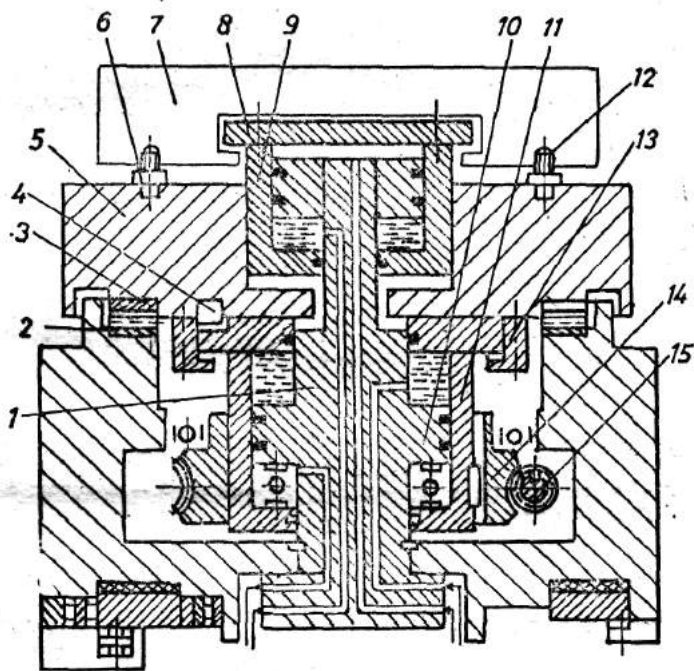


Рис. 1.32. Поворотний стіл:

1 — вісь обертання; 2, 3 — напівмуфти; 4 — шпонка; 5 — платформа; 6, 12 — фіксатори для базування супутника; 7 — супутник; 8 — покриття; 8, 11 — гідроциліндри; 10 — поршень; 13 — упор; 14, 15 — черв'ячна пара.

вал 10 з'єднаний муфтою 9 з первинним валом 8 головки. Обмежувальні кінцеві вимикачі 11 та 15 і вимикач вихідної точки 12 взаємодіють з упором 13, який пересувається гвинтом 14. Блок привода 17 має серводвигун 18 та вимірювальний перетворювач 16. У корпусі 2 розташований диференціальний механізм 3, вихідна шестерня якого зв'язана з ходовим гвинтом 4 повзуна 5 із різцетримачем 6.

Одним із напрямів розвитку верстатів із ЧПК та автоматичних верстатних систем на їх основі є створення умов для багатоінструментальної обробки. Токарний багатоцільовий верстат, на-

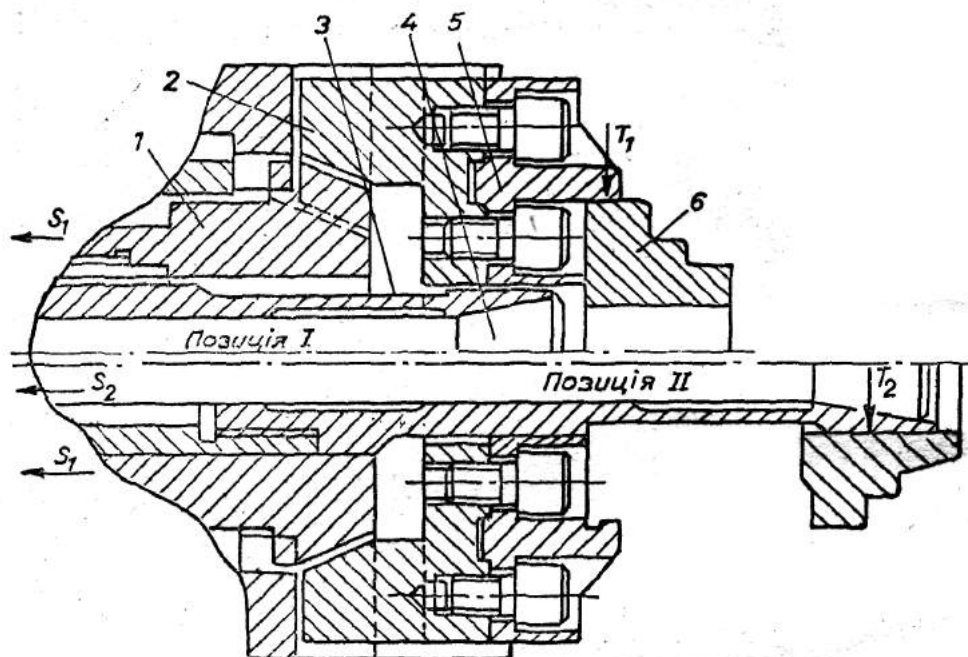


Рис. 1.33. Введення додаткового вузла у затискний пристрій токарного верстата з ЧПК:

1 — шпindelь; 2 — клиновий патрон; 3 — цапга; 4 — шток; 5 — кулачок; 6 — заготовка.

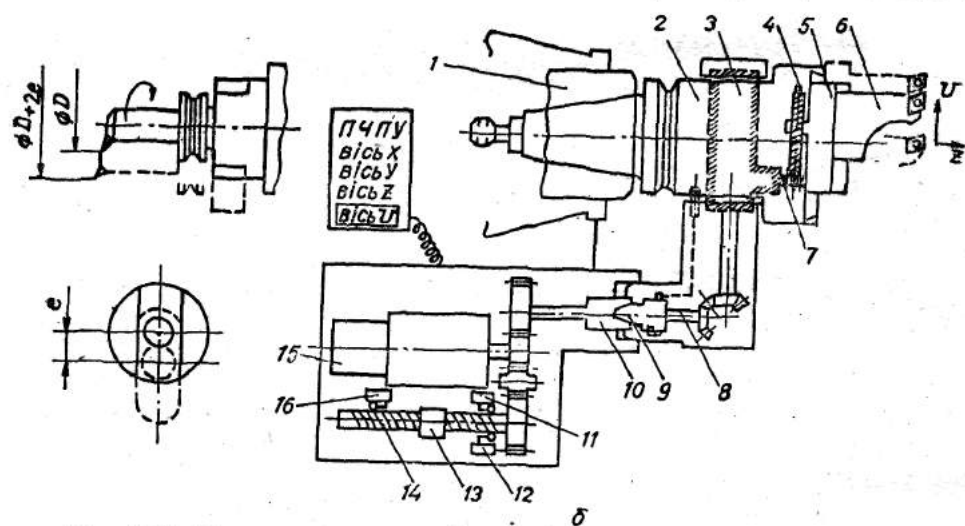


Рис. 1.34. Схема план-супортної головки (а) та її конструкція (б):

1 — шпindelь; 2 — корпус; 3 — диференціальний механізм; 4 — ходовий гвинт; 5 — повзуn; 6 — різцетримач; 7 — шпindelна бабка; 8 — первинний вал; 9 — муфта; 10 — вхідний вал; 11, 16 — кінцеві вимикачі; 12 — вимикач вхідної точки; 13 — упор; 14 — гвинт; 15 — вимірювальний перетворювач.

**приклад моделі 12А90П-4КФ30**, має чотири шпинделі, встановлені у поворотному барабані. Барабан періодично повертається на  $90^\circ$ , що забезпечує проходження кожним зі шпинделів послідовно чотирьох позицій, із яких одна — завантажувальна, дві — токарні, а одна забезпечує виконання фрезерувальних і свердлильних робіт: фрезерування лисок, свердління нецентрових отворів та різенарізання в них тощо. У трьох револьверних головках верстата встановлюють до 20 різноманітних інструментів. Система керування забезпечує зупинку шпинделя у певному кутовому положенні.

**Технічна характеристика токарного багацьільового верстата моделі 12А90П-4КФ30:**

Кількість робочих шпинделів, шт.	4
Найбільший діаметр затискного патрона, мм	250
Найбільший діаметр заготовки, мм	250
Найбільші розміри обробки, мм	
довжина обточування	230
довжина розточування	180
діаметр розточування	250
діаметр різенарізання	250
крок різенарізання	40
діаметр свердління у третій позиції	17
глибина свердління осьовим нецентровим свердлом	100
глибина свердління радіальних отворів	75
Найбільший діаметр кінцевої фрези, мм	20
<b>Частота обертання робочих шпинделів у першій і другій позиціях, хв<sup>-1</sup></b>	<b>50—1600</b>
Кількість незалежних хрестових супортів, шт.	3
Кількість інструментальних револьверних головок, шт.	3
Потужність головного привода у першій і другій позиціях, кВт	$2 \times 26$
Кількість керованих координат, шт.	7
	$4300 \times 2420 \times$
	$\times 2000$
Габаритні розміри, мм	

## **1.7. АВТОМАТИЗОВАНА ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКА СИСТЕМА**

Найважливішим елементом ГВС, який забезпечує її ефективне функціонування, є автоматизована транспортно-складська система (АТСС). *Автоматизована транспортно-складська система — система взаємозв'язаних транспортних та складських пристроїв для складання, зберігання, тимчасового нагромадження, розвантаження та доставляння предметів праці, інструменту і технологічної оснастки.* Її створюють для поліпшення завантаження технологічного обладнання. АТСС виконує дві основні функції:

нагромадження та зберігання заготовок, оснащення і деталей на різних етапах їхньої обробки й транспортування як між технологічним обладнанням і складом, так і поміж різними одиницями технологічного обладнання. Згідно з цим АТСС часто називають *транспортно-нагромаджувальними системами (ТНС)*.

На відміну від транспортних систем масового виробництва ТНСГВС мають інтенсивність деталепотоків у десятки разів нижчу, що пов'язане з високою автономністю функціонування автоматичних верстатних систем, які входять до складу ГВС. Дійсно,

ГВМ на основі багатоцільового верстата з ЧПК обробляє корпусну деталь середньої складності протягом 1,5—2,0 год. Токарний РТК обробляє партію деталей, що перебувають у приверстатному магазині-нагромаджувачі, також протягом 2,0—2,5 год. Отже, транспортна система ГВС, що включає 5—10 автоматичних верстатних систем, переміститиме протягом одної години дві-чотири корпусні деталі або піддони з деталями. Очевидно, що для таких умов роботи головною характеристикою ТНС буде не її швидкодія, а нескладність технічного розв'язання.

Загалом АТСС складається з двох підсистем: нагромаджувальної і транспортної. Нагромаджувальна підсистема крім автоматизованого складу у вигляді стелажів; уздовж яких рухається робот (кран)-штабелер,

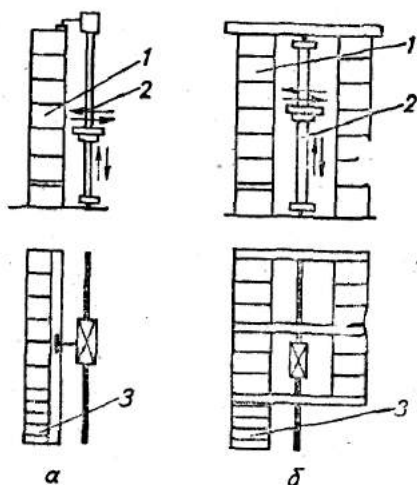


Рис. 1.35. Однорядний (а) та дворядний (б) автоматизовані склади:

1 — стелаж; 2 — робот-штабелер; 3 — приймально-передавальний пристрій.

белер, включає:

- тару у вигляді піддонів, касет, ящиків;
- приймально-передавальні пристрої для розмінювання, завантаження та видачі тари;
- пристрої для контролю габаритів та маси завантаженої тари;
- систему керування.

Автоматизований склад може складатися з однорядного стелажу 1 (рис. 1.35, а), який обслуговується одним роботом-штабелером 2. Вантаж встановлюється з будь-якого боку стелажу. Один робот-штабелер може обслуговувати і два стелажі, переміщуючись між ними (рис. 1.35, б). У цьому випадку зростає вантажомісткість складу. Стелажі виготовляють зі сталюого профілю. Кожний стелаж складається із рам 1, полиць 2; гвинтових розтягувачів 3 та

фундаментних болтів 4 (рис. 1.36). Нормалізовані розміри комірок стелажа, мм: 400×600, 600×800, 800×1200.

Роботи-штабелери виконують завантаження, розвантаження та переміщення у межах складу тари із заготовками, а також супутників із закріпленими на них заготовками. Вони здійснюють переміщення по трьох координатних осях: горизонтальне по рейкових напрямних уздовж стелажа, вертикальне по напрямній рами уздовж стелажа, горизонтальне у напрямку, перпендикулярному площині стелажа. Робот-штабелер, наприклад вантажопідйомністю 500 кг, складається (рис. 1.37) з рами 2, візка 8 з приводом

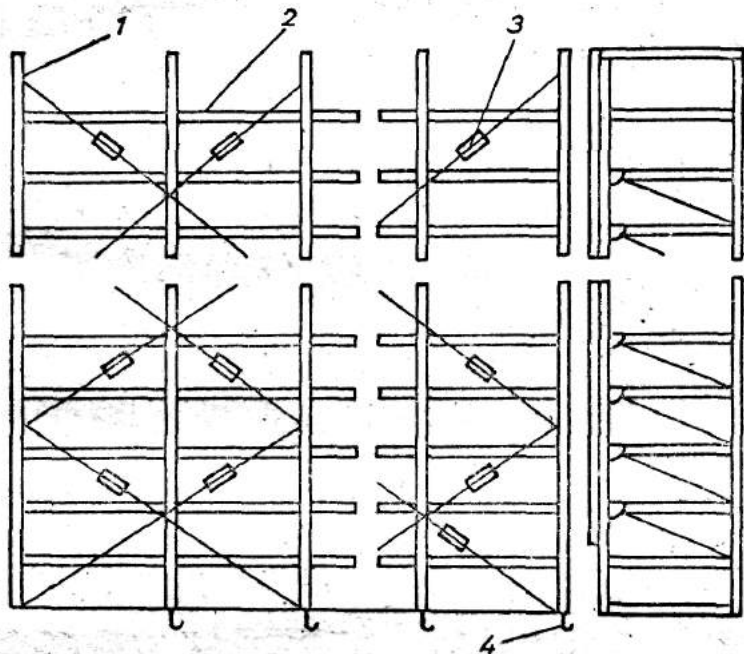


Рис. 1.36. Уніфікований стелаж:

1 — рама; 2 — полиця; 3 — гвинтовий розтягувач; 4 — фундаментний болт.

горизонтального руху по рейці 6 і верхній напрямній балці 1. Каретка 3 з телескопічним захватом 4 рухається вертикально по рамі 2 від приводу 5. Гальмо 7 забезпечує точну зупинку. Швидкість горизонтального переміщення 2—65 м/хв, вертикального — 2—18 м/хв, руху телескопічного захвата — 10 м/хв.

Транспортна підсистема АТСС базується на наземних або підвісних транспортних роботах чи візках. Наземні транспортні засоби можуть бути рейкові та безрейкові (робокари). Відповідно до розташування транспортного шляху відносно робочих зон технологічного обладнання розрізняють крізну та некрізну АТСС.

У крізній АТСС транспортування виробів з однієї операції на іншу виконується через робочі зони технологічного обладнання, а в некрізній — у два етапи: спочатку за межами робочої зони вздовж транспортного шляху, потім поперек транспортного шляху в робочу зону верстата за допомогою приймально-передавального пристрою.

Розрізняють також розімкнуту (часто лінійну) та замкнуту компоновки АТСС. Перевагою замкненої компоновки є можливість поєднання завантажувальної позиції з розвантажувальною і ви-

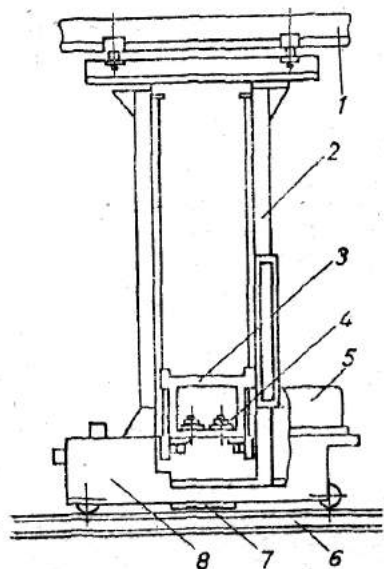


Рис. 1.37. Кран-штабелер моделі ПШ-500:

1 — верхня напрямна балка; 2 — рама; 3 — каретка; 4 — телескопічний захват; 5 — привод; 6 — рейка; 7 — гальмо; 8 — візок.

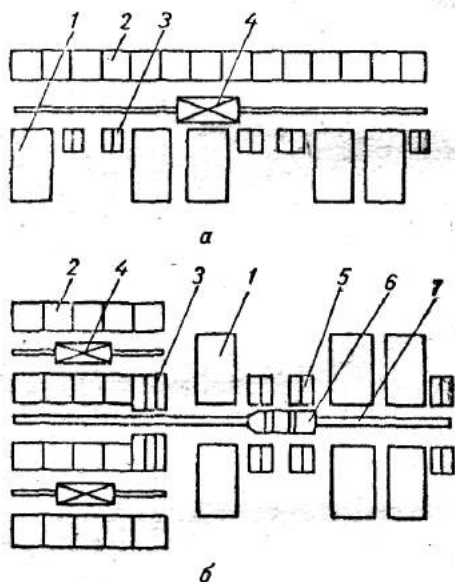


Рис. 1.38. Поєднана (а) та розділена (б) АТСС:

1 — верстат; 2 — стелаж; 3 — приймально-передавальний пристрій; 4 — робот-штабелер; 5 — нагромаджувач; 6 — рейковий візок; 7 — рейкова колія.

ключення цим необхідності створення додаткових транспортних шляхів для зворотного транспортування супутників.

Існує два варіанти АТСС залежно від поєднання її накопичувальної і транспортної підсистем (рис. 1.38):

— з поєднаними транспортною та складовою підсистемами, в яких транспортним засобом є робот-штабелер (застосовують у ГВС з невеликою кількістю технологічного обладнання);

— з розділеними транспортною та складовою підсистемами.



## 1.8. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Автоматизована система інструментального обслуговування (АСІО) — система взаємозв'язаних елементів, яка включає ділянки підготовки інструменту, його нагромадження і зберігання, засоби транспортування, пристрої для його автоматичного встановлення, заміни та контролю якості. Загалом АСІО включає:

— різальний і контрольний інструмент, номенклатура і кількість якого достатні для обробки різних груп деталей;

— ділянку налагодження інструменту поза верстатом і комплектації змінних інструментальних магазинів, інших нагромаджувачів змінного інструменту, включаючи автоматизовані склади інструменту;

— автоматизовану систему діагностування стану інструменту (затуплення, полум), врахування відпрацьованого ресурсу і заміни інструментом-дублером;

— пристрої для автоматичної заміни інструменту.

Стан інструменту суттєво впливає на надійність і продуктивність ГВС, визначає якість обробки.

## 1.9. СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ

Система автоматизованого контролю (САК) включає вхідний, функціональний та вихідний контроль.

Під час вхідного контролю визначають розміри заго-

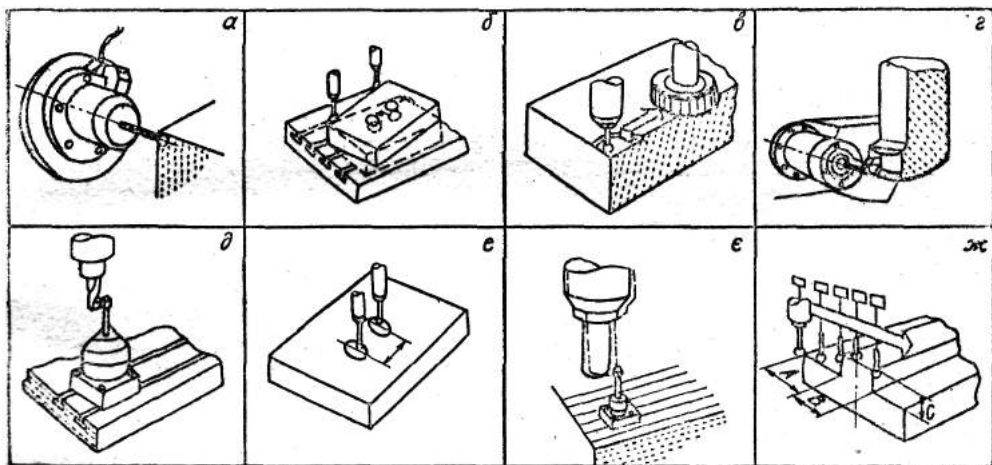


Рис. 1.39. Автоматизований контроль:

а — розмірів заготовки; б — її розташування в робочій зоні верстата; в — припуску на обробку; г — процесу різання; д — стану інструмента; е — проміжний контроль деталі; ж — відповідності розмірів і форми деталі заданим.



товки (рис. 1.39, а), її розташування в робочій зоні верстата (рис. 1.39, б), припуск на обробку (рис. 1.39, в).

Функціональний контроль передбачає перевірку процесу різання, стану інструменту (рис. 1.39, г, д), проміжний контроль деталі (рис. 1.39, е), контроль стану механізмів (діагностування автоматичної верстатної системи — рис. 1.39, є).

Вихідний контроль полягає у визначенні відповідності розмірів і форми деталі заданим (рис. 1.39, ж). Його можна здійснювати як на верстаті, так і на спеціальній контрольно-вимірній машині.

## **1.10. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВИДАЛЕННЯ ВІДХОДІВ**

Автоматизована система видалення відходів (АСВВ) складається зі стружковивідного конвейера, вмонтованого у піддон верстата, пристроїв для подрібнення і видалення стружки з робочої зони та очистки від неї базуючих елементів верстатних пристроїв.

Безперешкодне видалення і транспортування стружки забезпечується шляхом її подрібнення відомими способами: перериванням подачі, використанням стружкороздільних канавок, обробкою різцями зі стружколомами, застосуванням вібрації під час різання тощо. При обробці деталей на верстатах з ЧПК широко використовують метод подрібнення стружки шляхом переривання робочої подачі, завдяки його універсальності.

Сучасні верстати з ЧПК забезпечують переривчасту подачу інструмента за спеціальною командою, яку вводять у керуючу програму. Недоліком цього методу є неможливість його застосування при чистовій обробці через вкорінення інструмента вершини в оброблювану поверхню при кожній зупинці, коли перестає діяти сила радіального відтискування інструмента. Розроблений метод дрібнення стружки при чорновій та чистовій обробках, коли поверхня обробляється у два проходи. При першому проході, тобто під час чорнової обробки, яка виконується з переривчастою подачею, різець наносить на оброблювану поверхню систему канавок, які використовуються як стружкороздільні при здійсненні другого проходу — під час чистової обробки (а. с. СРСР 1556817).

Базуючі елементи затискних пристроїв очищають від дрібної стружки, обдуваючи їх стиснутим повітрям або омиваючи мастильно-охолоджувальною рідиною (МОР).

Якщо деталі обробляються на супутниках, то до складу ГВС включають машини для миття супутників перед повторним закріпленням на них заготовок.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як кількісно охарактеризувати гнучкість, універсальність, мобільність виробничої системи?
2. Перелічіть основні напрями підвищення ефективності машинобудівного виробництва при його гнучкій автоматизації.
3. Дайте визначення ГВС.
4. З чого складається технологічна підсистема ГВС?
5. Що входить до складу системи забезпечення функціонування ГВС?
6. За якими ознаками класифікують ГВС?
7. Перелічіть види ГВС за організаційною ознакою, охарактеризуйте їх.
8. Розшифруйте код ГВС.К.22411.001 згідно з ГОСТ 26962—86.
9. Перелічіть види систем ЧПК за функціональною ознакою, охарактеризуйте їх.
10. Дайте класифікацію систем ЧПК за видом керування рухом робочих органів, їх позначення в моделі верстата.
11. Опишіть роботу автооператора верстата IP500MФ4.
12. Розшифруйте код ГВМ.И.411.001 згідно з ГОСТ 26962—86.
13. Дайте визначення РТК.
14. Які функції виконують промислові роботи у складі РТК?
15. Перелічіть елементи АТСС, опишіть їх взаємодію.

ГЛАВА 2  
**ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС  
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ  
В УМОВАХ ГАВ**

---

**2.1. ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ**

Механічна обробка деталей в умовах ГАВ ґрунтується на використанні верстатів із ЧПК, які є основою створення автоматичних верстатних систем. Тому головним завданням є проектування технології, яка дає змогу якнайповніше використати технологічні можливості верстатів з ЧПК, забезпечуючи їх ефективну роботу в складі ГВС.

На відміну від традиційного виробництва, технологічний процес для умов ГАВ повинен задовольняти ряд вимог:

- мати вищий ступінь деталізації технологічних рішень, що дало би змогу скласти керуючу програму для верстата, здійснити автоматизацію допоміжних операцій завантаження, нагромадження, транспортування, контролю деталей тощо;

- базуватися на методах групової обробки із застосуванням типізації та уніфікації технологічних рішень;

- забезпечувати малоопераційність технології шляхом створення технологічних умов для максимальної концентрації операцій;

- бути комплексним, щоб запезпечити якомога повнішу обробку деталі в межах ГВС;

- базуватися на багатоваріантній технології для забезпечення ефективного використання технологічного обладнання ГВС та безперервності процесу виробництва при зміні зовнішніх умов або відмовах обладнання.

Ступінь деталізації технологічних рішень визначається інформацією, необхідною для складання керуючої програми:

- розміри деталі;

- технологічні режими виконання переходів;

- допоміжні команди, наприклад, для включення та виключення обертання шпинделя, подавання мастильно-охолоджувальної рідини, затискання і розтискання заготовки, заміни інструменту тощо;

- умови виконання корекції розмірного положення інструментів і режимів різання.

Структура технологічної операції, що виконується на верстаті з ЧПК, суттєво ускладнюється через високу концентрацію обробки. Операція обробки корпусу середньої складності, наприклад, на багатоцільовому верстаті з ЧПК триває 1,5—2,0 год і включає декілька десятків технологічних переходів. Технологічні операції з ЧПК передбачають послідовну обробку одним інструментом декількох поверхонь, поєднання рухів інструменту, що виконуються із зніманням стружки, і без нього, безперервну обробку декількох поверхонь тощо. Ускладнення структури технологічних операцій ЧПК сприяло розширенню і конкретизації поняття технологічного переходу як складової частини технологічної операції.

*Технологічний перехід* — завершена частина технологічної операції, яка характеризується постійністю застосування інструмента і поверхонь, які виникають при обробці. При обробці деталі на верстаті з ЧПК розрізняють елементарний, інструментальний, допоміжний та позиційний переходи.

*Елементарний перехід* — безперервний процес обробки однієї елементарної поверхні одним інструментом за керуючою програмою (рис. 2.1).

*Допоміжний перехід* — переміщення інструмента за керуючою програмою без зняття стружки.

*Інструментальний перехід* — завершений процес обробки однієї або декількох елементарних поверхонь при безперервному переміщенні одного інструмента за керуючою програмою.

*Позиційний перехід* — поєднання інструментальних і допоміжних переходів, що виконуються інструментом за керуючою програмою.

Подальша деталізація технологічної операції вимагає розділення процесу обробки на елементарні рухи, які виконуються вздовж прямої або кола з постійними швидкостями.

Застосування методів групової обробки є необхідною умовою забезпечення ефективності багатомоноклітурного виробництва. Для цього створюють безперервний потік деталей, об'єднаних у групу за подібністю конструктивно-технологічних властивостей, для проходження через ГВС. Кількість деталей у групі крім їх конструктивно-технологічної подібності визначається

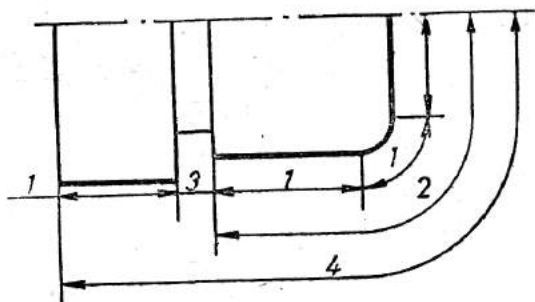


Рис. 2.1. Види переходів токарної операції з ЧПК:

1 — елементарний; 2 — інструментальний; 3 — допоміжний; 4 — позиційний.

також сумарним обсягом їх випуску, необхідним для завантаження технологічного обладнання. На відміну від змінної потоковості, яка забезпечується на змінно-потоккових лініях, в умовах ГАВ можлива постійна поточковість, якої досягають використанням ГАЛ без їхнього переналагодження (або при мінімальних витратах часу на автоматизоване переналагодження) при зміні об'єкта обробки. Повне виключення переналагоджування або значне змен-

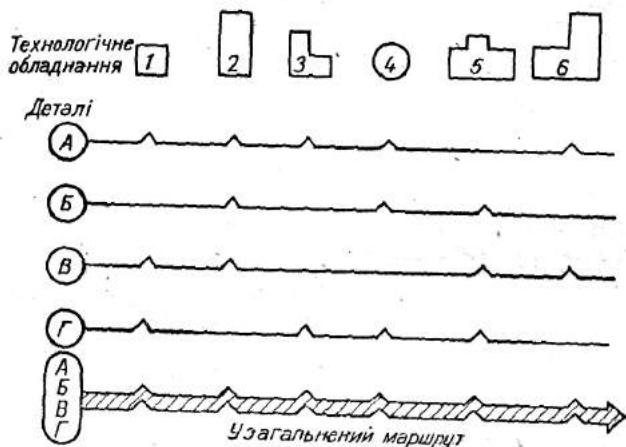


Рис. 2.2. Формування узагальненого маршруту:  
1—6 — обладнання.

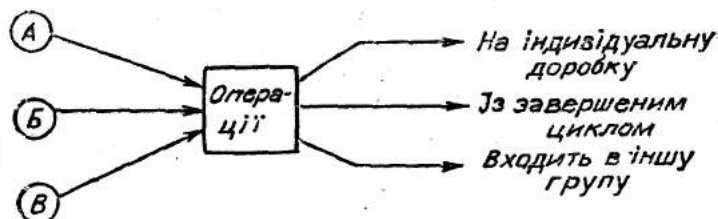
шення часу його виконання дає змогу або уникнути обробки деталей партіями, або суттєво зменшити обсяг партій.

Таким чином, ГАВ характеризується реалізацією декількох технологічних процесів на одному комплекті технологічного обладнання. Індивідуальні процеси обробки зливаються в один — узагальнений, а окремі деталіоперації — в групові операції. Для реалізації узагальненого технологічного процесу необхідно, щоб обладнання 1—6 (рис. 2.2) та їхня технологічна оснастка були придатні для обробки всіх деталей групи. Залежно від ступеня застосування групової обробки в узагальнених технологічних процесах розрізняють технологічний процес з однією груповою операцією (рис. 2.3, а), зі всіма груповими операціями (рис. 2.3, б), зі змінним складом груп деталіоперацій (рис. 2.3, в). В умовах ГАВ перший вид процесів реалізують на автоматичних верстатних системах, які працюють автономно, наприклад, ГВМ, РТК, другий вид процесів — на ГАЛ, третій — на ГАД та в ГАЦ.

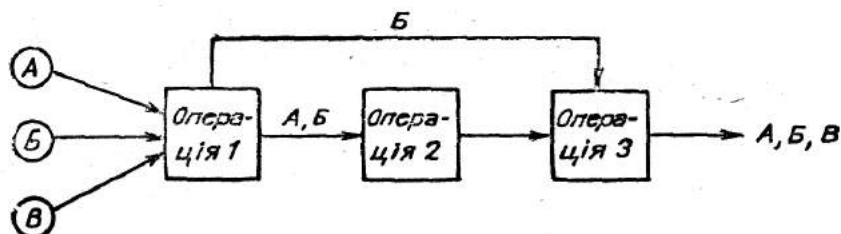
Малоопераційність технології забезпечується високою концентрацією обробки, характерною для сучасних верстатів з ЧПК, коли з однієї установки обробляють якомога більше поверхонь і конструктивних елементів деталі. Формування структури

операцій концентрованої обробки на багатоінструментальних верстатах з ЧПК підпорядковується принципу максимально можливої концентрації. Тоді кількість технологічних операцій стає мінімальною, а технологічний процес забезпечує такі переваги:

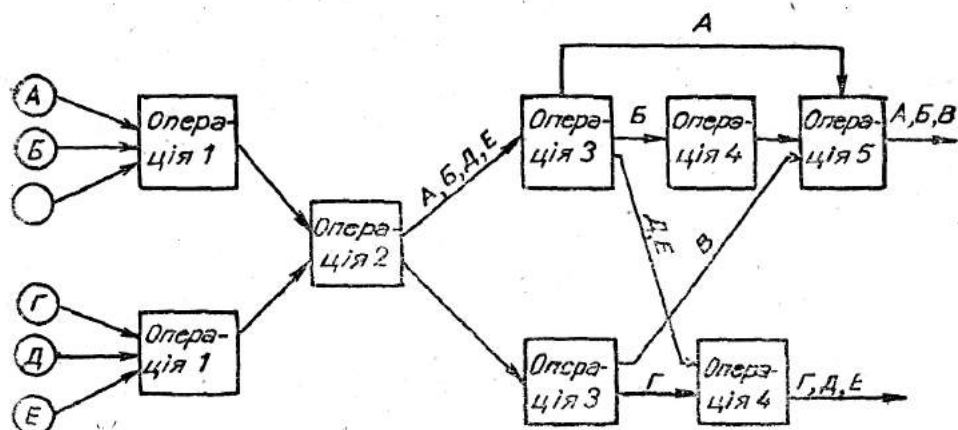
- 1) підвищення точності деталей та стабільності обробки за рахунок зниження кількості перевстановлень деталі;
- 2) зниження трудомісткості обробки шляхом зменшення ви-



а



б



в

Рис. 2.3. Організація групової обробки в умовах ГАВ:

а — з однією групою операцією, що виконується на ГВМ або РТК; б — зі всіма групами операціями, що виконуються на ГАЛ; в — зі змінним складом груп та різними технологічними маршрутами (ГАД).



трат часу на допоміжні операції: завантаження верстата, виконання контрольних і розмічальних операцій тощо;

3) спрощення міжопераційного транспортування деталей за рахунок скорочення технологічних маршрутів;

4) збільшення верстатомісткості деталі на окремих операціях, що скорочує кількість деталеоперацій, закріплених за одним верстатом. і створює передумови для його спеціалізації;

5) скорочення загальної кількості технологічної оснастки, необхідної для обробки деталей.

Комплексність технологічного рішення передбачає якнайповнішу обробку деталей, яку можливо здійснити в межах ГВС. Ця вимога виконується рідко, наприклад, у деяких ГВС обробки корпусів реалізується тільки 40...60% повного об'єму механічної обробки. Решту операцій виконують поза межами ГВС, що негативно впливає на ефективність ГАВ.

Комплексна технологія обробки деталі включає виготовлення заготовки, її попередню обробку та створення технологічних баз: основну механічну обробку, а також фінішну та різного виду спеціальні обробки. Основну, а часто також попередню обробку, які становлять більшу частину верстатомісткості технологічного процесу, здійснюють, як правило, в межах ГВС. Фінішні операції, що вимагають спеціальних верстатів, а також термічну обробку деталей виконують на обладнанні, що розміщене поза межами ГВС. У цьому випадку ГВС включають як складову частину в дільницю, лінію або цех із нижчим рівнем автоматизації.

Багатоваріантність технології опирається на розширені технологічні можливості верстатів з ЧПК, які можуть працювати в режимі взаємозамінності. При багатоопераційній обробці гнучкість ГВС зростає, якщо створити технологічні умови зміни послідовності виконання операцій технологічного процесу. Для цього при проектуванні технології створюють декілька технологічних маршрутів із тим, щоб при зміні зовнішніх умов (відсутність певних заготовок, інструменту, полом верстата тощо) мати змогу скористатися будь-яким із резервних маршрутів. При складанні опису основного та резервних маршрутів для кожної наступної операції обов'язково вказують номери передуючих їй операцій.

## **2.2. ЕТАПИ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ**

Технологічний процес, що розробляють для умов ГАВ, реалізує обробку групи деталей, які мають конструктивно-технологічну подібність. В основу його розробки покладено групування деталей, їх класифікація, уніфікація конструктивних елементів і поверхонь



**та наступна типізація технологічних рішень.** Типізація технологічних рішень для виготовлення виробів із подібними конструктивно-технологічними ознаками дає змогу створювати типові технологічні процеси та операції. Для типової технологічної операції характерна єдність змісту та послідовності переходів групи виробів з подібними конструкторськими та технологічними ознаками.

Типізація технологічних рішень для групи виробів з різними конструктивними, але подібними технологічними ознаками дає змогу створювати групові технологічні процеси та операції.

Розроблений технологічний процес повинен забезпечити виконання технічних вимог при найменших витратах праці, засобів виробництва та матеріалів. Із можливих варіантів технологічного процесу найліпшим буде той, який забезпечить найвищий економічний ефект при виготовленні даної групи виробів. Загальні принципи розробки технологічного процесу для умов ГАВ в основному такі самі, як і для традиційного виробництва. Основні етапи проектування:

- підбір деталей для обробки в умовах ГАВ, їх групування, класифікація та кодування поверхонь і конструктивних елементів;

- аналіз технологічності деталей групи, уніфікація конструктивних елементів;

- аналіз і розробка технічних вимог до деталей, технологічний аналіз креслень;

- вибір заготовок;

- вибір методів обробки поверхонь заготовок;

- вибір технологічних баз і схем установаження заготовок;

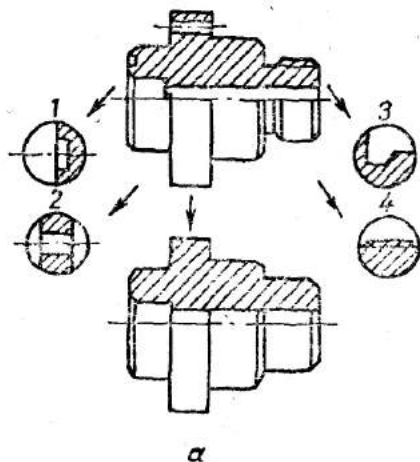
- розробка маршрутного технологічного процесу обробки заготовок;

- розмірний аналіз технологічного процесу;

- розробка технологічних операцій, складання керуючих програм для обладнання з ЧПК, виконання циклограм роботи автоматичних верстатних систем.

### **2.3. ПІДБІР ТА ГРУПУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ**

Операція обробки деталі на верстаті з ЧПК складається з незалежних один від одного технологічних переходів, оскільки точність виконання кожного розміру деталі без її перевстановлювання не залежить від точності виконання інших розмірів. Ця обставина створює передумови для обробки точних і складних деталей. Відбираючи деталі для обробки в умовах ГАВ, слід брати до уваги, що ефективність використання обладнання з ЧПК зростає із збільшенням складності оброблюваних на ньому деталей. Склад-



а

Номер, вид і найменування КЕ	Ескіз КЕ	Параметри КЕ	Інструмент і його траєкторія
5, основний, отвір наскрізний		1. DL1 2. DL2 3. D	
3, додатковий, канавка нарізна		1. DL1 2. DL2 3. D1 4. D2 5. D3	
1, додатковий, канавка торцева		1. DL1 2. D 3. DL2	

б

Рис. 2.4. Конструктивні елементи деталі (а) та уніфіковані конструкторсько-технологічні рішення (б):

1 — торцева канавка; 2 — отвір фланця; 3 — канавка для різі; 4 — різь; 5 — контур, створений основними поверхнями.

ність деталі визначається за такими ознаками, як кількість **поверхонь** та конструктивних елементів, їх форма та шорсткість, **точність** розташування тощо. При виготовленні складних деталей в умовах ГАВ ліквідовують розмічальні роботи, зменшують кількість одиниць технологічного оснащення, спрощують виконання контрольних операцій.

Відібрані для виготовлення в умовах ГАВ деталі повинні мати **певну** конструктивно-технологічну подібність, оскільки більшість ГВС спеціалізуються на виробництві деталей певного типу. Ефективність функціонування такої ГВС підвищують шляхом уніфікації конструкторських і технологічних рішень.

Уніфікація конструкторських рішень полягає в уніфікації та стандартизації виробів, деталей та їх поверхонь. Вона призводить до зменшення різноманітності технологічних рішень, що застосовуються при обробці групи деталей. Уніфікація конструкторських рішень створює основу для уніфікації технологічних рішень.

Уніфікація технологічних рішень полягає у створенні типових та групових технологічних процесів з уніфікованими елементами, тобто інструментами для обробки, схемами базування, схемами обробки тощо. Технологічний процес у цьому випадку може створюватися шляхом синтезу уніфікованих конструктивно-технологічних рішень, що включають конструкторський опис елемента деталі й технологію його одержання (рис. 2.4). Кожна деталь групи може бути представлена відповідним набором конструкторських елементів, а технологія її виготовлення — набором відповідних технологічних рішень.

Конструкторські елементи деталі включають основні та додаткові поверхні. До основних належать поверхні, які створюють контур деталі. Їх обробляють універсальними інструментами. Всі основні поверхні деталей, що є тілами обертання, наприклад, можна **обробляти** контурним різцем (рис. 2.5). Додаткові поверхні обробляють, як правило, спеціальним інструментом після обробки основних поверхонь, з якими вони мають розмірний або геометричний зв'язок. До додаткових поверхонь належать різноманітні канавки, різи, фаски, пази, галтелі, вікна тощо. Насамперед уніфікують **додаткові** елементи, оскільки виготовлення кожного з них **вимагає** застосування окремого спеціального інструмента із виділенням окремої позиції в інструментальному магазині.

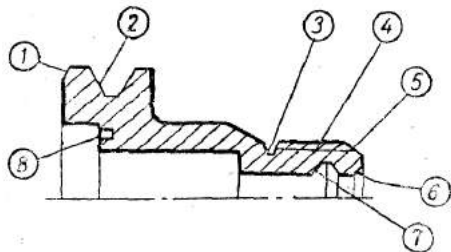


Рис. 2.5. Поверхні деталі:  
1—8 — додаткові поверхні; решта — основні.

При групуванні деталей й аналізі їх конструктивно-технологічної подібності враховують вид оброблюваного матеріалу, габаритні розміри, метод базування та розміри базових поверхонь, вимоги щодо якості обробки, наявність фінішних і спеціальних операцій. Формування групи деталей дає змогу об'єднати деталі одного конструктивно-технологічного типу шляхом створення комплексної деталі або виокремлення типового представника. Комплексна деталь може бути реальною або абстрактною. Вона вклю-

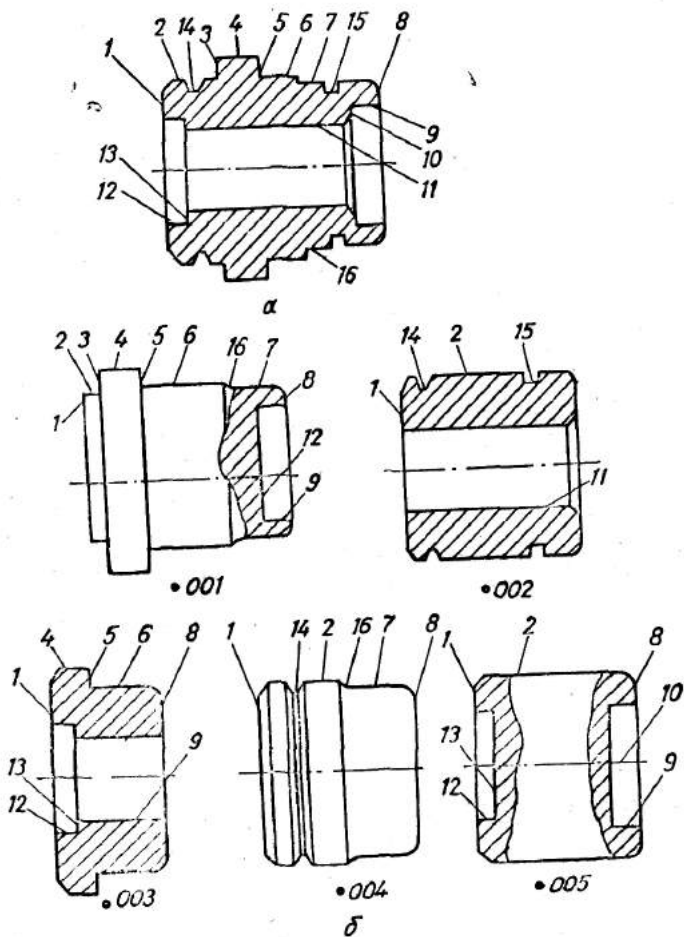


Рис. 2.6. Комплексна деталь (а) та деталі групи (б):  
1-16 — поверхні деталей.

чає конструкторські елементи, характерні для всіх деталей групи. Комплексну деталь використовують для розробки групової уніфікованої заготовки, проектування узагальненого технологічного процесу та групових технологічних операцій.

Для проектування групової технологічної операції комплексна деталь, наприклад, описується матрицею конструктивних елементів та поверхонь  $M_{\text{пов}}$  (рис. 2.6):

Поверхні комплексної деталі	Деталі групи															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
.001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1
.002	1	1						1			1			1	1	
.003	1			1	1	1		1	1			1	1			
.004	1	1						1	1						1	1
.005	1	1						1	1	1		1	1			

Далі складемо матрицю такої самої розмірності для поверхонь, які не можна обробити на першій груповій операції  $M_{\text{пов}}$ . Сюди входять поверхні, закриті для підведення інструмента, або поверхні, що контактують із затискним пристроєм:

Поверхні комплексної деталі	Деталі групи															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
.001	1	1	1	1												
.002	1										1					
.003	1			1								1	1			
.004	1	1													1	
.005	1											1	1			

Віднімемо

$$M_I = M_{\text{пов}} - \bar{M}_{\text{пов}}$$

**Одержана матриця  $M_I$  включає поверхні всіх деталей групи, що можуть бути оброблені на першій груповій операції  $I$  при найвищій концентрації обробки:**

Поверхні комплексної деталі																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Деталі групи																
.001					1	1	1	1	1							1
.002		1						1							1	
.003					1	1		1	1					1		
.004							1	1								
.005		1						1	1	1						

Застосування уніфікованих конструктивно-технологічних рішень дає змогу для набору поверхонь, що входять у матрицю  $M_T$ , підібрати відповідний набір елементарних, інструментальних або позиційних переходів, які в комплексі утворюють групову операцію.

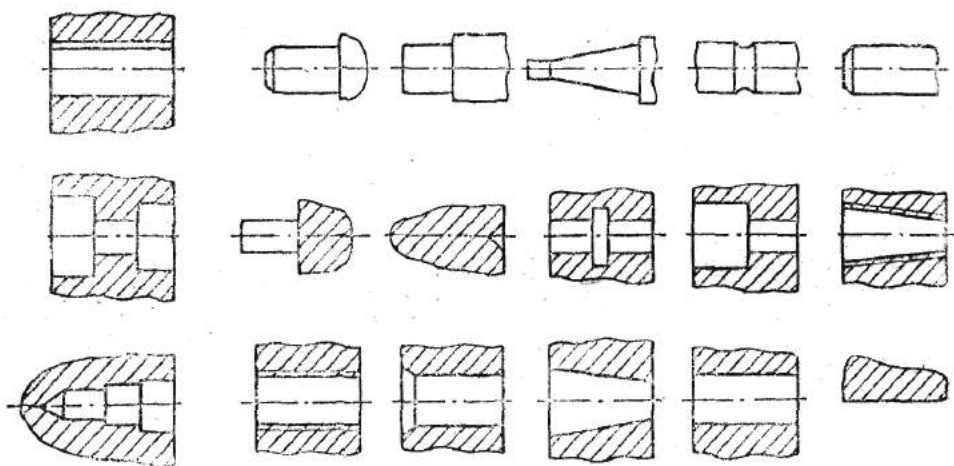


Рис. 2.7. Конструктивні елементи корпусних деталей.

Аналогічно виконують уніфікацію конструктивних елементів корпусних деталей (рис. 2.7). Для кожного конструктивного елемента розробляють уніфіковане технологічне рішення у вигляді типової схеми обробки.

При створенні групових операцій технолог повинен приймати рішення про включення чи невключення тієї чи іншої деталі у групу, що обробляється на конкретній автоматичній верстатній системі. Як критерій включення чи невключення деталі операції

для групової обробки доцільно використовувати коефіцієнт технологічної гнучкості

$$G = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{T_{ni}}{t_i P_i}} = K_y \cdot K_m.$$

Розширення кількості деталооперацій, закріплених за верста- том, збільшує коефіцієнт універсальності  $K_y$  і зменшує коефіцієнт

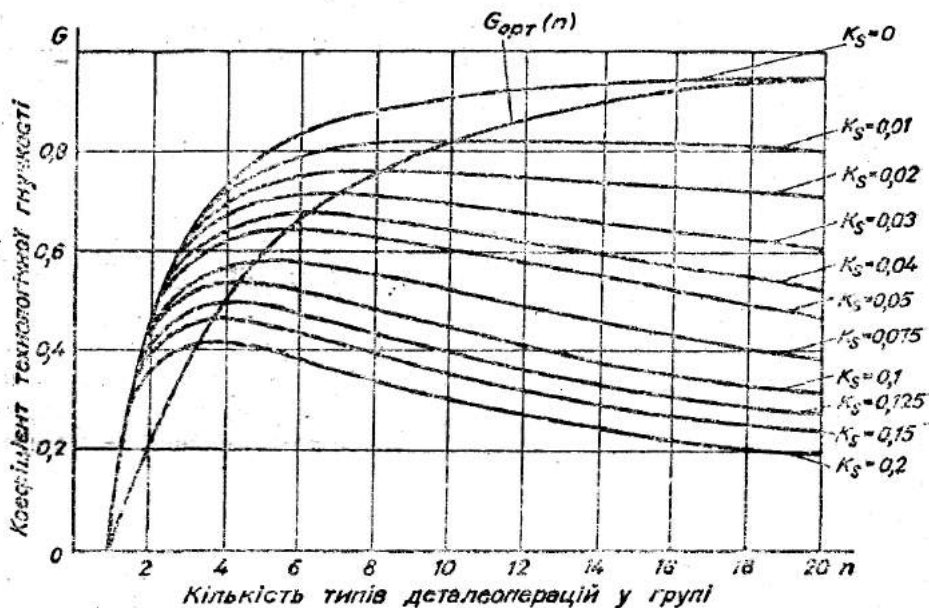


Рис. 2.8. Залежність коефіцієнта технологічної гнучкості  $G$  та його оптимального значення  $G_{opt}$  від кількості типорозмірів деталей  $n$ , що входять у групу.

мобільності  $K_m$  за рахунок зростання складності переналагодження. Аналіз виразу для  $G$  показує, що функція  $G=f(n)$  має чіткий максимум, який відповідає найменшим витратам часу при переналагодженні верстата.

Позначимо відношення часу переналагодження до часу обробки партії запуску деталей як коефіцієнт переналагодження  $K_s$ :

$$K_s = \frac{T_{n \cdot 1}}{t_i P_i}.$$



Тоді

$$G = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n K_{s,i}}.$$

Проаналізуємо цей вираз, взявши для спрощення, що  $K_{s1} = K_{s2} = \dots = K_{s,i} = \dots = K_{s,n} = K_s$ , звідки

$$G = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \frac{1}{1 + nK_s}.$$

Графічні залежності  $G = f(n, K_s)$  та  $G_{opt} = f(n)$  подані на рис. 2.8. Зростання коефіцієнта гнучкості  $G$  забезпечується конструктивно-технологічною подібністю деталей, що проявляється збільшенням кількості деталоперацій, які ввійшли у групу, та скороченням часу переналадження верстата.

#### 2.4. ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ ВИРОБІВ

Метою відпрацювання конструкції виробу на технологічність є підвищення продуктивності праці та якості виробу при максимальному зниженні витрат часу і засобів на його розробку, технологічну підготовку виробництва, виготовлення, ремонт та експлуатацію.

Технологічність деталей, що виготовляються в умовах ГАВ, слід оцінювати з декількох позицій:

— загальні вимоги до деталі, виконання яких сприяє зменшенню обсягу механічної обробки;

— вимоги, виконання яких забезпечує необхідну гнучкість виробництва;

— вимоги, що визначаються умовами автоматизації виготовлення деталі.

Загальні вимоги до конструкції деталі включають: обґрунтований вибір матеріалу; забезпечення шорсткості конструкції під час обробки; наявність або створення штучних технологічних баз, що забезпечують високу концентрацію обробки; економічно і функціонально обґрунтовані точність і шорсткість поверхонь; зменшення до мінімуму кількості глухих та похилих отворів. Обробка деталей на верстатах із ЧПК дещо змінила традиційне поняття технологічної деталі. Технологічно вважається деталь, яка включає такі поверхні:

— криволінійні поверхні;

— канавки, виточки та виступи з криволінійними стінками;

- різі зі змінним кроком;
- площини й отвори з точним взаємним розташуванням, які обробляють, повертаючи стіл із деталлю, наприклад співвісні отвори, розташовані на віддалених стінках.

Оскільки складність геометричної форми деталі не знижує її технологічності, то доцільно об'єднувати декілька простих деталей в одну складну. Об'єднання декількох простих деталей, наприклад, плити і чотирьох фланців під підшипники, в один литий корпус дає змогу виконати всю обробку різанням на одному верстаті, підвищити точність взаємного розташування оброблюваних поверхонь. Конструювання виробів, що включають деталі складної форми, поліпшує їх функціональні властивості за рахунок адаптації конфігурації деталей до оптимальних умов їх роботи. Зменшення кількості деталей у виробі, підвищення їх точності суттєво спрощує складання.

Поверхні, між якими існує розмірний або геометричний зв'язок, доцільно обробляти з однієї установки, тобто вони повинні бути доступними для інструменту. Для деталей, що є тілами обертання, зменшення кількості інструменту можливе, коли розміри зовнішніх поверхонь збільшуються, а внутрішніх — зменшуються при наближенні до патрона верстата. У цьому випадку зменшується кількість лівих різців.

Висока шорсткість верстатів із ЧПК дає змогу поєднувати чистову обробку з чорною. Доцільно призначати симетричні допуски, що спрощує складання керуючої програми. Задавати координати оброблюваних елементів необхідно з урахуванням можливостей пристрою ЧПК, наприклад, відмовлятися від полярних систем координат і переходити до прямокутних. Координати кріпильних отворів не повинні прив'язувати до баз, що відрізняються від прийнятих, при загальній обробці деталі. Крім цього, при обробці на верстатах із ЧПК виключається обробка кріпильних отворів «за місцем», спільна обробка з'єднаних деталей, підганяння розміру за з'єднуваною деталлю.

Вимоги, що забезпечують гнучкість виробництва, ґрунтуються на типізації технологічних процесів та організації групового виробництва. Типовий технологічний процес зменшує кількість автономних технологічних процесів. Він базується на групуванні деталей згідно з діючими конструкторськими і технологічними класифікаторами, які дають змогу створювати ті чи інші конструктивно і технологічно однорідні групи. Уніфікація деталей та їх конструктивних елементів є вихідною умовою уніфікації технологічних операцій і засобів технічного оснащення. За допомогою аналізу технологічності не окремо взятої деталі, а групи деталей, об'єднаних за конструктивно-технологічною подібністю, можна усунути різноманітність конструкторських і техно-

гічних рішень. Уніфікація конструкторських елементів забезпечує обробку мінімальною кількістю інструментів, дає змогу використовувати типові схеми обробки, спільні схеми базування, методи одержання заготовок тощо.

Вимоги до технологічності для деталей, що є тілами обертання, наприклад, полягають в уніфікації додаткових поверхонь і конструктивних елементів, обробка яких вимагає застосування спеціального інструменту, та модифікації їхньої форми таким чином, щоб вони могли бути оброблені універсальним інструментом (рис. 2.9).

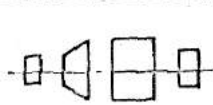
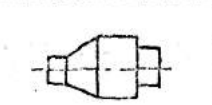

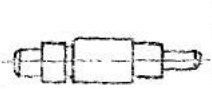






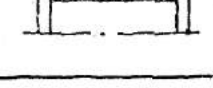
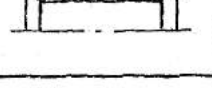
Спосіб підвищення технологічності	Елементи конструкції		Ефект поліпшення технологічності
	Базова	Модифікована	
Об'єднання декількох простих деталей в одну складну			Підвищення концентрації обробки, зниження трудомісткості, спрощення складання
Заміна шліфування тонким точінням за 7-м квалітетом			Виключення канавок для виходу шліфувального круга. Зменшення трудомісткості, кількості операцій
Уніфікація додаткових конструктивних елементів			Зменшення кількості спеціальних інструментів у наладжувальній
Заміна форми канавок для виходу різі або шліфувального круга			Виключення з наладжувальних спеціальних різців при використанні контурного різця
Зміна форми захисних фасок шліфувальних отворів			Виключення спеціальних інструментів при використанні різців основного набору
Заміна форми виточки			Зменшення кількості інструментів при використанні різців основного набору

Рис. 2.9. Приклади поліпшення технологічності деталей, які обробляють на токарних верстатах із ЧПК.

Для підвищення технологічності корпусних деталей уніфікують радіуси з'єднань поверхонь, конструкцію деталей виконують симетричною, розміри і шорсткість поверхонь отворів уніфікують як в межах однієї сторони деталі, так і в межах всієї деталі, а також у межах групи деталей (рис. 2.10).

Відпрацювання на технологічність груп деталей дає змогу скоротити витрати часу на переналагодження автоматичних верстатних систем, і цим самим підвищити їхню гнучкість.

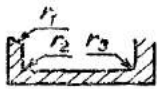
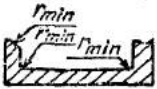


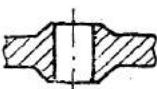

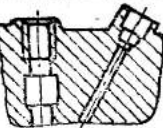
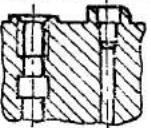
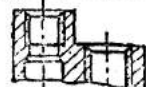
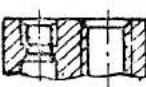


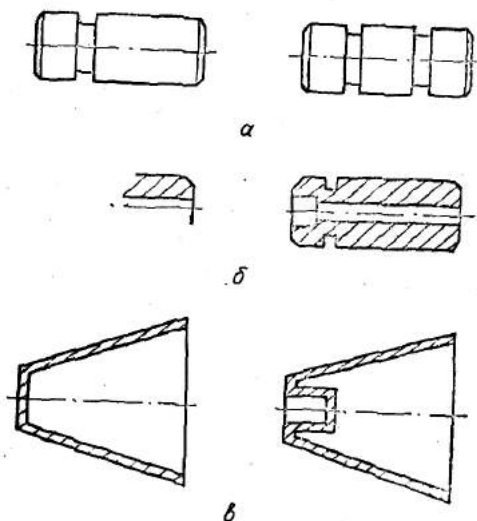
Спосіб підвищення технологічності	Конструктивні елементи деталі		Ефект поліпшення технологічності
	базовий варіант	модифікований варіант	
Уніфікація радіусів спряжень			Скорочення типорозмірів інструмента та допоміжного часу
Виконання конструкції симетричною			Скорочення удвічі витрат на підготовку керуючої програми
Розташування оброблюваних поверхонь на одному рівні			Скорочення часу позиціонування
Забезпечення перпендикулярності отворів до осовної поверхні			Зниження трудомісткості обробки та допоміжного часу. Зменшення затрат на програмування
Розташування отворів на одному рівні			Зменшення вильоту інструменту, підвищення точності обробки
Заміна різьбової канавки збільшенням глибини свердління			Здешевлення та зниження трудомісткості обробки

Рис 2.10. Приклади поліпшення технологічності деталей, які обробляють на багатодільових верстатах.

Вимоги, що забезпечують автоматизацію обробки деталей, спрямовані на підвищення підготовленості конструкції виробу для його автоматичного виробництва. Автоматизація завантажувальних, транспортних, контрольних, обслуговуючих (очисних тощо) операцій висуває певні вимоги до форми, розмірів, взаємного розташування та шорсткості поверхонь заготовок і де-

талей. Деталі, що призначені для механічної обробки, повинні мати:

- форму, що сприяє легкому видаленню стружки;
- чіткі ознаки орієнтації;
- високу інструментальну доступність поверхонь для забезпечення максимальної концентрації обробки та скорочення міжопераційних переміщень;
- однорідні за формою та розташуванням поверхні для базування в затискному пристрої та верстатному нагромаджувачі, а також для утримання захватом ПР.



Деталь вважається нетехнологічною, якщо її конструкція робить неможливим або ускладнює її автоматичне виготовлення, і навпаки, технологічною вважається деталь, при виготовленні якої можна застосовувати конструктивно прості або універсальні автоматичні пристрої для встановлення та зняття деталей з обладнання, їхнього транспортування, нагромадження, складування, миття, контролю тощо.

Для підвищення технологічності деталей, наприклад при автоматизації їх завантаження, необхідно виконання таких умов:

Рис. 2.11. Приклади нетехнологічних (зліва) і технологічних (справа) деталей, призначених для автоматичного виготовлення:

а — вал; б — фланець; в — стакан.

— у цілому симетричні деталі з дрібними асиметричними конструктивними елементами доводять до повної симетрії (рис. 2.11, а);

— при наявності внутрішньої асиметрії деталі на її зовнішній поверхні вводять розпізнавальний конструктивний елемент, розташований відповідно до внутрішнього контуру (рис. 2.11, б);

— розміри пазів, заглибин, отворів у деталі повинні бути такими, щоб уникнути западання однієї деталі в іншу;

— при небезпеці западання однієї деталі в іншу застосовують спеціальні запобіжні елементи (рис. 2.11, в).

Оцінка технологічності конструкції поділяється на якісну та кількісну. Якісна оцінка передуює кількісній та характеризує технологічність узагальнено, відповідно до досвіду виконавця.

Загальна послідовність етапів відпрацювання конструкції на технологічність виглядає так.

1. Визначають основні конструктивні елементи та поверхні деталі, які впливають на якість виконання робочих функцій виробу в умовах його експлуатації.

2. Виконують відпрацювання конструкції деталі на технологічність по основних поверхнях та конструктивних елементах.

3. Відпрацьовують решту поверхонь та конструктивних елементів на технологічність.

4. Визначають доцільність змін у конструкції виробу шляхом порівняльної оцінки кількісних показників базової та модифікованої (тобто зміненої при відпрацюванні на технологічність) конструкції.

Кількісна оцінка технологічності дає змогу визначити доцільність тих чи інших якісних змін у конструкції виробу. Для кількісної оцінки використовують основні та додаткові показники.

До основних показників технологічності належать трудомісткість виготовлення, матеріаломісткість та енергомісткість виробу, які відповідно характеризують витрати праці, матеріалів і паливно-енергетичних ресурсів на виробництво, ремонт та експлуатацію виробу. Основним показником є також собівартість виробу, яка відображає витрати праці, матеріалів і паливно-енергетичних ресурсів на виробництво, ремонт та експлуатацію виробу, виступаючи як узагальнений основний показник технологічності.

Абсолютна трудомісткість виготовлення  $T_a$  визначається сумою нормо-годин, витрачених згідно з технологічними процесами на виготовлення виробу:

$$T_a = \sum_i T_i$$

де  $T_i$  — трудомісткість виготовлення  $i$ -ї складової частини виробу у тій чи іншій сфері (заготівельній, оброблювальній, складальній, технічного обслуговування тощо), нормо-годин.

Відносну трудомісткість виготовлення  $T_v$  визначаємо як відношення двох величин трудомісткості, де чисельник — частина загальної трудомісткості, знаменник — загальна трудомісткість виготовлення. Відносну трудомісткість механічної обробки, наприклад,  $T_{v-m.o}$ , обчислюємо як відношення трудомісткості механічної обробки всіх деталей, що входять у виріб  $T_{m.o}$ , до загальної трудомісткості виготовлення виробу  $T_a$ :

$$T_{v-m.o} = \frac{T_{m.o}}{T_a}$$

**Матеріаломісткість** виробу характеризується кількістю витраченого матеріалу на виробництво виробу та його експлуатацію, яка визначається в одиницях маси.



Енергомiсткiсть виробу характеризує кiлькiсть витрачених паливно-енергетичних ресурсiв на його виготовлення або експлуатацiю.

Собiвартiсть виробу вiдображає витрати працi, матерiалiв i паливно-енергетичних ресурсiв на виробництво та експлуатацiю виробу. Для оцiнювання технологiчностi при виготовленнi виробу використовують значення технологiчної собiвартостi, при цьому елементи витрат, однаковi для базової та модифiкованої конструкцiї, у технологiчну собiвартiсть не включають.

Точна оцiнка рiвня технологiчностi конструкцiї виробу, одержана шляхом обчислення значень основних показникiв, вимагає попередньої розробки технологiчного процесу. Тому при оцiнюваннi технологiчностi на початкових i промiжних етапах проектування технологiчного процесу використовують саме додатковi показники.

Додатковим показником технологiчностi є коефiцiєнт унiфiкацiї конструктивних елементiв  $K_{y.e}$ , який визначаємо як

$$K_{y.e} = \frac{Q_{y.e}}{Q_e},$$

де  $Q_{y.e}$  — число унiфiкованих типорозмiрiв конструктивних елементiв;  $Q_e$  — загальна кiлькiсть конструктивних елементiв у виробi. Пiд час аналізу технологiчностi групи деталей для обробки в умовах ГАВ коефiцiєнт унiфiкацiї визначаємо для всiєї групи:

$$K_{y.e}^r = \frac{Q_{y.e}}{\sum_{i=1}^n Q_{e,i}},$$

де  $K_{y.e}^r$  — коефiцiєнт унiфiкацiї конструктивних елементiв групи деталей, що спiльно обробляються;  $Q_{e,i}$  — кiлькiсть конструктивних елементiв в  $i$ -й деталi групи;  $Q_{y.e}$  — кiлькiсть унiфiкованих типорозмiрiв конструктивних елементiв у межах групи;  $n$  — кiлькiсть типорозмiрiв деталей, що входять у групу.

Коефiцiєнт використання матерiалу  $K_{в.м}$  визначаємо як вiдношення маси готового виробу  $m$  до маси матерiалу, що витрачається на її виготовлення  $M$ :

$$K_{в.м} = \frac{m}{M}.$$

Коефiцiєнт точностi обробки  $K_T$  обчислюємо як

$$K_T = 1 - \frac{1}{A_m},$$



де  $A_m$  — середній квалітет розмірів виробу:

$$A_m = \frac{1n_1 + 2n_2 + \dots + 19n_{19}}{n_1 + n_2 + \dots + n_{19}},$$

де  $n_i$  — число розмірів, точність яких відповідає  $i$ -му квалітету.  
Коефіцієнт шорсткості поверхонь деталі  $K_{ш}$  визначаємо як

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{B_m},$$

де  $B_m$  — середнє числове значення параметра  $R_a$  шорсткості поверхонь деталі.

$$B_m = \frac{0,01n_{0,01} + 0,02 \cdot n_{0,02} + \dots + 40 \cdot n_{40} + 80 \cdot n_{80}}{n_{0,01} + n_{0,02} + \dots + n_{40} + n_{80}},$$

де  $n_{0,01}, \dots, n_{80}$  — кількість поверхонь деталі, що мають шорсткість із відповідним значенням параметра  $R_a$ .

Таким чином, під час відпрацювання конструкції деталі на технологічність спочатку вносять ті чи інші зміни в її базову конструкцію, далі визначають основні або додаткові показники технологічності для базової та модифікованої конструкцій. Порівнюючи одержані числові значення, роблять висновок про доцільність внесених змін у конструкцію виробу. При цьому також порівнюють одержані значення додаткових показників технологічності з їх гранично допустимими значеннями, наведеними у довідковій літературі. Мінімально допустиме значення, наприклад, коефіцієнта уніфікації конструктивних елементів деталі  $K_{у,е}=0,6$ ; коефіцієнта точності  $K_T=0,8$ ; коефіцієнта шорсткості  $K_{ш}=0,32$ .

## 2.5. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛІ

Кожна деталь, яка підлягає механічній обробці, може бути представлена як з'єднання окремих поверхонь. Деталь після завершення механічної обробки має поверхні, що пройшли різні етапи обробки;

- поверхні, які залишилися необробленими, тобто поверхні заготовки;
- поверхні, оброблені начорно;
- поверхні, оброблені спочатку начорно, потім начисто;
- поверхні, які після чистової обробки підлягали фінішній обробці.

Згідно зі своїм призначенням ці поверхні або реалізують функціональні вимоги, висунуті до деталі, або обмежують матеріал деталі.

Розміри, що характеризують поверхні та зв'язки між ними, відповідно до методу забезпечення їх точності поділяють на два види:

— розміри, точність одержання яких не залежить від точності переміщення робочих органів верстата за керуючою програмою (наприклад, діаметр отвору);

— розміри, точність яких визначається точністю переміщення робочих органів верстата за керуючою програмою.

Розміри другого виду координують взаємне розташування поверхонь та конструкторських елементів деталі відносно баз, що з ними зв'язані. Для цього використовують координатний і ланцюговий методи задання розмірів.

Координатний метод полягає в заданні розташування всіх поверхонь відносно єдиної бази. У цьому випадку виключається вплив похибки встановлення заготовки на точність взаємного розташування тих поверхонь, які оброблені з однієї установки.

Ланцюговий метод задання взаємного розташування поверхонь використовують у випадках, коли деталь має поверхні, що не зв'язані розмірами з основною базою, а тільки між собою. Якщо при цьому необхідно забезпечити високу точність розмірів, то як нові технологічні бази вибирають ті поверхні, відносно яких були задані розміри оброблюваних поверхонь. Тоді скорочуються довжини технологічних розмірних ланцюгів.

В обох випадках кожна поверхня повинна мати достатню кількість координуючих розмірів з тим, щоб її розташування в об'ємі деталі можна було визначити однозначно. Якщо зобразити поверхні деталі вершинами графа, то зв'язки між вершинами опишуть розмірні та геометричні зв'язки між поверхнями. Зв'язок бази деталі *Б* з її поверхнями відображає два методи задання розташування поверхонь (рис. 2.12).

Креслення деталі включає декілька видів розмірів, що зв'язують поверхні деталі:

— розміри, що зв'язують необроблені поверхні (розміри заготовки);

— розміри, що зв'язують поверхні, оброблені начорно;

— розміри, що зв'язують поверхні, оброблені начисто;

— координаційні розміри, що зв'язують необроблені поверхні з чорновими, чорнові з чистовими і т. д.

Наявність координаційних розмірів дає змогу розглядати деталь як поєднання контурів різних стадій обробки: контур заготовки, чорновий контур, чистовий контур тощо. Відповідно до цього розроблені основні правила перевірки розмірів деталі:

1. Поверхні, що перебувають на однаковій стадії обробки, зв'язують розмірами тільки між собою (тобто в межах створення відповідного контуру).

2. Кожний контур деталі зв'язують із сусіднім тільки за допомогою одного координаційного розміру по кожній з координат.

Поверхні заготовки, наприклад, зв'язують із поверхнями чорнового контуру тільки за допомогою одного розміру по кожній із координатних осей. Для деталі (рис. 2.13) можна виділити такі

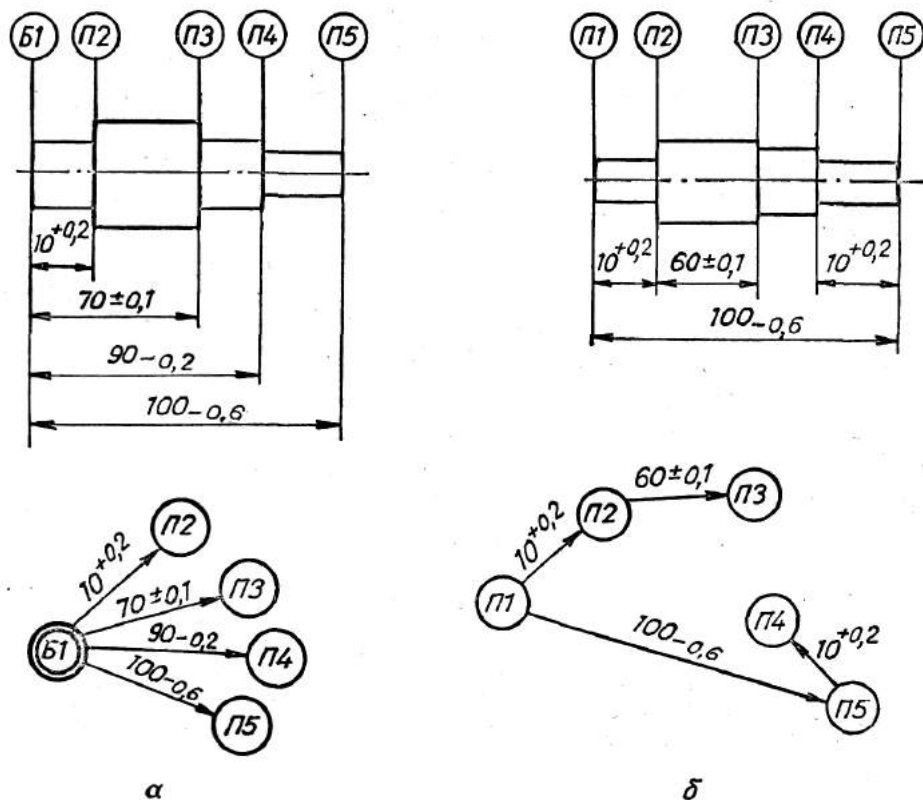


Рис. 2.12. Координатна (а) та ланцюгова (б) розмірні схеми.

види розмірів, що зв'язують її поверхні в осьовому напрямку:

- розміри, що зв'язують поверхні заготовки ( $260^{+1,2}_{-0,8}$ ,  $10^{+0,5}$ );
- розміри, що зв'язують поверхні чорнового контуру ( $300 \pm 0,3$ ;  $120 \pm 0,3$ );
- розмір, що зв'язує поверхні чистового контуру ( $25 \pm 0,05$ );
- координаційний розмір між поверхнями заготовки і чорнового контуру ( $16 \pm 0,2$ ) та координаційний розмір між поверхнями чорнового і чистового контурів деталі ( $150^{+0,08}$ ).

Таким чином, основою для аналізу креслення деталі є виокремлення в складі її поверхонь відповідних контурів та зв'язків між ними. Для цього складають таблицю характеристик поверхонь деталі, яка включає технологічну ознаку-план обробки кожної поверхні.

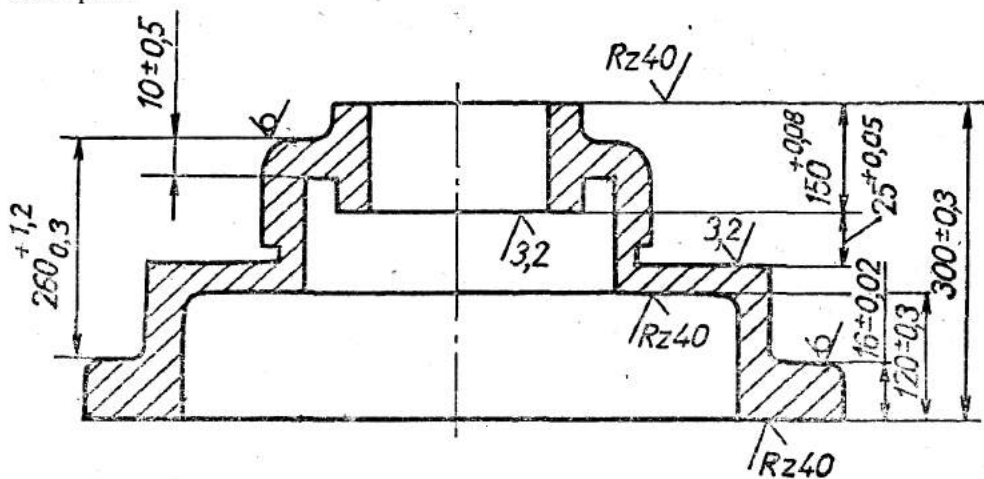


Рис. 2.13. Приклад аналізу розмірів деталі.

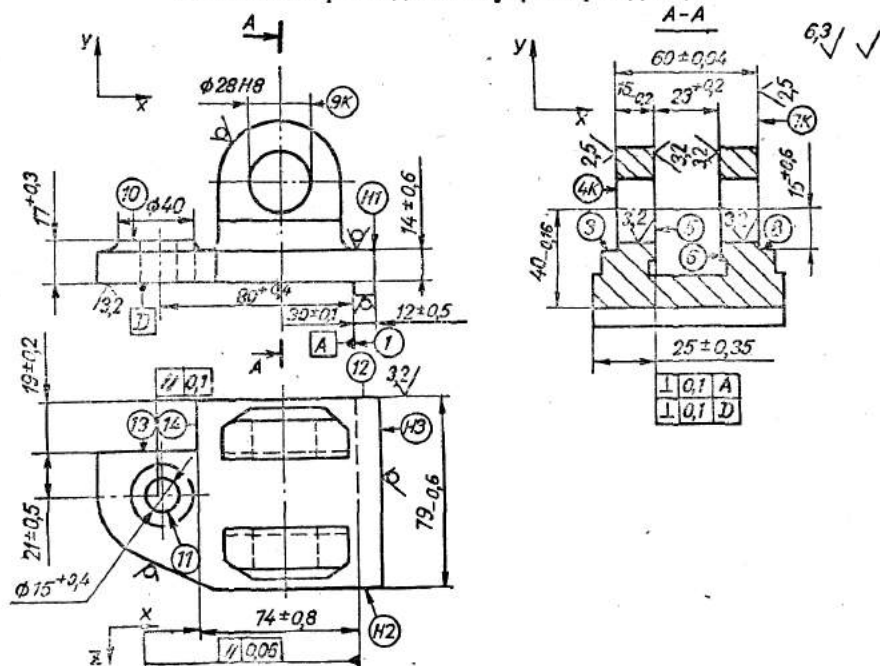


Рис. 2.14. Опора поворотна; матеріал: сірий чавун марки СЧ18; припуск 1,8 мм на всіх поверхнях, крім отвору  $\varnothing 15$  мм.



Проаналізуємо деталь, зображену на рис. 2.14. Поверхні заготовки позначимо буквами  $H_i$  (необроблена), поверхні чорнового контуру — цифрами 1, 2, ... без застосування у позначенні букв, оскільки таких поверхонь найбільше, а поверхні чистового контуру, які обробляють спочатку начорно, потім начисто, — цифрами з додаванням до номера поверхні букви «К» (кінцева обробка). Характеристики поверхонь деталі наведені у табл. 2.1.

У графі розмірних або геометричних зв'язків (табл. 2.1) вка-

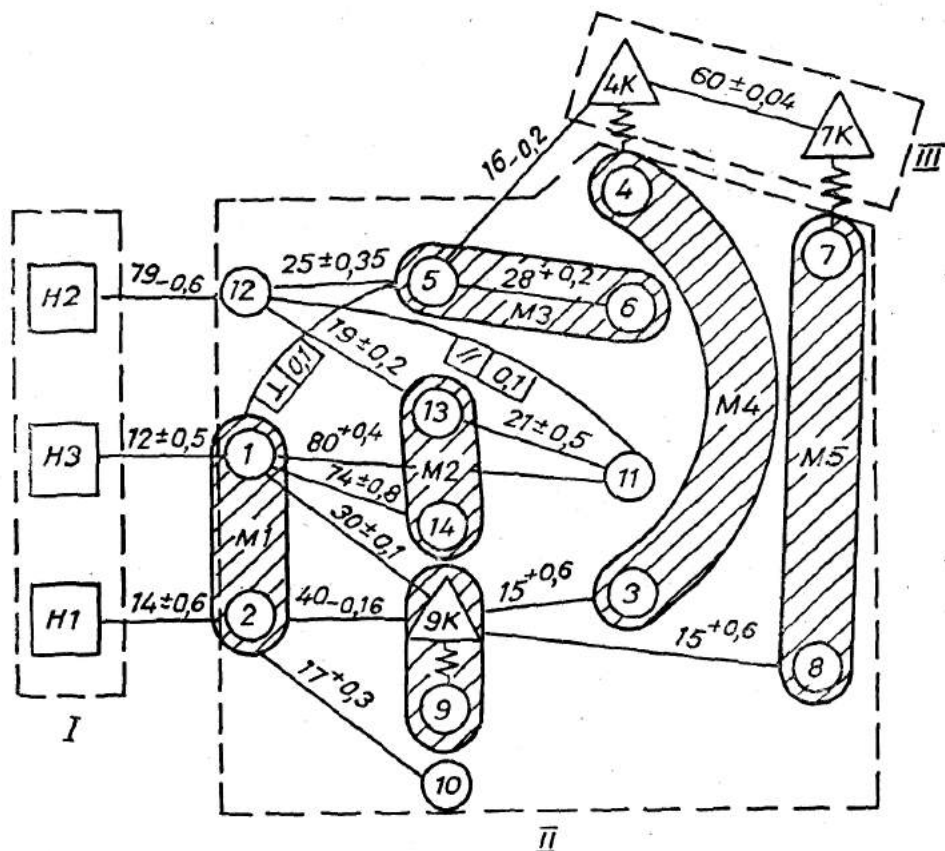


Рис. 2.15. Геометричні та розмірні зв'язки між поверхнями опори поворотної:

I — контур заготовки; II — чорновий контур; III — чистовий контур; M1—M5 — модулі поверхонь.

зана поверхня, з якою зв'язана розміром або геометрично розглянута поверхня, та власне розмір із допуском на нього або вид геометричного зв'язку з відповідним допуском. Зв'язки між поверхнями деталі зображені на рис. 2.15. Поверхні, які утворюються різ-

ними сторонами одного інструмента або набором жорстко з'єднаних інструментів, доцільно розглядати як єдиний конструктивний елемент. Назвемо такий конструктивний елемент модулем поверхонь (табл. 2.2).

Під час розробки технології обробки будь-якої деталі доцільно використовувати технологічні рішення масового виробництва як найбільш наближені до ідеальних. Однак урахування технологіч-

Таблиця 2.2

Створення модулів поверхонь деталі

Позначення модуля	Склад поверхонь модуля	Мотиви об'єднання
M1	1,2	Використання при обробці двобічної фрези
M2	13,14	Те ж
M3	5,6	Використання трибічної дискової фрези завтовшки $28^{+0,2}$ мм
M4	3,4	Використання дво- чи трибічної дискової фрези
M5	7,8	Те ж
M6	9,9К	Використання дворазового розточування без перевстановлення деталі

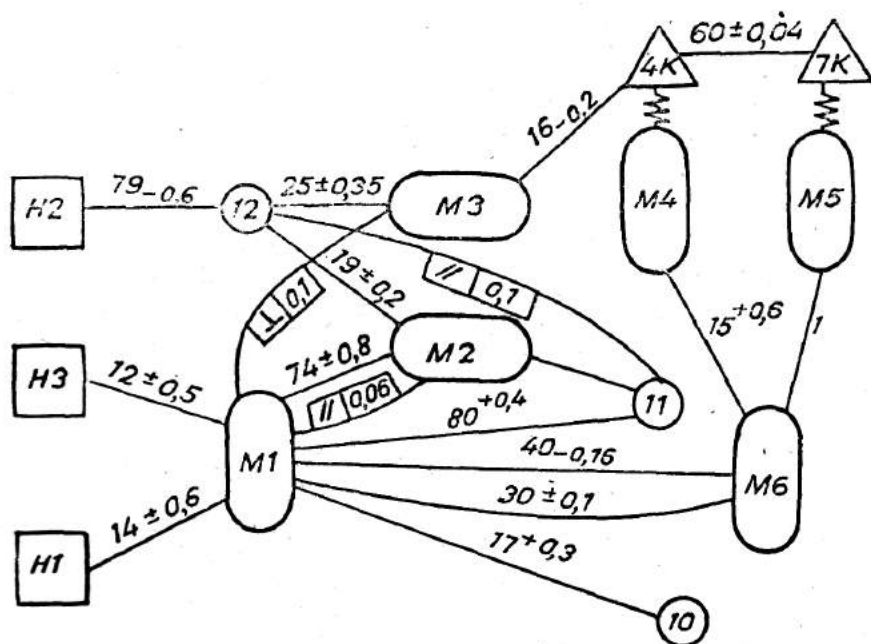
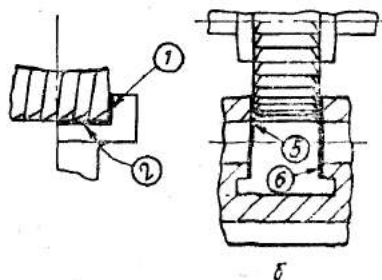


Рис. 2.16. Зв'язки між поверхнями та модулями поверхонь поворотної опори.



них особливостей ГАВ (висока концентрація обробки, вкорочені маршрути, гнучкість, автономність роботи верстата тощо) зумовлює певні зміни у технології обробки: Для деталі, зображеної на рис. 2.14, в умовах масового виробництва доцільно було б обробити поверхні 3, 4, 5, 6, 7, 8 набором із трьох фрез. Однак в умовах ГАВ це спричинить зниження гнучкості верстатної системи, підвищення навантаження на верстат і зростання вібрацій при різанні за рахунок консольного закріплення фрез. Тому ці поверхні обробляють окремими фрезами; при цьому утворюються модулі М3, М4, М5.



Поверхні, які утворюють модуль, визначаємо в загальному випадку за допомогою відношення

$$M = \left\{ \begin{array}{l} \text{обробляється одним інструм.} \\ \text{без перевстановлення деталі.} \end{array} \right\}$$

Тоді модулі М1—М6 запишемо за допомогою співвідношень

Рис. 2.17. Схеми створення модулів М1 (а) та М3 (б).

$$M1 = П1\mu П2; \quad M2 = П13\mu П14; \quad M3 = П5\mu П6;$$

$$M4 = П3\mu П4; \quad M5 = П7\mu П8; \quad M6 = П9\mu П9К.$$

Заміна поверхонь відповідними модулями дає модифікований граф розмірних і геометричних зв'язків деталі (рис. 2.16). Приклади реалізації модулів подані на рис. 2.17.

## 2.6. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНИХ БАЗ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ

Одним із найвідповідальніших рішень під час проектування технологічного процесу є вибір технологічних баз. Він впливає як на точність одержаних при обробці розмірів деталі, так і на всі основні елементи технологічного процесу: довжину технологічного маршруту, складність пристроїв, тривалість обробки деталі.

Як правило, до зміни технологічних баз під час обробки вдаються у випадках:

— коли всі поверхні деталі неможливо обробити з однієї установки;

— коли деталь необхідно послідовно оброблювати на декількох верстатах для досягнення необхідної точності або економічності.

**Обробку** заготовки починають із поверхонь, які надалі використовуватимуться як технологічні бази. Ці поверхні вибирають виходячи з двох основних принципів: принципу постійності баз та принципу суміщення баз.

Принцип постійності баз передбачає використання одного комплекту технологічних баз на найбільшій кількості технологічних операцій, оскільки кожна заміна технологічних баз супроводжується виникненням нових похибок.

Часткове дотримання принципу постійності баз полягає у використанні одних і тих самих технологічних баз тільки для найважливіших поверхонь, які зв'язані між собою шорсткими технологічними вимогами.

Принцип суміщення баз полягає у використанні конструкторських та вимірювальних баз як технологічних. У цьому випадку скорочуються довжини технологічних розмірних ланцюгів, що дає змогу уникнути нераціонального зменшення допусків.

Після того як визначені технологічні бази для наступних операцій, їх необхідно обробити на перших операціях, встановивши деталь по чорнових базах. Для чорнових баз вибирають поверхні, які надалі залишаються необробленими, що забезпечує точніше розташування оброблених поверхонь відносно необроблених та рівномірні припуски на обробку. Чорнові бази повинні мати велику площу, бути гладкими та рівними, займати стабільне положення відносно оброблюваних поверхонь, що забезпечує жорстке закріплення заготовок у пристроях, зменшує вібрацію.

Чорнова база в технологічному маршруті може бути використана тільки один раз — всі наступні операції повинні виконуватися з використанням оброблених поверхонь. Пов'язане це з тим, що точність чорнових баз завжди нижча від точності оброблених поверхонь.

Послідовність вибору комплекту технологічних баз полягає у визначенні поверхонь, від яких задана найбільша кількість розмірних і геометричних зв'язків у кожному координатному напрямі, та аналізі їхньої придатності для базування. Знаходження таких поверхонь суттєво спрощується при використанні графа розмірних і геометричних зв'язків поверхонь деталі.

Перехід від обробки одних поверхонь до обробки інших часто вимагає перебазування деталі. При цьому для забезпечення точності нові бази повинні бути попередньо оброблені, що висуває певні вимоги до послідовності обробки поверхонь деталі.

Визначення послідовності обробки поверхонь спроститься, якщо використати граф розмірних та геометричних зв'язків між ними.

Подавши деталь як з'єднання елементарних поверхонь та їх модулів

$$D = \{P_1, P_2, \dots, M_1, M_2 \dots\},$$

визначимо логічну послідовність їх обробки. Для цього накладемо на зв'язки між поверхнями та модулями відношення

$$\pi = \{\text{обробляється раніше}\}.$$

Тоді вираз  $\Pi_1 \Pi_2$  читається як «поверхня  $\Pi_1$  обробляється раніше від поверхні  $\Pi_2$ ». Зобразимо це відношення матрицею  $\pi$ :

Оброблена поверхня

	—	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_4$	$\Pi_5$	Д
$\pi =$ Поверхня, яку треба обробити	$\Pi_1$	—					0
$\Pi_2$	1	—					1
$\Pi_3$	1		—				1
$\Pi_4$			1	1	—		2
$\Pi_5$					1	—	1

Матрицю  $\pi$  можна зобразити у вигляді графа (рис. 2.18). Кожний існуючий зв'язок попередності між парами поверхонь позначають одиницею. Для визначення загальної кількості таких зв'язків для

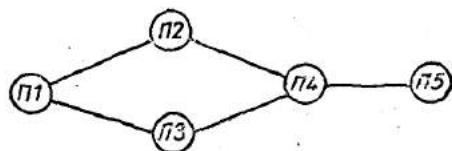


Рис. 2.18. Відношення попередності.

кожної з поверхонь, яку треба обробити, просумуємо одиниці в кожному рядку матриці, а суму запишемо в її стовпці Д. Таким чином, рядок для поверхні  $\Pi_1$ , який має значення  $\Pi_1=0$ , показує, що поверхня  $\Pi_1$  не вимагає попередньої обробки інших по-

верхонь. Тому з неї треба почати обробку деталі. Після обробки поверхні  $\Pi_1$  будуть реалізовані всі відношення попередності, що є в стовпці  $\Pi_1$ , і матриця попередності  $\pi$  набере вигляду:

$\pi_1 =$

	—	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_4$	$\Pi_5$	Д	І етап
$\Pi_1$		—					0	$\Pi_1$
$\Pi_2$		1	—				1	0
$\Pi_3$		1		—			1	0
$\Pi_4$			1	1	—		2	2
$\Pi_5$					1	—	1	1

У стовпчику матриці попередності після виконання першого етапу обробки залишаться різниця стовпців Д і П1, що відповідатиме нереалізованим відношенням попередності. На другому етапі обробляють поверхні, для яких відсутні зв'язки попередності (П2=0, П3=0). Продовжуючи таким чином перетворення матриці, визначаємо, що деталь може бути повністю оброблена в чотири етапи (рис. 2.19):

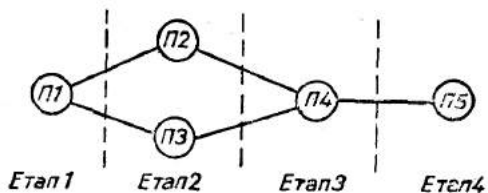


Рис. 2.19. Етапи обробки.

$$П1 \rightarrow \begin{matrix} П2 \\ П3 \end{matrix} \rightarrow П4 \rightarrow П5,$$

згідно з матрицею

$\pi_{IV} =$

—	П1	П2	П3	П4	П5	Д	Етапи обробки			
							I	II	III	IV
П1	—					0	П1	—	—	—
П2	1	—				1	П1	П2	—	—
П3	1		—			1	0	П3	—	—
П4		1	1	—		2	2	0	П4	—
П5				1		1	1	1	0	П5

При складанні вихідної матриці попередності необхідно враховувати такі види обмежень:

- геометричні, що визначають виходячи з креслення деталі;
- технологічні, які зумовлені особливостями обробки поверхонь деталі;
- економічні.

Технологічні обмеження послідовності обробки поверхонь стосуються взаємозв'язаних поверхонь. Наприклад, різенарізання мітчиком і цекування отвору вимагають попереднього свердління отвору, чистова обробка вимагає попередньої чорнової або напівчистої обробки і т. д.

Економічні обмеження включають очевидні вимоги до послідовності обробки для запобігання зношуванню інструмента, захисту деталі від пошкодження, скорочення часу обробки. Наприклад, спочатку проточують циліндричну поверхню, потім канавку на ній, що продовжує строк служби канавкового різця. Литі бо-



— свердління отвору П11;

— шліфування поверхонь П4К і П7К за два установи.

В умовах автоматизованого виробництва об'єднання окремих етапів в операції за однотипністю методу обробки (або використанням верстата одного типу) не завжди доцільне, оскільки ускладнюється автоматизація допоміжних операцій перебезування деталі. Завдяки розширенню технологічних можливостей верстатів з ЧПК можна об'єднувати окремі етапи в операції виходячи з

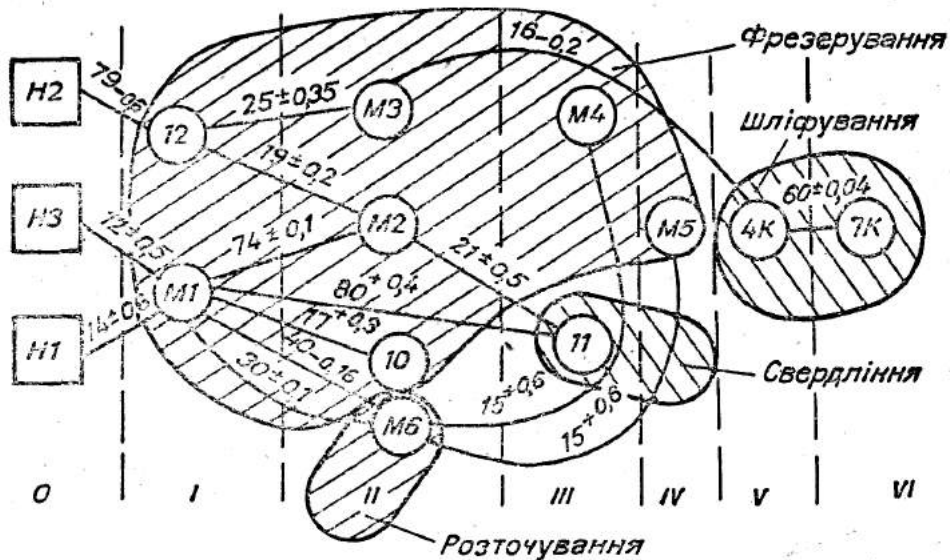


Рис. 2.21. Етапи обробки опори поворотної.

умов доступності поверхонь для інструменту та забезпечення відповідної точності їх взаємного розташування. Застосування багатопільового верстата з ЧПК, за допомогою якого виконують фрезерування і свердління та розточування, дає змогу об'єднати в одну операцію етапи II, III і IV. Однак при цьому необхідно виконати перерахунок розмірної схеми деталі у зв'язку зі зміною технологічних баз. Якщо замінити шліфування поверхонь 4К і 7К на чистове або фінішне фрезерування, то етапи V та VI ввійдуть до складу фрезерно-свердлильно-розточувальної операції.

Для умов масового виробництва деталі деякі етапи, навпаки, необхідно розділити на окремі операції. Наприклад, етап I можна розділити на дві операції: 1) обробка поверхонь  $M1 = \{P1, P2\}$ ; 2) обробка поверхні П12.

Очевидно також, що поверхні П3, П4, П5, П6, П7 та П8 доцільно обробити набором фрез. У цьому випадку при складанні



розмірної схеми деталі ці поверхні потрібно об'єднати в один модуль.

Розділення окремих етапів на декілька операцій дає змогу створити декілька маршрутів обробки деталі, рівноцінних з погляду забезпечення точності обробки. Найліпший з них вибирають за основний, інші — вважають резервними. Резервні маршрути використовують при зміні зовнішніх або внутрішніх умов перебігу технологічного процесу (відмови обладнання, перерви у постачанні заготовками, інструментом тощо). Створюють резервні технологічні маршрути трьома шляхами:

а) зміна ступеня концентрації або диференціації етапів обробки поверхонь деталі;

б) зміна послідовності виконання операцій в межах одного етапу (при диференціації етапів);

в) зміна послідовності виконання етапів, яка вимагає зміни розмірної схеми деталі та перерахунку розмірних ланцюгів.

Під час формування технологічних операцій на основі одержаних внаслідок аналізу розмірної схеми деталі етапів обробки слід враховувати:

— вибрані технологічні бази;

— методи обробки поверхонь і конструктивних елементів деталі;

— розташування поверхонь і конструктивних елементів в об'ємі деталі;

— рівень уніфікації конструктивних елементів;

— технологічні можливості обладнання.

В умовах автоматизованого виробництва головним завданням на цьому етапі розробки технології є досягнення максимального ступеня концентрації переходів.

## **2.7. РОЗМІРНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ**

Під час проектування технологічного процесу обробки деталі створюється певна послідовність формування розмірних і геометричних зв'язків між поверхнями. Кожний розмірний зв'язок утворюється як лінійний розмір, що зв'яже дві поверхні, одна з яких оброблювана, інша — технологічна база. При перебазуванні деталі у процесі обробки розмірний аналіз дає змогу визначити початкові розміри заготовки та проміжні розміри деталі на різних етапах її виготовлення, а також величини допусків на них.

Очевидно, що чим вищий ступінь роздрібнення технологічного процесу, тим складнішим є його розмірний аналіз і, навпаки, чим



вища концентрація операцій та коротший технологічний маршрут обробки, тим легше забезпечити необхідну точність розмірів деталі. Оскільки поверхні розташовані в об'ємі деталі складним чином, то розмірний аналіз провадять, використовуючи прямокутну координатну систему, зв'язану з деталлю. Розмірні зв'язки розглядають у напрямі кожної з координатних осей. Наприклад, для корпусних деталей розмірний аналіз ведуть у напрямі трьох осей координат  $XYZ$ , для плоских деталей — у напрямі двох осей коор-

Таблиця 2.3

Послідовність обробки поверхонь деталі вздовж осі  $Z$

Номер операції	Зміст операції	Технологічна база	Мінімальний припуск, мкм
1	Фрезерувати поверхню 12	H2	1000
2	Фрезерувати поверхню 5	12Ф	900
3	Фрезерувати поверхню 4	5Ф	1000
4	Фрезерувати поверхню 7	4Ф	1000
5	Шліфувати поверхню 4	5Ф	200
6	Шліфувати поверхню 7	4Ш	250

динат  $XY$ , для деталей, що є тілами обертання — тільки в напрямі осі обертання  $Z$ .

Розглянемо послідовність виконання розмірного аналізу технологічного процесу обробки деталі (див. рис. 2.14) при середньому ступені диференціації обробки, коли кожний етап обробки, наприклад, виконується як окрема технологічна операція. Розглянемо умови забезпечення точності виготовлення поверхонь деталі в напрямі осі  $Z$ . Послідовність їх обробки, що визначена етапами матриці попередності (див. рис. 2.20), наведена в табл. 2.3.

Розмірна схема деталі в напрямі  $Z$  зображена на рис. 2.22.

Побудуємо граф конструкторських зв'язків між поверхнями  $G_k$ , вершини якого відповідають поверхням на різних етапах обробки, а ребра — конструкторським розмірам або припускам на обробку (рис. 2.23, а). Побудуємо також граф технологічних зв'язків між цими поверхнями  $G_t$ , ребра якого відповідають технологічним розмірам деталі (рис. 2.23, б). Розміри, що зв'язують поверхні необробленого контуру, мають індекс  $E$ , розміри між поверхнями обробленого контуру — індекс  $U$ , координаційні розміри — індекс  $W$ . Сумістивши обидва графи  $G_k$  і  $G_t$ , одержимо узагальнений граф  $G_{k-t}$  (рис. 2.23, в), кожний замкнений контур якого створює розмірний ланцюг. Замикаючою ланкою будь-якого з одержаних розмірних ланцюгів може бути тільки ребро конструкторського графа: конструкторський розмір деталі або припуск на обробку.

Пронумеруємо для зручності аналізу поверхні деталі вздовж осі  $Z$  зліва направо: 1(12Н), 2(12Ф), 3(4Н), 4(4Ф), 5(4Ш), 6(5Ф), 7(5Н), 8(7Ш), 9(7Ф), 10(7Н), 11(Н2). За початкову вершину графів  $G_T$  та  $G_{K-T}$  вибирають поверхню, починаючи з якої виконують обробку деталі. Вона позначена подвійним кружечком. Граф  $G_T$  дає змогу додатково переконатись у правильності проставлення розмірів, а саме: поверхні кожного з контурів зв'язані тільки між собою, а самі контури (заготовки, чорновий, чистовий) зв'я-

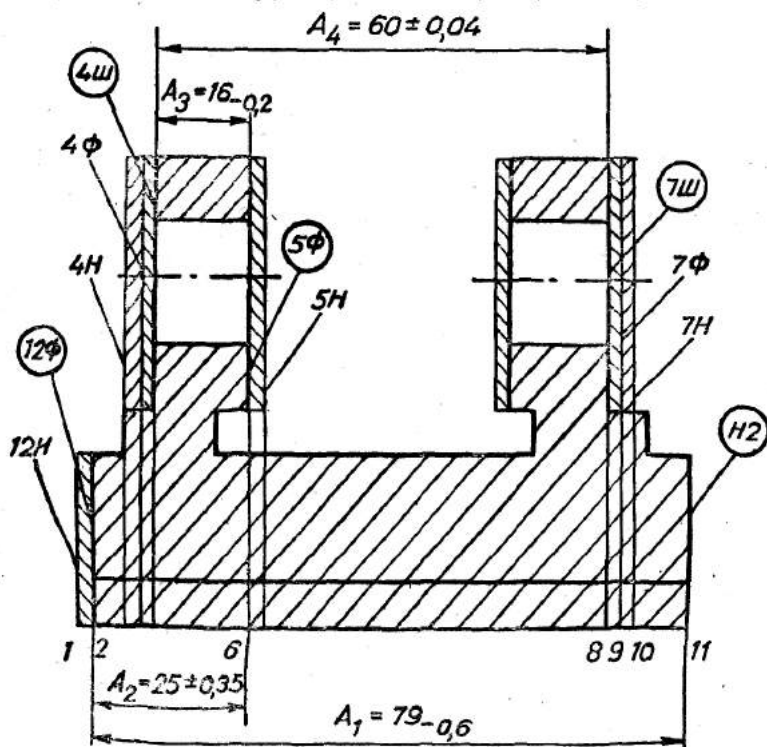


Рис. 2.22. Розмірна схема зв'язків необроблених (Н), фрезерованих (Ф) та шліфованих (Ш) поверхонь опори поворотної.

зані між собою тільки одним координаційним розміром по осі  $Z$ . Тоді структурна схема розмірів деталі набирає вигляду

Контур	W1	Чорновий	W2	Чистовий
заготовки	→	контур	→	контур.

Послідовність виокремлення розмірних ланцюгів підпорядковується таким правилам:

1. Кожний розмірний ланцюг повинен включати тільки одну ланку конструкторського графа  $G_K$  і необхідну для замикання ланцюга кількість ланок технологічного графа  $G_T$ .

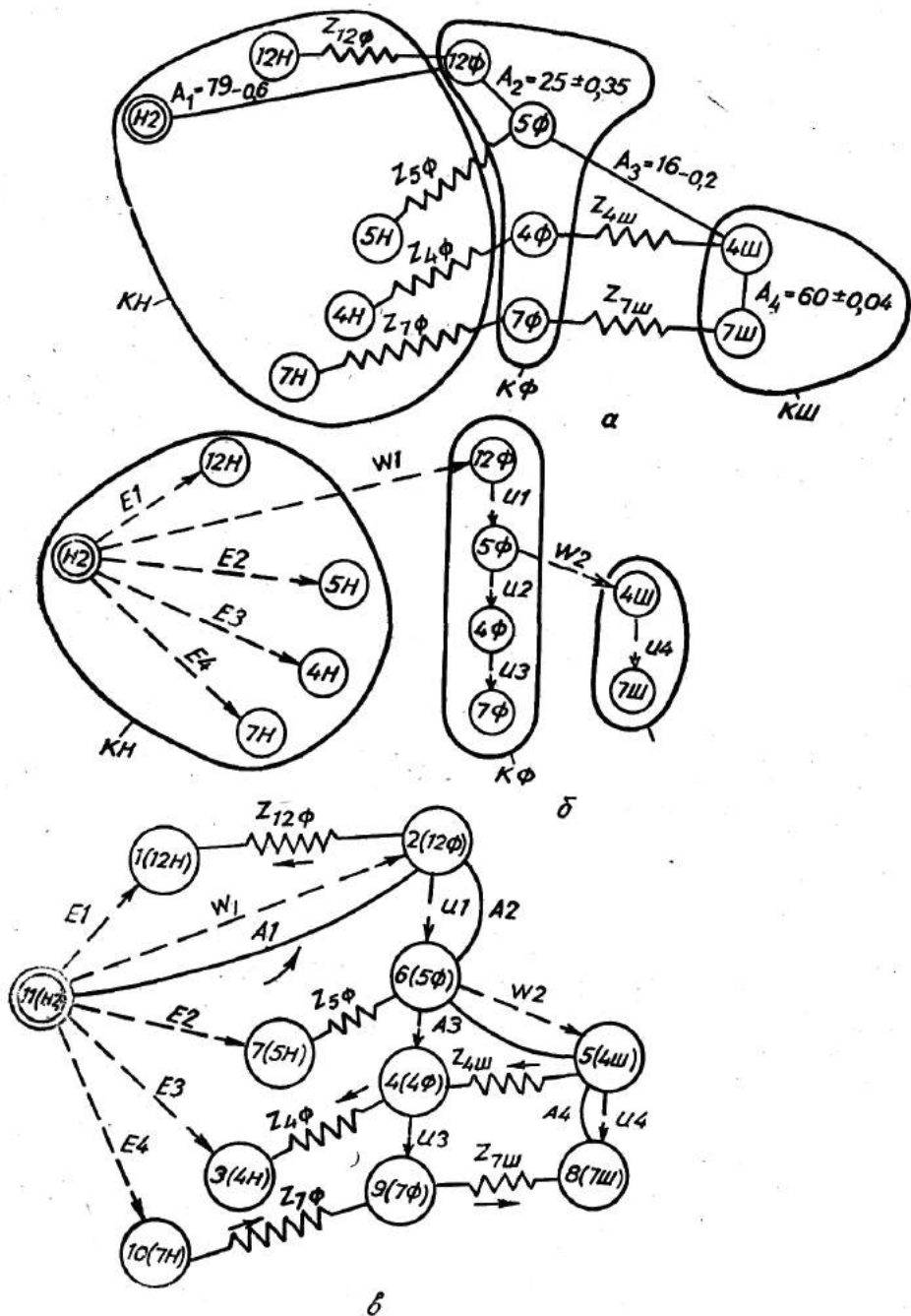


Рис. 2.23. Конструкторська (а), технологічна (б) та об'єднана (в) розмірні схеми опори поворотної:

КН — контур необроблених, КΦ — контур фрезерованих, КШ — контур шліфованих поверхонь.

2. Кожний розмірний ланцюг повинен включати якнайменшу кількість ланок.

3. Один і той самий розмір не можна включати декілька разів у розмірний ланцюг.

4. Замикаюча ланка набуває знака «мінус» і задає напрям обходу ланцюга від її вершини з більшим номером до вершини з меншим номером.

5. Якщо в цьому напрямі обходу складова ланка з'єднає вер-

Таблиця 2.4

Рівняння розмірних ланцюгів

Номер	Рівняння розмірного ланцюга	Перетворене основне рівняння розмірного ланцюга	Розмір, який потрібно визначити
1	$-A_1 + W_1 = 0$	$A_1 = W_1$	$W_1$
2	$-A_2 + U_1 = 0$	$A_2 = U_1$	$U_1$
3	$-A_3 + W_2 = 0$	$A_3 = W_2$	$W_2$
4	$-A_4 + U_4 = 0$	$A_4 = U_4$	$U_4$
5	$-Z_{4m} + U_2 - W_2 = 0$	$Z_{4m} = U_2 - W_2$	$U_2$
6	$-Z_{7m} - U_4 + W_2 - U_2 + U_3 = 0$	$Z_{7m} = W_2 + U_3 - U_2 - U_4$	$U_3$
7	$-Z_{12\phi} + E_1 - W_1 = 0$	$Z_{12\phi} = E_1 - W_1$	$E_1$
8	$-Z_{5\phi} - E_2 + W_1 - U_1 = 0$	$Z_{5\phi} = W_1 - U_1 - E_2$	$E_2$
9	$-Z_{4\phi} - E_3 - W_1 + U_1 - U_2 = 0$	$Z_{4\phi} = E_3 + U_1 - U_2 - W_1$	$E_3$
10	$-Z_{7\phi} - U_3 + U_2 - U_1 + W_1 - E_4 = 0$	$Z_{7\phi} = W_1 + U_2 - U_1 - U_3 - E_4$	$E_4$

шину з меншим номером із вершиною з більшим номером, то ланка входить у рівняння розмірного ланцюга зі знаком «плюс», якщо навпаки, то зі знаком «мінус». Після визначення всіх ланок, що входять у рівняння розмірного ланцюга, виконують перетворення рівняння таким чином, щоб замикаюча ланка була в його лівій частині. Ланки, які в перетвореному рівнянні мають знак «плюс», є збільшувальними, ланки зі знаком «мінус» — зменшувальними.

6. Послідовність виділення з узагальненого графа розмірних зв'язків  $G_{K-T}$  окремих розмірних ланцюгів така: спочатку виявляють розмірні ланцюги, які включають дві ланки, потім розглядають розмірні ланцюги з технологічними розмірами, що відповідають послідовності, оберненій до послідовності виконання технологічних операцій.

В узагальненому графі  $G_{K-T}$  (рис. 2.23, в) виокремимо розмірні ланцюги, що мають тільки один конструкторський розмір  $A$  або  $Z$ , що належить графу  $G_K$ . Кількість розмірних ланцюгів повинна відповідати кількості невідомих технологічних розмірів графа  $G_T$ :  $E_1, E_2, E_3, E_4, U_1, U_2, U_3, U_4, W_1, W_2$ . Рівняння розмірних ланцюгів у необхідній послідовності їх виокремлення наведені в табл. 2.4, а схема розмірних ланцюгів подана на рис. 2.24.

Для розв'язання наведених рівнянь попередньо визначають найменші припуски на обробку, а також допуски на розміри деталі на різних етапах її обробки. З одного боку, припуск на обробку повинен бути найменшим, щоб зменшився об'єм механічної обробки різанням. З іншого боку, занижене значення припуску спричиняє брак у випадку, коли не усунуті похибки попередньої обробки, або призводить до прискороного зношування інструменту, який працює в деформованому шарі металу підвищеної твердості. Оптимальне значення мінімально допустимого припуску визначають табличним або розрахунковим методом. Визначимо з таблиць\* найменші припуски на різних етапах обробки (див. табл. 2.3).

Розмірні ланцюги розраховують у такому порядку. Дволанкові розмірні ланцюги 1—4 (див. табл. 2.5), в яких технологічні розміри збігаються з конструкторськими, дають змогу безпосередньо визначити такі розміри:

$$W1 = 79_{-0,6}; \quad U1 = 25 \pm 0,35; \quad W2 = 16_{-0,2}; \quad U4 = 60 \pm 0,04 \text{ мм.}$$

**Розмірний ланцюг 5.** Основне рівняння розмірного ланцюга після перетворення

$$Z4_{ш} = U2 - W2; \quad Z4_{ш} = U2 - 16_{-0,2},$$

або

$$Z4_{ш, \min} = U2_{\min} - W2_{\max}; \quad 0,2 = U2_{\min} - 16,0;$$

звідки одержуємо  $U2_{\min} = 16,2$  мм. Далі вибираємо допуск на розмір  $U2$  відповідно до точності 11 квалітету, що забезпечує чорнове фрезерування\*. Згідно з таблицею допусків, одержуємо величину допуску  $TU2 = 0,110$  мм. Тоді

$$U2_{\max} = U2_{\min} + TU2 = 16,2 + 0,11 = 16,32 \text{ мм,}$$

а розмір  $U2 = 16_{+0,310}^{+0,110}$  мм. Номінальне значення та відхилення припуску визначаємо як

$$Z4_{ш} = U2 - W2 = 16_{+0,310}^{+0,110} - 16_{-0,2} = 0,2^{+0,31};$$

$$Z4_{ш, \max} = 0,51 \text{ мм.}$$

**Розмірний ланцюг 6.** Основне рівняння розмірного ланцюга після перетворення

$$Z7_{ш} = W2 + U3 - U2 - U4 = 16_{-0,2} + U3 - 16,2^{+0,11} - 60^{+0,04};$$

$$Z7_{ш, \min} = W2_{\min} + U3_{\min} - U2_{\max} - U4_{\max};$$

\* Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. Косиловой А. Г., Мещерякова Р. К. В 2 т. М., 1985.

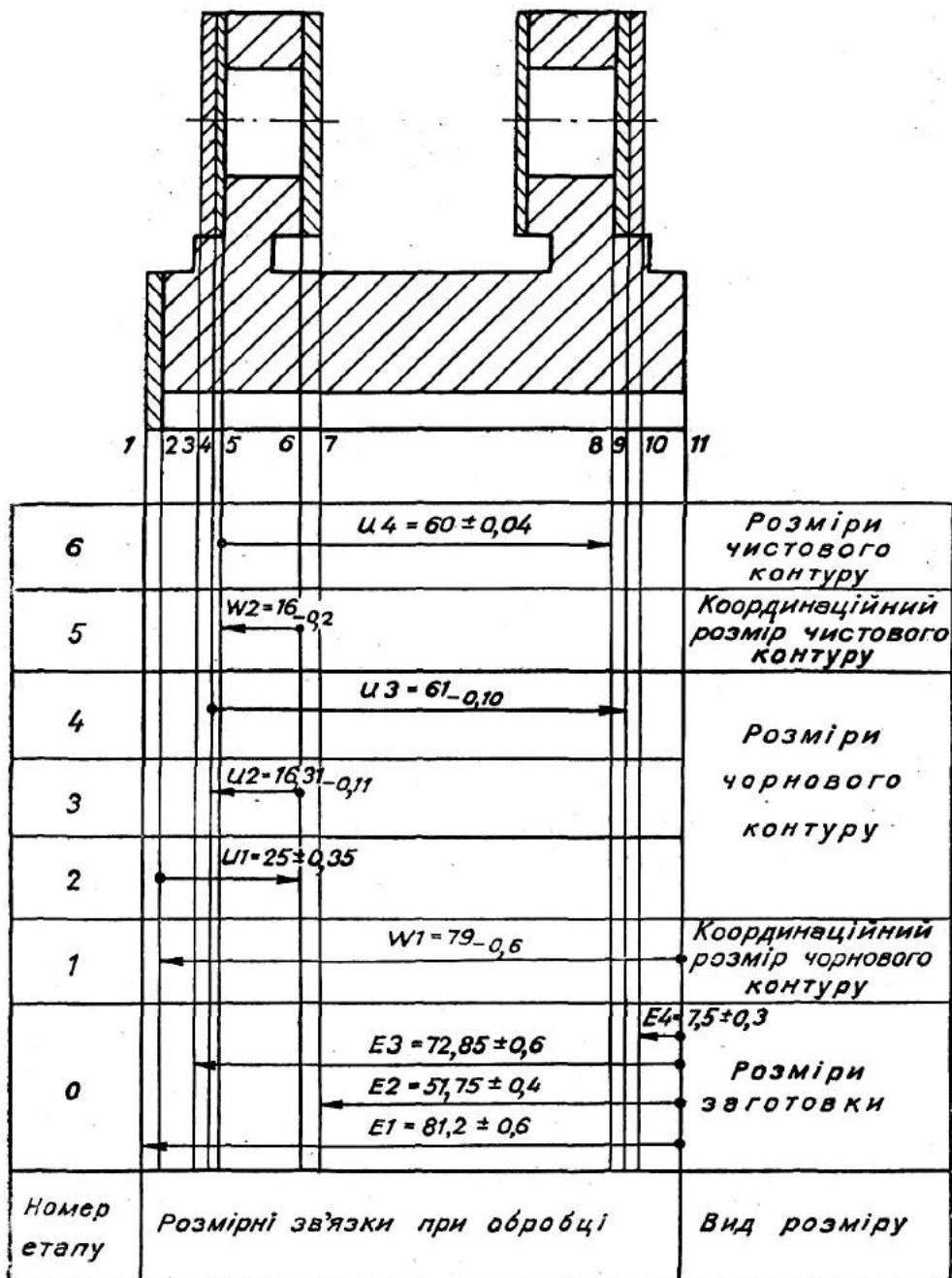


Рис. 2.24. Схема розмірного аналізу опори поворотної:  
1-11 — поверхні деталі.

$$Z7_{ш, \min} = 15,8 + U3_{\min} - 16,32 - 60,04;$$

$$Z7_{ш, \min} = 0,25;$$

$$U3_{\min} = 0,25 + 16,32 + 60,04 - 15,8 = 60,81 \text{ мм.}$$

Допуск на розмір  $U3$  відповідає 11 квалітетові точності як для чорнового фрезерування:

$$TU3 = T [60 h 11] = 0,190 \text{ мм.}$$

Звідси одержуємо

$$U3_{\max} = U3_{\min} + TU3 = 60,81 + 0,190 = 61 \text{ мм.}$$

Остаточо

$$U3 = 61_{-0,19} \text{ мм.}$$

Розмірний ланцюг 7. Основне рівняння ланцюга має вигляд

$$Z12_{\phi} = E1 - W1 = E1 - 79_{-0,6};$$

$$Z12_{\phi, \min} = E1_{\min} - W1_{\max};$$

Допуск на розмір заготовки  $\pm 0,6$  мм. Тоді  $E1_{\text{ном}} = 81,2$  мм,  $E1_{\max} = 81,8$  мм і остаточно  $E1 = 81,2 \pm 0,6$  мм.

Розмірний ланцюг 8. Основне рівняння ланцюга має вигляд (див. табл. 2.5).

$$Z5_{\phi} = W1 - U1 - E2 = 79_{-0,6} - 25 \pm 0,35 - E2;$$

$$Z5_{\phi, \min} = 78,4 - 25,35 - E2_{\max};$$

$$0,9 = 78,4 - 25,35 - E2_{\max};$$

$$E2_{\max} = 52,15 \text{ мм.}$$

Допуск на розмір заготовки  $\pm 0,4$  мм. Звідси одержуємо

$$E2_{\text{ном}} = E2_{\max} - ESE2 = 52,15 - 0,4 = 51,75 \text{ мм};$$

$$E2_{\min} = E2_{\text{ном}} + EIE2 = 51,35 \text{ мм.}$$

Остаточо

$$E2 = 41,75 \pm 0,4 \text{ мм.}$$

Розмірний ланцюг 9. Основне рівняння ланцюга має вигляд

$$Z4_{\phi} = E3 + U1 - U2 - W1 = E3 + 25,0, 35 - 16,2^{+0,11} - 79_{-0,6};$$

$$Z4_{\phi, \min} = E3_{\min} + U1_{\min} - U2_{\max} - W1_{\max}$$

$$1,0 = E3_{\min} + 24,65 - 16,31 - 79,0;$$

$$E3_{\min} = 72,26 \text{ мм.}$$



Допуск на розмір заготовки  $\pm 0,6$  мм. Звідси  $E3_{\text{ном}} = 72,26 + 0,6 = 72,86$  мм;  $E3_{\text{max}} = 73,46$  мм, або  $E3 = 72,86 \pm 0,6$  мм.

**Розмірний ланцюг 10.** Основне рівняння ланцюга має вигляд (див. табл. 2.5)

$$Z7_{\text{ф}} = U2 - U3 - U1 + W1 - E4 = 16,2^{+0,11} - 61_{-0,190} - 25 \pm \pm 0,35 + 79_{-0,6} - E4;$$

$$Z7_{\text{ф, min}} = U2_{\text{min}} - U3_{\text{max}} - U1_{\text{max}} + W1_{\text{min}} - E4_{\text{min}};$$

$$1,0 = 16,2 - 61,0 - 25,35 + 78,40 - E4_{\text{min}};$$

$$E4_{\text{min}} = 7,25 \text{ мм.}$$

Допуск на розмір заготовки  $\pm 0,3$  мм. Звідси

$$E4_{\text{ном}} = 7,25 + 0,3 = 7,55 \text{ мм;}$$

$$E4_{\text{max}} = E4_{\text{ном}} + 0,3 = 7,85 \text{ мм, або } E4 = 7,5 \pm 0,3 \text{ мм.}$$

За допомогою розмірного аналізу технологічного процесу обробки деталі визначені міжопераційні технологічні розміри  $W1$ ,  $U2$ ,  $U3$ , необхідні для налагодження верстатів на відповідних робочих місцях, та розміри заготовки  $E1-E4$ , які слід перевіряти перед переданням заготовки на механічну обробку, щоб переконатися, чи оброблені контури деталі зможуть правильно розташуватися в об'ємі заготовки.

Розмірний аналіз технологічних процесів, які реалізуються на верстатах з ЧПК та в умовах ГАВ, має ряд особливостей, які пов'язані з високою концентрацією обробки на кожному верстаті та використанням технологічних можливостей системи ЧПК для забезпечення точності взаємного розташування поверхонь деталі. До них передусім належать:

1. Точність розмірів, що зв'язують поверхні, оброблені без переставлення деталі, повністю визначається характеристиками верстата та пристрою ЧПК.

2. Величина переміщення робочого органу верстата, що вказується у керуючій програмі, відповідає не номінальному значенню відповідного розміру, а середині його поля допуску. Це пов'язане з випадковим характером чинників, які впливають на точність обробки (температурні та силові деформації системи ВПІД, зношування інструменту, коливання припуску тощо), що спричиняє як збільшення, так і зменшення одержаного розміру.

3. Якщо схема зняття припуску з поверхонь деталі збігається з конструкторськими розмірами, то точність обробки підвищують, вибираючи як базу для відрахунку переміщень робочих органів поверхню, яка є контактною технологічною базою деталі, або поверхню, яка обробляється на цій операції. У цьому випадку не-

точність попередніх операцій не впливатиме на розташування поверхонь деталі, одержаних на цій операції з ЧПК.

4. Якщо схема зняття припуску з поверхонь деталі не збігається з конструкторськими розмірами, то необхідно виконати розмірний аналіз з технологічного процесу, склавши розмірні ланцюги зі середніми значеннями розмірів.

Приклад розрахунку наведений у главі 4.

## 2.8. ВИБІР РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Робота різального інструменту в умовах ГАВ визначається особливістю експлуатації верстатів з ЧПК.

Насамперед різальний інструмент повинен мати високу стійкість до зношування та бути придатним до швидкої заміни. Це пов'язане з тим, що питома вага часу різання на верстатах з ЧПК сягає 50...70% їхнього загального часу роботи, замість 15...20% на звичайних верстатах з ручним керуванням. Інтенсивніша робота інструменту на верстаті з ЧПК збільшує його зношування. Тому для підвищення стійкості інструменту після його заточування виконують його доводку. Для забезпечення швидкозміненості інструменту його уніфікують, що полегшує заміну та налагодження інструменту в розмір поза верстатом.

Для забезпечення гнучкості верстатної системи технологічне налагодження верстата формують з універсального різального інструменту. Спеціальний і фасонний інструмент замінують по зможі простішим, універсальним, який для обробки спеціальних поверхонь рухатиметься по складній траєкторії.

Фрезерування на верстатах з ЧПК виконують торцевими або кінцевими фрезами, здебільшого з твердого сплаву. Діаметральні розміри цих фрез невеликі, щоб фреза не перекривала сусідні гнізда в інструментальному магазині.

Обробку отворів виконують без кондукторних втулок та інших пристроїв для скеровування інструменту, тому для зменшення неточності обробки свердла повинні мати мінімально можливі довжини, які забезпечують достатню шорсткість.

Для токарної обробки застосовують універсальні токарні різці, як правило, з механічним кріпленням ріжучих пластин: прохідні, підрізні, контурні, які дають змогу обробляти найрізноманітніші поверхні. Крім універсальних, застосовують спеціальні різці: **різьбові**, канавкові тощо.

**Особливістю** використання інструменту в умовах ГАВ є його застосування у групових налагодженнях. При створенні технологічних налагоджень один і той самий комплект поверхонь може бути оброблений різними інструментами. У цьому випадку пере-

вагу віддають універсальнішим інструментам, якими можна обробити більшу кількість різноманітних поверхонь. Проектування групового налагодження включає такі етапи.

1. Вибирають одну з деталей групи і визначають комплект інструменту, необхідного для її обробки  $N1$ .

2. Вибирають наступну деталь групи і визначають комплект інструменту, необхідний для її обробки  $N2$ .

3. Порівнюють комплекти  $N1$  та  $N2$ , визначаючи їх різницю як множину

$$\Delta N = N2 / N1,$$

яка є набором усіх інструментів комплекту  $N2$ , які не входять у набір  $N1$ . Таким чином, інструмент не включають у множину  $\Delta N2$  у випадках, коли:

— обидва комплекти включають ідентичні інструменти;

— один з інструментів є універсальнішим (наприклад, з двох розточувальних різців універсальнішим є той, у якого довший виліт, з двох канавкових — той, в якого вужче ріжуче лезо; з двох свердл — те, в якого менший діаметр тощо).

4. Повторюють процедуру аналізу згідно з пп. 2 і 3 для кожної наступної деталі групи, визначаючи множини  $\Delta N3, \Delta N4, \dots$

5. Формують групове налагодження як

$$N_{\Sigma} = N1 \cup \Delta N2 \cup \Delta N3 \cup \dots$$

При місткості інструментального магазину або револьверної головки  $A$  виникають такі ситуації:

$N_{\Sigma} = A$ , тоді групове налагодження сформоване;

$N_{\Sigma} < A$ , тоді доцільно ввести дублюючий інструмент;

$N_{\Sigma} > A$ , тоді частину інструментів роблять змінними, або групову операцію розділяють на простіші, або скорочують кількість деталей у групі.

## 2.9. ОСОБЛИВОСТІ НОРМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ

У загальному випадку штучний час обробки деталі

$$t_{шт} = t_0 + t_d + t_{обс} + t_{п},$$

де  $t_0$  — основний час виконання операції, хв;  $t_d$  — допоміжний час, хв;  $t_{обс}$  — час обслуговування робочого місця, хв;  $t_{п}$  — час на особисті потреби оператора.

Основний час обробки деталі

$$t_0 = \sum_j t_{0j},$$

де  $t_{0j}$  — основний час виконання  $j$ -го переходу;

$$t_{0j} = \frac{L + l}{nS_0} i = \frac{L + l}{S_m} i,$$

де  $L$  — довжина оброблюваної поверхні, мм;  $l$  — довжина врізання та перебігу інструменту, мм;  $i$  — число робочих ходів;  $S_0$  — подача, мм/об;  $S_m$  — хвилинна подача, мм/хв;  $n$  — частота обертання шпинделя,  $\text{хв}^{-1}$ .

Допоміжний час визначають як

$$t_d = t_y + t_{мд},$$

де  $t_y$  — час на встановлення та знімання заготовки з верстата, хв;  $t_{мд}$  — машинний допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів при обробці (підведення інструменту до деталі, позионування робочих органів, автоматична заміна інструменту тощо). Тоді час роботи верстата за керуючою програмою

$$t_{уп} = t_0 + t_{мд},$$

оперативний час  $t_{оп} = t_0 + t_d = t_{уп} + t_y$ .

Елементи штучного часу визначають за нормативами Оргстанкінпрому, наведеними в довідковій літературі. Час на технічне обслуговування автоматичних верстатних систем, що визначається згідно з цими нормативами, включає час на заміну зношеного інструмента, регулювання та підналагодження верстата, періодичної корекції положення інструмента тощо.

При обробці деталей в умовах багатонаменклатурного виробництва технологічний процес характеризується штучно-калькуляційним часом  $t_{ш-к}$ , який складається зі штучного часу обробки деталі та частки підготовчо-заключного часу, яка припадає на одну деталь:

$$t_{ш-к} = t_{шт} + \frac{T_{п-з}}{P},$$

де  $T_{п-з}$  — підготовчо-заключний час, який витрачається на підготовку автоматичної верстатної системи для обробки партії деталей;  $P$  — розмір виробничої партії деталей одного типорозміру, які запускають у виробництво одночасно або безперервно протягом певного інтервалу часу. Підготовчо-заключний час при обробці деталей на автоматичних верстатних системах і верстатах з ЧПК складається з витрат часу на ознайомлення з технічною документацією, встановлення необхідного пристрою та заміни комплекту документацією, встановлення необхідного пристрою та заміни комплекту інструментів, введення у пристрій ЧПК керуючої програми (з перфострічки, з магнітної стрічки, з нагромаджувача

програм, з централізованої ЕОМ), на коректування положення інструментів та виготовлення пробної деталі. Нормативи часу на виконання цих робіт наведені в довідковій літературі.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які основні вимоги до технологічного процесу, створеного для реалізації в умовах ГАВ?

2. Назвіть види переходів під час виконання операції на обладнанні з ЧПК, дайте їм визначення.

3. Яким чином здійснюють підбір деталей для обробки в умовах ГАВ?

4. Перелічіть особливості якісного та кількісного аналізу конструкції деталі на технологічність.

5. З якою метою виконують технологічний аналіз креслення деталі?

6. Складіть матрицю попередності та визначте послідовність обробки поверхонь деталі, зображеної на рис. 5.7.

7. Виконайте розмірний аналіз обробки поверхонь деталі, зображеної на рис. 5.7, уздовж осей X та Y.

## СКЛАДАННЯ КЕРУЮЧИХ ПРОГРАМ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

### 3.1. ОСНОВИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Програмування механічної обробки деталі полягає у заданні траєкторії та швидкості взаємного руху інструменту й деталі, а також дій допоміжних механізмів верстата пристроєві ЧПК відповідно до певних правил. Згідно з ГОСТ 20523—80 *під керуючою програмою (КП) розуміють сукупність команд мовою програмування, яка відповідає заданому алгоритмові функціонування верстата для обробки конкретної заготовки*. Вона вміщує інформацію про траєкторії та швидкості рухів інструментів, частоту обертання шпинделя, заміну інструментів, корекцію їх положень, подачу МОР, затискання або розтискання заготовки тощо.

Пристрій, який видає керуючі команди виконавчим органам верстата, згідно з КП та інформацією про стан об'єкту керування, називають пристроєм числового програмного керування (ПЧПК).

Поєднання функціонально взаємозв'язаних та взаємодіючих технічних і програмних засобів, що забезпечують програмне керування верстатом, утворює систему числового програмного керування (СЧПК).

Для складання КП необхідно опрацювати великий об'єм технологічної інформації:

— визначити об'єм обробки та вибрати відповідний верстат з ЧПК;

— визначити спосіб фіксації заготовки в робочій зоні верстата та вибрати необхідну оснастку і пристрій;

— організувати раціональну послідовність обробки поверхонь та зміни інструменту;

— вибрати інструмент та його тримачі, визначити місце їх розміщення в магазині або револьверній головці верстата;

— визначити умови обробки кожної поверхні, тобто частоту обертання шпинделя, швидкість подачі, наявність чи відсутність МОР, необхідність чи відсутність перериваної подачі для подрібнення стружки тощо.

### 3.2. СИСТЕМИ КООРДИНАТ

Для керування рухом формоутворення інструмента, що створює контур деталі, необхідно визначити взаємне розміщення заготовки та інструмента в робочому просторі верстата, точність якого безпосередньо впливає на точність обробленої деталі. Це пов'язане з тим, що точність розмірів деталі витримують відносно початку координатної системи верстата, а не відносно базуючих поверхонь

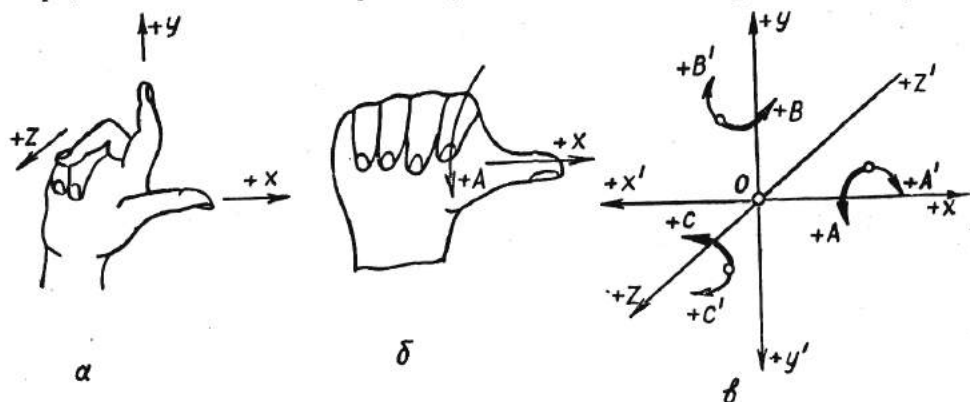


Рис. 3.1. Напрями осей переміщення та обертання у правій системі координат верстатів з ЧПК.

пристрою, як при обробці заготовок на верстатах із непрограмованою обробкою. Розташування окремих поверхонь і конструктивних елементів в об'ємі деталі задають у системі координат деталі, яку зв'язують зі системою координат верстата. Тому під час обробки заготовок на верстатах з ЧПК використовують три системи координат: систему координат верстата  $XYZ$ ; систему координат деталі  $X_dY_dZ_d$ ; систему координат вихідної точки  $O_{вт}$ .

Система координат верстата визначає напрями рухів його робочих органів. Її початок відповідає нульовим положенням робочих органів верстата. У системі координат верстата визначають величини переміщень і поточні положення робочих органів.

Систему координат верстата вибирають відповідно до рекомендацій ІСО та ГОСТ 23597—79 як прямокутну декартову, праву, додатні напрями осей координат якої визначають згідно з правилом правої руки (рис. 3.1, а). Додатні напрями обертання навколо осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , які позначені відповідно як  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , визначають згідно з іншим правилом правої руки (рис. 3.1, б). Вісь  $Z$  завжди збігається з віссю обертання шпинделя, а її додатній напрям відповідає напрямку виходу свердла із заготовки. Наведені позначення напрямів прямолінійних та обертових рухів стосуються основних



робочих органів верстата, в яких розміщений інструмент. Якщо верстат має інші робочі органи, які переміщують інструмент вздовж координатних осей, паралельних основній системі верстата  $X, Y, Z$ , то для програмування цих додаткових рухів інструмента використовують букви  $U, V, W$ , наприклад, як при програмуванні роботи план-супортної головки з індивідуальним приводом радіального переміщення різця. Координатні осі робочих органів, які надають заготовці прямолінійний або обертовий рух, напрямлені

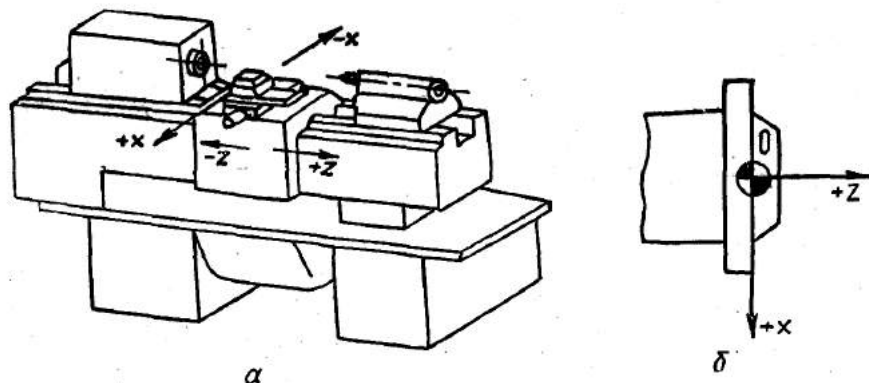


Рис. 3.2. Система координат токарного верстата з ЧПК (а) та положення його нульової точки (б).

протилежно до відповідних осей робочих органів, які переміщують інструмент, і позначаються тими ж буквами зі штрихами (рис. 3.1, в). Завдяки цьому під час складання КП не враховують, що розміщене в робочому органі верстата, переміщення якого програмується: інструмент чи заготовка, оскільки відносний рух матиме однозначний напрям. Тому при програмуванні умовно вважають, що заготовка завжди нерухома, а рухається інструмент.

Початок системи координат верстата називають його нульовою точкою. Вона збігається з базовою точкою вузла, який містить заготовку, при такому розташуванні вузла, при якому переміщення всіх робочих органів описуються додатніми координатами. Відносно нульової точки верстата в КП задаються абсолютні переміщення робочих органів. Початок відрахунку переміщень робочого органу може бути перенесений у будь-яку точку в системі координат верстата за допомогою «плаваючого нуля».

Для токарних верстатів з ЧПК застосовують двокоординатну систему  $XZ$ , нульовою точкою якої є точка перетину площини зеркала планшайби з віссю обертання шпинделя верстата (рис. 3.2).

Для фрезерно-свердлильно-розточувальних (багатоцільових) верстатів використовують трикоординатну систему  $XYZ$ . За поча-

ток координат беруть базову точку стола (вісь обертання стола) в його граничному положенні. Для верстатів із горизонтальним розташуванням шпинделя (наприклад, для верстата моделі IP500 МФ4) напрями осей зображені на рис. 3.3.

Систему координат деталі використовують для задання її розмірів за допомогою координат опорних точок. Опорними називають точки початку, кінця, перетину або дотику геометричних елементів, які утворюють контур деталі. Початок системи координат деталі (нульову точку деталі)  $O_d$  вибирають так, щоб більшість точок деталі мали додатні значення координат. Напрями координатних осей системи координат деталі вибирають такими самими, як і в системі координат верстата. Для спрощення обчислень координатні площини деталі суміщують з поверхнями технологічних баз або розташовують паралельно до них.

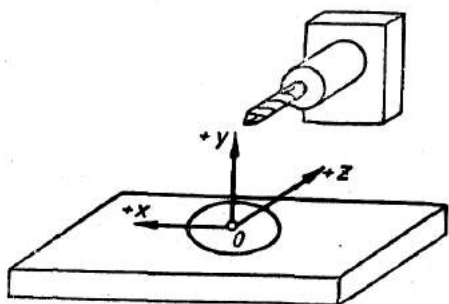


Рис. 3.3. Система координат багатощільового верстата.

Систему координат

вихідної точки вибирають

у робочій зоні верстата на певній відстані від деталі для зручності затискання заготовки, зменшення довжин холостих та допоміжних ходів, безпечності заміни інструменту. Під вихідною точкою розуміють точку, в якій починається програмоване переміщення інструменту по КП. Її положення задають у системі координат верстата і зв'язують із базуючими елементами пристрою для затискання деталі.

### 3.3. ЗВ'ЯЗОК МІЖ СИСТЕМАМИ КООРДИНАТ ДЕТАЛІ ТА ВЕРСТАТА

Точність розташування оброблених поверхонь відносно технологічних баз деталі залежить від точності розміщення системи координат деталі в системі координат верстата. Під час закріплення заготовки технологічна база суміщується з відповідною опорною поверхнею пристрою.

Для забезпечення зв'язку між системами координат деталі й верстата використовують координати базових точок. Базові точки верстата характеризують положення робочих органів в його системі координат. Вони визначаються конструктивними особливостями робочих органів. Базовою точкою шпинделя, наприклад, є точка

перетину його торця з віссю обертання, супорт токарного верстата має базову точку в місці базування інструментального блока, хрестовий стіл — у місці перетину його діагоналей, поворотний стіл — у центрі повороту на зеркалі стола тощо.

Розмірна схема зв'язку систем координат токарного верстата і деталі подана на рис. 3.4, а. Оскільки осі обертання шпинделя і деталі збігаються, то для зв'язку систем координат достатньо визначити розташування базової точки  $B$ , яка визначає положення

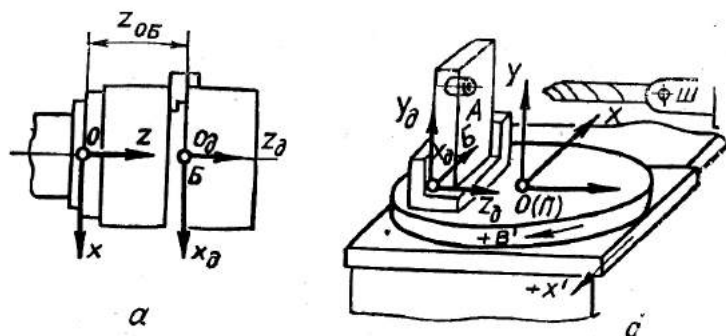


Рис. 3.4. Зв'язок системи координат деталі зі системами координат токарного (а) та багатоцільового (б) верстатів.

опорних поверхонь пристрою в системі координат верстата в напрямі координатної осі  $Z$ .

При розташуванні деталі на багатоцільовому верстаті розмірна схема зв'язку систем координат реалізується за допомогою декількох базових точок верстата. Початком системи координат верстата  $OXYZ$  вважають базову точку  $\Pi$  поворотного стола в граничному правому положенні. Положення інструмента в системі координат верстата задається базовою точкою шпиндельного вузла  $\text{Ш}$ . Тоді поточна точка траєкторії інструмента переводиться зі системи координат деталі  $O_d X_d Y_d Z_d$  у систему координат верстата  $OXYZ$  за допомогою базових точок пристрою  $B$  та поворотного стола  $\Pi$  у послідовності:  $A-O_d-B-O$  (рис. 3.4, б).

Точного розташування деталі в системі координат верстата досягають спеціальним налагодженням. Базова точка пристрою  $B$  матеріалізується поєднанням поверхонь опорно-установчих елементів. Налагоджують пристрій по бічних поверхнях і пальцю або отвору. Залежно від точності цього налагодження використовують або центр або центрошукач, які встановлюють у шпиндель верстата.

При закріпленні деталей у токарному верстаті його затискний пристрій автоматично суміщує вісь деталі з віссю обертання шпинделя. Для визначення положення заготовки в напрямі осі  $Z$  її базовий торець взаємодіє з осьовим упором затискного пристрою.

### 3.4. КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ

Структура КП та методи кодування керуючої інформації визначаються ГОСТ 20999—83, який відповідає СТРЕВ 3585—82 та рекомендаціям ІСО.

КП записують у вигляді послідовних кадрів. У кожному наступному кадрі фіксують лише ту геометричну, технологічну і допоміжну інформацію, яка змінюється стосовно до попереднього

Таблиця 3.1

Зміст символів адрес

Символ адреси	Зміст
A	Поворот навколо осі X
B	Поворот навколо осі Y
C	Поворот навколо осі Z
D	Корекція інструмента
E	Друга функція подачі
F	Подача
G	Підготовча функція
H	Вільний для функціонального кодування
I	Параметр інтерполяції, або крок різі паралельно осі X
J	Параметр інтерполяції, або крок різі паралельно осі Y
K	Параметр інтерполяції або крок різі паралельно осі Z
L	Невизначений
M	Допоміжна функція
N	Номер кадру
O	Вільний для функціонального кодування
P	Третинне переміщення паралельно осі X
Q	Третинне переміщення паралельно осі Y
R	Третинне переміщення паралельно осі Z, або прискорене переміщення паралельно осі Z
S	Частота обертання шпинделя
T	Інструмент
U	Другорядне переміщення паралельно осі X
V	Другорядне переміщення паралельно осі Y
W	Другорядне переміщення паралельно осі Z
X	Переміщення паралельно осі X
Y	Переміщення паралельно осі Y
Z	Переміщення паралельно осі Z

кадру. Кадри складаються зі слів, а слова — з символів. Перший символ слова позначається буквою, що задає адресу, решта символів утворюють число з певним знаком або цілочисловий код. Зміст символів адрес, згідно з ГОСТ 20999—83, наведений у табл. 3.1.

Запис слів у кадрі виконують у певній послідовності (рис. 3.5). Фраза «функція подачі» стосується тільки переміщення паралельно

но певній осі і повинна стояти безпосередньо після фрази «розмірне переміщення» по цій осі. У межах одного кадру КП не слід використовувати слова «підготовча функція», які входять в одну групу.

**Підготовчі функції.** Фраза «підготовча функція» визначає режим роботи системи ЧПК. Вона задається адресою та двозначним десятковим кодом (табл. 3.2). Згідно з рекомендаціями ІСО підготовчі функції розділені на окремі функціональні групи. Кожна

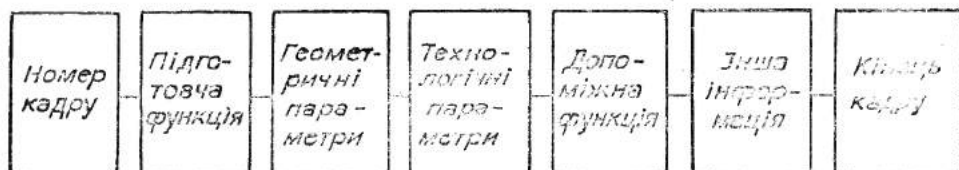


Рис. 3.5. Формат кадру КП.

підготовча функція діє до того часу, поки не буде замінена іншою функцією з тієї ж групи або відмінена спеціальною функцією відміни її дії. Якщо ж підготовча функція не входить у групу (прочерк у табл. 3.2), то її дія поширюється тільки на той кадр, в якому вона зазначена.

Не зазначені коди підготовчих функцій створюють резерв, який використовується на розсуд виготовлювача конкретних систем ЧПК.

В одному кадрі не може бути записана більш як одна підготовча функція з однієї групи, тобто з тих, які позначені в другому стовпчику табл. 3.2 однаковою цифрою або буквою.

Функція G00 здійснює переміщення робочого органу в запрограмовану точку з прискореною швидкістю (яка для багатоцільового верстата ЙР 500 МФ4, наприклад, сягає 10000 мм/хв). Попередньо запрограмована швидкість подачі ігнорується, але не відмінюється. Згідно з функцією G01 виконується лінійна інтерполяція, тобто переміщення робочого органу верстата по двох та більше осях координат одночасно зі швидкостями, пропорційними до відношення відстаней, на які повинен переміститися робочий орган по кожній з осей координат. У прямокутній системі координат це переміщення здійснюється по прямій (рис. 3.6). Функції G02 та G03 забезпечують колову інтерполяцію — узгоджений рух уздовж двох осей координат по колу відповідно за годинниковою та проти годинникової стрілки. Функції G17, G18, G19 задають площини інтерполяції (рис. 3.7).

Функції G41 і G42 задають відповідно ліву та праву корекцію на фрезу під час контурного фрезерування. Вони використовуються, коли фреза перебуває відповідно зліва або справа від оброб-

## Зміст підготовчих функцій

Підготовча функція	Група	Найменування
1	2	3
G 00 G 01 G 02 G 03 G 04	01	Швидке позиціонування Лінійна інтерполяція Колова інтерполяція, рух за годинниковою стрілкою Колова інтерполяція, рух проти годинникової стрілки Пауза
G 05 G 06 G 07 G 08 G 09	00	Невизначена Параболічна інтерполяція Невизначена Розгін Гальмування
G 10—16		Невизначені
G 17 G 18 G 19	02	Рух у площині XY Рух у площині ZX Рух у площині YX
G 20—32		Невизначені
G 33 G 34 G 35	01	Різенарізання Різенарізання зі зростаючим кроком Різенарізання з кроком, що зменшується
G 36—39		Невизначені
G 40 G 41 G 42	07	Відміна корекції інструмента Корекція на фрезу ліва Корекція на фрезу права
G 43 G 44	08	Корекція положення інструмента — додатна Корекція положення інструмента — від'ємна
G 45—52		Невизначені
G 53 G 54 G 55 G 56 G 57 G 58 G 59	14	Відміна заданого зміщення Задане зміщення № 1 Задане зміщення № 2 Задане зміщення № 3 Задане зміщення № 4 Задане зміщення № 5 Задане зміщення № 6
G 60—62 G 63 G 64—79	—	Невизначені Різенарізання мітчиком Невизначені

1	2	3
G 80 G 81—89	09	Відміна постійного циклу Постійні цикли 1—9 відповідно
G 90 G 91	03	Абсолютний розмір Розмір у приростах
G 92	00	Встановлення абсолютних нагромаджувачів положення
G 93		Швидкість подачі у функції, оберненій до часу
G 94 G 95	05	Подача за хвилину Подача за оберт
G 96 G 97	13	Постійна швидкість різання Оберти за хвилину
G 98 G 99		Невизначена Невизначена

люваної поверхні, якщо дивитися вздовж напрямку руху фрези під час обробки (рис. 3.8). Функції G43 та G44 вказують на те, що величину корекції на розташування інструмента потрібно додати

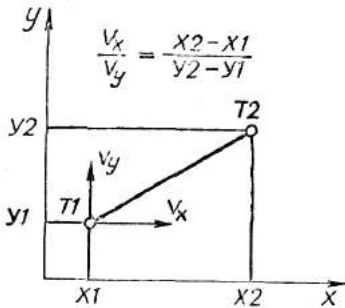


Рис. 3.6. Лінійна інтерполяція.

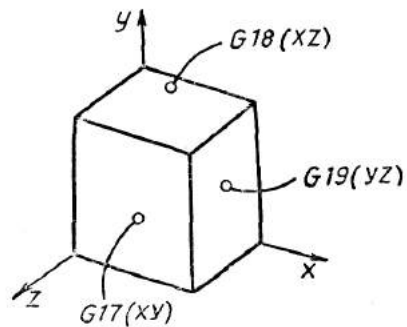


Рис. 3.7. Задання площини інтерполяції.

або відняти від координати, яка задана у відповідному кадрі чи кадрах.

Функції G54—G59 задають шість точок зміщення нульової точки деталі («плаваючі» нульові точки). Використання цих точок зміщення дає змогу обробляти деталь з декількох сторін або обробляти декілька деталей одночасно за однією програмою без перерахунку координат.



Функція G80 відмінняє дію постійних циклів, заданих функціями G81—G89. Згідно з рекомендаціями ІСО та ГОСТ 20999—83 функції постійних циклів забезпечують певні робочі та допоміжні рухи робочих органів (табл. 3.3).

Автоматичні постійні цикли керують рухами робочих органів верстата в напрямі, паралельно осі Z, як під час свердлильно-розточувальних операцій. Функції постійних циклів після їх задання запам'ятовуються системою ЧПК. В основній КП постійні цикли задаються перед інформацією про переміщення (рис. 3.9).

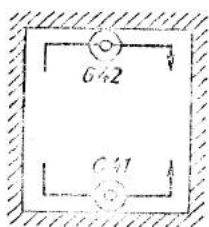
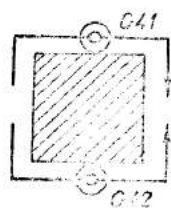


Рис. 3.8. Корекція інструмента.

задаються перед інформацією про переміщення (рис. 3.9).

Функція G90 задає абсолютне переміщення робочого органу, відрахунок якого виконується відносно вибраної нульової точки. Її застосування супроводжується необхідністю перерахунку координат опорних точок деталі відносно вибраного початку відрахунку. Функція G91 за-

Таблиця 3.3

Значення постійних циклів

Підготівча функція	Рух під час обробки	Дії в кінці обробки		Повернення у початкове положення після обробки	Типове використання
		пауза	шпиндель		
G 81	Робоча подача	—	—	Швидке відведення	Свердління, центрування
G 82	Робоча подача	+	—	Швидке відведення	Свердління, зенкування
G 83	Подача з періодичним виведенням інструмента	—	—	Швидке відведення	Глибоке свердління
G 84	Обертання шпинделя в заданому напрямі, робоча подача	—	Реверс	Відведення на робочій подачі	Різенарізація мітчиком
G 85	Робоча подача	—	—	Відведення на робочій подачі	Розточування, розверчування
G 86	Включення шпинделя, робоча подача	—	Вистоювання	Швидке відведення	Розточування
G 87	Включення шпинделя, робоча подача	—	Вистоювання	Ручне відведення	Розточування
G 88	Включення шпинделя, робоча подача	+	Вистоювання	Ручне відведення	Розточування
G 89	Робоча подача	+	—	Відведення на робочій подачі	Розточування, розверчування

дає розмір у приростах, коли відрахунок переміщень здійснюється відносно попередньо запрограмованої точки. При послідовній обробці в точці  $T1$ , наприклад, з координатами  $X=1, Y=2$ , а потім у точці  $T2$  ( $X=3, Y=4$ ), переміщення робочого органу з точки  $T1$  у  $T2$  можна задати в абсолютному за допомогою функції  $G90$  або інкрементному за допомогою функції  $G91$  вигляді (рис. 3.10).

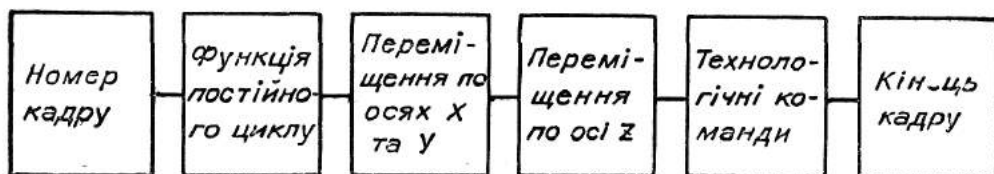


Рис. 3.9. Структура кадру КП з постійним циклом.

Тобто у першому випадку необхідно задати координати кінцевої точки переміщення в абсолютній системі координат:

$G90X3.0Y4.0$ ,

а в другому випадку величини змін координат точки  $T2$  стосовно координат точки  $T1$  ( $\Delta X=2; \Delta Y=2$ ):

$G91X2.0Y2.0$ .

Допускається задання в одному кадрі як абсолютних, так і інкрементних (у приростах) переміщень у різних координатних напрямках, наприклад:

$G90X3.0G91Y2.0$ .

Функція  $G92$  задає зміну стану абсолютних нагромаджувачів розташування. При цьому робочі органи верстата не рухаються.

Функція  $G96$  вказує, що число, яке відповідає адресі  $S$ , має значення швидкості різання у метрах за хвилину. Частота обертання шпинделя при використанні цієї функції регулюється автоматично для забезпечення запрограмованої швидкості різання. Функція  $G97$  вказує, що число, яке відповідає адресі  $S$ , має значення частоти обертання шпинделя в обертах за хвилину.

**Геометрична і технологічна інформації.** Переміщення робочих органів верстата задають:

- адресою координатної осі:  $X, Y$  або  $Z$ ;
- напрям руху: «+» або «-»;
- величиною переміщення.

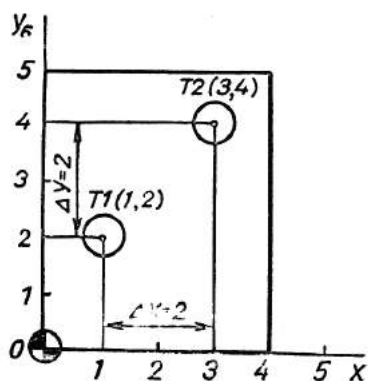


Рис. 3.10. Задання абсолютного та інструментного переміщення.

Величину переміщення вимірюють у дискретах; одна дискрета дорівнює 0,01; 0,005; 0,002 або 0,001 мм. У програмуванні переміщень на сучасних багатоцільових верстатах, наприклад, IP500MФ4, IP320ПМФ4, одна дискрета відповідає 0,001 мм. Тоді переміщення на довжину 500 мм запишеться в КП як 500 000, а на 7 мм як 7000. Сучасні системи керування дають змогу спростити запис: 500.0 або 500 замість 500 000 і 7.0 або 7. замість 7000.

Поворот стола задається кутом повороту, вираженим у дискре-

Таблиця 3.4

Значення допоміжних функцій

Код	Функція	Зміст функції
M00	Запрограмована зупинка	Зупинка шпинделя і вимкнення охолодження
M01	Зупинка з підтвердженням	Те саме, що і M00, але попередньо слід натиснути кнопку на пульті
M02	Кінець програми	Зупинка шпинделя і вимкнення охолодження. Надання вихідного положення ПЧПК та робочим органам верстата
M03	Обертання шпинделя за рухом годинникової стрілки	Увімкнення обертання
M04	Обертання шпинделя проти руху годинникової стрілки	Увімкнення обертання
M05	Зупинка шпинделя	
M06	Заміна інструмента	Заміна інструмента вручну або автоматично. Пошук не виконується
M07	Вмикання охолодження № 2	
M08	Вмикання охолодження № 1	
M09	Вимикання охолодження	Відміна функцій M07, M08
M10	Затискання	Стосується роботи з затискним пристроєм рухомих органів верстата
M11	Розтискання	Те ж
M19	Зупинка шпинделя в заданій кутовій позиції	Зупинка шпинделя у певному кутовому положенні
M30	Кінець програми	Зупинка шпинделя, увімкнення охолодження. Використовується для надання вихідного положення виконавчим органам верстата. Поворот до символу «Початок програми»

тах або кодом. При заданні кута повороту в дискретах, наприклад, навколо осі Y на 180° у КП вказують: В 180 000. Кодування кута повороту здійснюється в умовних одиницях, кожна з яких

відповідає  $5^\circ$ . Таким чином, поворот навколо осі  $Y$  на  $5^\circ$  запишеться в КП як  $B01$ , на  $30^\circ$  — як  $B06$ , на  $90^\circ$  — як  $B18$ , на  $180^\circ$  — як  $B36$  тощо.

Подача, яка є швидкістю руху робочих органів по заданій траєкторії, задається адресою  $F$  та величиною подачі у відповідних одиницях.

Частота обертання шпинделя програмується адресою  $S$  та її величиною в обертах на хвилину.

Функція інструмента  $T$  використовується для вказання номера інструмента та його коректора. Якщо разом з адресою  $T$  задана двоцифрова група, то інструмент вказаний без його коректора, який наведений в іншому кадрі КП з адресою  $D$  або  $H$ . Якщо ж з адресою  $T$  задані дві двоцифрові групи, то перша двоцифрова група задає номер інструмента, а друга — визначає номер коректора довжини або діаметра інструмента, наприклад  $T12$  або  $T1208$ .

**Допоміжні функції** використовують для видачі команд виконавчим органам верстата або пристрою ЧПК. Їх задають за допомогою адреси  $M$  та двозначного цифрового коду. Значення деяких найбільш уживаних допоміжних функцій наведені у табл. 3.4.

### 3.5. ПРОГРАМУВАННЯ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ

Останнім часом широко використовують токарні верстати з оперативною системою ЧПК (моделі  $16K20T1$ ,  $16K20T1.02$ ,  $16K20F3C32$ ,  $16B16T1$ ,  $1P756D\Phi321$ ,  $1P420P\Phi40$  тощо), для яких КП може вводиться як з клавіатури дисплею, так і з зовнішніх нагромаджувачів програмної інформації.

Застосування верстатів з оперативною системою ЧПК дає змогу обробляти різанням деталі складної форми, забезпечуючи автоматизацію їх виробництва. Ці верстати мають оперативні пристрої ЧПК «Електроника НЦ-31» і 2P22.

Система кодування інформації забезпечує наочність читання закінчених змістових фраз технологічної, геометричної та допоміжної інформації. Із переліку адрес (див. табл. 3.1) для програмування використовують наведені у табл. 3.5.

Зміст підготовчих функцій, які використовують під час складання КП для системи ЧПК «Електроника НЦ-31» (третя версія), наведені у табл. 3.6, значення допоміжних функцій — у табл. 3.7.

**Програмування розмірних переміщень** здійснюється як в абсолютних розмірах, так і в приростах. Програмуючи переміщення в абсолютних розмірах (абсолютне переміщення), вказують координати кінцевої точки траєкторії в дискретних. Для вищевказаних систем ЧПК одна дискрета по осі  $Z$  дорівнює  $0,01$  мм, по осі  $X$  —

0,01 мм на діаметр, або 0,005 мм на радіус. Для переміщення різця в точку  $T1$  із координатами  $X=20$  мм,  $Z=-30,5$  мм, у КП записують кадри

...N05 X2000  
N06 Z-3050.

Знак додатнього напрямку руху «+» не вказуємо.

Таблиця 3.5

Зміст символів адрес при токарній обробці

Символ адреси	Зміст
N	Номер кадру
X	Поперечний напрям
Z	Поздовжній напрям
P	Параметри верстата і циклів обробки
S	Частота обертання шпинделя або швидкість різання
T	Позиція інструментальної головки ( $T1-T6$ )
F	Подача або крок різі
G	Підготовча функція
M	Допоміжна функція

Таблиця 3.6

Зміст підготовчих функцій при токарній обробці

Позначення	Зміст
G 02	Обробка дуги менше $90^\circ$ (за рухом годинникової стрілки)
G 03	Обробка дуги менше $90^\circ$ (проти руху годинникової стрілки)
G 04	Витримка часу
G 12	Обробка чверті кола за рухом годинникової стрілки
G 13	Обробка чверті кола проти руху годинникової стрілки
G 25	Повторювання частин програми обробки
G 31	Багатопрхідний цикл різенарізаня
G 32	Однопрхідний цикл різенарізаня
G 33	Цикл нарізаня різі мітчиком або плашкою
G 70	Однопрхідний цикл поздовжньої обробки
G 71	Однопрхідний цикл поперечної обробки
G 73	Цикл глибокого свердління
G 74	Багатопрхідний цикл проточування торцевих канавок
G 75	Багатопрхідний цикл проточування канавок на циліндричній поверхні
G 77	Багатопрхідний цикл проточування поздовжньої обробки
G 78	Багатопрхідний цикл поперечної обробки
G 92	Автоматичний зсув нульової точки
G 96	Функція задання частоти обертання, $xv^{-1}$
G 97	Функція задання швидкості різання, $m \cdot xv^{-1}$

Для прискореного переміщення користуються символом «~», який записують після адреси та величини переміщення. Прискорений рух в точку  $T_1$  у КП записують як

...N05 X2000~  
N06 Z—3050~.

Для одночасного виконання декількох кадрів КП, наприклад, одночасного руху робочого органу по двох координатних осях,

Таблиця 3.7

Зміст допоміжних функцій при токарній обробці

Позначення	Зміст
M00	Зупинка КП
M3	Праве обертання шпинделя (проти руху годинникової стрілки)
M4	Ліве обертання шпинделя (за рухом годинникової стрілки)
M5	Зупинка шпинделя
M8	Увімкнення охолодження
M9	Вимкнення охолодження
M30	Кінець обробки за КП
M36	Дзеркальне відпрацювання КП по осі Z
M38, M39, M40	Діапазони частот обертання шпинделя

сусідні кадри зв'язують символом «\*». Одночасне переміщення у точку  $T_1$ , наприклад, записують як

...N05 X2000\*  
N06 Z—3050.

Програмуючи розмірні переміщення у приростах (інкрементні переміщення), використовують символ «|→|→», який вказують відразу після геометричної інформації. Переміщення з точки  $T_1$  з координатами  $X=20,0$  та  $Z=-30,5$  мм у точку  $T_2$ , з координатами  $X=45,0$  та  $Z=-40,5$  мм у КП набере вигляду

...N07 X2500|→|→  
N08 Z—1000|→|→,

де прирости по  $X$  і  $Z$  визначають як

$$\Delta X = X_2 - X_1 = 45,0 - 20,0 = 25,0 \text{ мм,}$$

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 = -40,5 - (-30,5) = -10,0 \text{ мм.}$$

Програмування технологічної інформації. Для надання робочої позиції інструментові, закріпленому в різцетримачі, у КП вказу-

ють адресу і цифру, що відповідає номеру позиції різцетримача, в якій перебуває інструмент. Якщо в КП вказано слово *T5*, то різцетримач повертається таким чином, щоб надати робочого положення різцеві, який перебуває у 5-й позиції.

Діапазони частот обертання шпинделя (верстат моделі 16K20T1.02) задають допоміжними функціями *M38* (безступінчасте регулювання частоти від 22,4 до 355 хв<sup>-1</sup>), *M39* (від 63 до 900 хв<sup>-1</sup>) та *M40* (від 160 до 2240 хв<sup>-1</sup>). Частота обертання шпинделя задається підготовчою функцією *G97* та адресою *S* із вказанням числового значення частоти обертання. Частоту обертання шпинделя  $n = 1000$  хв<sup>-1</sup>, наприклад, задають як

...N03	M40	Третій діапазон частот обертання
N04	G97	Задання режиму в обертах за хвилину
N05	S1000	$n = 1000$ хв <sup>-1</sup>
N06	M3	Обертання шпинделя проти руху годинникової стрілки

Режим *G97* встановлюється автоматично і в КП його можна не вказувати.

Для забезпечення постійної швидкості різання використовують функцію *G96*, після якої в КП вказують обмеження найбільшої  $P1 = n_{\max}$  та найменшої  $P2 = n_{\min}$  частот обертання шпинделя. Відповідний фрагмент КП для обробки торця, наприклад, з постійною швидкістю різання 90 м/хв та обмеженнями на число обертів  $n = 160 \dots 1600$  хв<sup>-1</sup>, матиме вигляд

...N21	M40	
N22	G96	Задання режиму постійної швидкості
N23	S90	Постійна швидкість $V = 90$ м/хв
N24	P1600	Найвища частота обертання $n_{\max} = 1600$ м/хв
N25	P160	Найнижча частота обертання $n_{\min} = 160$ хв
N26	M3	

Під час обробки торця за такою КП наближенням різця до центра частота обертання шпинделя зростатиме до  $n_{\max}$ .

Величина подачі задається адресою *F* і числовим значенням, вираженим у дискретах, які відповідають 0,01 мм/об. Величина подачі  $S_0 = 0,25$  мм/об, наприклад, запишеться в КП як *F25*.

**Програмування обробки** здійснюється шляхом визначення координат опорних точок контуру деталі та програмуванням переміщень інструмента від однієї точки до іншої. Після прискореного підведення інструмента до початкової точки обробки доцільно повторити його позиціонування в цю саму точку на робочій подачі для підвищення точності його положення в системі координат верстата.



Конічні поверхні обробляють, переміщуючи різець одночасно по двох осях. У КП вказують координати кінцевої точки твірної конуса, а різець перед початком обробки підводять до початкової точки твірної конуса.

Програмуючи обробку фаски під кутом  $45^\circ$ , вважають її кінчною поверхнею або користуються спеціальними символами, « $+45^\circ$ » та « $-45^\circ$ ». Спочатку вказують координати початкової точки фаски, потім координати кінцевої точки зі символом « $+45^\circ$ »

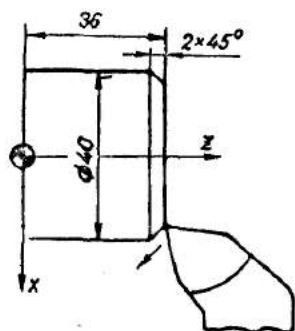


Рис. 3.11. Обробка фаски.

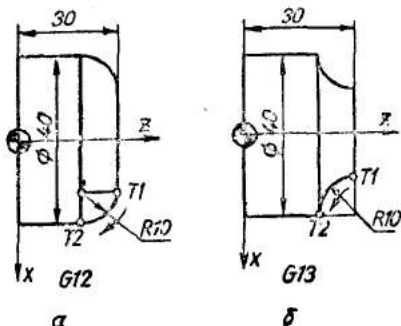


Рис. 3.12. Обробка заокруглень і галтелей.

або « $-45^\circ$ ». Знак плюс або мінус задається по напрямку зміни тієї координати, яка не вказана в кадрі обробки фаски. Фрагмент КП для обробки фаски, наприклад, для деталі, зображеної на рис. 3.11, матиме вигляд

...N05	Z3800~*	Прискорене підведення різця до околу
N06	X3600~	початкової точки
N07	Z3600	Позиціонування в початковій точці
N08	X4000— $45^\circ$	Обробка фаски

Обробка заокруглень і галтелей на кут  $90^\circ$  здійснюється за допомогою функцій G12 (рух різця здійснюється за рухом годинникової стрілки) та G13 (рух проти руху годинникової стрілки). Спочатку різець підводять до початкової точки дуги, потім у КП вказують функцію G12 або G13 та координати кінцевої точки дуги. Обробка заокруглення з радіусом  $R=10$  мм, наприклад, здійснюється згідно з наступним фрагментом КП (рис. 3.12, а)

...N10	X2000~*	Підведення різця до початкової точки дуги
N11	Z3100~	заокруглення
N12	Z3000	
N13	G12*	
N14	X4000*	Переміщення по колу з $R=10$ мм у точку
N15	Z2000	T2



ординат розмірів з несиметричними допусками. Попередньо вибирають нульову точку деталі.

Таблиця 3.8

Координати опорних точок контура

Координати	Опорні точки							
	Вихідна точка	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$	$T_7$
X, мм	120,0	100,0	70,0	59,92	59,92	50,0	40,06	40,06
Z, мм	200,0	30,0	30,0	35,0	75,0	80,0	80,0	0

Для обробки необхідні підрізний різець  $T_1$ , контурний різець  $T_2$  та розточувальний різець  $T_3$ . КП виглядає так:

N01	$T_1$	Інструмент $T_01$ у робочій позиції револьверної головки
N02	$F_{25}$	$S_0=0,25$ мм/об
N03	$M_{40}$	Третій діапазон швидкостей
N04	$S_{600}$	$n=600$ об/хв
N05	$M_3$	Обертання проти руху годинникової стрілки
N06	$Z_{8000} \sim *$	Швидке підведення одночасно по двох осях до торця деталі
N07	$X_{6100} \sim$	
N08	$Z_{8000}$	Уточнення положення інструмента по осі Z
N09	$X_{3700}$	Обробка торця
N10	$Z_{8100}$	Відведення інструмента
N11	$X_{10100} \sim$	Посереднє підведення по осях X і Z до точки $T_1$
N12	$Z_{3050} \sim$	
N13	$Z_{3050}$	Уточнення положення по осі Z
N14	$X_{7000}$	Чорнова обробка другого торця
N15	$X_{12000} \sim *$	Прискорене повернення у вихідну точку
N16	$Z_{20000} \sim$	
N17	$T_2$	Інструмент $T_02$ у робочій позиції револьверної головки
N18	$Z_{8100} \sim *$	Підведення до околу точки $T_5$
N19	$X_{5000} \sim$	
N20	$Z_{8000}$	Підведення до точки $T_5$
N21	$X_{5992}-45^\circ$	Обробка фаски $5 \times 45^\circ$
N22	$Z_{3500}$	Обробка циліндричної поверхні $\varnothing 60^{-0,16}$
N23	$G_{13}^*$	
N24	$X_{7000}^*$	Обробка галтелі $R=5$ мм
N25	$Z_{3000}$	
N26	$X_{10100}$	Зачищення торця

N26	X12000 ~ *	} Повернення у вихідну точку
N27	Z20000 ~ }	
N28	T3	Инструмент T03 у робочій позиції $n=800$ об/хв
N29	S800	
N30	Z8100 ~ *	Прискорене підведення по двох осях одно- часно до околу точки $T_5$
N31	X4000 ~ }	
N32	X4006	Уточнення положення інструмента по осі X
N33	Z—100	
N34	X3800	Обробка отвору
N35	Z20000 ~ }	Відведення інструмента
N36	X12000 ~ }	
N37	M5	Зупинка шпинделя
N38	M30	Кінець програми (система ЧПК встановлю- ється у початкове положення, а КП повер- тається до символу «Початок програми»)

Типові автоматичні цикли токарної обробки застосовують для скорочення об'єму КП.

Однопрохідний цикл поздовжньої обробки задають функцією G70 та координатами кінцевої точки обробки, наприклад,

...N05 ~ G70\*      Задання циклу та знаку прискореного вста-  
новлення різця на глибину різання (при  
відсутності знака «~» встановлення на  
глибину різання здійснюється з робочою  
подачею)

N06 X4000\* }      Координати кінцевої точки робочого ходу

N07 Z3000\* }

N08 F30      Подача  $S_0=0,3$  мм/об.

Якщо в структурі циклу величину подачі не вказують, то пере-  
міщення різця здійснюється з подачею, яка була зазначена в КП

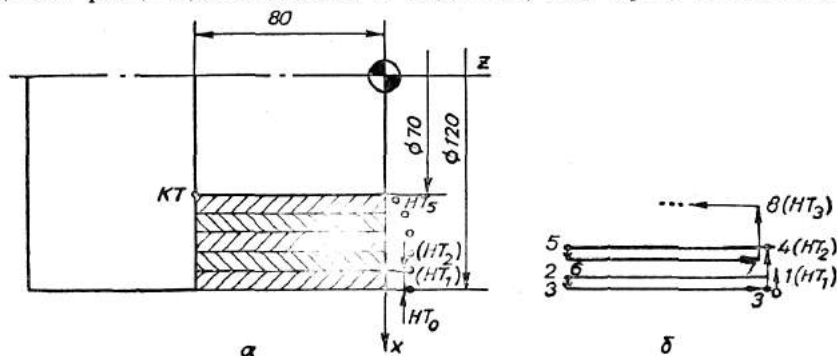


Рис. 3.14. Схема багатопрохідної обробки (а) і траєкторії інструмента (схема «спіраль») при зрізанні припуску (б):  
KT — кінцева точка обробки по циклу;  $HT_0$  — початкова точка обробки по циклу;  $HT_i$  — початкова точка обробки по  $i$ -му проходу.

раніше, до початку циклу. Після завершення робочого ходу різець повертається у точку початку циклу.

Багатопрохідний цикл поздовжньої обробки задають функцією G77. Його застосовують під час зрізання припусків за декілька робочих ходів. Траєкторія інструмента при зрізанні припуску відповідає схемі «спіраль». Складемо багатопрохідний цикл обробки поверхні, зображеної на рис. 3.14:

...N05	~  → →G77*	Задання умов виконання та завершення циклу
N06	X7000*	Кінцева точка обробки
N07	Z—8000* }	
N08	F25*	Подача $S_0=0,25$ мм/об
N09	P1000	Припуск, який знімають за один робочий хід.

Символ «~» вказує, що неробочі переміщення у циклі виконуються з прискореною подачею. Якщо він у записі циклу пропущений, то переміщення виконуються з робочою подачею. Символ «|→|→» вказує на те, що після завершення циклу інструмент повертається у початкову точку останнього проходу ( $HT_5$ ). Якщо ознака відсутня, то інструмент повернеться у початкову точку циклу ( $HT_0$ ). Величину припуску, який знімають за один прохід, визначають таким чином. Спочатку обчислюють величину припуску на сторону

$$q = \frac{1}{2} (d_{\text{зар}} - d_{\text{дет}}) = \frac{1}{2} (120 - 70) = 25 \text{ мм.}$$

Далі визначають допустиме значення глибини різання  $t_{\text{max}}=5$  мм, яке вказують у КП з адресою P, враховуючи, що в радіальному напрямі одна дискрета дорівнює 0,005 мм на радіус. Тоді

$$P = t_{\text{max}} / 0,005 (\text{мм} / \text{дискрету}) = 1000 \text{ дискрет.}$$

Багатопрохідний цикл поперечної обробки задають функцією G78. У випадку багатопрохідної обробки торця, наприклад, з глибиною різання  $t=3$  мм, фрагмент КП матиме вигляд

...N10	G78*	Задання циклу
N11	X1800*	Кінцева точка обробки
N12	Z—3000* }	
N13	P300	$t=3$ мм

Після завершення обробки інструмент повертається у початкову точку циклу.

### 3.6. ПРОГРАМУВАННЯ ФРЕЗЕРНО-СВЕРДЛИЛЬНО-РОЗТОЧУВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ

Фрезерно-свердильно-розточувальна обробка виконується на багатоцільових верстатах, наприклад, на верстаті моделі IP500MФ4 зі системою ЧПК «Бош» або «Фанук-6М». Система координат цього верстата з горизонтальним шпинделем була розглянута раніше. Система ЧПК верстата використовує стандартизовані підготовчі функції та постійні цикли (див. табл. 3.2, 3.3), а також допоміжні функції (див. табл. 3.4). Підготовчі функції, вказані в рекомендаціях ISO та в ГОСТ 20999—83 для індивідуального застосування, визначають додаткові режими роботи пристрою ЧПК, які розширюють технологічні можливості верстата (табл. 3.9).

Підготовчі функції *G43* та *G44* дають змогу врахувати під час програмування довжину інструмента по осі *Z* за допомогою адреси *H*, яка супроводжується кодом відповідного коректора.

За допомогою функції зсуву нульової точки переміщень *G10* можна вибрати початок відліку у будь-якій точці деталі та ув'язати координати цієї точки з датчиками відліку положення нульової точки.

Згідно з функцією *G27* робочі механізми верстата рухаються по заданих координатах до вказаних значень, де здійснюється їхня зупинка.

У системі ЧПК верстата передбачено шість груп коректорів, які дають змогу в межах однієї КП призначити шість «плаваючих» нульових точок (*G54—G59*). Для визначення «плаваючої» нульової точки по осях *X* та *Y* необхідно сумістити вісь шпинделя із заданою точкою, а за допомогою дисплея визначити відстань від цієї точки до абсолютного нуля (нуль системи координат верстата) і занести цю величину на відповідний коректор *X* та *Y*. Для координати *Z*, якщо КП складена без урахування довжини інструмента, початок відрахунку вибирають над елементом деталі, що найбільше вирізняється (обробка деталі по осі *Z* здійснюється у від'ємному напрямку). У цьому випадку з нульовою площиною суміщують торець шпинделя, а відстань від абсолютного нуля до нульової площини заносять у коректор «плаваючої» нульової точки. Якщо ж під час програмування враховують довжину інструмента, то нульова площина відповідно зсувається. Використання декількох груп зміщення нулів дає змогу виключити перерахунок координат при обробці деталі з декількох сторін або при обробці декількох деталей за однією КП.

Функція *G60* забезпечує підведення робочих органів верстата в задану точку з одного боку.

## Перелік спеціальних підготовчих функцій систем ЧПК «Фанук-6М»

Код	Група	Зміст функції
1	2	3
G 05 G 07 G 10	00	Режим прискореної безперервної обробки Синусоїдальна інтерполяція (задання віртуальної осі) Встановлення величини зсуву початку відрахунку в координатних системах заготовки
G 20 G 21	06	Введення у дюймовій системі Введення у метричній системі
G 22 G 23	04	Початок виконання функції обмеженого ходу із запам'ятовуванням Завершення виконання функції обмеженого ходу із запам'ятовуванням
G 27 G 28 G 29 G 30 G 31	00	Перевірка повернення до базової точки Повернення до базової точки Повернення від базової точки Повернення до 2-ї, 3-ї або 4-ї базової точки Функція пропускання
G 43 G 44 G 49	08	Корекція довжини інструмента «+» Корекція довжини інструмента «-» Анулювання корекції довжини інструмента
G 45 G 46 G 47 G 48	00	Зміщення інструмента в напрямі розширення Зміщення інструмента в напрямі скорочення Подвійне зміщення інструмента в напрямі розширення Подвійне зміщення інструмента в напрямі скорочення
G 50 G 51	11	Початок виконання масштабування Завершення виконання масштабування
G 54 G 55 G 56 G 57 G 58 G 59	14	Вибір координатної системи заготовки 1 Вибір координатної системи заготовки 2 Вибір координатної системи заготовки 3 Вибір координатної системи заготовки 4 Вибір координатної системи заготовки 5 Вибір координатної системи заготовки 6
G 60	00	Однобічне позиціонування
G 64	15	Режим безперервного різання
G 66 G 67	12	Команда модального виклику макрооперації Анулювання команди модального виклику макрооперації



1	2	3
G 96 G 97	13	Підтримування постійної швидкості різання Анулювання постійної швидкості різання, тобто перехід на задання частоти обертання в обертах за хвилину
G 98 G 99	10	Повернення до початкового рівня (постійний цикл) Повернення до рівня точки R (постійний цикл)

Функції G98 та G99 використовуються для організації різного завершення постійних циклів. При використанні функції G98 інструмент у кінці циклу повертається до вихідного рівня по осі Z, а при G99 — повертається до рівня R, координата якого по осі Z задається в циклі (рис. 3.15).

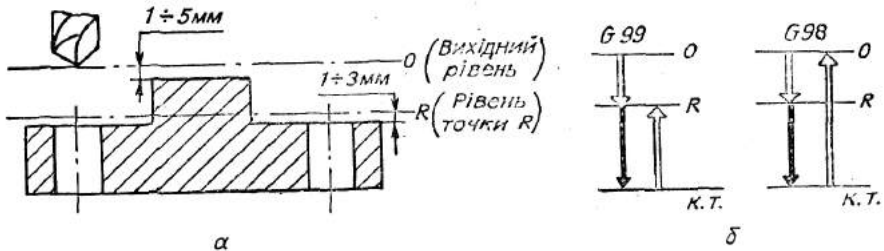


Рис. 3.15. Схема дії функцій G 98, G 99 (а) та структура циклів з ними (б):

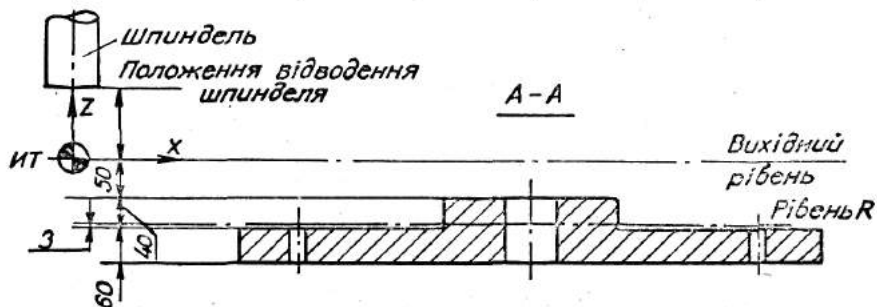
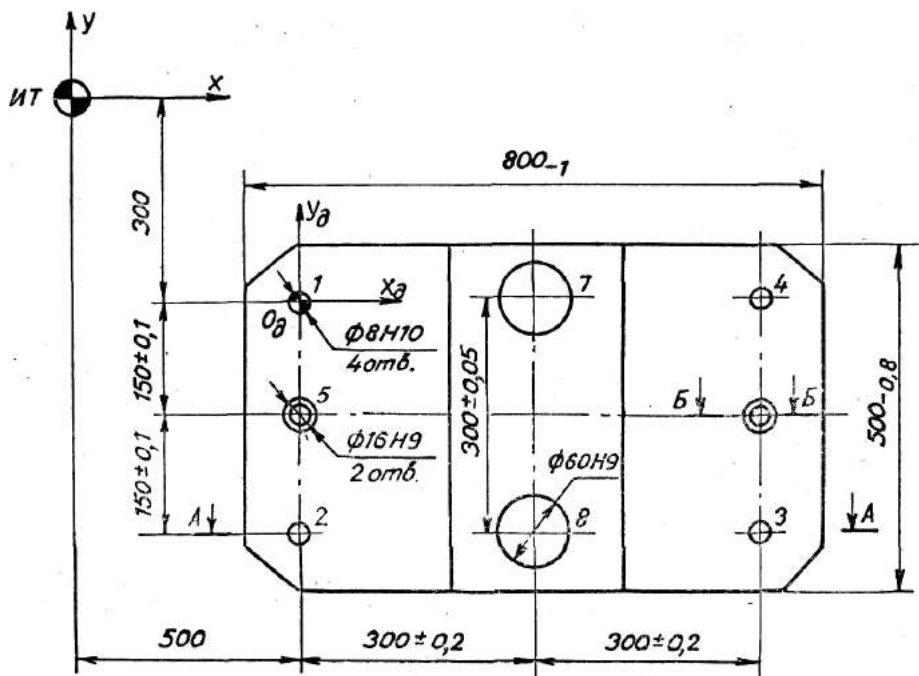
світлою стрілкою позначені холості, темною — робочі переміщення.

Спеціальні допоміжні функції наведені в табл. 3.10.

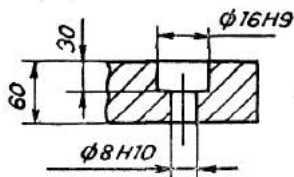
Таблиця 3.10

Перелік спеціальних допоміжних функцій систем ЧПК «Фанук-6М»

Код	Зміст функції
M17	Кінець програми. Передача керування основній програмі
M18	Повернення інструмента в магазин
M20	Кінець підпрограми
M25	Зупинка шпинделя в кінці постійного циклу
M31	Відміна блокування
M84	Заміна супутника
M98	Звернення до підпрограми
M99	Перехід від підпрограми до програми



Б - Б



№ отвору	Розмір	Глибина	Координати	
			X	Y
1	φ8H10	60	500	-300
2	φ8H10	60	500	-600
3	φ8H10	60	1100	-600
4	φ8H10	60	1100	-300
5	φ16H9	30	500	-450
6	φ16H9	30	1100	-450
7	φ60H9	100	800	-300
8	φ60H9	100	800	-600

Рис. 3.16. Ескіз деталі та її система координат.

## Керуюча програма

Зміст кадру 1	Коментар 2
N01G92X0Y0Z0	Встановлення системи координат у вихідній точці. Вихідна точка визначає положення системи координат деталі в системі координат верстата. Система координат деталі, нуль якої розміщений у центрі отвору $I$ (рис. 3.16), пов'язана з вихідною точкою координатними розмірами $X=500$ мм, $Y=-300$ мм. Розташування вихідної точки в системі координат верстата визначають при налагодженні верстата або відразу по трьох координатах або по кожній координаті окремо. Вибір нуля по осі $Z$ зроблено на висоті торця шпинделя 50 мм над верхньою площиною деталі.
N02G90G00 Z250.0T01M06	Прискорене відведення інструмента по осі $Z$ на 250 мм від деталі для здійснення заміни інструмента. Пошук у магазині першого інструмента ( $T01$ ) та встановлення його у шпindelь верстата ( $M06$ ).
N03G43Z0H01	Введення корекції довжини інструмента ( $G43$ , коректор $H01$ ) та встановлення інструмента на вихідний рівень по осі $Z$ з урахуванням його довжини (рис. 3.18). У цьому випадку на нульовий рівень встановлюється вершина свердла
N04S300M03	Задання частоти обертання шпинделя $n=300$ хв <sup>-1</sup> , пуск обертання за рухом годинникової стрілки.
N05G99G81 X500.0 Y-300.0 Z-153.0R-97.0 F120	Задання циклу свердління ( $G81$ ) з поверненням інструмента до рівня $R$ ( $G99$ ), введення координат отвору № 1, глибини свердління по осі $Z$ , координати рівня $R$ , встановлення подачі $S_0=0,12$ мм/об. Обробка отвору № 1.
N06Y-450.0	Обробка отвору № 5 свердлінням, повернення до рівня $R$
N07G98Y-600.0	Обробка отвору № 2, повернення до вихідного рівня
N08G99X1100.0	Обробка отвору № 3, повернення до рівня $R$
N09Y-450.0	Обробка отвору № 6, повернення до рівня $R$
N10G98Y-300.0	Обробка отвору № 4, повернення до вихідного рівня
N11G00X0Y0 M05	Прискорене повернення інструмента у вихідну точку, зупинка шпинделя
N12G49Z250.0	Анулювання корекції довжини інструмента переміщення шпинделя на 250 мм від деталі, вибір інструмента $T05$ , його заміна
T05M06	Введення корекції довжини інструмента $H05$ та встановлення його робочої точки на вихідний рівень
N13G43Z0H05	Встановлення частоти обертання шпинделя $n=200$ хв <sup>-1</sup> , пуск шпинделя
N14S200M03	Задання постійного циклу зенкерування з витримкою інструмента в кінці робочого ходу ( $G82$ ) та поверненням до вихідного рівня ( $G98$ ). Введені координати отвору № 5 та глибини зенкерування по осі $Z$ , задана робоча подача $S_0=0,07$ мм/об. Обробка отвору № 5.
N15G98G82	Обробка отвору № 6, повернення до вихідного рівня
X500.0	Прискорене повернення інструмента у вихідну точку, зупинка шпинделя
Y-450.0	Анулювання корекції довжини інструмента, відведення шпинделя на 250 мм по осі $Z$ від вихідного рівня, вибір інструмента $T13$ та його встановлення у шпindelь
Z-120.0	
F70	
N16X1100.0	
N17G00X0Y0	
M05	
N18G49Z250.0	
T13M06	

N19G43Z0H13  
 N20S100M03  
 N21G99G85  
 X800.0  
 Y—300.0  
 Z—151.0  
 R—47.0  
 F50  
 N22G98Y—600.0  
 N23G28X0Y0  
 M05  
 N24G49Z0  
 N25M02

Введення корекції довжини інструмента, встановлення його робочої точки на вихідному рівні

Встановлення частоти обертання шпинделя  $n=100$  хв<sup>-1</sup>, пуск обертання

Задання циклу розточування (G85), координат отвору № 7, глибини розточування, рівня  $R=-47,0$ , встановлення подачі  $S_0=0,05$  мм/об. Обробка отвору № 7. Повернення інструмента до рівня R.

Обробка отвору № 8, повернення до вихідного рівня  
Повернення до вихідної точки, зупинка шпинделя

Анулювання корекції довжини інструмента, повернення шпинделя на вихідний рівень по осі Z  
Програмна зупинка

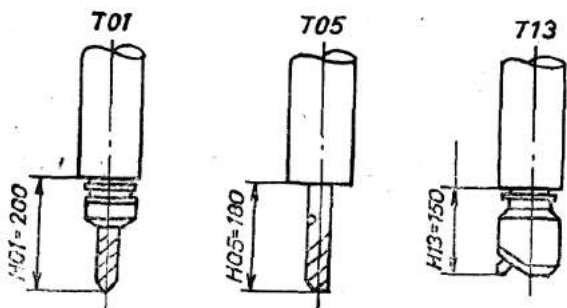


Рис. 3.17. Комплект різального інструменту.

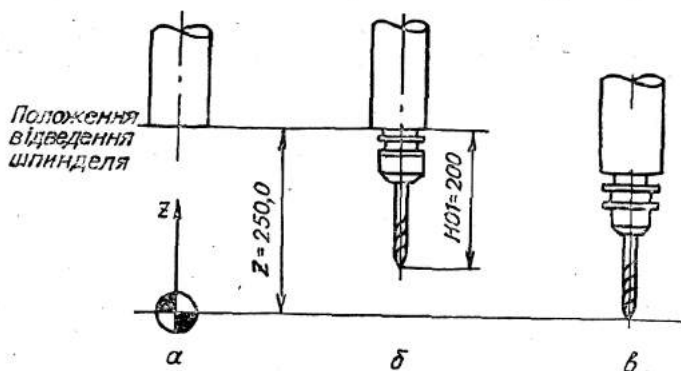


Рис. 3.18. Положення шпинделя під час заміни інструмента (а), після встановлення інструмента в шпиндель (б) та після введення коректора H 01 (в) та виведення інструмента на нульовий рівень (G43Z0H01).

Якщо кадр або група кадрів можуть бути повторені декілька разів, то вони виділяються у підпрограму. Підпрограма викликається адресою  $P$  із вказанням номера кадра, що викликається. Адресу  $P$  задають разом із функцією  $M98$ , а число повторень підпрограми задають у кадрі з адресою  $L$ . У кінці підпрограми вказують функцію  $M99$ , яка забезпечує перехід до основної програми.

Розглянемо складання КП (табл. 3.11) для обробки отворів № 1—8 деталі (рис. 3.16). Для обробки отворів використаємо свердло  $\varnothing 8,0$  ( $T01$ ), спеціальну розвертку  $\varnothing 16,0$  ( $T05$ ) та розточувальну справку  $\varnothing 60,0$  ( $T13$ ) (рис. 3.17).

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте згідно з ГОСТ 20523—80 визначення понять: керуюча програма, пристрій ЧПК, система ЧПК.
2. Як визначають напрями осей системи координат верстата?
3. Як здійснюється прив'язка системи координат деталі й системи координат верстата?
4. Що таке підготовча функція? Який зміст підготовчих функцій:  $G00$ ,  $G01$ ,  $G02$ ,  $G03$ ,  $G17$ ,  $G18$ ,  $G19$ ,  $G40$ ,  $G41$ ,  $G42$ ,  $G80$ ,  $G95$ ?
5. Як записується у керуючій програмі геометрична і технологічна інформація?
6. Назвіть основні допоміжні функції та їх зміст.
7. Напишіть фрагмент керуючої програми для обробки фаски  $3 \times 45^\circ$  на валуку  $\varnothing 40$  мм завдовжки 60 мм.
8. Напишіть цикл для свердління отворів  $\varnothing 8,2$  мм на глибину 20 мм, перший з яких має координати  $X=200,0$  мм,  $Y=-160,0$  мм.

## ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ, ЩО Є ТІЛАМИ ОБЕРТАННЯ, В УМОВАХ ГАВ

### 4.1. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ДЕТАЛЕЙ, ЩО Є ТІЛАМИ ОБЕРТАННЯ, ТА ЗАГОТОВОК

Деталі, що є тілами обертання, складаються із зовнішніх та внутрішніх циліндричних і торцевих поверхонь, які мають спільну вісь обертання. До основних типів деталей, що є тілами обертання, належать вали, втулки, фланці, стакани. Для валів є характерним перевищення довжини над діаметром, у втулок і фланців довжина є порівнянна з діаметром при наявності центрального отвору. У дисків — довжина суттєво менша від діаметра.

Вали використовують для передачі крутних моментів або як опори. Вони включають основні поверхні, наприклад, шийки під підшипники і зубчасті колеса, та додаткові елементи типу шпонкових пазів, шліцьових і різьбових поверхонь. Сполучувальні циліндричні поверхні обробляють за 6—8 квалітетами точності та з параметром жорсткості у межах  $R_a=0,63-2,5$  мкм. Допуск на відхилення від циліндричності шийок становить 25...40% допуску на відповідний розмір, а допуск на відхилення їх від співвісності — 0,01...0,02 мм. Дотримання цих вимог забезпечують, обробляючи заготовки валів у центрах.

Вали виготовляють із конструкційних та легованих сталей (сталь 35, 40, 45, 40X, 50X тощо) з наступною термічною обробкою. Вали з низьковуглецевих сталей цементують, після чого гартують. Заготовки валів, призначених для обробки на верстатах з ЧПК, повинні мати припуски та допуски на виготовлення на 10...30% менші, ніж при традиційній обробці. В одиничному та дрібносерійному виробництві заготовки одержують, як правило, з гарячекатаного прокату. Якщо маса заготовки перевищує 15...20 кг, а заготовка має складну форму, то її кують. В умовах серійного виробництва заготовки валів зі складною конфігурацією одержують методом пластичного деформування (кування, штампування тощо).

Фланці, втулки, стакани використовують для обмеження осьових переміщень валів та закріплених на них дрібних вузлів, а також для забезпечення правильного розташування у корпусі зубчастих коліс, шківів тощо. Основними (конструктор-

ськими) базами фланця є зовнішня циліндрична поверхня, яка з'єднується з отвором в корпусі, і торець. Цю циліндричну поверхню, що визначає розташування фланця в корпусі, обробляють за 6—8 м квалітетами. Точність отворів у фланці, призначених для встановлення в них підшипників, відповідає 7—8-му квалітетам. Шорсткість цих поверхонь обмежена параметром  $Ra=1,25 \dots 2,5$  мкм, а допуск на відхилення їх від циліндричності дорівнює  $0,01 \dots 0,02$  мм. Допуск на відхилення від співвісності коливається у межах  $0,01 \dots 0,03$  мм.

Деталі виготовляють зі сталей, чавунів, бронзи тощо. Заготовки одержують із прокату (прутки, труби), литтям, штампуванням, куванням.

#### **4.2. ОСОБЛИВОСТІ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ, ЩО Є ТІЛАМИ ОБЕРТАННЯ, НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК**

Найбільш трудомісткою при виготовленні деталей, що є тілами обертання, є токарна обробка, яку в умовах автоматизованого дрібно-серійного та серійного виробництва виконують на токарних верстатах з ЧПК. Проектування токарної операції з ЧПК складається з розробки операційного ескізу обробки і проектування заготовки, вибору схеми базування, визначення послідовності технологічних переходів, вибору моделі верстата, потрібного інструменту і технологічного оснащення, визначення припусків, режимів різання та складання КП.

Операційний ескіз визначає форму, розміри та шорсткість поверхонь деталі, одержаних після виконання операції. Оброблені поверхні наводять контурними лініями.

Креслення заготовки визначає її форму, розміри та допуски на них. Контур деталі зображають тонкими лініями.

Схема базування повинна забезпечувати жорсткість закріплення заготовки, зручність її фіксації, вільний доступ інструмента до більшості її поверхонь. При автоматичному завантаженні верстата заготовками, наприклад, за допомогою промислового робота, необхідно передбачати такі технологічні бази, встановлення по яких заготовки не вимагатиме контролю самого процесу встановлення. У цьому випадку достатньо перевірити положення затиснутої заготовки у робочій зоні верстата або положення елементів пристрою.

На токарних верстатах з ЧПК застосовують переважно дві схеми базування: у центрах для заготовок типу валів та в патроні для обробки втулок, фланців, дисків.



Заготовки, які оброблюються в центрах, повинні мати центрові отвори і хоча б один оброблений торець. Заготовку встановлюють у центрах із використанням торцевого чи зовнішнього дво- або трикулачкового повідкових патронів з «плаваючим» центром.

Друга схема базування передбачає використання автоматичних затискних патронів із загартованими або незагартованими кулачками. Загартовані кулачки придатні для затискання заготовок за необроблені поверхні, а незагартовані кулачки, які перед оброб-

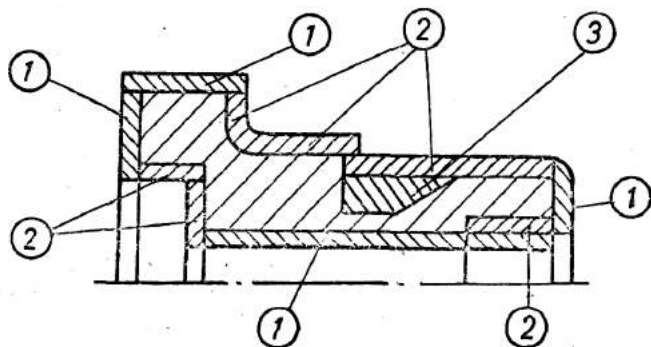


Рис. 4.1. Відкриті (1), напіввідкриті (2) та закриті (3) поверхні деталей, що є тілами обертання.

кою партії деталей проточують на верстаті, забезпечують високу точність закріплення заготовки за попередньо оброблені поверхні.

Патрони, що використовуються на верстатах з ЧПК, РТК і токарних ГВМ, мають великий хід кулачків або систему їх автоматичної заміни, що підвищує їхню універсальність.

Висока концентрація обробки дає змогу звести до мінімуму кількість встановлень заготовки, особливо при забезпеченні доступності поверхонь деталі для підведення інструментів. За цією ознакою всі поверхні деталі поділяють на відкриті, напівзакриті та закриті (рис. 4.1).

Токарна операція з ЧПК характеризується такою послідовністю обробки основних і додаткових поверхонь деталі.

1. Чорнова обробка основних поверхонь:

- підрізання торців;
- центрування отворів перед свердлінням;
- свердління отворів з діаметром менше 20 мм;
- розсвердлювання отворів;
- обточування зовнішніх циліндричних поверхонь;
- розточування внутрішніх поверхонь.

2. Обробка додаткових поверхонь, якщо вони вимагають чорнової обробки (крім різей).

3. Чистова обробка основних поверхонь:

- обробка внутрішніх поверхонь;
- обробка зовнішніх поверхонь.

4. Чистова обробка додаткових поверхонь, оброблених начорно, або тих, які не вимагають чорнової обробки:

- обробка додаткових поверхонь на отворах;
- обробка додаткових поверхонь на торцях;
- обробка додаткових поверхонь, розташованих на зовнішніх циліндричних і конічних поверхнях.

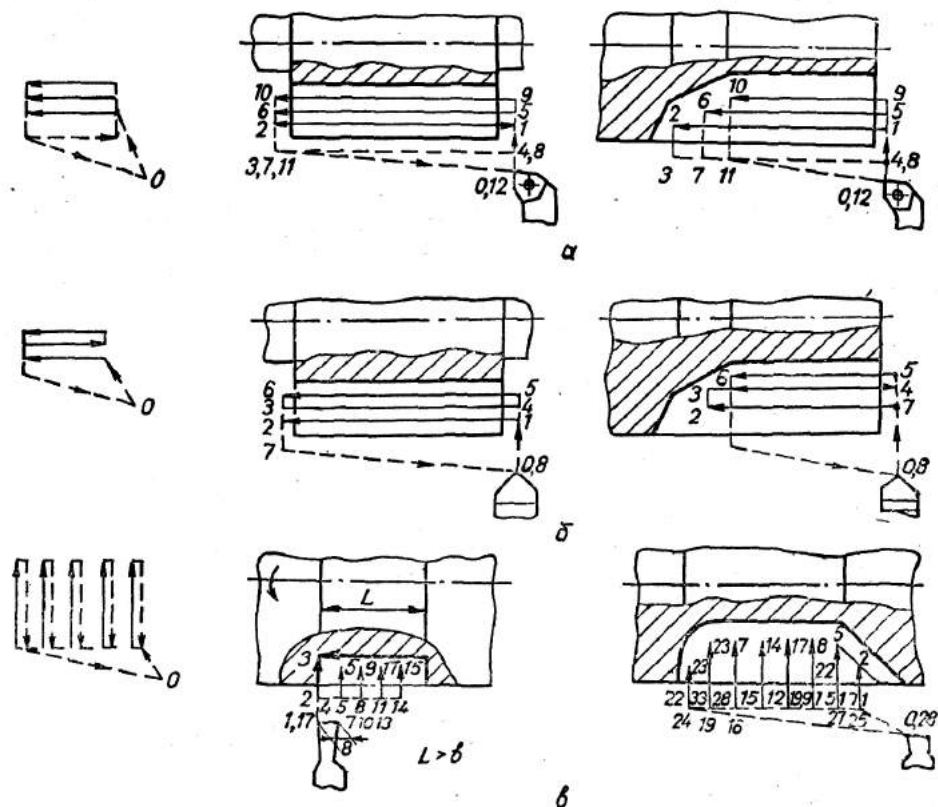


Рис. 4.2. Схеми вибирання матеріалу:

а — «петля»; б — «зигзаг»; в — «спуск»; послідовність рухів інструмента задається точками 1, 2, 3, ...

Чистову та чорнову обробки можна виконувати одним різцем, але в цьому випадку знижується точність одержаної обробкою поверхні. При одноразовому проточуванні забезпечується точність поверхні згідно з 11–12 квалітетами, а шорсткість обмежується значенням  $R_a = 3,2$  мкм. Для забезпечення точності поверхонь згідно з 7–8 квалітетами фінішний прохід виконують чистовим різцем.

При зрізанні значного шару матеріалу слід застосовувати типові схеми зняття припусків: «петля», «зигзаг», «спуск».

Для обробки універсальними прохідними, підрізними та контурними різцями, які знімають шар матеріалу тільки в одному напрямі, використовують схему «петля» (рис. 4.2, а). За цією схемою зрізають припуски з відкритих та напівзакритих поверхонь.

Під час обробки дволезовими та чашковими різцями викори-

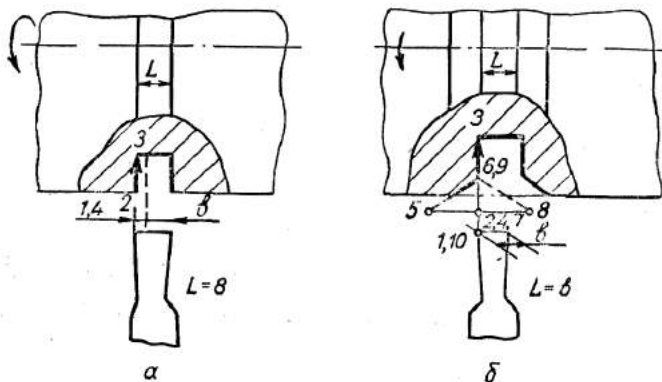


Рис. 4.3. Схеми обробки канавок:  
1—10 — точки позиціонування різця.

стовують схему «зигзаг», згідно з якою припуск знімається в прямому та зворотному напрямках. Ця схема, як і попередня, призначена для зрізання припусків з відкритих і напівзакритих поверхонь (рис. 4.2, б).

Схему «спуск» застосовують для обробки закритих поверхонь прорізними різцями. У кінці робочого ходу задають витримку часу для поліпшення якості поверхні, а після виконання останнього робочого ходу — рух різця для зачищення дна заглибини (рис. 4.2, в). Схеми обробки циліндричних канавок, ширина яких відповідає ширині прорізного різця, подані на рис. 4.3, а, б, схема послідовної обробки широкої канавки прорізним та прохідним упорним різцями — на рис. 4.4.

Різь на токарних верстатах з ЧПК нарізають різенарізними різцями або мітчиками. Різці повинні мати профіль, що відповідає профілю різи. Для одержання різи необхідно виконати, як правило, 3—7 проходів. У кінці обробки задають калібруючий прохід. У деяких випадках його виконують чистовим різцем. Схеми врізання різця при багатопрохідній обробці різи зображені на рис. 4.5. Якщо крок різи менше 2,5 мм, то врізання виконують перпендикулярно до її осі (рис. 4.5, а). При цьому утворюється жорстка стружка.

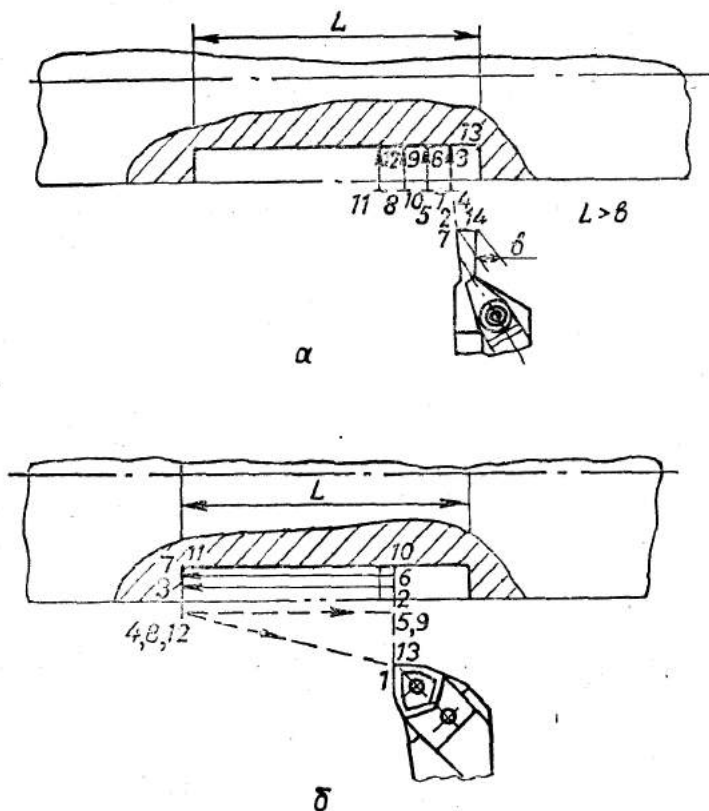


Рис. 4.4. Схема послідовної обробки широкої канавки прохідним (а) та прохідним упорним (б) різцями: 1—14 — точки позиціонування різця.

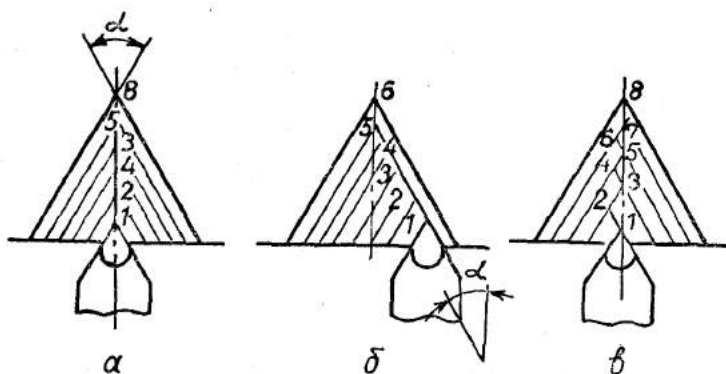


Рис. 4.5. Схеми багатопрохідної обробки різцями: 1—8 — точки позиціонування різця.

При нарізанні різі з великим кроком врізання виконують під кутом  $\alpha$ , що створює ліпші умови для стружкоутворення (рис. 4.5, б). Недоліком цієї схеми є нерівномірне зношування різальних лез різця. Для поліпшення умов роботи різця різь нарізають із почерговим зміщенням вершини різця в різні боки (рис. 4.5, в). Чистову обробку виконують врізанням різця перпендикулярно до осі різі.

### 4.3 ОБРОБКА ВАЛІВ В УМОВАХ ГАВ

Основними базами валів є опорні шийки, які, однак, не можуть бути використані як технологічні бази. Для забезпечення принципу постійності баз створюють штучні технологічні бази — центрові отвори. Вали базують у цьому випадку по центрових отворах та лівому торцю, який забезпечує точне розташування деталі в осьовому напрямі. Типова послідовність обробки валів передбачає такі етапи.

1. Обробка торців заготовки та свердління в них центрових отворів.
2. Чорнове обточування заготовки з обох боків послідовно.
3. Чистове обточування заготовки з обох боків послідовно.
4. Попереднє шліфування шийок.
5. Обробка додаткових поверхонь — шліців, шпонкових пазів, різей, поперечних отворів тощо.
6. Термічна обробка.
7. Чистове шліфування шийок та інших поверхонь.

**Обробка торців і центрових отворів** забезпечує створення постійних технологічних баз для наступних операцій. В одиничному виробництві цю операцію здійснюють на універсальних токарних верстатах, у великосерійному та масовому виробництві — на фрезерно-центрувальних верстатах барабанного типу (моделі *MP77*, *MP78*) або послідовно на двобічних центрувальних автоматах.

В умовах дрібносерійного та серійного виробництва як технологічні бази для токарної обробки на верстатах з ЧПК використовують двобічні центрувально-підрізні верстати моделей *MP179*, *2931*, *2932*, на яких обточують кінці валів, знімають фаски, свердлять центрові отвори. У цьому випадку немає потреби додатково підрізати торці на токарному верстаті для зняття задилок перед токарною операцією з ЧПК, а також створюються умови для повної токарної обробки вала з однієї установки завдяки тому, що крайні шийки, які використовуються для його затискання або закріплення хомуа, вже оброблені.

**Токарна обробка валів.** Зовнішні поверхні валів в умовах масового виробництва обточують на токарних одно- та багатопиндельних автоматах та напівавтоматах, гідрокопіювальних верста-

тах тощо. В умовах ГАВ, коли продукцію випускають дрібними та середніми серіями, використовують токарні верстати з ЧПК. Проектуючи токарні операції з ЧПК, часто суміщують на одному верстаті чорнову та чистову обробки.

**Обробку додаткових поверхонь** типу шліців, шпонкових пазів, поперечних отворів тощо виконують на спеціалізованому устаткуванні.

Характерним прикладом автоматизованого виготовлення валів

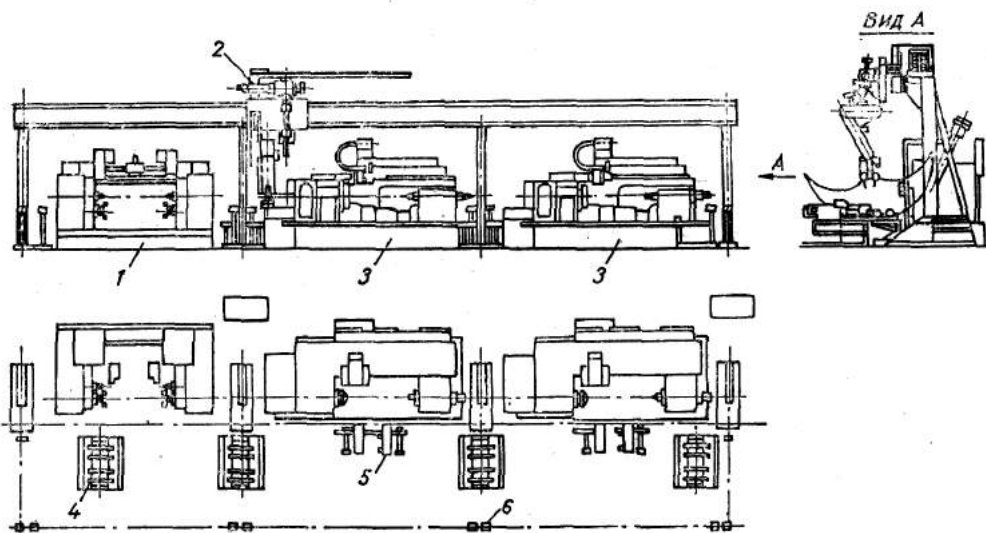
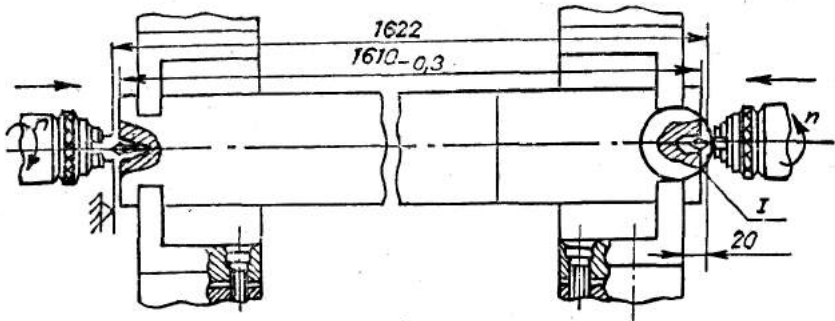


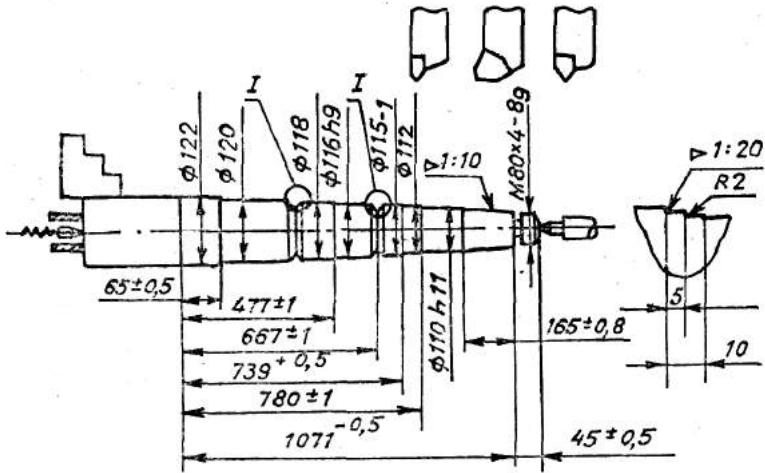
Рис. 4.6. Багатопозиційний РТК для обробки валів мод. АСВР-01:

1 — центрально-підрізний верстат мод. МР179; 2 — промисловий робот мод. УМ160Ф2.81.01; 3 — токарний верстат з ЧПК мод. 1Б732Ф3; 4 — магазин-нагромаджувач; 5 — ложемент; 6 — система світлозахисту.

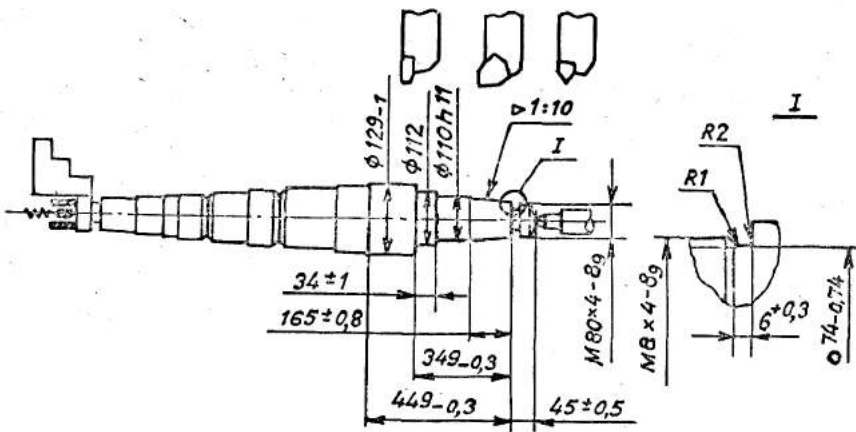
може бути багатопозиційний РТК моделі АСВР-01, призначений для обробки валів електродвигунів 30-ти типорозмірів загальним обсягом випуску 60 тис. шт. на рік. Діаметр оброблюваних валів коливається від 40 до 140 мм, довжина — від 500 до 1400 мм. РТК має три робочі позиції, на яких розміщені центрально-підрізний і два токарних верстати, а також промисловий робот УМ160Ф2.81.01, який здійснює міжопераційний зв'язок та поставання верстатів заготовками (рис. 4.6). На першій позиції розташований центрально-підрізний верстат моделі МР179, на якому обробляють обидва торці вала та свердлять центрові отвори (рис. 4.7, а). На другій позиції виконують (рис. 4.7, б) токарну обробку однієї сторони вала на токарному верстаті моделі 1Б732Ф3 (ПЧПК типу Н221М, потужність електродвигуна головного привода — 40 кВт, кількість позицій поворотної револьверної головки — 6). На третій позиції розташований другий верстат



а



б



в

Рис. 4.7. Технологічні налагодження верстатів, що входять до складу АСВР-01:

а — центрувально-підрізної; б, в — токарної.



моделі 1Б732Ф3, на якому обточують вал з іншого боку (рис 4.7, в). Постачання верстатів заготовками, а також їх між-операційне транспортування виконує ПР моделі УМ160Ф2.81.01. Його вантажопідйомність становить 160 кг, похибка позиціонування  $\pm 1$  мм, довжина переміщення 18 м (рис. 4.8).

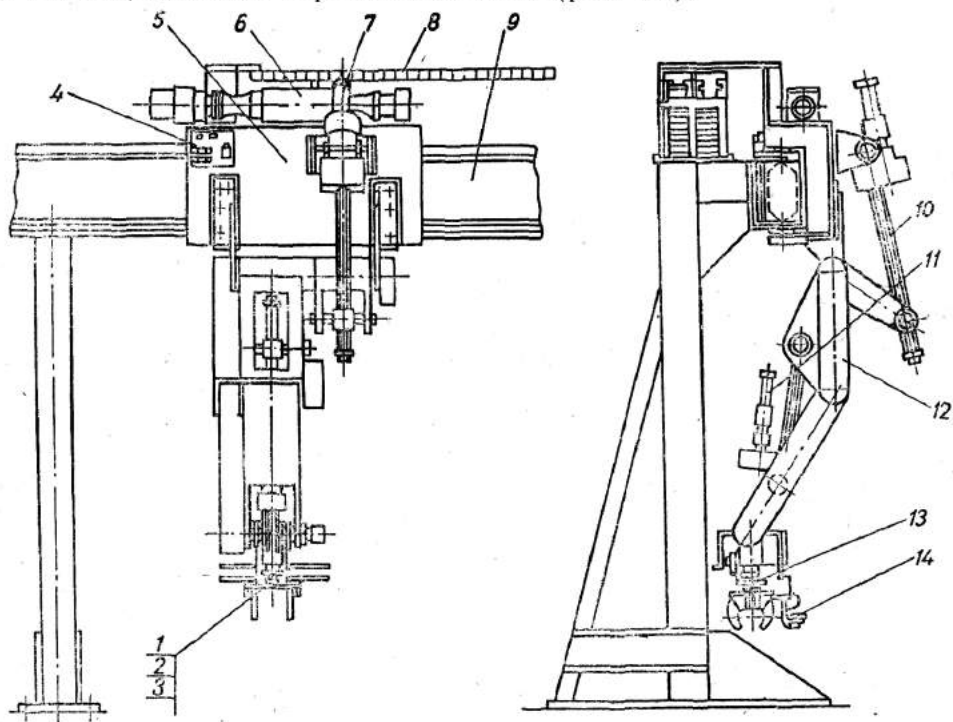


Рис. 4.8. Промисловий робот мод. УМ160Ф2.81.01:

1 — захват для діаметрів 40...100 мм; 2 — захват для діаметрів 100...160 мм; 3 — захватотримач; 4 — гідрообладнання; 5 — каретка; 6 — привід каретки; 7 — привід плеча; 8 — ланцюг приводу; 9 — опорна система; 10 — кульковий гвинт; 11 — привід ліктя; 12 — рука; 13 — головка; 14 — датчик.

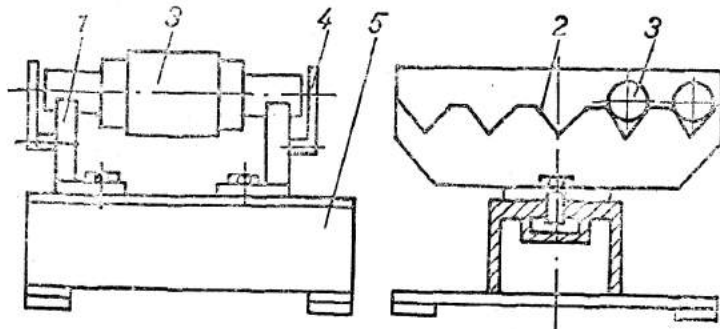


Рис. 4.9. Магазин для нагромадження валів:

1 — щока; 2 — виріз; 3 — заготовка; 4 — обмежувач; 5 — основа.

Заготовки валів подаються конвейером у робочу зону ПР, який перекладає їх у магазин-нагромаджувач (рис. 4.9). Із магазину-нагромаджувача заготовка переноситься у пристрій очікування — ложемент. Коли завершується обробка деталі, ПР знімає її з верстата, укладає в ложемент, а заготовку, яка очікує в ложементі, подає на верстат, де вона закріплюється затискним пристроєм. Огорожа верстата закривається, і відбувається обробка. Знята з верстата заготовка захоплюється ПР і переміщується до магазину-нагромаджувача, що розташований на наступній робочій позиції. Усі допоміжні механізми працюють незалежно і після виконання своєї функції подають сигнал, який вмикає наступний механізм.

#### **4.4. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ФЛАНЦЯ**

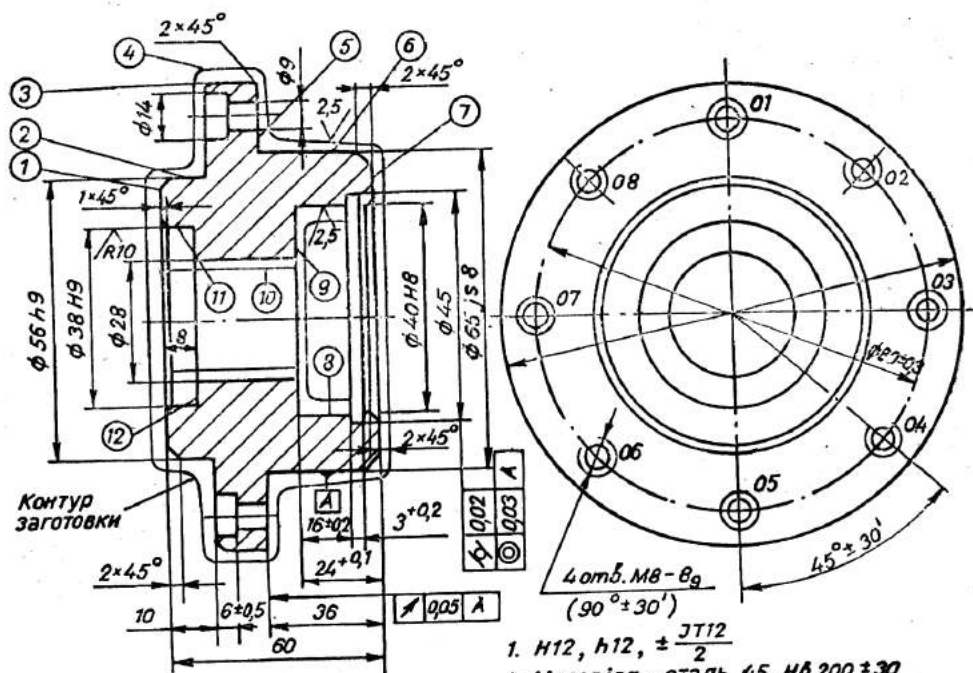
В умовах багатомоделного виробництва фланці й втулки обробляють на верстатах з ЧПК. Для технології їх виробництва характерні короткі технологічні маршрути та висока концентрація операцій. Розробимо технологічний маршрут обробки фланця (рис. 4.10). Основні поверхні його контуру позначимо цифрами в кружечках від 1 до 12, а кріпильні отвори — від 01 до 08. Плани обробки кожної поверхні (табл. 4.1) визначають згідно з вимогами до її точності та шорсткості\*. План обробки кріпильних отворів фланця наведений у табл. 4.2.

Типовий технологічний процес обробки фланців включає токарну обробку деталі з обох боків послідовно, а також свердління та різенарізання кріпильних отворів. Ці технологічні операції в умовах дрібносерійного, серійного та, досить часто, великосерійного виробництва виконують на верстатах з ЧПК.

**Вибір технологічних баз** здійснюють на основі аналізу можливих схем базування. Токарну обробку фланця можна виконати за дві операції. Можливі варіанти схем базування на першій та другій токарній операціях наведені у табл. 4.3.

Виконаємо відбірковий аналіз можливих схем базування. Використання поверхонь 8, 9, 10 для базування вимагає застосування спеціальної технологічної оснастки (оправок, розтискних цанг тощо). Поверхню 6, оброблену на першій операції за 8 квалітетом точності, також не можна використати для закріплення деталі на другій операції. Відібрані конкуруючі варіанти базування, розта-

\* Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. Косиловой А. Г., Мецеракова Р. К. В 2 т. М., 1985.



1. H12, h12,  $\pm \frac{IT12}{2}$   
 2. Матеріал - сталь 45, HВ 200±30  
 3. Спряження торцевих і циліндричних поверхонь заокруглити R0,5

Рис. 4.10. Фланець.

Таблиця 4.1

Плани обробки основних поверхонь

Номер поверхні	Характеристика поверхні			Методи обробки поверхні			
	шорсткість $R_a$ , мкм	квалітет	геометрична точність, мм	чорнова	напівчистова	чистова	фінішна
1	5,0	14	Радіальне биття 0,05	+			
2	5,0	9		+	+		
3	5,0	14		+			
4	5,0	14		+			
5	5,0	14		+			
6	2,5	8	Допуск циліндричності 0,02	+	+	+	
7	5,0	14		+			
8	2,5	8		+			
9	5,0	14		+			
10	5,0	14		+			
11	2,5	9		+	+		
12	5,0	14		+			

План обробки кріпильних отворів фланця

Позначення отвору	Типові технологічні переходи					Кількість інструментів на отвір
	центрування	свердління	цекування	обробка фаски	нарізання різі	
01.03.05.07	1	1	1	1	0	4
02.04.06.08	1	1	0	1	1	4
Кількість інструментів на перехід	1	2	1	1	1	6

Таблиця 4.3

Схеми базування фланця

Базові поверхні на другій токарній операції	Базові поверхні на першій токарній операції									
	1,10	1,2	2,3	3,4	4,5	5,6	6,7	7,8	8,9	9,10
1,10					1	1	1	1	1	1
1,2					1	1	1	1	1	1
2,3					1	1	1	1	1	1
3,4							1	1	1	1
4,5	1	1	1							
5,6	1	1	1							
6,7	1	1	1	1						
7,8	1	1	1	1						
8,9	1	1	1	1						
9,10	1	1	1	1						

Примітка. Можливі поєднання технологічних баз на першій і другій операціях позначені цифрою 1.

шовані у відзначеній зоні табл. 4.3, проаналізуємо детальніше. Оскільки найстійкіше положення на другій операції фланець матиме при закріпленні по поверхнях 3 і 4, то на першій операції деталь слід закріпити по поверхнях 6 та 7, що полегшить обробку поверхонь 3 та 4.

Структура технологічних операцій обробки фланця, зображеного на рис. 4.10, виглядає так:

*Операція 05* — токарна: підрізання торців 1, 3; обточування поверхонь 2 та 4 з фасками  $3 \times 45^\circ$ ; розточування отворів 10 та 11 начорно; розточування отвору 11 начисто.

*Операція 10* — токарна: підрізання торців 5, 7; обробка начорно поверхні 6; обробка начисто поверхні 6; розточування поверхні 8 спочатку начорно, потім начисто; обробка фаски  $3 \times 45^\circ$ ; прорізання канавки на поверхні 8.

*Операція 15* — свердлильна: центрування отворів 01—08;

Таблиця 4.4

Маршрутний технологічний процес обробки фланця

Номер операції	Найменування та зміст операції	Технологічна база	
		осьова	радіальна
05	Токарна обробка поверхонь 1, 2, 3, 4, 10, 11	7	6
10	Токарна обробка поверхонь 5, 6, 7, 8, 9	3	4
15	Свердлильна обробка отворів 01—08	5	6

свердління отворів 01, 03, 05, 07 свердлом  $\varnothing 9$  мм; свердління отворів 02, 04, 06, 08 свердлом  $\varnothing 6,9$  мм та нарізання в них різі М8—8g; цекування отворів 01, 03, 05, 07 на глибину 6 мм.

**Розмірний аналіз** технологічного процесу обробки фланця виконують окремо в напрямі кожної з координатних осей. Маршрутний технологічний процес наведений у табл. 4.4.

Спочатку проаналізуємо розміри, розташовані вздовж осі обертання фланця (вісь  $Z$ ). Вихідною технологічною базою служитиме поверхня 7, яка використовується для базування деталі вздовж осі  $Z$  на першій токарній операції. Розмірна схема процесу подана на рис. 4.11. Поєднаний конструкторсько-технологічний граф зображений на рис. 4.12, а виокремлені з нього розмірні ланцюги наведені у табл. 4.5.

Розмірна схема включає такі конструкторські розміри:

$$A_1 = 60_{-0,3}, \quad A_2 = 8^{+0,15}, \quad A_3 = 10^{+0,15}, \quad A_4 = 6 \pm 0,5, \quad A_5 = 36^{+0,25},$$

$$A_6 = 24^{+0,1}, \quad A_7 = 16 \pm 0,2 \text{ мм.}$$

Спочатку визначаємо технологічні розміри, які входять у дволанкові рівняння розмірних ланцюгів:  $S_2 = 8^{+0,15}$ ,  $S_3 = 10^{+0,15}$ ,  $S_7 = 36^{+0,25}$ ,  $S_5 = 24^{+0,1}$  мм. Далі обчислюємо розміри  $S_4$ ,  $S_6$ ,  $S_8$  за допомогою рівнянь

$$A_7 = S_5 - S_6; \quad 16 \pm 0,2 = 24^{+0,1} - S_6; \quad S_6 = 8_{-0,1}^{+0,2};$$

$$A_1 = S_3 - S_4; \quad 60_{-0,3} = 10^{+0,15} + S_4; \quad S_4 = 50_{-0,30}^{-0,15};$$

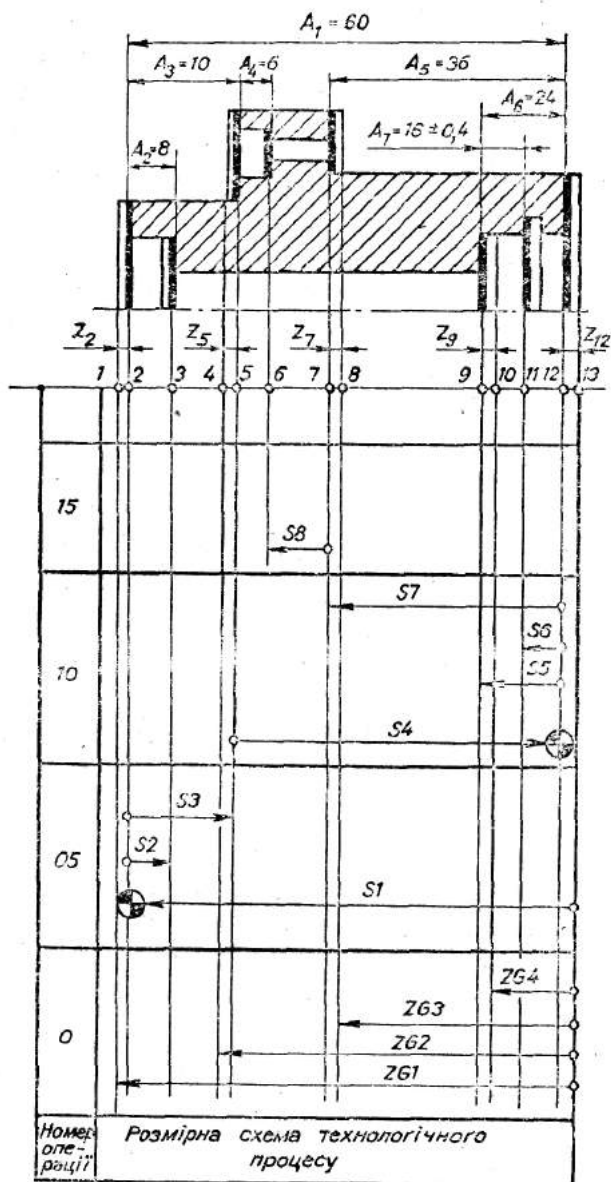


Рис. 4.11. Розмірна схема обробки фланця в осьовому напрямі (вісь  $Z$ ):  $A$  — конструкторські,  $S$  — технологічні розміри,  $Z$  — припуски,  $ZG$  — розміри заготовки.

$$A_4 = S_4 - S_7 - S_8; \quad 6 \pm 0,5 = 50_{-0,45} - 36^{+0,25} - S_8; \quad S_8 = 8_{-0,2}^{+0,5}$$

Решта технологічних розмірів пов'язані з припущками на обробку, найменші значення яких дорівнюють:

$$Z_{2_{\min}} = 1000 \text{ мкм}; \quad Z_{7_{\min}} = 900 \text{ мкм}; \quad Z_{12_{\min}} = 1000 \text{ мкм}; \\ Z_{5_{\min}} = 900 \text{ мкм}; \quad Z_{9_{\min}} = 1000 \text{ мкм}.$$

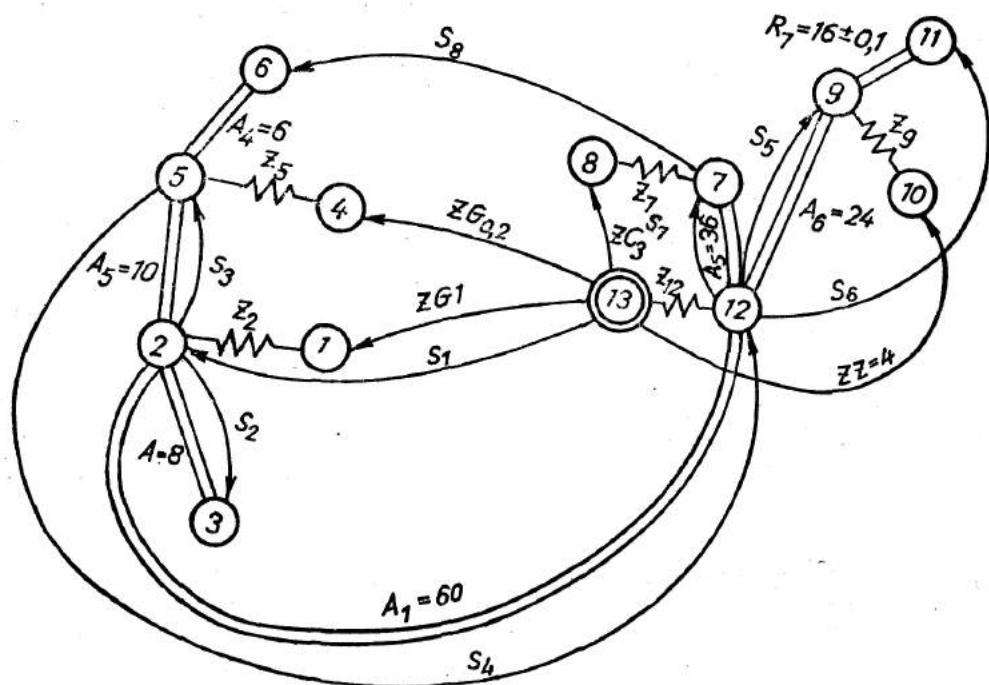


Рис. 4.12. Граф зв'язків поверхонь фланця в напрямі осі Z.

Решту розмірів визначаємо таким чином:

$$Z_{12} = S_1 - S_4 - S_3; \quad Z_{12_{\min}} = S_{1_{\min}} - S_{4_{\max}} - S_{3_{\max}};$$

$$1,0 = S_{1_{\min}} - 49,85 - 10,15;$$

$$S_{1_{\min}} = 61,0 \text{ мм};$$

$$S_{1_{\max}} = S_{1_{\min}} + TS_1 = 61,3;$$

$$S_1 = 61^{+0,3} \text{ мм};$$

$$Z_{12_{\max}} = S_{1_{\max}} - S_{4_{\min}} - S_{3_{\min}} = 1,6 \text{ мм}.$$

$$Z_2 = Z_{G1} - S_1; \quad Z_{2_{\min}} = Z_{G1_{\min}} - S_{1_{\max}}; \quad 1,0 = Z_{G1_{\min}} - 61,3;$$

$$Z_{G1_{\min}} = 62,3 \text{ мм};$$



## Рівняння технологічних розмірних ланцюгів

№№ з/п	Розрахункове рівняння	Базове рівняння	Розмір, який потрібно визначити
1	$-A2+S2=0$	$A2=S2$	<b>S2</b>
2	$-A3+S3=0$	$A3=S3$	<b>S3</b>
3	$-A5+S7=0$	$A5=S7$	<b>S7</b>
4	$-A6+S5=0$	$A6=S5$	<b>S5</b>
5	$-A7+S5-S6=0$	$A7=S5-S6$	<b>S6</b>
6	$-A1+S3+S4=0$	$A1=S3+S4$	<b>S4</b>
7	$-A4+S4-S7-S8=0$	$A4=S4-S7-S8$	<b>S8</b>
8	$-Z12-S4-S3+S1=0$	$Z12=S1-S4-S3$	<b>S1</b>
9	$-Z2+ZG1-S1=0$	$Z2=ZG1-S1$	<b>ZG1</b>
10	$-Z5+ZG2-S1+S3=0$	$Z5=ZG2-S1+S3$	<b>ZG2</b>
11	$-Z7+S7-S4-S3+S1-ZG3=0$	$Z7=S7-S4-S3+S1-ZG3$	<b>ZG3</b>
12	$-Z9+S5-S4-S3+S1-ZG4=0$	$Z9=S5-S4-S3+S1-ZG4$	<b>ZG4</b>

Ураховуючи, що  $esZG1 = +1,5$  мм;  $eiZG1 = -0,8$  мм, одержуємо

$$ZG1_{\text{ном}} = ZG1_{\text{мін}} - eiZG1 \cong 63,0 \text{ мм};$$

$$ZG1_{\text{макс}} = 64,5 \text{ мм}; \quad ZG1 = 63_{-0,8}^{+1,5} \text{ мм};$$

$$Z2_{\text{макс}} = ZG1_{\text{макс}} - S1_{\text{мін}} = 3,5 \text{ мм}.$$

$$Z5 = ZG2 - S1 + S3; \quad Z5_{\text{мін}} = ZG2_{\text{мін}} - S1_{\text{макс}} + S3_{\text{мін}};$$

$$0,9 = ZG2_{\text{мін}} - 61,3 + 10,15;$$

$$ZG2_{\text{мін}} \cong 52,0 \text{ мм}; \quad ZG2_{\text{ном}} = 52,8 \text{ мм};$$

$$ZG2_{\text{макс}} = 54,3 \text{ мм}; \quad ZG2 = 52,8_{-0,8}^{+1,5} \text{ мм};$$

$$Z5_{\text{макс}} = ZG2_{\text{макс}} - S1_{\text{мін}} + S3_{\text{макс}} = 3,45 \text{ мм}.$$

$$Z7 = S7 - S4 - S3 + S1 - ZG3; \quad Z7_{\text{мін}} = S7_{\text{мін}} - S4_{\text{макс}} - S3_{\text{макс}} + S1_{\text{мін}} - ZG3_{\text{макс}};$$

$$0,9 = 36 - 49,85 - 10,15 + 61,0 - ZG3_{\text{макс}};$$

$$ZG3_{\text{макс}} = 36,1 \text{ мм}; \quad ZG3_{\text{ном}} = ZG3_{\text{макс}} - esZG3 = 34,6 \text{ мм};$$

$$ZG3_{\text{мін}} = 33,8 \text{ мм}; \quad ZG3 = 34,6_{-0,8}^{+1,5} \text{ мм};$$

$$Z7_{\text{макс}} = S7_{\text{макс}} - S4_{\text{мін}} - S3_{\text{мін}} + S1_{\text{макс}} - ZG3_{\text{мін}} \cong 4 \text{ мм};$$

$$Z9 = S5 - S4 - S3 + S1 - ZG4; \quad Z9_{\text{мін}} = S5_{\text{мін}} - S4_{\text{макс}} - S3_{\text{макс}} + S1_{\text{мін}} - ZG4_{\text{макс}};$$

$$1,0 = 24,0 - 49,85 - 10,15 + 61,0 - ZG4_{\text{макс}};$$

$$ZG4_{\max} = 24,0 \text{ мм}; ZG4_{\text{ном}} = 22,5 \text{ мм}; ZG4_{\min} = 21,7 \text{ мм};$$

$$ZG4 = 22,5^{+1,5}_{-0,8} \text{ мм};$$

$$Z9_{\max} = S5_{\max} - S4_{\min} - S3_{\min} + S1_{\max} - ZG4 \cong 4,0 \text{ мм}.$$

Розмірами  $S1$  та  $S4$  користуються для налагодження верстата з ЧПК (рис. 4.13). Для врахування однакової ймовірності виник-

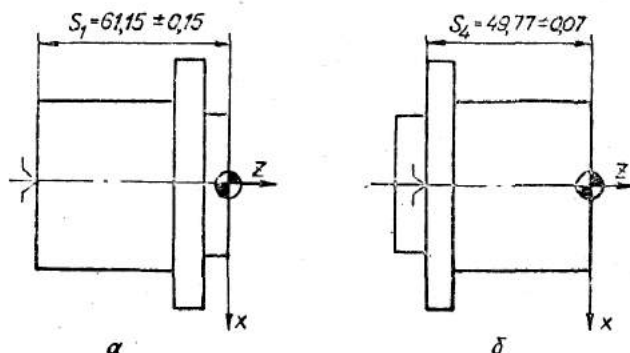


Рис. 4.13. Положення системи координат деталі на першій (а) та другій (б) токарних операціях.

нення додатної або від'ємної похибки налагодження інструменту налагоджувальні розміри перетворюють таким чином:

$$S1 = 61,15 \pm 0,15 \text{ мм},$$

$$S4 = 49,77 \pm 0,07 \text{ мм}.$$

Значення технологічних розмірів  $S2$ ,  $S3$ ,  $S5$ ,  $S6$ ,  $S7$  використовують під час складання КП, в якій вказують середини їх полів допусків:  $S2 = 8,075$  мм;  $S3 = 10,075$  мм;  $S5 = 24,05$  мм;  $S6 = 8,05$  мм;  $S7 = 36,125$  мм. Розміром  $S8$  користуються для налагодження свердильного верстата

$$S8 = 7,65 \pm 0,15 \text{ мм}.$$

Заготовка фланця обмежена розмірами  $ZG1-ZG4$ .

Проаналізуємо розміри, розташовані у радіальному напрямі. Найменший припуск на обробку визначається як

$$2 \cdot Z_{i, \min} = 2 [R_{z, i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}],$$

або

$$2 \cdot Z_{i, \min} = 2 [R_{z, i-1} + h_{i-1} + \xi_i],$$

де  $\xi_i$  — сумарне просторове відхилення положення деталі на  $i$ -му переході,  $\xi_i = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}$ ;  $R_{z, i-1}$  — параметр шорсткості поверхні

після попереднього проходу;  $h_{i-1}$  — глибина пошкодженого шару матеріалу після попереднього проходу;  $\rho_{i-1}$  — просторове відхилення форми деталі після виконання попереднього проходу;  $\epsilon_i$  — похибка встановлення заготовки при виконанні даного проходу.

Для визначення сумарних просторових відхилень на розмірну схему наносять у послідовності обробки поверхонь розмірні лінії, що зв'язують їх з осями обертання заготовки та деталі на різних етапах обробки (рис. 4.14). Розмірна лінія, що з'єднує техноло-

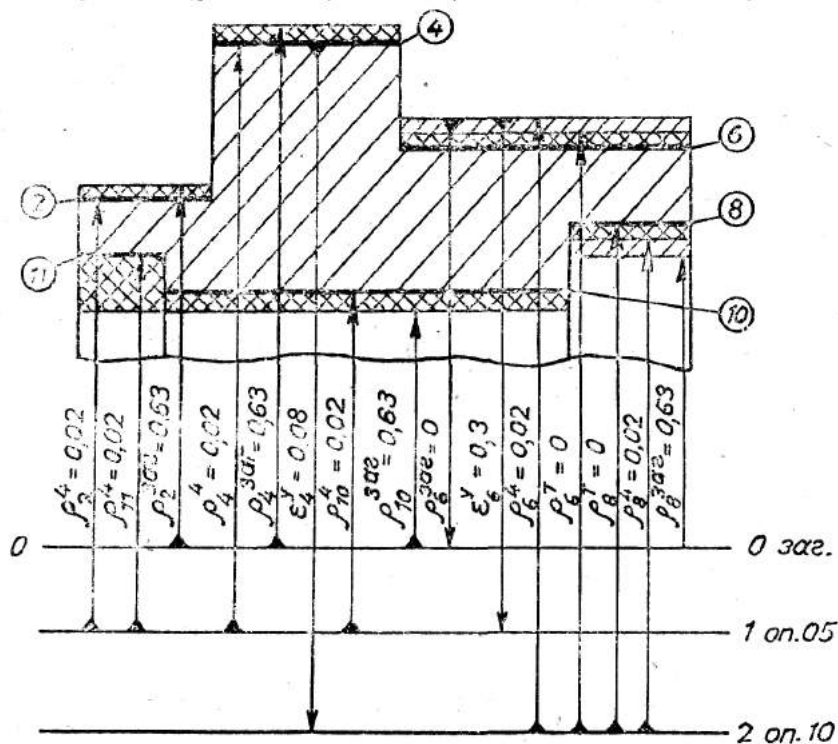


Рис. 4.14. Розмірна схема обробки фланця в радіальному напрямі (вісь X).

гічну базу і вісь обертання новоствореної поверхні, дорівнює похибці встановлення заготовки, а розмірна лінія, що з'єднує вісь обертання заготовки з поверхнею, обробленою від цієї бази, має просторове відхилення, яке дорівнює нулю.

Відхилення від концентричності поверхонь поковки, згідно з довідковими даними \*, відповідає  $\rho_{заг} = 0,63$  мм. Під час обробки поверхонь 2, 4, 10, 11 заготовка базується в трикулачковому па-

\* Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. Косиловой А. Г., Мецержкова Р. К. В 2 т. М., 1985.

троні по поверхні 6, похибка її встановлення —  $\varepsilon=0,3$  мм. При обробці фланця на другій токарній операції, коли деталь базується обробленою поверхнею 4 у кулачковому патроні, похибка встановлення дорівнює 0,080 мм. Відповідні поверхні фланця, а також параметри, що їх описують, відмічені індексами «ч» при чорновій і «т» при чистовій обробках, а також «заг» (поверхні заготовки).

Сумарне просторове відхилення  $\xi_i$  визначається за допомогою розмірного ланцюга, для якого  $\xi_i$  є замикаючою ланкою. Запишемо розмірні ланцюги для визначення просторових відхилень  $j$ -ї поверхні на  $i$ -му переході  $\xi_i$ :

$$\begin{aligned} \xi_2^{\text{ч}} &\Rightarrow \rho_2^{\text{ч}} - \varepsilon_6 - \rho_6^{\text{заг}} - \rho_2^{\text{заг}}; & \xi_2^{\text{ч}} &= \sqrt{0,63^2 + 0,3^2 + 0,02^2} = 0,698; \\ \xi_4^{\text{ч}} &\Rightarrow \rho_4^{\text{ч}} - \varepsilon_6 - \rho_6^{\text{заг}} - \rho_4^{\text{заг}}; & \xi_4^{\text{ч}} &= \sqrt{0,63^2 + 0,3^2 + 0,02^2} = 0,698; \\ \xi_{10}^{\text{ч}} &\Rightarrow \rho_{10}^{\text{ч}} - \varepsilon_6 - \rho_6^{\text{заг}} - \rho_{10}^{\text{заг}}; & \xi_{10}^{\text{ч}} &= \sqrt{0,63^2 + 0,3^2 + 0,02^2} = 0,698; \\ \xi_6^{\text{ч}} &\Rightarrow \rho_6^{\text{ч}} - \varepsilon_4 - \rho_4^{\text{ч}} - \varepsilon_6; & \xi_6^{\text{ч}} &= \sqrt{0,3^2 + 0,08^2 + 0,02 + 0,02^2} = 0,312 \\ \xi_8^{\text{ч}} &\Rightarrow \rho_8^{\text{ч}} - \varepsilon_4 - \rho_4^{\text{ч}} - \varepsilon_6 - \rho_6^{\text{заг}} - \rho_8^{\text{заг}}; & \xi_8^{\text{ч}} &= \sqrt{0,3^2 + 0,08^2 + 0,63^2 + 0,02^2} = 0,703; \\ \xi_6^{\text{т}} &\Rightarrow \rho_6^{\text{т}} - \rho_6^{\text{ч}}; & \xi_6^{\text{т}} &= \sqrt{0,02^2 + 0,02^2} = 0,028; \\ \xi_8^{\text{т}} &\Rightarrow \rho_8^{\text{т}} - \rho_8^{\text{ч}}; & \xi_8^{\text{т}} &= \sqrt{0,02^2 + 0,02^2} = 0,028. \end{aligned}$$

Визначимо найменші припуски на кожну поверхню за формулою

$$2 \cdot Z_{i, \min} = 2 [R_{z, i-1} + h_{i-1} + \xi_i].$$

Відповідні значення припусків, мкм:

$$\begin{aligned} 2 \cdot Z_{2, \min}^{\text{ч}} &= 2 [120 + 120 + 700] = 1880; \\ 2 \cdot Z_{4, \min}^{\text{ч}} &= 2 [120 + 120 + 700] = 1880; \\ 2 \cdot Z_{10, \min}^{\text{ч}} &= 2 [120 + 120 + 700] = 1880; \\ 2 \cdot Z_{6, \min}^{\text{ч}} &= 2 [120 + 120 + 312] = 1104; \\ 2 \cdot Z_{8, \min}^{\text{ч}} &= 2 [120 + 120 + 700] = 1880; \\ 2 \cdot Z_{6, \min}^{\text{т}} &= 2 [10 + 25 + 28] = 126; \\ 2 \cdot Z_{8, \min}^{\text{т}} &= 2 [10 + 25 + 28] = 126. \end{aligned}$$

Визначимо найбільші припуски

$$2 \cdot Z_{i, \max} = 2 \cdot Z_{i, \min} + T_{i-1},$$

де  $T_{i-1}$  — допуск на виконання попереднього проходу (табл. 4.6).

Відповідно обчислимо припуски, мм:

$$\begin{aligned} 2 \cdot Z_{2, \max}^{\text{ч}} &= 1,880 + 2,2 = 4,0; & 2 \cdot Z_{8, \max}^{\text{ч}} &= 1,880 + 2,0 = 3,9 \\ 2 \cdot Z_{4, \max}^{\text{ч}} &= 1,880 + 2,2 = 4,0; & 2 \cdot Z_{6, \max}^{\text{т}} &= 0,126 + 0,46 = 0,6; \end{aligned}$$

$$2 \cdot Z_{10\max}^{\text{ч}} = 1,880 + 2,0 = 3,9; \quad 2 \cdot Z_{8\max}^{\text{р}} = 0,126 + 0,33 = 0,55.$$

$$2 \cdot Z_{6\max}^{\text{ч}} = 1,104 + 2,2 = 3,3;$$

Проміжні розміри поверхонь фланця, мм:

$$d_{6\max}^{\text{ч}} = d_{6\max}^{\text{р}} + 2 \cdot Z_{6\max}^{\text{ч}} + T_6^{\text{ч}} = 65,0 + 0,126 + 0,46 = 65,6;$$

$$d_6^{\text{ч}} = 65,6_{-0,46};$$

$$D_{8\min}^{\text{ч}} = D_{8\min}^{\text{р}} - 2 \cdot Z_{8\min}^{\text{ч}} - T_8^{\text{ч}+0,33} = 39,961 - 0,126 - 0,33 = 39,5;$$

$$D_8^{\text{ч}} = 39,5_{+0,33}.$$

Таблиця 4.6

Допуски на розміри поверхонь фланця, мм

Перехід	Номер поверхні				
	2	4	6	8	10
Заготовка	2,2 $^{+1,5}_{-0,7}$	2,2 $^{+1,5}_{-0,7}$	2,2 $^{+1,5}_{-0,7}$	2,0 $^{+1,3}_{-0,7}$	2,0 $^{+1,3}_{-0,7}$
Чорновий	0,46	0,54	0,4	0,33	0,33

Для складання КП визначимо середні значення проміжних розмірів, мм:

$$\bar{d}_6^{\text{ч}} = 65,37; \quad \bar{D}_8^{\text{ч}} = 39,65.$$

Діаметральні розміри заготовки визначаються як

$$d^{\text{зар}} = d_{\max} + 2 \cdot Z_{i-1, \min} - eid^{\text{зар}};$$

$$D^{\text{зар}} = D_{\min} - 2 \cdot Z_{i-1, \min} - ESD^{\text{зар}}.$$

Розміри заготовки (рис. 4.15):

$$d_2^{\text{зар}} = 56,0 + 1,88 + 0,7 = 58,6_{-0,7}^{+1,5};$$

$$d_4^{\text{зар}} = 95,00 + 1,88 + 0,7 = 97,6_{-0,7}^{+1,5};$$

$$d_6^{\text{зар}} = 65,6 + 1,104 + 0,7 = 67,4_{-0,7}^{+1,5};$$

$$D_8^{\text{зар}} = 39,5 - 1,88 - 1,3 = 36,3_{-0,7}^{+1,3};$$

$$D_{10}^{\text{зар}} = 28,0 - 1,88 - 1,3 = 24,8_{-0,7}^{+1,3}.$$

Типовий РТК для обробки фланців включає токарний верстат моделі 16К20Т1.02 з оперативною системою керування «Електроніка НЦ-31», наземний ПР моделі М20П40.01 (табл. 4.7) і тактовий стіл СТ 220. Кулачки патрона розточують, витримуючи розміри S1 та S4 при повороті деталі на 180° ПР та її перевстановленні

у патроні (рис. 4.16). Завдяки цьому забезпечується обробка фланця при двох встановленнях на одній токарній операції.

**Проектування технологічного налагодження верстата.** Схема розташування інструментів у різцетримачі подана на рис. 4.17, а схема налагодження верстата — на рис. 4.18. Початок системи координат верстата  $O_v$  розташований у центрі зеркала шпинделя, а початок системи координат деталі  $A_d$  вибирають, як правило, в центрі лівого або правого торця заготовки. Вихідну точку вибира-

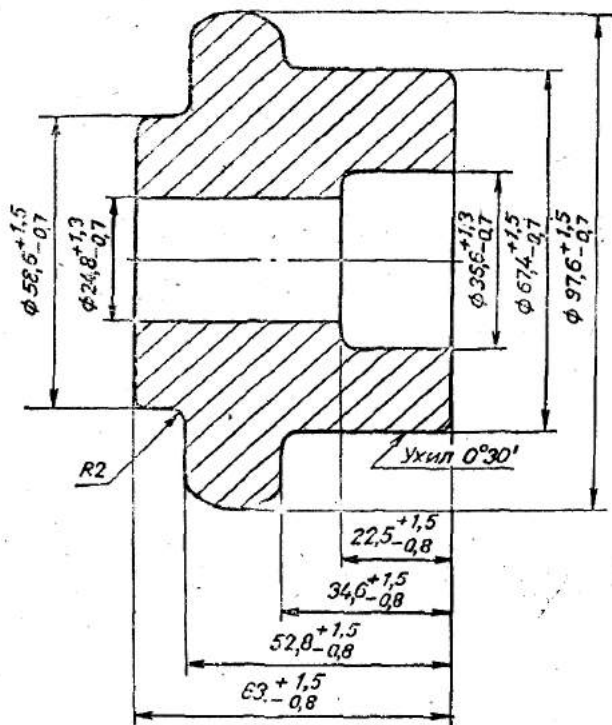


Рис. 4.15. Ескіз заготовки фланця.

ють так, щоб під час відведення до неї різцетримача інструмент у ньому не перешкоджував завантаженню або розвантаженню деталі у патрон. При роботизованому завантаженні верстата вихідну точку по осі  $Z$  віддаляють від нульової точки верстата на дві довжини деталі, а по осі  $X$  — на 10—30 мм від зовнішньої поверхні заготовки. Комплект різального інструменту, необхідний для повної токарної обробки фланця з обох боків (рис. 4.19), розташовують у різцетримачі певним чином (табл. 4.8).

Далі визначають режими різання за традиційною методикою.

**Складання керуючої програми.** Визначають розміри деталі, що відповідають серединам полів допусків (рис. 4.20), та перерахову-

ють координатні розміри, що задають розташування внутрішньої канавки вздовж осі Z фланця (рис. 4.21). Оскільки деталь у процесі токарної обробки повертають на  $180^\circ$  і перебезовують, то при цьому виникає зсув її нульової точки. Розрахункова схема, за якою можна визначити зсув, подана на рис. 4.22. Знайдену вели-

Таблиця 4.7  
Режими різання під час виконання операцій 05, 10 і 15

Номер операції	Номер переходу	Зміст переходу	Номер інструмента	Режими різання			
				$t$ , мм	$S_z$ , мм/об	$V$ , м/хв	$n$ , хв $^{-1}$
05	1	Підрізання торців 1 і 3	1	3,5	0,5	125	450
	2	Обробка поверхонь 2 і 4	2	2,0	0,3	118	700
	3	Обробка поверхні 10	4	2,0	0,2	110	1200
	4	Обробка поверхні 11	4	3,5	0,3	110	1100
				1,5	0,3	110	1100
10	1	Підрізання торців 5 і 7	1	4,0	0,5	125	450
	2	Обробка поверхні 6 начорно	2	1,6	0,5	118	700
	3	Обробка поверхні 6 начисто	3	0,3	0,1	125	700
	4	Обробка поверхні 8 начорно	4	1,9	0,5	80	650
	5	Обробка поверхні 8 начисто	5	0,3	0,1	90	720
	6	Обробка внутрішньої канавки	6	3	0,10	85	720
15	1	Центрування отворів 01—08	1	4,5	0,10	15	530
	2	Свердління отворів 01, 03, 05, 07	2	4,5	0,16	20	700
	3	Свердління отворів 02, 04, 06, 08	3	3,5	0,12	15,4	700
	4	Нарізання різі М8—8g в отворах 02, 04, 06, 08	4	0,55	1	10	400
	5	Цекування отворів 01, 03, 05, 07 на глибину 6 мм	5	2,5	0,2	20	450

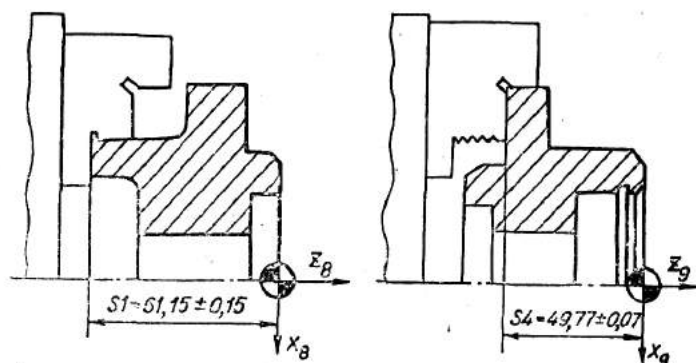


Рис. 4.16. Схема перевстановлення фланця.



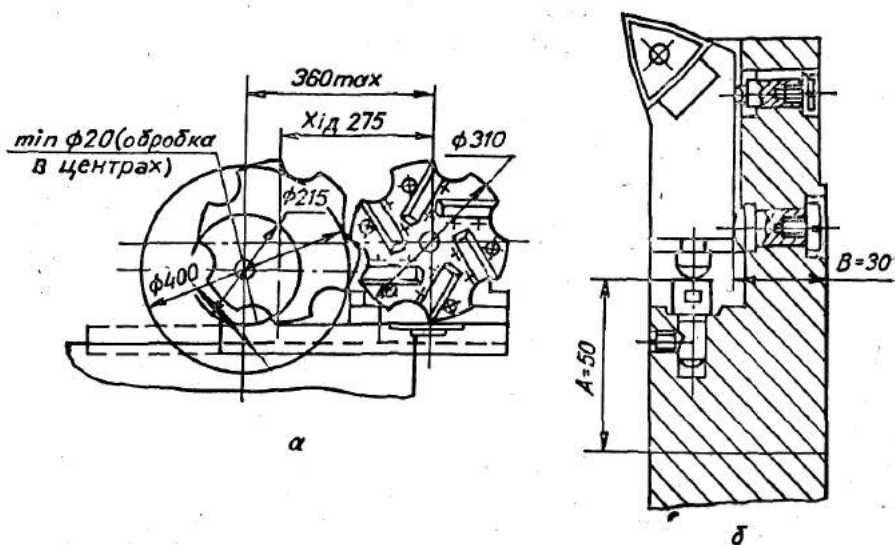


Рис. 4.17. Схема розташування інструментів у револьверній головці: а — положення інструментальної головки відносно деталі; б — положення інструмента в інструментальній головці.

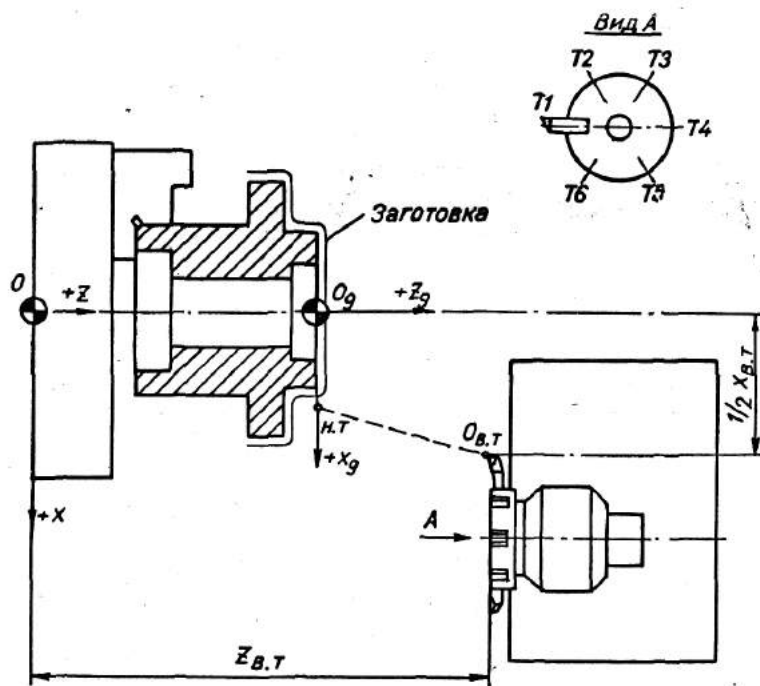


Рис. 4.18. Технологічне налагодження верстата 16K20T1.02.

чину зсуву потрібно ввести в КП (табл. 4.9) за допомогою функції корекції нульової точки G92.

Під час першого переходу, неробочого, відбувається завантаження ПР заготовки у патрон верстата, де вона базується по необроблених поверхнях 6 та 7. На другому переході (кадри КП M01—M18) встановлюють у робоче положення підрізний різець, розміщений у першій позиції інструментальної головки різцетримача верстата, включають обертання шпинделя проти руху годин-

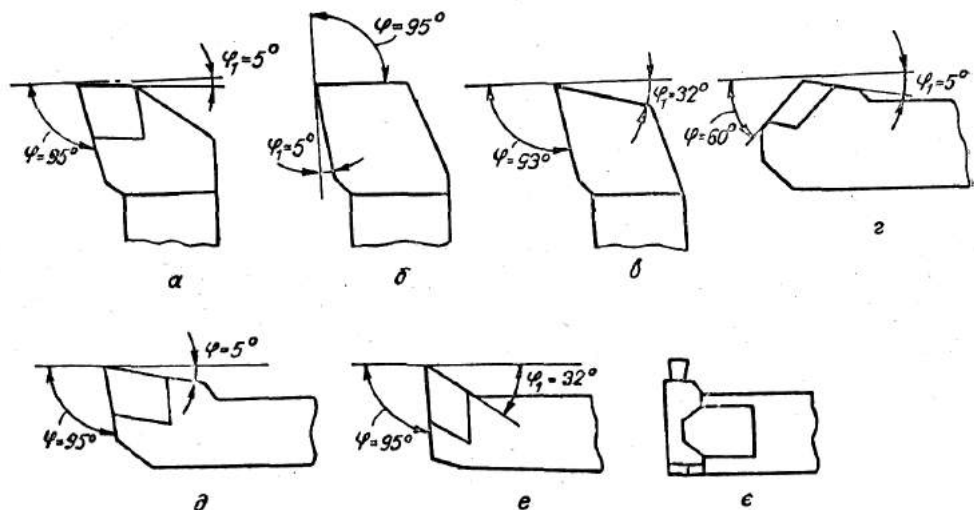


Рис. 4.19. Комплект різального інструменту для токарних операцій: а — прохідний упорний чорновий; б — підрізний; в — контурний чистовий; г — розточувальний чорновий; д — розточувальний упорний чорновий, е — розточувальний контурний чистовий; є — канавковий внутрішній.

никової стрілки, другий діапазон частот обертання та режим задання обертання у  $\text{хв}^{-1}$  (G97), частоту обертання  $n=450 \text{ хв}^{-1}$ , подачу  $S_0=0,5 \text{ мм/об}$ . Далі включають подачу MOP (M8), перемі-

Т а б л и ц я 4.8

Комплект різального інструменту

Номер позиції	Код інструмента	Найменування різця	Ескіз різця
1	T1	Підрізний	Рис. 4.19, б
2	T2	Прохідний упорний чорновий	Рис. 4.19, а
3	T3	Контурний чистовий	Рис. 4.19, в
4	T4	Розточувальний упорний чорновий	Рис. 4.19, д
5	T5	Розточувальний контурний чистовий	Рис. 4.19, е
6	T6	Канавковий внутрішній	Рис. 4.19, є

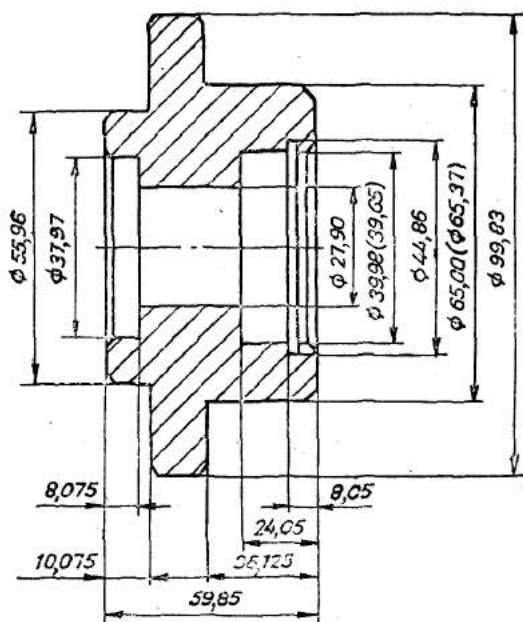


Рис. 4.20. Середні значення розмірів фланця.

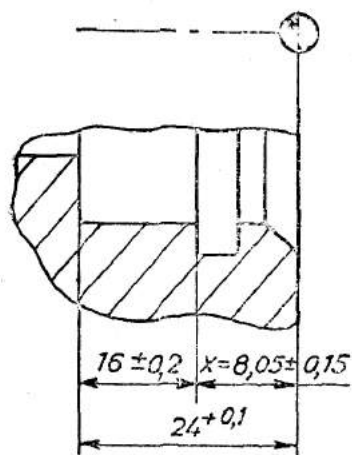


Рис. 4.21. Схема для розрахунку положення канавки.

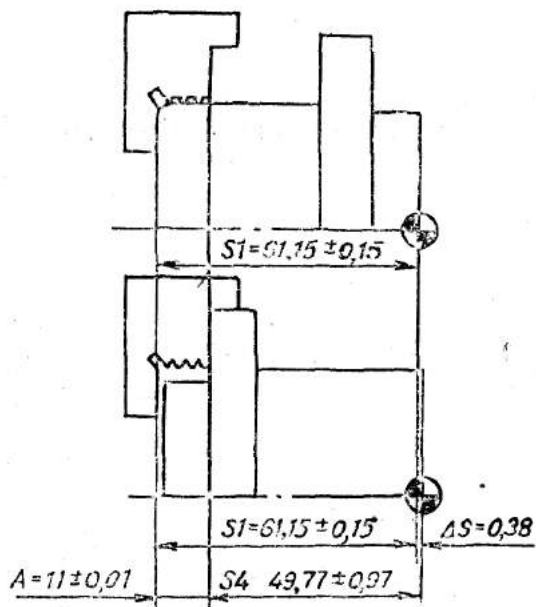
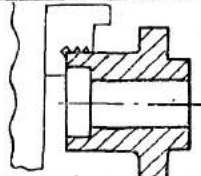
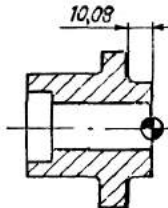
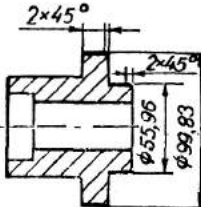
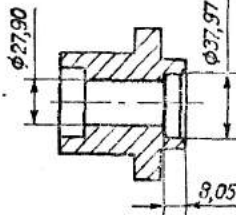
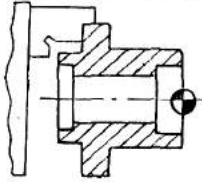

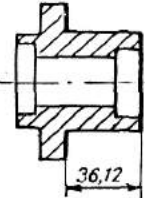
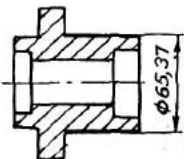
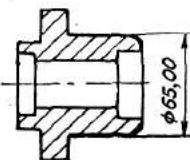
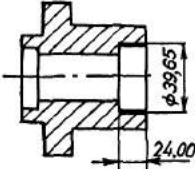


Рис. 4.22. Схема для розрахунку корекції нульової точки деталі.

## Керуюча програма

Номер переходу	Схема переходу	Номер кадру	Зміст кадру
01			
02		N01 N02 N03 N04 N05 N06 N07 N08 N09 N10 N11 N12 N13 N14 N15 N16 N17 N18	T1 M3 M39 G97 S450 F50 M8 Z0~* X6000 Z0 X2400 Z100 X9900~ Z-1000~ Z-1075 X5600 Z12000~* X6000~
03		N19 N20 N21 N22 N23 N24 N25 N26 N27 N28 N29 N30 N31 N32 N33 N34	T2 S700 F30 Z100~* X5200~ Z0 X5596-45° Z-1000~ Z-900~* X9100~ Z-1000~ X9483-45° Z-2500~ X10000~* Z12000~ X6000~
04		N35 N36 N37 N38 N39 N40 N41 N42 N43 N44 N45 N46 N47 N48 N49 N50	T4 M40 S1200 F20 Z100~* X2790~ X2790 Z-3600~ X2600 Z100~ X3500~ X3500 Z-738~ Z100~ X4000~ Z0

1	2	3	4
04		N51 N52 N53 N54 N55	X3797-45° Z-808 X2750 Z32000~* X6000~
05		N56 N57  N58 N59	M9 M5 Перевстанов- лення деталі  G92* ~Z38 
06		N60 N61 N62 N63 N64 N65 N66 N67 N68 N69 N70 N71 N72 N73 N74 N75	T1 M3 M39 S450 F50 Z0~* X6900~ Z0 X3500 Z100~ X9700~ Z-3612~ Z-3612 X6500 Z12000~* X6000~
07		N76 N77 N78 N79 N80 N81 N82 N83	T2 S700 F50 Z100~* X6537 Z-3587 Z12000~* X6000~
08		N84 N85 N86 N87 N88 N89 N90 N91 N92	T3 F10 Z100~* X6100~ Z0 X6500-45° Z-3587 Z12000~ X6000~
09		N93 N94 N95 N96 N97 N98 N99 N100 N101	T4 S650 F50 Z100~* X3965~ Z-2390 Z100~ Z12000~* X6000~

1	2	3	4
10		N102 N103 N104 N105 N106 N107 N108 N109 N110 N111 N112	T5 S720 F10 Z100~* X4400~ Z0 X3998-45° Z-2405 X2700 Z12000~ X6000~
11		N113 N114 N115 N116 N117 N118 N119 N120 N121 N122	T6 Z100~* X3900~ Z-805~ X4486 X3900 Z32000~ M9 M5 M30

щують різець у початкову точку обробки ( $X=60$  мм,  $Z=0$ ), уточнюють положення інструмента перед обробкою торця 1 та послідовно обробляють торці 1 та 3. Після цього різець відводять у вихідну точку ( $Z=120$  мм,  $X=60$  мм) для повороту інструментальної головки-різцетримача і заміни інструмента. На третьому переході (кадри N19—N34) встановлюють у робоче положення інструмент T2 (прохідний упорний різець), задають частоту обертання шпинделя  $n=700$  хв<sup>-1</sup>, подачу  $S_c=0,3$  мм/об, обробляють зовнішні поверхні 2 і 4 та фаски на них, після чого відводять інструмент у вихідну точку. Четвертий перехід містить кадри N35—N55, відповідно до яких встановлюють у робоче положення інструмент T4 (розточувальний упорний різець), вибирають третій діапазон частот обертання 160...2240 хв<sup>-1</sup>, встановлюють частоту  $n=1200$  хв<sup>-1</sup> і подачу  $S_0=0,2$  мм/об та обробляють начорно отвір 10 і виточку 11. Потім обробляють поверхню 11 начисто та зачищають торець 12.

На п'ятому переході виключають МОР (M9) та обертання шпинделя (M5), ПР виймає деталь із патрона, повертає її на 180° і повторно закладає у патрон, базуючи деталь по оброблених поверхнях 3 та 4. Після перевстановлення деталі, внаслідок якого виникає зсув нульової точки, вводять корекцію її положення, яка дорівнює  $\Delta S=0,38$  мм (див. рис. 4.22). Для введення корекції використовують функцію G92. На наступному, шостому, переході обробляють поверхні 5 і 7 начорно, на сьомому переході — поверхню 6 начорно, на восьмому — поверхню 6 начисто. На дев'я-

тому переході обробляють поверхню  $\delta$  начорно, а на десятому — начисто. На одинадцятому переході прорізають канавку.

**Проектування РТК** передбачає вибір структурних елементів, їх раціональне компоновання, розробку алгоритму їх взаємодії та функціонування у складі РТК і побудову циклограми роботи РТК.

Наземний робот моделі М20П40.01 забезпечує вертикальне переміщення вздовж осі  $Z$ , горизонтальне переміщення штока по

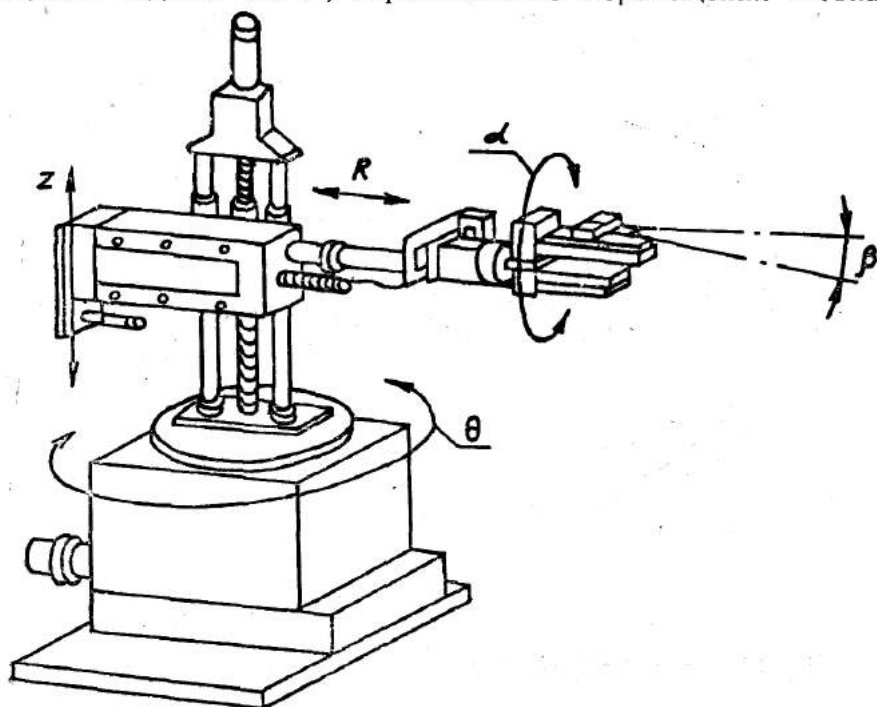


Рис. 4.23. Система координат промислового робота мод. М20П40.01

осі  $R$ , поворот у горизонтальній площині,  $\theta$ , поворот захвата на кут  $\beta$  та поворот захвата навколо штока  $\alpha$  (рис. 4.23). Технічна характеристика промислового робота моделі М20П40.01:

Вантажопідйомність, кг	20
Кількість ступенів рухомості	5
Кількість рук/захватних пристроїв на руку	1/2
Керування	Позиційне
Кількість програмованих координат	5
Похибка позиціонування, мм	$\pm 1,0$
Найбільший виліт руки, мм	1100
Лінійне переміщення по осі $Z$	
відстань, мм	500
швидкість, м/с	0,008—0,5
Лінійне переміщення по осі $R$	
відстань, мм	1100



швидкість, м/с  
 Кутове переміщення  $\alpha$   
 кут повороту,  
 швидкість, рад/с  
 Кутове переміщення  $\beta$   
 кут повороту,  
 швидкість, рад/с  
 Кутове переміщення  $\theta$   
 кут повороту,  
 швидкість, рад/с

0,008—1,0

від  $-90^\circ$  до  $180^\circ$   
 1,02

$\pm 35^\circ$   
 0,51

$300^\circ$   
 0,00001—0,001

Умови переходу  
 за алгоритмом

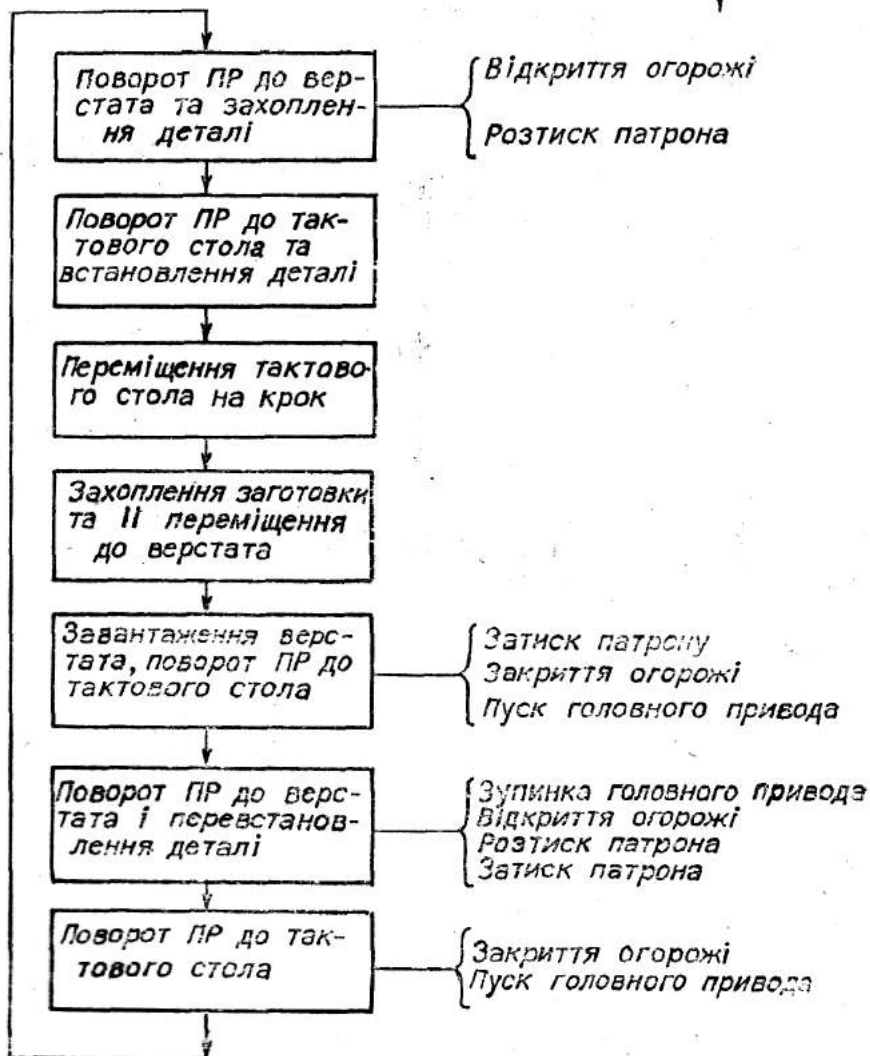


Рис. 4.24. Алгоритм функціонування РТК.

Послідовність роботи РТК, яка описана блок-схемою алгоритму (рис. 4.24), складається з таких елементів робочого циклу: захоплення заготовки ПК на тактовому столі, її перенесення до верстата, відкриття огорожі верстата, завантаження заготовки у патрон і затиск у ньому, закриття огорожі, обробка деталі з одного боку, зупинка головного привода, відкриття огорожі, захоплення заготовки, розтиск патрона, вийняття заготовки з патрона та її повернення на  $180^\circ$  і т. д. Команди на відкриття і закриття огорожі,

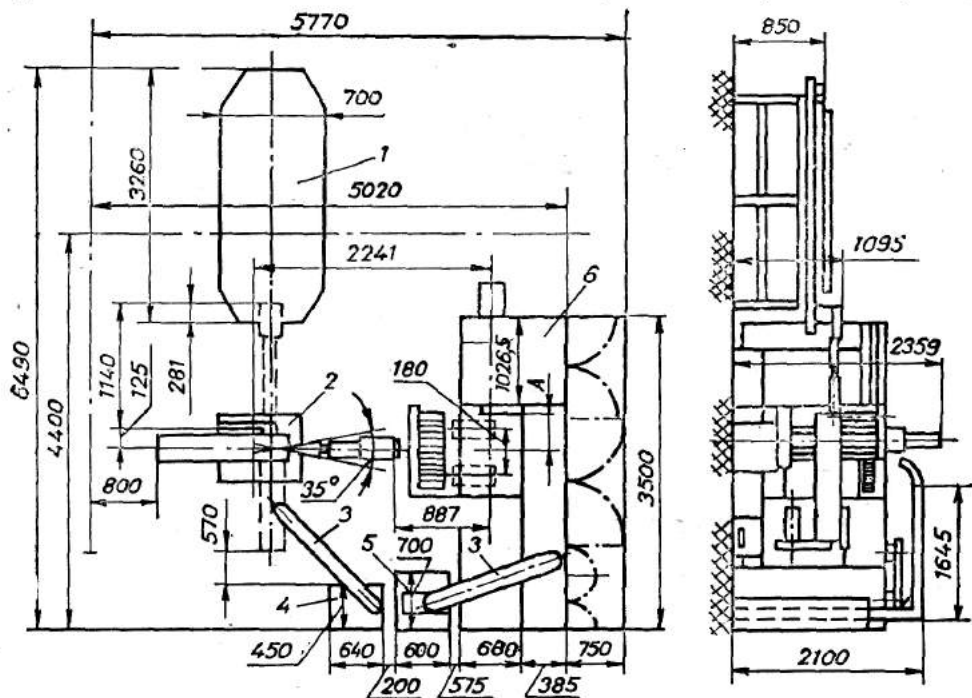


Рис. 4.25. Компонівка РТК:

1 — тактовий стіл СТ220; 2 — промисловий робот мод. М20П40.01; 3 — комунікації; 4, 5 — пульти; 6 — верстат мод. 16К20Т1.02.

затиск-розтиск патрона, пуск та зупинка верстата і тактового стола видаються системою керування ПР після виконання відповідних елементів циклу. Оптимізація алгоритму функціонування РТК здійснюється шляхом побудови циклограми його роботи, за допомогою якої досліджується можливість одночасного функціонування елементів РТК. При взаємному перекритті елементів робочого циклу відповідно зменшується загальний час його виконання. Вихідні дані для побудови циклограми роботи РТК включають компонентувальну схему РТК (рис. 4.25), тривалість виконання технологічних і допоміжних переходів.

Тривалість обробки при першому та другому встановленнях визначають за допомогою наближених формул для розрахунку основного часу (табл. 4.10) та коефіцієнта безперервності різання  $\Phi$ , який дорівнює для токарних верстатів з ЧПК 0,6—0,7:

$$t_{\text{кп}} = \frac{1}{\Phi} t_0.$$

Враховуючи дані табл. 4.10, тривалість обробки при першому та другому встановленнях:

$$t_{\text{кп1}} = \frac{1}{\Phi} t_{01} = \frac{1}{0,6} 0,85 = 1,42 \text{ хв},$$

$$t_{\text{кп2}} = \frac{1}{\Phi} t_{02} = \frac{1}{0,6} 1,47 = 2,45 \text{ хв}.$$

Таблиця 4.10

**Тривалість виконання переходів**

Номер переходу	Зміст переходу	Подача, мм/об, $S_u$	Число обертів, об/хв, $n$	Швидкість, мм/хв, $S_m$	Довжина обробленої поверхні, мм	Розрахунок ва довжина обробки, мм	Час обробки, хв
02	Обробка пов. 1	0,5	450	225	(60—25)	38	0,17
	Обробка пов. 3	0,5	450	225	(98—56)	45	0,2
03	Обробка пов. 2	0,3	700	210	10	13	0,06
	Обробка пов. 4	0,3	700	210	16	19	0,09
04	Обробка пов. 10	0,2	1200	240	38	41	0,17
	Обробка пов. 11 начорно	0,2	1200	240	8	11	0,05
	Обробка пов. 11 начисто	0,2	1200	240	8	11	0,05
	Обробка пов. 12	0,2	1200	240	(38—25)	14	0,06
Загальна тривалість обробки при першому встановленні $t_{01}$							0,85
06	Обробка пов. 7	0,5	450	225	68—36	35	0,16
	Обробка пов. 5	0,5	450	225	98—65	36	0,16
07	Обробка пов. 6 начорно	0,5	700	350	36	39	0,11
08	Обробка пов. 6 начисто	0,1	700	70	36	39	0,51
09	Обробка пов. 8	0,5	650	325	24	27	0,04
10	Обробка пов. 8	0,1	720	72	24	27	0,38
11	Обробка канавки	0,1	720	72	45—40	8	0,11
Загальна тривалість обробки при другому встановленні $t_{02}$							1,47

Далі виконують розрахунок тривалості допоміжних переходів (табл. 4.11), використавши компоувальну схему РТК для визначення довжин переміщень і технічні дані (див. с. 148) для визначення швидкості переміщення по кожному з напрямів руху ПР.

Час спрацьовування решти автоматично діючих елементів РТК визначають з довідкової літератури, наприклад, час спрацьовування захвата  $t_{зв} \approx 2$  с, патрона  $t_{пр} \approx 2$  с, час переміщення тактового

Таблиця 4.11

Розрахунок елементів циклограми

Зміст елемента циклограми	Напря́м переміщення або повороту	Довжина переміщення або кут повороту	Швидкість	Час виконання, с
Поворот у горизонтальній площині	$\theta$	180°	30 град/с	6
Переміщення в робочу зону верстата	$R$	887 мм	0,3 м/с	3
Переміщення вздовж осі шпинделя	$\beta$	3°	30 град/с	0,1
Переміщення вертикальне при зніманні заготовки з тактового стола	$Z$	60	0,1 м/с	0,6
		90°	30 град/с	3
Поворот деталі у захваті	$a$	180°	30 град/с	6

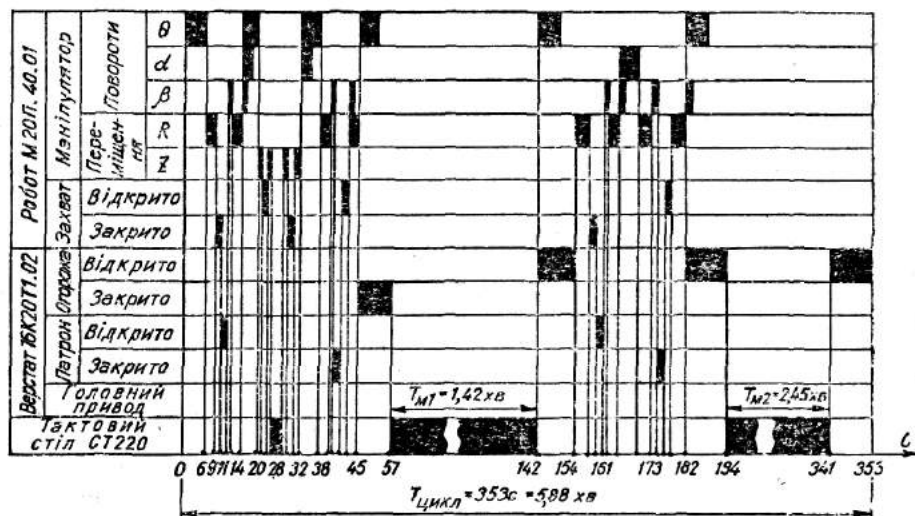


Рис. 4.26. Циклограма роботи РТК.

стола на крок  $t_{\text{ст}} \approx 4$  с, час відкриття або закриття огорожі  $t_{\text{огр}} \approx 12$  с. Циклограма роботи РТК зображена на рис. 4.26, а його загальний вигляд — на рис. 4.27.

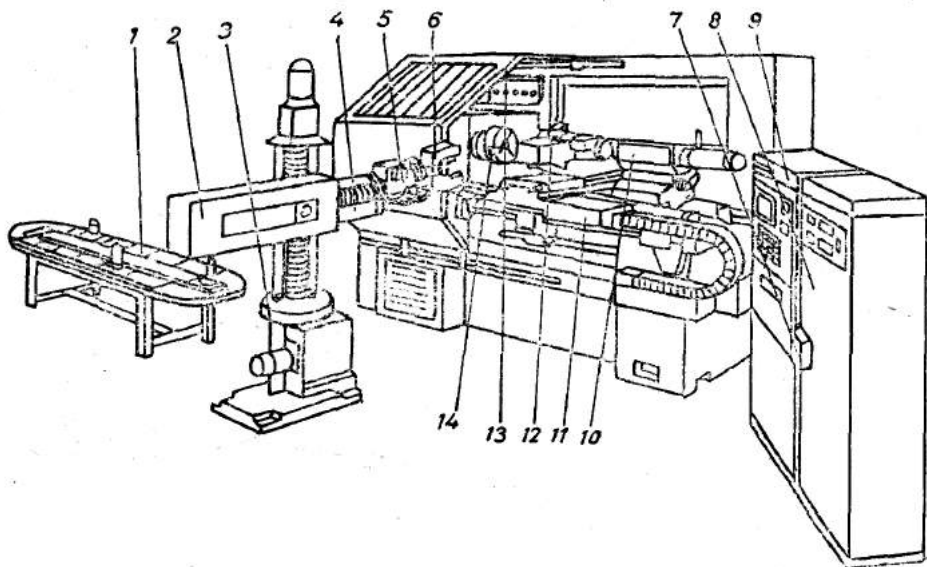


Рис. 4.27. РТК для обробки фланців:

1 — тактовий стіл СТ220; 2 — промисловий робот мод. М20П40.01; 3 — плита поворотна; 4 — рука робота; 5 — поворотний блок; 6 — захвати; 7, 8, 9 — пульти; 10 — задня бабка; 11 — пульт керування верстатом; 12 — інструментальна головка; 13 — огорожа верстата; 14 — патрон.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Перелічіть основні технічні вимоги до деталей, що є тілами обертання.
2. Вкажіть типову послідовність переходів під час обробки на токарному верстаті з ЧПК деталей типа втулок.
3. Опишіть типові траєкторії зняття припуску на токарних верстатах з ЧПК.
4. Які основні схеми базування деталей на токарних верстатах з ЧПК?
5. Опишіть РТК обробки валів АСВР-01, назвіть моделі основного технологічного обладнання.
6. Для чого використовують у структурі РТК магазини-нагромаджувачі?
7. З чого складається циклограма роботи верстата, промислового робота і тактового стола?

## ОБРОБКА КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ В УМОВАХ ГАВ

### 5.1. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ І ЗАГОТОВОК

Корпусні деталі забезпечують взаємне розташування з потрібною точністю складальних одиниць та комплектуючих деталей у виробі. Вони повинні мати високу точність, шорсткість, вібростійкість. Корпусні деталі становлять близько 7% загального об'єму машинобудівної продукції, але трудомісткість їх механічної обробки сягає 60%. Вона розподіляється між основними видами механічної обробки таким чином: фрезерування — 30%, свердління — 25%, зенкерування та розточування — 25%.

Корпусні деталі мають коробчасту або призматичну форму, а також гладкі циліндричні отвори. Близькими до них за конструктивно-технологічними ознаками вважають кронштейни та косинці. До типових конструктивних елементів, з яких складаються корпуси та подібні до них деталі, належать площини, а також головні та допоміжні, у тому числі кріпильні, отвори.

Площини використовують для базування самого корпусу у виробі або для базування встановлених у корпусі складальних одиниць. Головні отвори базують встановлювані у корпусі деталі, а допоміжні використовуються для їх фіксації та закріплення. Основними конструкторськими базами корпусів є площини, допоміжними конструкторськими базами — головні отвори, а також їхні торці.

Корпусні деталі мають відповідати певним технічним вимогам, які можна поділити на три групи.

**1. Вимоги до точності геометричної форми поверхонь.** Для плоских поверхонь із розмірами менше 500 мм допуск на відхилення від площинності має становити 0,1...0,01 мм. Допуск на відхилення від циліндричності головних отворів, у яких встановлюють підшипники, не повинен перевищувати 20...40% допуску на діаметральний розмір через низьку жорсткість підшипників. Зовнішнє кільце підшипника при запресуванні у корпус повторює форму отвору, в якому воно розміщене, і при наявності відхилень його форми створює умови до защемлення кульок під час роботи підшипника.

2. **Вимоги до точності взаємного розташування поверхонь.** Допуск на відхилення від паралельності або від перпендикулярності дорівнює:

— для двох поверхонь —  $0,01/200 \dots 0,1/200$  мм;

— для осей головних отворів відносно плоских поверхонь —  $0,01/200 \dots 0,1/200$  мм;

— між осями головних отворів —  $0,005/200 \dots 0,1/200$  мм.

3. **Вимоги до розмірної точності.** Допуск на розмір між паралельними площинами дорівнює  $0,02 \dots 0,5$  мм, між осями головних отворів —  $0,01 \dots 0,15$  мм, між базовою площиною та віссю головного отвору —  $0,02 \dots 0,5$  мм. Діаметральні розміри головних отворів виконують за 6—9 квалітетами точності. Згідно зі статистичними даними близько 10% головних отворів обробляють за 6 квалітетом, 50% — за 7, 30% — 8 і 9 квалітетами. Діаметральні розміри коливаються, як правило, у межах  $20 \dots 150$  мм.

За ступенем складності корпусні деталі поділяють на три групи.

До першої групи входять складні деталі, які мають 6—12 оброблюваних площин, більш як 50 отворів, частину з яких обробляють згідно з 7—9 квалітетами точності. Допуск на взаємне розташування поверхонь не перевищує  $0,05$  мм. Деталі першої групи під час обробки потрібно повертати навколо двох осей. До першої групи належить 35% корпусних деталей.

До другої групи належать деталі, які мають 3—5 оброблюваних площин, близько 15—50 отворів, декотрі з яких оброблені за 7—9 квалітетами. До другої групи належить 32% корпусних деталей.

До третьої групи входять деталі, які під час обробки потребують обертання навколо однієї осі або не потребують його зовсім. Вони мають отвори, оброблені згідно з 11 та нижчими квалітетами, технічні вимоги до взаємного розташування поверхонь та отворів невисокі. До третьої групи належить 18% корпусних деталей.

Найповніше технологічні можливості обладнання з ЧПК та ГВС використовуються під час обробки деталей першої та другої груп складності. Деталі третьої групи доцільно застосовувати для довантаження обладнання з ЧПК та ГВС.

Корпусні деталі виготовляють головним чином зі сірого чавуну, рідше з вуглецевих сталей, ковкого чавуну, сплавів кольорових металів. За даними ЕНІМВу, близько 23% корпусних деталей виготовляють із сталей, 60% — із чавунів, решту — з кольорових сплавів.

Заготовки корпусів стаціонарних редукторів, відцентрових та шестірневих pomp виготовляють зі сірих чавунів марок СЧ15, СЧ18, СЧ20. Корпусні деталі призматичної форми, наприклад, плити супутників, столи для верстатів, виготовляють із сталей 30Л,



40X. Для виготовлення корпусів малої маси для потреб приладобудування широко використовують алюмінієві сплави марок АЛ4, АЛ8, АЛ10В, АЛ13. Заготовки одержують литтям (майже 95%) або зварюванням. Лиття виконують у піщані форми, кокіль або оболонкові форми. Точне литво з алюмінієвих сплавів одержують литтям під тиском. Литво зі сірого чавуну і сталі розділяють на три класи точності. Допуски на розміри виливок цих класів точності співвідносяться як 1:1,6:2,5. Лиття у кокіль забезпечує одержання розмірів згідно з 11—12 квалітетами точності, лиття в оболонкові форми — згідно з 12—14 квалітетами, а лиття під тиском — згідно з 10—14 квалітетами. Перед механічною обробкою заготовки піддають термічній обробці для зняття внутрішніх напружень, після чого їх очищають від окалини та фарбують необроблені поверхні.

Заготовки корпусних деталей, що підлягають обробці на багатощабельних верстатах, повинні мати I або II клас точності, що забезпечить зменшення припусків та виключить необхідність обдирної обробки. Для досягнення безперервності автоматичного циклу обробки операції старіння заготовок виносять на початкові етапи технологічного процесу: доки заготовки не надійшли в автоматизовану дільницю.

## **5.2. ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ НА БАГАТОЦІЛЬОВИХ ВЕРСТАТАХ**

За допомогою багатощабельних верстатів з ЧПК у межах однієї операції можна виконати такі види обробки:

- фрезерування плоских і контурних поверхонь;
- розточування головних отворів;
- обробку дрібних та різьбових отворів свердлінням, зенкуванням, розвертанням, цекуванням, різенарізацією.

Завдяки розширеним технологічним можливостям багатощабельного верстата, на ньому виконують фрезерно-свердлильно-розточувальні операції з високою концентрацією технологічних переходів. Розробка структури такої технологічної операції має ряд відмінностей. Висока концентрація обробки на багатощабельному верстаті впливає на всі елементи процесу обробки. Закріплення деталі повинно виконуватися так, щоб забезпечити доступність всіх оброблюваних поверхонь для обробки. Наявність жорсткого шпинделя та потужного головного привода дає змогу об'єднати в одній операції чорнову та чистову обробку. Значну частину поверхонь обробляють від однієї технологічної бази, що забезпечує необхідну точність їх взаємного розташування без застосування спеціального технологічного оснащення.

Якщо верстат обладнаний хрестовим столом, то деталі з паралельними стінками обробляють без перевстановлення. Наявність поворотного стола на багатоцільовому верстаті з горизонтальним розташуванням шпинделя дає змогу обробляти деталь з чотирьох боків. Більшу кількість поверхонь обробляють на багатоцільовому верстаті з двома шпинделями або з поворотним шпинделем. Типові комбінації поверхонь обробляють спеціальним інструментом, що призводить до зниження гнучкості автоматичної верстат-

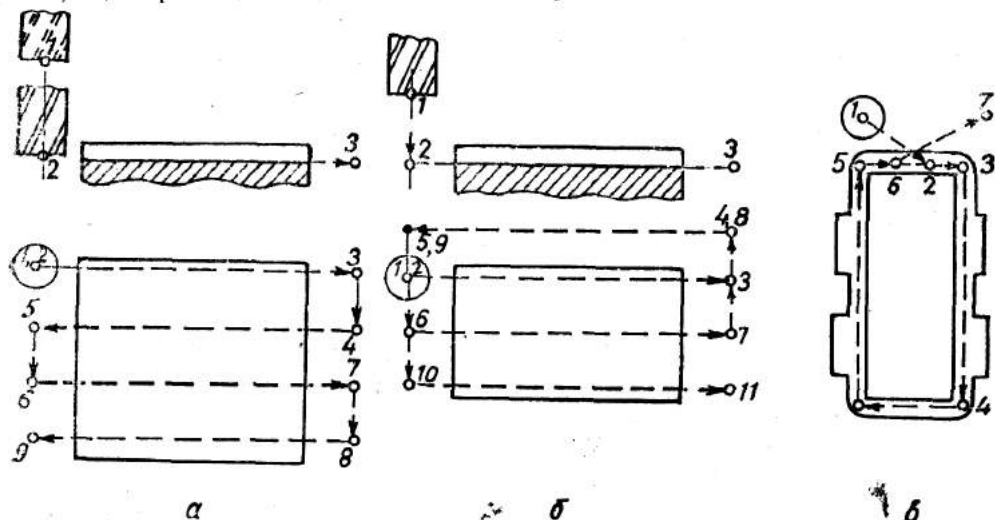


Рис. 5.1. Схеми чорнового (а), чистового (б) і контурного (в) фрезерування площини торцевою фрезою.

ної системи. Доцільніше змінити структуру переходу таким чином, щоб використати універсальний різальний інструмент, наприклад, різні типорозміри головних отворів деталі можуть бути оброблені однією програмно-керованою план-супортною головкою (див. рис. 1.34).

**Обробка площини.** Відкриті зовнішні площини фрезерують торцевими фрезами малого діаметра. Використання торцевих фрез великого діаметра зменшує місткість інструментального магазину через перекриття сусідніх гнізд фрезою, ускладнює автоматичну заміну інструмента автооператором, а також викликає підвищену вібрацію при обробці. Тому фрезерування здійснюють послідовними проходами торцевих фрез малого діаметра за схемою «петля» при чистовій, «зигзаг» при чорновій обробках, а також обходом фрезою контура при контурній обробці (рис. 5.1). Відстань між сусідніми проходами витримують у межах 0,6—0,8 діаметра фрези.

Напівзакриті площини обробляють за схемою, згідно з якою центр фрези рухається по траєкторії «стрічка» (рис. 5.2, а).

Фрезерування закритих площин (пази, вибірки, заглибини) вимагає попереднього свердління отвору на задану глибину свердлом, діаметр якого більший від діаметра фрези. Цим виключають осьове врізання фрези. Матеріал вибирають за типовою схемою «виток» (рис. 5.2, б), відстань між проходами витримують у межах 0,6—0,8 діаметра фрези. Під час обробки закритих площин, обмежених колом, інструмент рухають по архімедовій спіралі з кроком 0,6—0,8 діаметра фрези. Траєкторію відтворюють рівномірним

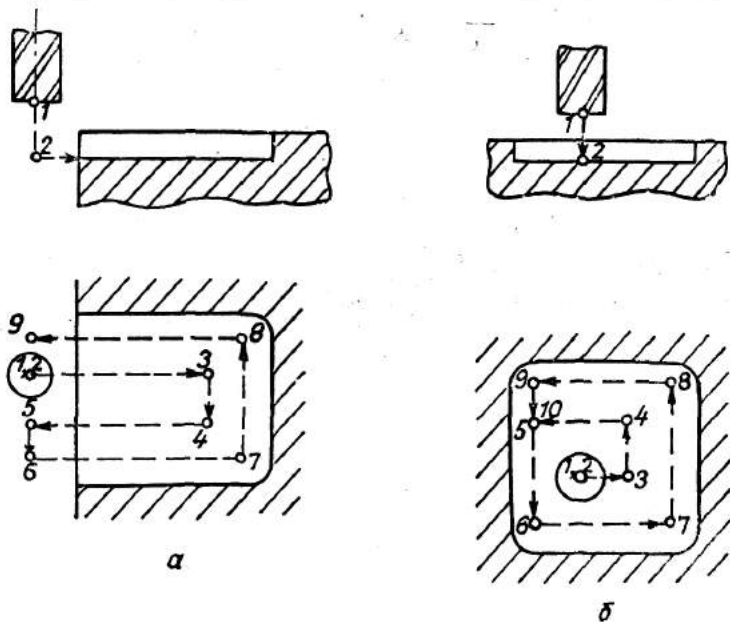


Рис. 5.2. Схема переміщення інструмента під час фрезерування напіввідкритої (а) та закритої (б) площини.

обертанням поворотного стола з деталлю і поступальним рухом інструмента вздовж радіуса оброблюваної площини (рис. 5.3, а). Послідовна обробка паза кінцевою і торцевою фрезами показана на рис. 5.3, б, обробка паза дисковою фрезою — на рис. 5.3, в.

Чистову обробку здійснюють, максимально наближуючи чистові проходи один до одного. Маложорсткі деталі перед чистовою обробкою перезакріплюють, міняючи точки затиску. Перед чистовою обробкою поверхонь із великою площею деталі дають охолонути, переносючи обробку та інші ділянки.

**Обробку контурів** здійснюють кінцевими фрезами. Траєкторія руху фрези складається з ділянки підведення та врізання фрези, ділянки руху по контуру та ділянки відведення. Під час чорнової обробки врізання фрези виконують по нормалі до контуру

(рис. 5.4, а), під час чистової обробки — по дотичній до контурної поверхні, що забезпечує повільне зростання сили різання (рис. 5.4, б).

**Обробка головних отворів.** Чорнову обробку головних отворів на верстатах з позиційною системою ЧПК здійснюють розточуванням замість зенкерування. Цим зменшується зміщення осі отвору. Чорнову обробку отворів на верстатах із контурною та комбінованою системами ЧПК виконують за допомогою контурного фре-

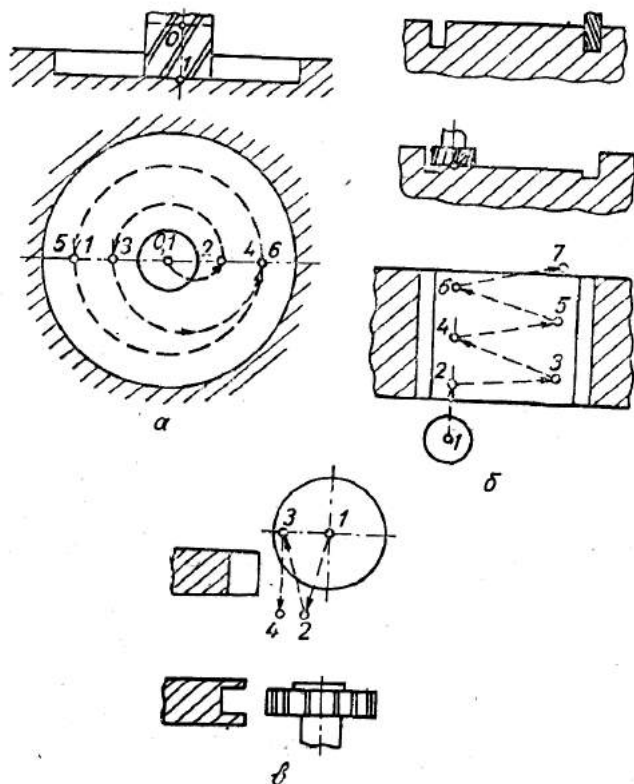


Рис. 5.3. Схема обробки закритої площини, обмеженої колом (а), напіввідкритого паза кінцевою і торцевою фрезами (б) та поздовжнього паза дисковою фрезою (в).

зерування кінцевою фрезою, центр якої переміщують по колу. Воно є найбільш ефективним при обробці литих та штампованих отворів, які мають нерівномірний припуск та підвищену твердість поверхневого шару. Контурне фрезерування отворів забезпечує їхню точність згідно з 9-м квалітетом.

Напівчистову та чистову обробку головних отворів здійснюють розточуванням. Напівчистова обробка забезпечує геометричну

точність, а чистова — розмірну точність отвору. Довгі борштанги на багатопільових верстатах не використовують через незручність їхнього зберігання в магазині та автоматичної заміни, а також через значні пружні деформації та вібрації, що виникають при їхній роботі. Застосовують розточувальні оправки зі значною жорсткістю, довжина такої оправки не перевищує шести діаметрів. Отвори, які розташовані з протилежних боків деталі, розточують

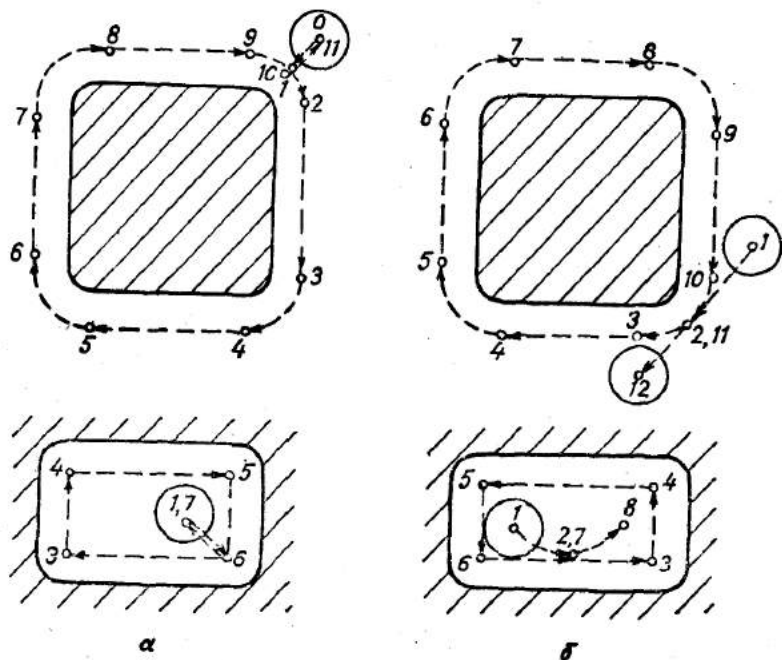


Рис. 5.4. Схеми чорнвої (а) та чистової (б) обробки контуру.

окремо, повертаючи деталь на  $180^\circ$ . Співвісність отворів визначається точністю індексування поворотного стола.

У багаторізцевих розточувальних оправках, якими обробляють східчасті отвори, різці розташовані так, щоб різання відбувалось або по чергово, або радіальні сили, що діють на різці, взаємно врівноважувались. У цих випадках деформування розточувальної оправки під час обробки є найменшим, а точність обробки — найвищою.

Додаткові поверхні на головних отворах (канавки, галтелі, пониження тощо) обробляють за допомогою програмно-керованої план-супортної головки, яка здійснює програмоване переміщення різця в радіальному напрямі від індивідуального привода. Часто обробку внутрішніх канавок на головних отворах виконують дисковою фрезою, центр якої переміщують по колу.

Фінішну обробку головних отворів, що вимагають забезпечення точності згідно з 6 м та вижчими квалітетами, здійснюють на спеціальному технологічному обладнанні, наприклад, на алмазно-розточувальних верстатах.

**Обробку допоміжних отворів** виконують без кондукторів, тому консольний інструмент повинен бути коротким, а свердління здійснюватися за декілька переходів: центрування, свердління, зенкування, різенарізання тощо. Центрування отворів здійснюють центрувальним або звичайним жорстким свердлом великого діаметра, заточеним під центрівку з кутом у плані  $2\varphi=90^\circ$ . В останньому випадку перехід центрування поєднується з обробкою внутрішньої фаски.

Для нарізання різей використовують мітчики, що затискають у патроні з осью розв'язкою від шпинделя верстата.

Наявність груп однакових отворів у корпусних деталях суттєво спрощує складання КП, оскільки при цьому детально описують тільки цикл обробки першого отвору, а для решти отворів задають лише координати.

Обробку допоміжних отворів здійснюють за декількома основними схемами, які відрізняються між собою кількістю замін інструменту, сумарною довжиною координатних переміщень, забезпечуваною точністю отворів. Ці схеми базуються на принципі одного отвору, принципі одного інструмента та принципі одного інструмента в межах стінки деталі.

*Принцип одного отвору* полягає в тому, що кожний отвір оброблюють півністю по всіх переходах при незмінному його положенні відносно шпинделя верстата. Потім деталь переміщують і виконують повну обробку наступного отвору. Цей принцип застосовують для обробки точних отворів.

*Принцип одного інструмента* полягає у послідовній обробці одним інструментом однакових отворів на всіх сторонах деталі. Після цього у шпиндель встановлюють наступний інструмент, яким обробляють ті ж отвори. Таку схему обробки застосовують для малоточних деталей, оскільки під час чорнової обробки деталей перегривається.

*Принцип одного інструмента в межах стінки деталі* базується на послідовній обробці одним інструментом усіх однакових отворів, розташованих на одному боці деталі, після чого обробку виконують наступним інструментом і т. д. Розділення обробки по сторонах деталі створює ліпші умови для її охолодження.



### 5.3. ВИБІР БАЗ ТА СКЛАДАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО МАРШРУТУ

В умовах автоматизованого виробництва використовують дві основні схеми обробки корпусних деталей:

- 1) повну обробку деталі на багатоцільових верстатах;
- 2) чорнову обробку на традиційному обладнанні, а напівчистову та чистову — на багатоцільових верстатах.

Повну обробку корпусних деталей на багатоцільових верстатах можна здійснювати тоді, коли їхні заготовки мають малі припуски та не потребують операції старіння після чорнової обробки. Таким вимогам відповідають корпусні деталі, які використовуються у приладобудуванні. Їхні заготовки одержують литтям під тиском із кольорових сплавів, чим забезпечується висока точність заготовок та малі припуски на обробку. Якщо заготовка може бути повністю оброблена з одного встановлення, то як технологічні контактні бази використовують необроблені поверхні. В іншому разі на першій операції обробляють базові поверхні, а також ті, які з ними пов'язані розмірами та є доступними для інструменту. Під час підготовки баз доцільно забезпечити обробку комплекту базових поверхонь з однієї установки. Базування корпусів, як правило, здійснюють:

- по трьох площинах, що утворюють координатний кут;
- по площині та двох отворах.

Ці схеми базування забезпечують зручний підхід до поверхонь деталі та сприяють підвищенню концентрації переходів. Решту поверхонь деталі обробляють на другій операції. Якщо заготовка корпусної деталі точна, трудомісткість чорнової обробки незначна, то виділення чорнової обробки в окрему операцію є недоцільним і її об'єднують з операцією чистової обробки.

Другу схему обробки корпусних деталей застосовують під час обробки чавунних або сталевих заготовок, які мають значний припуск. Процес механічної обробки переривають операцією старіння для зняття в деталі залишкових напружень, після чого продовжують обробку, виконуючи напівчистові та чистові переходи на багатоцільовому верстаті.

Загалом технологічний процес обробки таких заготовок включає одну-дві чорнові, термічну та одну-дві чистові операції, наприклад:

- 1) обробка начорно базових поверхонь та деяких площин і головних отворів, що з ними пов'язані та до яких є зручний доступ різального інструменту;
- 2) обробка решти поверхонь деталі начорно з базуванням по поверхнях, оброблених на попередній операції;



3) старіння;

4) чистова обробка базових поверхонь та деяких площин і головних отворів, з ними пов'язаних, які були оброблені одночасно з ними начорно;

5) чистова обробка решти поверхонь начисто з базуванням заготовки по базових поверхнях, оброблених на попередній операції, а також обробка пазів, уступів, допоміжних та кріпильних отворів.

Технологічні бази вибирають, опираючись на аналіз функціонального призначення поверхонь деталі, вимоги до їхньої точності і точності їх взаємного розташування. Спочатку вибирають технологічні бази для обробки більшості поверхонь деталі, потім — для виконання перших операцій.

Аналіз функціонального призначення поверхонь корпусної деталі і розмірних зв'язків між ними дає змогу вибрати бази для обробки більшості поверхонь.

Для базування доцільно вибрати поверхні, які є одночасно основними базами деталі, а також поверхні, відносно яких задане розташування більшості інших поверхонь. Ці технологічні бази обробляють на першій або перших технологічних операціях, базуючи деталь на чорнових базах.

Вибір чорнових баз повинен забезпечувати:

— розмірні та геометричні зв'язки, що визначають відстань та повороти оброблених поверхонь відносно необроблених;

— рівномірний припуск на поверхнях, що оброблятимуться.

Процес вибору баз є багатоваріантним, причому результат вибору певної схеми базування заготовки на першій операції виявляється лише на наступних операціях. Для визначення раціональності вибраної схеми, наприклад, з погляду забезпечення відповідної точності чи рівномірності припуску, необхідно простежити технологічний процес до моменту, коли отримується заданий розріз, і скласти відповідний технологічний розмірний ланцюг. Далі слід визначити міжперехідні розміри на даній і всіх попередніх операціях, а також впливаючі розміри заготовки. Здійснюючи послідовний перехід від даної операції до початку технологічного процесу, доходять до поверхні заготовки, по якій її базують на першій операції.

У практичній роботі, вибираючи чорнові бази, потрібно керуватися такими рекомендаціями.

1. Для базування деталей, які не обробляються кругом, доцільно вибрати поверхні, які залишаються в деталі необробленими, тому що лише тоді оброблений контур деталі буде точно (з найменшим зміщенням) розташований відносно контуру необроблених поверхонь.

2. Деталі, які обробляються кругом, базують по поверхнях, що

мають найменші припуски, завдяки чому зменшується небезпека появи чорноти під час їхньої обробки після перебазування.

3. Поверхні, по яких базують заготовку для обробки технологічних баз, повинні мати достатню довжину, щоб надати заготовці стійкого положення і не мати слідів розняття штампа та ливарних форм.

4. Після першої операції технологічні бази слід замінити для того, щоб двічі не використовувати чорнові бази і, тим самим, не переносити похибки заготовки на взаємне розташування поверхонь.

5. Поверхні, пов'язані жорсткими допусками, доцільно обробляти з однієї установки. Для зручності повної обробки бічних поверхонь заготовки їх встановлюють на підкладні плити-адаптери.

#### 5.4. ТИПОВА СТРУКТУРА ФРЕЗЕРНО-СВЕРДЛИЛЬНО-РОЗТОЧУВАЛЬНОЇ ОПЕРАЦІЇ

Структура цієї операції визначається типовим змістом та послідовністю технологічних переходів.

Обробку корпусів починають із фрезерування основних площин, які мають найбільший припуск. Зовнішні відкриті площини фрезерують торцевими фрезами. Для зменшення числа проходів застосовують торцеві фрези, діаметр яких визначається як

$$d_{\text{фр}} = (1,25 \div 1,6) \cdot B_{\text{фр}},$$

де  $B_{\text{фр}}$  — ширина фрезерування. Найбільший діаметр фрези не повинен перевищувати ширину оброблюваної поверхні більш як утричі:

$$d_{\text{фр}}^{\text{max}} = 3 \cdot B_{\text{фр}}.$$

При обробці поверхонь із великим і нерівномірним припуском виникають значні зусилля різання, вібрації. Тоді обробку здійснюють торцевими фрезами, діаметр яких менший, ніж ширина фрезерування. Центр фрези переміщують по траєкторії, що відповідає схемі «зигзаг» (див. рис. 5.1, *а*), або по складній траєкторії одночасно по двох координатах (рис. 5.3, *б*). Остаточний вибір діаметра торцевої фрези здійснюють, виходячи з умов забезпечення продуктивної обробки однією фрезою найбільшої кількості поверхонь.

Напіввідкриті площини обробляють кінцевими або кінцевими і торцевими фрезами (див. рис. 5.3, *б*). Закриті вибірки та пази обробляють кінцевими фрезами, які мають найменший виліт та високу жорсткість. Для забезпечення врізання фрези на задану гли-

## Типова структура фрезерно-свердлильно-розточувальної операції

№ з/п	Зміст переходу	Інструмент	Вказівки на виконання переходу
1	2	3	4
1	Фрезерування зовнішніх поверхонь (чорнове, напівчистове, чистове)	Фрези торцеві	Чистове фрезерування нежорстких деталей, які деформуються при затиску, слід виконувати після їхнього перезакріплення (див. п. 10)
2	Свердління (розсвердлювання) в суцільних стінках (наскрізне — основних отворів під обробку; глухе — для введення кінцевих фрез). Діаметр отворів перевищує 30 мм	Свердла	Якщо в переходах, описаних в п. 2 та 8, використовується однаковий інструмент, то переходи можна поєднати
3	Фрезерування пазів, отворів, вікон, виборок	Фрези кінцеві	Переходи слід виконувати відповідно до рекомендацій з фрезерування на верстатах з ЧПК (див. § 5.2)
4	Фрезерування внутрішніх площин, перпендикулярних до осі шпинделя	Фрези торцеві та кінцеві	Переходи слід виконувати відповідно до рекомендацій з фрезерування на верстатах з ЧПК (див. § 5.2)
5	Чорнове розточування, зенкерування основних отворів в суцільних стінках після переходів, описаних у п. 2	Різці розточувальні, зенкери	Те саме
6	Обробка неточних додаткових поверхонь, розташованих в основних отворах концентрично їхній осі (канавок, виїмок, уступів, фасок)	Фрези кінцеві, кутові, дискові. Різці канавкові, фаскові, розточувальні. Зенківки	Те саме
7	Обробка додаткових поверхонь на зовнішніх та внутрішніх площинах, на необроблених поверхнях	Фрези кінцеві, шпонкові	Те саме
8	Обробка допоміжних та кріпильних отворів з діаметром більше 15 мм (свердління, розсвердлювання, зенкерування, зенкування, різенарізація)	Свердла, зенкери, зенківки, мітчики	—
9	Зенкування всіх фасок	Зенківки	—
10	Перезакріплення деталі, перевірка положення рухомих органів верстата,		Перехід не виконується, якщо деталь не деформується при затиску і

1	2	3	4
11	очистка посадкових гнізд в шпинделі верстата для забезпечення точності обробки Остаточне фрезерування площин	Фрези торцеві	верстат забезпечує точність  Переходи виконуються при обробці нежорстких деталей, які сильно деформуються під час застосування тиску
12	Обробка точних поверхонь основних отворів (розточування, розверчування)	Різці розточувальні, розвертки	Те саме
13	Обробка точних і точно розташованих отворів малого діаметра (під базуючі штифти, втулки тощо)	Свердла, різці розточувальні, розвертки	—
14	Обробка точних і точно розташованих в отворах додаткових поверхонь (канавок, виїмок, уступів, фасок)	Різці розточувальні, фрези дискові трибічні, зенківки	—
15	Обробка несиметричних відносно отвору виїмок, пазів, карманів, прорізів та інших подібних поверхонь	Фрези дискові, кінцеві тощо, різці фаскові, канавкові, фасонні тощо	—
16	Обробка зворотних виїмок, фасок та інших поверхонь, зв'язаних з основними отворами	Те саме	—
17	Обробка кріпильних та інших другорядних отворів малого діаметра (центрування, свердління, зенкування, зенкерування, нарізання різі)	Свердла, зенківки, зенкери, мітчики	Можуть виконуватися починаючи з переходів, описаних у п. 8

бину попередньо свердлять технологічний отвір або здійснюють переміщення фрези одночасно в осьовому та радіальному напрямках.

Чистову обробку реалізують при найменшому числі змін положення інструмента і деталі в площині, перпендикулярній осі обробки, наприклад, рухаючи інструмент за схемою «петля» (див. рис. 5.1, б). Перед чистовою обробкою площин рекомендується усунути із внутрішніх порожнин стружку і переконаватися в тому, що температура заготовки відповідає допустимим межах.

Під час обробки головних отворів їх спочатку свердлять, потім свердлять інші отвори великих діаметрів (більше 30 мм) у суцільному металі. Після цього обробляють начорно отвори, які вже є у литві або штампуванні. Ці отвори обробляють кінцевою фрезою або розточуванням, але без застосування зенкерів. Далі здійснюють обробку торцевих поверхонь, канавок, фасок та інших додаткових поверхонь на отворах, які не вимагають високої точності. Після цього виконують чистову обробку отворів і точних до-

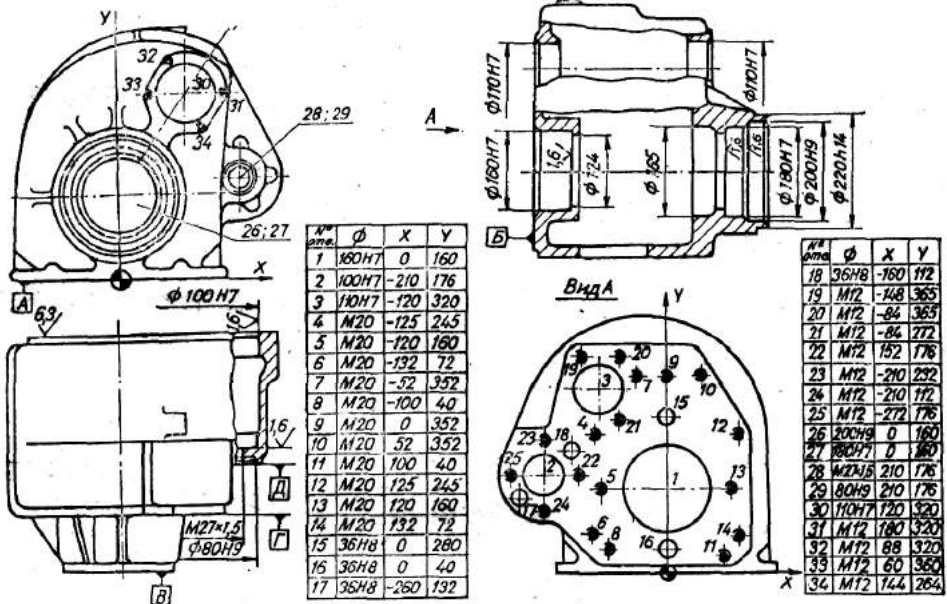


Рис. 5.5. Ескіз корпусу редуктора.

додаткових поверхонь на них, які не потребують чорнової обробки.

Завершальним етапом обробки корпусів є обробка дрібних допоміжних та кріпильних отворів.

Типова структура фрезерно-свердлильно-розточувальної операції, складена з урахуванням розглянутих відмінностей обробки на багатодільових верстатах, наведена у табл. 5.1.

Дотримання такої схеми під час проектування конкретних фрезерно-свердлильно-розточувальних операцій дає змогу одержати раціональну послідовність технологічних переходів. Спроекуємо, наприклад, технологічну операцію обробки корпусу редуктора (рис. 5.5). Заготовка — литво зі сірого чавуну СЧ20. На першій операції обробляємо технологічні бази — площину А та два отвори під пальці Ø 10H7. На другій операції, яка здійснюється на багатодільовому верстаті з горизонтальним шпинделем та пово-

Структура фрезерно-свердлильно-розточувальної операції  
обробки корпусу редуктора

Номер переходу	Зміст переходу	Інструмент	Режими різання		
			$V$ , м/хв	$S_m$ , мм/хв	$S_p$ , мм/об
1	2	3	4	5	6
1	Чистове фрезерування площини <i>B</i>	Торцева фреза	300,0	240,0	—
2	Центрування отворів № 4—25	Свердло центрувальне	9,0	—	0,13
3	Свердління отворів № 19—25 (рис. 5.6, <i>a</i> ) $\varnothing 10,2$ мм на глибину 32 мм	Свердло $\varnothing 10,2$	11,8	—	0,13
4	Свердління отворів № 4—14 (рис. 5.6, <i>b</i> ) $\varnothing 10,2$ мм на глибину 32 мм	Свердло $\varnothing 17,8$	17,5	—	0,13
5	Зенкерування отворів № 15—18 № 19—25 на глибину 22 мм	Зенкер $\varnothing 35$	15,0	—	0,14
6	Зенкування фасок в отворах № 4—25	Зенківка	15,0	—	0,14
7	Нарізання різі <i>M12</i> в отворах № 19—25 на глибину 22 мм	Мітчик <i>M12</i>	8,0	—	1,75
8	Нарізання різі <i>M20</i> в отворах № 4—14 на глибину 27 мм	Мітчик <i>M20</i>	10,0	—	2,5
9	Поворот заготовки на $180^\circ$	—	—	—	—
10	Чистове фрезерування торців <i>B</i> , <i>Г</i> і <i>Д</i> торцевою фрезою	Торцева фреза	300,0	240	—
11	Центрування отворів № 28, 31, 32, 33, 34	Свердло центрувальне	12,0	—	0,2
12	Свердління отворів № 31—34 (рис. 5.6, <i>в</i> ) $\varnothing 10,2$ мм на глибину 30 мм, свердління отвору № 28 на прохід	Свердло $\varnothing 10,2$	17,0	—	0,14
13	Розсвердлювання отвору № 28 до $\varnothing 25,5$ на прохід	Свердло	17,0	—	0,09
14	Нарізання різі <i>M12</i> в отворах 31, 32, 33, 34 на глибину 20 мм	Мітчик <i>M12</i>	8,0	—	1,75
15	Нарізання різі <i>M27+1,5</i> в отворі № 28 на прохід	Мітчик <i>M27</i> ×1,5	12,0	—	1,5
16	Чорнова обробка отворів № 26, 27 (рис. 5.6, <i>e</i> ): а) обточування зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 220$ <i>h</i> 14; б) розточування отвору № 26 до $\varnothing 179,6$ та підрізання торця <i>E</i> ; в) розточування отвору № 27 до $\varnothing 179,6$ та підрізання торця <i>E</i> ; г) розточування $\varnothing 165$ остаточно; д) розточування фаски $\varnothing 203$ з кутом $30^\circ$ ; е) розточування фаски $\varnothing 183$ з кутом $30^\circ$ .	Багаторізева розточувальна оправка; що містить; 1 прохідний різець, 2 розточувальних упорних, 1 розточувальний прохідний, 2 фаскових різці	120,0	—	0,2



1	2	3	4	5	6
17	Обробка отворів № 28, 29: а) розточування отвору $\varnothing$ 80 H9 начисто; б) розточування фаски $\varnothing$ 82 з кутом $30^\circ$	Дворіцева розточувальна оправка з розточувальним та фасковим різцями	65,0	—	0,15
18	Обробка отвору № 30: а) розточування до $\varnothing$ 109,6 б) розточування фаски $\varnothing$ 113 з кутом $30^\circ$	Дворіцева розточувальна оправка з розточувальним та фасковим різцями	80,0	—	0,14
19	Чистове розточування отворів № 26, 27 (рис. 5.6, є): а) розточування $\varnothing$ 200 H9; б) розточування $\varnothing$ 180 H7	Дворіцева розточувальна оправка	150,0	—	0,06
20	Чистове розточування отвору № 30 до $\varnothing$ 110 H7	Оправка розточувальна з різцем прохідним розточувальним	110,0	—	0,046
21	Поворот заготовки на $180^\circ$	—	—	—	—
22	Чорнова обробка отвору № 1: а) розточування $\varnothing$ 159,4; б) розточування $\varnothing$ 124; в) розточування фаски $\varnothing$ 163 з кутом $30^\circ$ г) підрізання торця Ж	Багаторіцева оправка з 2 розточувальними, 1 підрізним та 1 фасковим різцями	80,0	—	0,14
23	Чорнова обробка отвору № 2: а) розточування $\varnothing$ 99,4; б) підрізання торця З; в) розточування фаски $\varnothing$ 103 з кутом $30^\circ$	Триріцева розточувальна оправка з розточним, підрізним та фасковим різцями	80,0	—	0,14
24	Чорнова обробка отвору № 3: а) розточування $\varnothing$ 109,6; б) розточування фаски $\varnothing$ 113 з кутом $30^\circ$	Дворіцева оправка з розточувальним та фасковим різцями	60,0	—	0,14
25	Розточування отворів № 15—18: а) розточування $\varnothing$ 36 H8 б) розточування фаски $\varnothing$ 38 з кутом $30^\circ$	Те саме	100,0	—	0,05
26	Чистове розточування отвору № 1 до $\varnothing$ 160 H7	Оправка з розточувальним різцем	120,0	—	0,06
27	Чистове розточування отвору № 2 до $\varnothing$ 100 H7	Те саме	120,0	—	0,06
28	Чистове розточування отвору № 3 до $\varnothing$ 110 H7	Те саме	120,0	—	0,06
29	Заміна супутника	—	—	—	—

ротним столом, виконуємо фрезерно-свердлильно-розточувальну обробку решти поверхонь (табл. 5.2).



Розглянута структура технологічної операції обробки корпусу редуктора, складена згідно з типовою схемою побудови фрезерно-свердлильно-розточувальної операції, є достатньо раціональною. Однак у конкретних випадках послідовність виконання переходів можна змінювати. При зніманні значного шару металу при чорнової обробці деталі дають час охолонути перед чистою обробкою

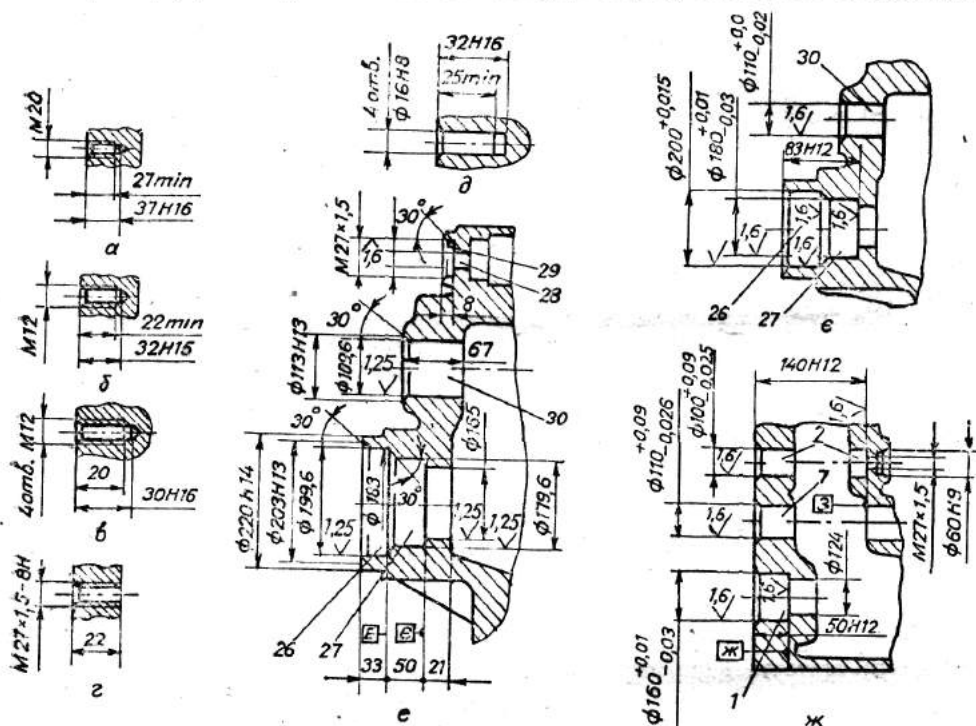


Рис. 5.6. Схеми обробки елементів корпусу редуктора:

а — отвори №№ 4—14; б — отвори №№ 19—25; в — отвори №№ 31—34; г — отвір № 28; д — отвори №№ 15—18 начисто; е — отвори №№ 26—30 начорно; ж — отвори №№ 1—3.

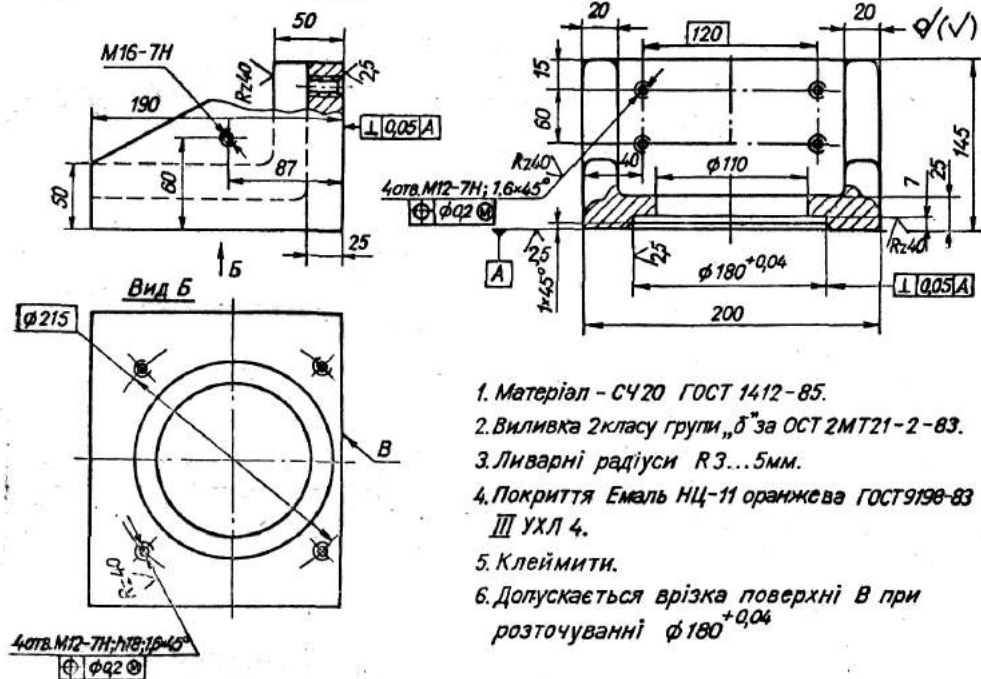
за рахунок виконання трудомістких операцій, що не супроводжуються виділенням тепла, наприклад, різенарізання тощо.

Розглянута структура операції є вихідною інформацією, необхідною для складання КП.

## 5.5. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ КРОНШТЕЙНА

Операційна технологія обробки деталей на верстатах з ЧПК відрізняється високим рівнем деталізації технологічних рішень, необхідним для складання КП. Завершальним етапом проектуван-

ня технологічної операції з ЧПК є розробка КП, для виконання якої необхідно: розділити операцію на встановлення, вибрати метод закріплення заготовки; визначити послідовність обробки сторін деталі, а також послідовність виконання переходів; вибрати різальний інструмент, визначити режими виконання кожного переходу та вибрати раціональні траєкторії руху інструментів; підготувати карти налагодження інструментів; визначити координати опорних точок контуру деталі; перерахувати (якщо необхідно)



1. Матеріал - СЧ20 ГОСТ 1412-85.
2. Виливка 2 класу групи „б” за ОСТ 2МТ21-2-83.
3. Ливарні радіуси  $R3...5$ мм.
4. Покриття Емаль НЦ-11 оранжева ГОСТ 9198-83 III УХЛ 4.
5. Клеймити.
6. Допускається врізка поверхні В при розточуванні  $\phi 180^{+0.04}$

Рис. 5.7. Ескіз кронштейна.

розміри деталі; визначити необхідні під час обробки технологічні та допоміжні команди; виконати кодування технологічної, розмірної та допоміжної інформації та скласти КП.

Послідовність робіт, необхідних для складання КП, розглянемо на прикладі проектування операційної технології обробки кронштейна (рис. 5.7) на багатоцільовому верстаті *IP500MФ4* зі системою ЧПК «Фанук-6М». Верстат обладнаний поворотним столом, який дає змогу обробляти деталь з чотирьох сторін.

Заготовкою кронштейна є литво 2-го класу точності зі сірого чавуну СЧ20. Кронштейн обробляють при двох встановленнях. Поверхня В заготовки виходить рівнішою, тому при першому встановленні деталь базують у пристрої по поверхні В та двох бічних

## Структура свердлильно-фрезерно-розточувальної операції обробки кронштейна

Вста- нов- лення	Номер пере- ходу	Зміст переходу	Інструмент	Режими різання		
				$n, \text{хв}^{-1}$	$S_m, \text{мм/хв}$	$S_a, \text{мм/об}$
1	2	3	4	5	6	7
А	1	Чорнове фрезерування площини А	Фреза торцева $\varnothing 125$	200	200	—
	2	Контурне фрезерування отвору до $\varnothing 176$ на глибину 7 мм	Фреза кінцева $\varnothing 40$	200	150	—
	3	Розточування фаски $\varnothing 182$ з кутом $45^\circ$	Оправка розточувальна $\varnothing 185$ з фасковим різцем	200	—	0,1
	4	Розточування отвору $\varnothing 180^{+0,04}$ начисто	Оправка розточувальна	200	—	0,03
	5	Розточування отвору $\varnothing 110 H14$	Оправка розточувальна	200	—	0,1
	6	Чистове фрезерування площин А	Фреза торцева ельбова $\varnothing 125$	1500	300	—
	7	Поворот заготовки на $90^\circ$	—	—	—	—
	8	Поворот заготовки на $90^\circ$ назад	Свердло $\varnothing 18$ , заточене під центрівку ( $2\varphi=90^\circ$ )	500	—	0,2
	9	Центрування отвору під M16	—	—	—	—
	10	Центрування 4-х отворів під M12 на площині А	Те саме	500	—	0,2
	11	Свердління 4-х отворів $\varnothing 10,2$ на глибину 27 мм	Свердло $\varnothing 10,2$	370	—	0,1
	12	Нарізання різі M12 у 4-х отворах	Мітчик M12	100	—	1,75
	13	Поворот заготовки на $90^\circ$	—	—	—	—
	14	Свердління отвору $\varnothing 14$	Свердло $\varnothing 14,0$	400	—	0,15
	15	Нарізання різі M16	Мітчик M16	120	—	2,0
Б	16	Перезакріплення деталі	—	—	—	—
	17	Чорнове фрезерування площини В	Фреза торцева $\varnothing 125$	200	200	—
	18	Чистове фрезерування площини В	Фреза торцева ельбова $\varnothing 125$	1500	300	—
	19	Центрування 4-х отворів під різь M12	Центрівка	500	—	0,2
	20	Свердління 4-х отворів $\varnothing 10,2$ на глибину 27 мм	Свердло $\varnothing 10,2$	370	—	0,1
	21	Нарізання різі M12 у 4-х отворах	Мітчик M12	100	—	1,75

поверхнях. При другому встановленні деталь базують по обробленій площині  $A$ .

Структура технологічної операції наведена у табл. 5.3.

Під час кожного встановлення вибирають систему координат деталі та перераховують у разі потреби розміри. При першому встановленні, коли площина  $A$  є перпендикулярною до осі шпинделя, нульову точку деталі  $P2$  розташовують у центрі отвору  $\varnothing 180$  (рис. 5.8,  $a$ ). Координати чотирьох кріпильних отворів  $M12$  перера-

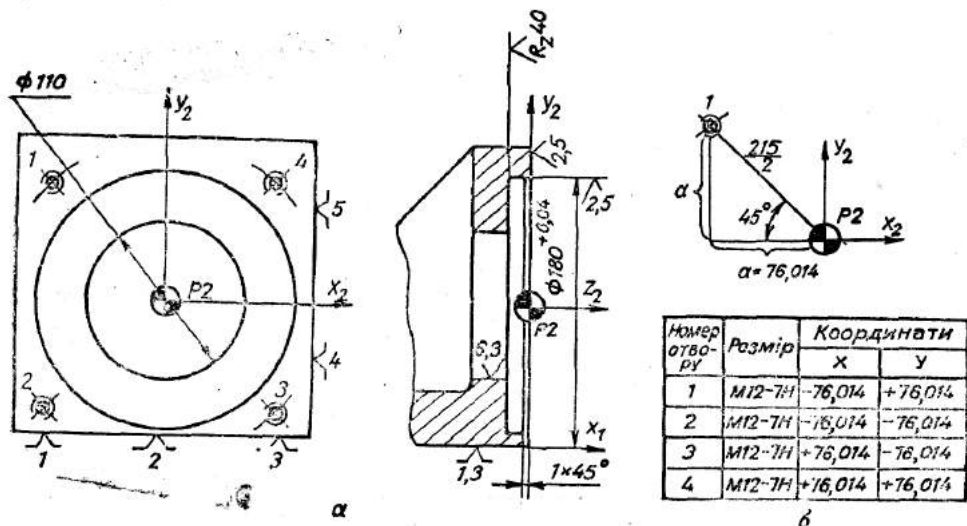


Рис. 5.8. Вибір нульової точки деталі при першому встановленні ( $a$ ) та схема для розрахунку координат кріпильних отворів ( $b$ ).

ховують відповідно до схеми, зображеної на рис. 5.8,  $b$ . Координати цієї нульової точки деталі  $P2$  вводять в КП за допомогою функції  $G55$ . Для обробки отвору  $M16$  деталь необхідно повернути за рухом годинникової стрілки на  $90^\circ$  та задати в цьому положенні нову систему координат у точці  $P1$  (рис. 5.9,  $a$ ). Координати цієї нульової точки задають за допомогою функції  $G54$ . При другому встановленні деталь базують по обробленій площині  $A$ , а площину  $B$  розташовують перпендикулярно до осі шпинделя. Нульову точку при другому встановленні  $P1$  задають функцією  $G54$ , а координати чотирьох кріпильних отворів на площині  $B$  перераховують згідно зі схемою їхнього розташування на ній (рис. 5.9,  $b$ ).

Для забезпечення фрезерування площини задають координати осі фрези, що відповідають початковій та кінцевій точкам її робочого переміщення, вибирають траєкторію цього переміщення відповідно до схеми обробки та визначають координати її опорних точок, враховуючи врізання та перебіг фрези. Чорнове фре-

зерування площин  $A$  та  $B$  виконують торцевою фрезою  $\varnothing 125$  мм, чистове фрезерування — торцевою ельборовою фрезою такого ж діаметра. Опорні точки траєкторії торцевої фрези при чорновій обробці поверхні  $A$  зображені на рис. 5.10,  $a$ , поверхні  $B$  — на рис. 5.10,  $b$ . Контурне фрезерування отвору здійснюють кінцевою фрезою  $\varnothing 40$  мм, яка рухається по колу за годинниковою стрілкою.

Центрування отворів виконують коротким свердлом  $\varnothing 18$  мм,

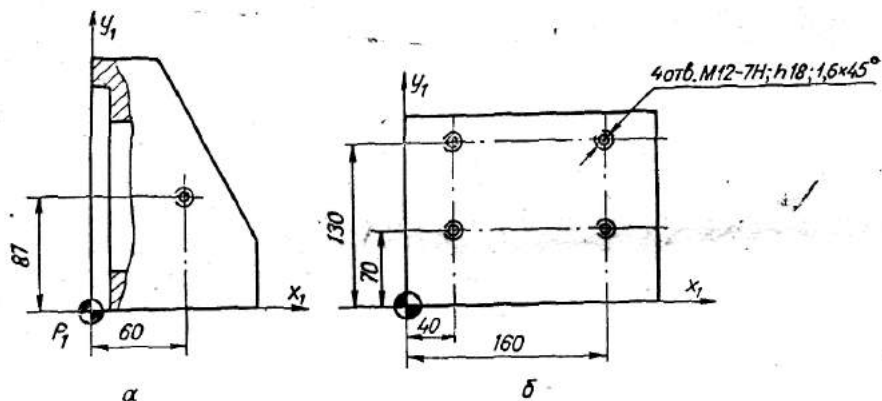


Рис. 5.9. Вибір нульової точки деталі при першому встановленні після її повороту на  $90^\circ$  ( $a$ ) та вибір нульової точки при другому встановленні деталі ( $b$ ).

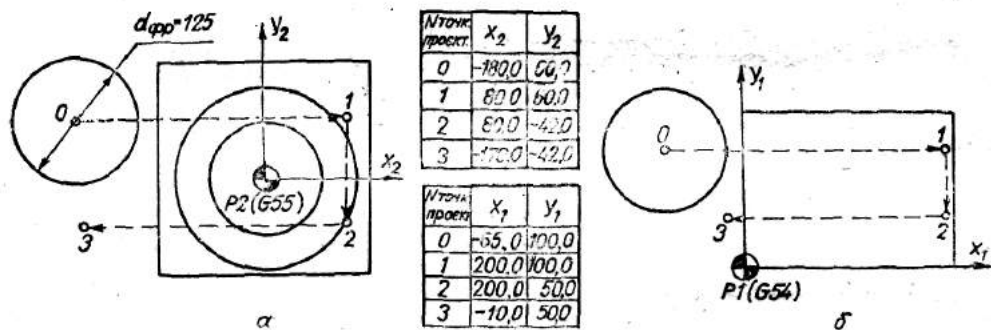


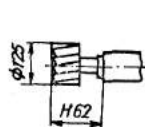
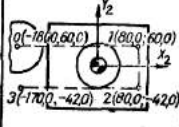
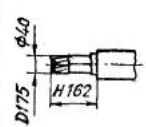
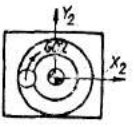
Рис. 5.10. Траєкторія переміщення фрези при чорновому ( $a$ ) та чистовому ( $b$ ) фрезеруванні площини  $A$ .

заточеним під центрівку з подвійним кутом у плані  $90^\circ$ , що дає змогу при centruванні обробити також поверхню майбутньої фаски отвору.

Програма обробки кронштейна наведена у табл. 5.4. Знаком «%» позначають початок програми. За допомогою функції G10 задають координати двох (L2) систем координат деталі: у точці

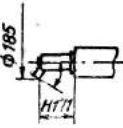
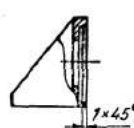
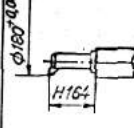
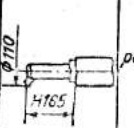
$P_1$ , яку задають функцією  $G54$ , та в точці  $P_2$ , яку задають функцією  $G55$  (рис. 5.11). У кадрі № 1 виконують встановлення інструмента з десятої позиції інструментального магазину ( $T10$ ) у шпindelь верстата. Для цього шпindelь зупиняють у заданому кутовому положенні ( $M19$ ), прискорено переміщують стояк у вихідну точку по осі  $Z$  ( $G0G28G91Z0$ ), відмінюючи корекцію по довжині інструмента ( $H0$ ). Магазин встановлюється в задане положення ( $M12$ ), а шпindelьна бабка переміщається вгору у вихід-

Таблиця 5.4

Пояснення кадру	Задання систем координат у точках $P_1$ та $P_2$				
Зміст кадру	% :1105 G90 G10L2P2 X-599.627 Y-466.249 Z-327.932 G10L2P2X-252.145 Y-556.249Z-321.0	N1 T10M19 (FR.125) G0G28G91Z0 H0 M12 G28Y0 M6 Y-200.0	N2 B72G49 G80 G55G0G90X-100.0 Y60.0 G43Z35.0H62 X-180.0 G120F2000S200M3 X90.0F200 Y-42 X-170.0 G0G28G91Z0 M5 G49 M01	N3 T11M19 (FR.40) G0G28G91Z0 H0 M12 G28Y0 M6 Y-200.0 T10M18	N4 B72G49 G80 G55G0G90X-68.0Y0 G0G43Z100.0H162 X0 G135.0F2000M3S200 Z-1.0 G41X-88.0D175F150 G17G2F-68.0Y0 168.0J0 G135.0F2000 G0G28G91Z0 M5 G49 G40 M01

ну точку ( $G28Y0$ ), де і відбувається встановлення у шпindelь інструмента ( $M6$ ). У шпindelь встановлюють торцеву фрезу  $\varnothing 125$  мм із вильотом, що задається коректором довжини  $H62$ .

Продовження таблиці 5.4

Пояснення кадру				Чистове розточування у розмір $180 + 0,04$		Чорнове розточування у розмір $110H14$
Зміст кадру	N5 T2M19 M12 G0G91G28Y0 M6 Y-200.0 T11M18	N6 B72G49 G40 G55G0G90X0Y0 G0G43Z12.0H111 G1310.0F2000 S200 M3 Z-1.0F100 Z10.0 G0G28G91Z0 M5 G49 M01	N7 T3 M19 M12 G4 P1000 G0G91G28Y0 M6 Y-200.0 T2 M18	N8 B72G49 G80 G55G0G90X0Y0 G0G43Z35.0H164 G135.0F2000 S200 M3 Z-6.0 F30 M5 G0G28G91Z0 G49 M01	N9 T4 M19 M12 G4 P10000 G0G91G28Y0 M6 Y-200.0 T3 M18	N10 B72G49 G80 G55G0G90X0Y0 G0G43Z35.0H165 G135.0F2000 S200 M3 G80G90X0Y0Z-28 R5.0F100 G0G28G91Z0M5 G49 M01

У кадрі N2 здійснюють перевірку кутового положення поворотного стола (B72), анулюють корекцію довжини інструмента (G49) та постійний цикл (G80), тобто виконують чистку системи ЧПК. Далі здійснюють перенесення системи координат у точку P2 (G55), розташовану у центрі головного отвору  $\varnothing 180$  мм, вводять корекцію довжини фрези зі знаком «+» функцією G43 та коректором H62, переміщують центр фрези з прискороною подачею 2000 мм/хв у точку 0 (див. рис. 5.10, табл. 5.4) з координатами

Продовження таблиці 5.4

Пояснення кадру						
Зміст кадру	<p>N11 T11M19(FR. 125) M12 G4P10000 G0691628Y0 M6 Y-200.0 T4 M18</p>	<p>N12 B72G49 G80 G35G0690X-100.0 Y32.0 G43Z35 H63 X-180.0 G1ZOF2000S120M3 X80.0F300 Y-45.0 X-170.0 G0628G91Z0 M5 G49 M01</p>	<p>N13 T5 M19 M12 G0691628Y0 M6 Y-200.0 T11 M18</p>	<p>N14 B18G49 G80 G54G0690X600 Y87.0 G0643Z35.0H170 G1Z5.0F2000 S500 M3 G99682 X60.0 Y87.0Z-7.0R5.0 F200 F200 G80 G0628G91Z0M5 G49 G0651G80Y300.0</p>	<p>N15 B72 G49 G80 G35G0690X-76.014 Y-76.014 G0643Z35.0H165 G1Z5.0F2000 S500 M3 G99682 X-76.014 Y-76.014 Z-7.0 R5.0F200 F200 Y76.014 X76.014 Y-76.014 G80 G0628G91Z0 M5</p>	<p>N16 T6 M19 M12 G0691628Y0 M6 Y-200.0 T5 M18</p>

$X = -180.0$ ,  $Y = 60.0$ , задають частоту обертання фрези  $n = 200$  хв<sup>-1</sup>, вмикають обертання шпинделя (M3) та переміщують центр фрези

Закінчення таблиці 5.4

Пояснення кадру							
Зміст кадру	<p>N17 B72 G49 G80 G35G0690X-76.014 Y-76.014 G0643Z35.0H167 G1Z5.0F2000 S370 M3 G99682X-76.014 Y-76.014 Z-45.0 R5.0F200F100 Y76.014 X76.014 Y-76.014 G80 G0628G91Z0 M5 G49 M01</p>	<p>N18 T7 M19 M12 G0691628Y0 M6 Y-200.0 T6 M18</p>	<p>N19 B72 G49 G80 G35G0690X-76.014 Y-76.014 G0643Z35.0H168 G1Z5.0F2000S 100 M3 G99684X-76.014 Y-76.014Z-15.0 R5.0F160 Y76.014 X76.014 Y-76.014 G80 G0628G91Z0 M5 G49 M01</p>	<p>N20 T8 M19 M12 G0691628Y0 M6 Y-200.0 T7 M18</p>	<p>N21 B18G49 G80 G54G0690X600 Y87.0 G1643Z35.0 H172F2000 S400 M3 G99682 X60.0 Y87.0Z-30.0 R5.0F160 G80 G0628G91Z0M5 G49 M01</p>	<p>N22 T9 M19 M12 G0691628Y0 M6 Y-200.0 T8 M18</p>	<p>N23 B18G49 G80 G54G0690X600Y87.0 G0643Z35.0 H173 G1Z5.0F2000S120 M3 G99684 X60.0Y87.0 Z35.0R5.0F200 F125 G80 G28G0691Z0 M5 G49 G0628G91 X0 M19 G0628G91 Y0 M6 Y-200.0 T8 M18 M2 %</p>



у точку 1 ( $X=80.0, Y=60.0$ ) з робочою подачею 200 мм/хв. Далі фрезу послідовно переміщують у точку 2 ( $X=80.0, Y=-42.0$ ) і точку 3 ( $X=-170.0, Y=-42.0$ ), повертають шпиндель по осі  $Z$  у вихідну точку ( $G0G28G91Z0$ ), вимикають його обертання ( $M5$ ) та відмінюють корекцію довжини інструмента.

У кадрі  $N3$  виконують заміну торцевої фрези  $\varnothing 125$  мм на кінцеву фрезу  $\varnothing 40$  мм, виліт якої задається коректором  $H162$ .

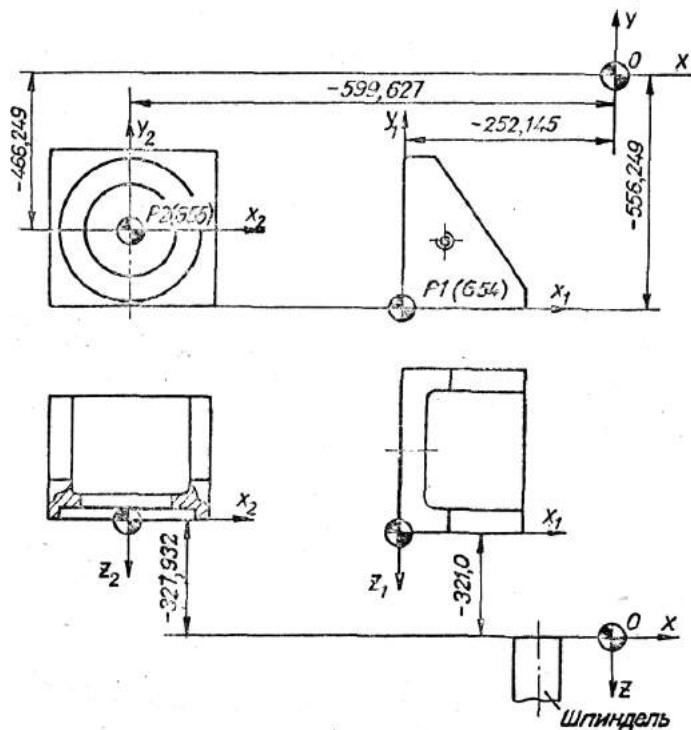


Рис. 5.11. Зв'язок систем координат деталі та верстата.

Послідовність рухів під час виконання заміни аналогічна тим, які описані в кадрі  $N1$ .

У кадрі  $N4$  виконують чистку системи ЧПК верстата, встановлюють систему координат у точці  $P2$  деталі функцією  $G55$ , вводять функцією  $G43$  та коректором  $H162$  корекцію довжини інструмента, підводять фрезу на відстань  $Z=15$  мм до площини  $A$ , встановлюють частоту обертання шпинделя  $n=200$  хв<sup>-1</sup> та колову подачу  $S_m=150$  мм/хв. Далі вибирають функцією  $G17$  площину інтерполяції  $XY$ , вводять напрям руху по колу за годинниковою стрілкою ( $G02$ ), задають координати інтерполяції  $I, J$ , які визначаються як

$$I = x_c - x_k = 0 - (-68.0) = 68.0;$$

$$J = y_c - y_k = 0 - 0 = 0,$$

де  $x_k, y_k$  — координати кінцевої точки інтерполяції;  $x_c, y_c$  — координати центра кола інтерполяції  $C$ .

У кадрі  $N5$  програмується встановлення у шпindelь оправки  $\varnothing 185$  мм із фасковим різцем, а в кадрі  $N6$  виконують обробку фаски  $1 \times 45^\circ$ .

У кадрі  $N7$  встановлюють оправку для чистового розточування отвору  $\varnothing 180^{+0,04}$ , а в кадрі  $N8$  виконують чистове розточування на глибину 6 мм.

У кадрі  $N9$  встановлюють оправку розточувальну на  $\varnothing 110$  мм, а в кадрі  $N10$  виконують розточування отвору  $\varnothing 110H14$  на глибину 28 мм. Розточування здійснюється за стандартним циклом, що задається функцією  $G86$  та з поверненням інструмента в кінці циклу до рівня точки  $R$  (функція  $G99$ ), який розташований на висоті 5 мм над площиною  $A$  деталі.

У кадрі  $N11$  встановлюють у шпindelь верстата ельборову фрезу  $\varnothing 125$  мм. У кадрі  $N12$  виконують чистове фрезерування площини  $A$  при незначній глибині різання та при частоті обертання шпинделя  $n=1500$  хв<sup>-1</sup>, яка забезпечує швидкість різання.

$$V = \frac{\pi d_{\text{фр}} \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 125 \cdot 1500}{1000} \cong 589 \text{ м/хв.}$$

Фреза рухається під час обробки по траєкторії, що задана опорними точками 0, 1, 2, 3 (див. табл. 5.4).

У кадрі  $N13$  встановлюють у шпindelь свердло  $\varnothing 18$ , заточене під центрівку з подвійним кутом у плані  $2\phi=90^\circ$ . У кадрі  $N14$  запрограмований поворот кругового стола із заготовкою на  $90^\circ$  функцією  $B18$  та перехід до системи координат у точці  $P1$  заготовки за допомогою функції  $G54$ . Після цього центрують отвір під різь  $M16$ . У кадрі  $N15$  заданий поворот деталі в початкове положення словом  $B72$  та перехід до системи координат у точці  $P2$  заготовки функцією  $G55$ . Центрування чотирьох отворів задають за допомогою постійного циклу  $G82$ , у кінці якого інструмент повертається до рівня  $R$ , встановленого у 5 мм над площиною  $A$ . Далі у кадрі  $N16$  встановлюють у шпindelь свердло  $\varnothing 10,2$  мм, а в кадрі  $N17$  програмують свердління чотирьох отворів, застосовуючи постійний цикл свердління. У кадрі  $N18$  встановлюють у шпindelь мітчик  $M12$ , а в кадрі  $N19$  виконують різенарізання в отворах 1—4 за допомогою постійного циклу  $G84$ .

У кадрі  $N20$  встановлюють свердло  $\varnothing 14$  мм, у кадрі  $N21$  повертають деталь на  $90^\circ$  і свердлять отвір  $\varnothing 14$  мм, у кадрі  $N22$  встановлюють у шпindelь мітчик  $M16$ , а в кадрі  $N23$  виконують нарізання різі  $M16$ .

Особливістю описаної КП є укрупнена нумерація її кадрів, тобто пронумерованими є змістові блоки кадрів, що допускається тільки в розвинених системах ЧПК. Крім того, кадри, в яких про-

грамується заміна інструмента, можуть бути оформлені як під-програми та записуватися в спрощеному вигляді, наприклад, при встановленні інструмента з 10-ї позиції магазину, записують **Н1Т10Н06**.

Після виконання обробки при першому встановленні деталі її перевстановлюють, базуючи на оброблену площину А, після чого виконують переходи № 17—21 (див. табл. 5.3).

## 5.6. ОБРОБКА КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ НА ВЗАЄМОЗВ'ЯЗАНОМУ ОБЛАДНАННІ

Обробка корпусних деталей складної конструкції вимагає виконання декількох послідовних технологічних операцій з ЧПК. Міжопераційний зв'язок у цих випадках здійснюється, як правило, за допомогою ТНС, яка переміщує супутники із закріпленими на них деталями. Якщо в процесі обробки не виникає потреби у пе-

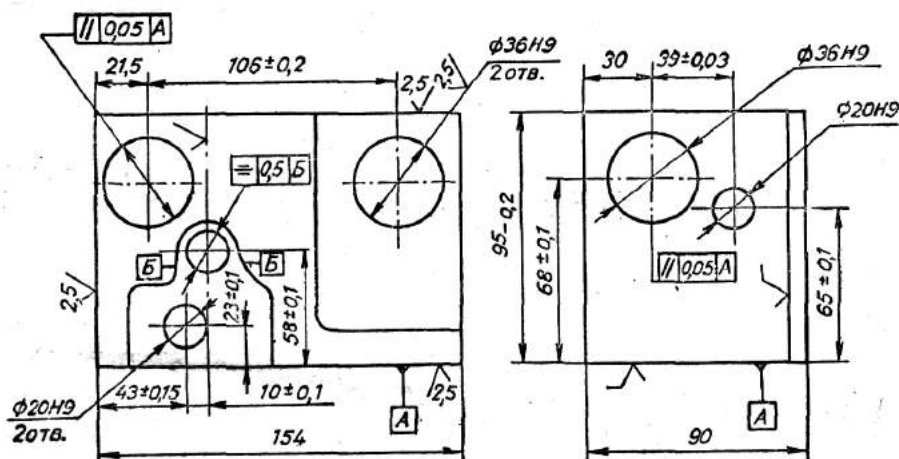


Рис. 5.12. Ескіз корпусу, що обробляється на ГАД.

резакріпленні заготовки, то як організаційну форму ГВС вибирають ГАЛ. Якщо ж при виконанні обробки заготовки виникає необхідність її перезакріплення, то після виконання частини технологічних операцій заготовку перезакріплюють на дільниці завантаження супутників і транспортують до обладнання, на якому виконуватиметься решта технологічних операцій. Організаційною формою ГВС буде ГАД.

Розглянемо технологію обробки корпусної деталі (рис. 5.12), що включає дві технологічні операції, які послідовно виконують

на багатоцільовому верстаті з вертикальним розташуванням шпинделя моделі 243ВМФ2 та багатоцільовому верстаті з горизонтальним шпинделем моделі 6904ВМФ2. Обидва верстати входять у ГВС, яка, крім них, включає також двопозиційну каретку-оператор для міжопераційного зв'язку, стелаж для заготовок, монтаж-но-розмічальний стіл для завантаження супутників (рис. 5.13). Робітник закріплює на супутнику заготовку, яка далі транспортується кареткою-оператором до відповідного верстата.

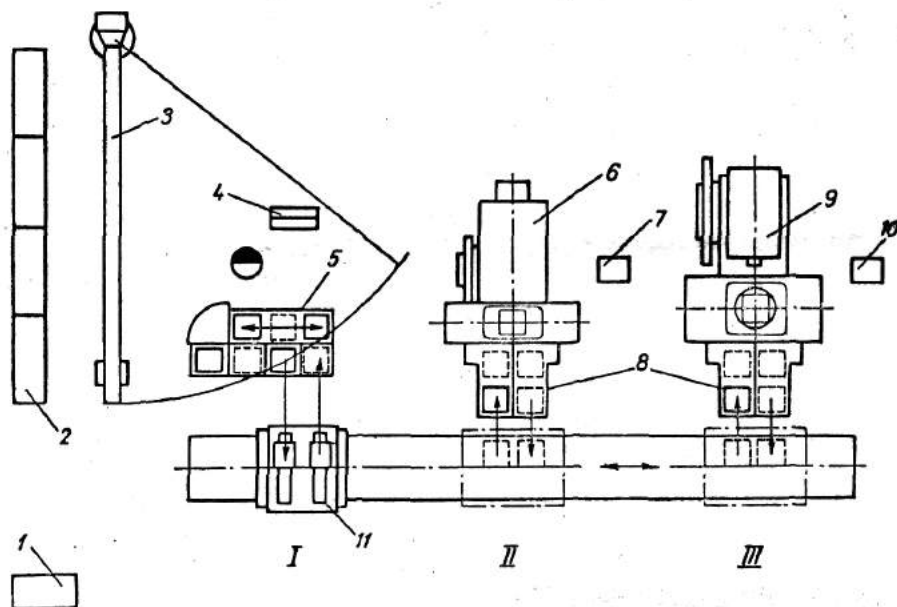


Рис. 5.13. Гнучка виробнича система для обробки корпусів:

1 — керуюча ЕОМ; 2 — стелаж заготовок та пристроїв; 3 — кран-балка; 4 — пульт керування; 5 — монтажний стіл; 6 — багатоцільовий верстат із вертикальним шпинделем; 7, 10 — шафи системи ЧПК; 8 — системи автоматичного стикування верстатів і транспортної системи; 9 — багатоцільовий верстат із вертикальним шпинделем; 11 — каретка-оператор; I, II, III — позиції обробки.

Технологічний процес обробки деталі складається з двох фре-зерно-свердлильно-розточувальних операцій. На першій обробляють площину А та два отвори  $\varnothing 10H7$ , які використовують як технологічні бази на другій операції. Операцію здійснюють на багатоцільовому верстаті з вертикальним шпинделем моделі 243ВМФ2. Заготовку базують на супутнику в координатний кут (по трьох площинах). Базування та затиск заготовки виконує робітник по розмітці. Заготовку на супутнику розташовують на чотирьох регульованих гвинтових опорах, які забезпечують паралельність площини А відносно робочої площини супутника. За допомогою двох осьових рисок, зроблених під час розмітки по

слідку площин  $XOZ$  і  $YOZ$  (рис. 5.14), заготовку орієнтують у площині  $XOY$ . При вивірянні положення деталі відносно базуючих елементів супутника використовують універсальні вимірювальні засоби, наприклад, штангенрейсмас, глибиномір, косинець тощо. Похибку розташування деталі визначають як

$$\omega = (a, b, c, \lambda, \beta, \gamma),$$

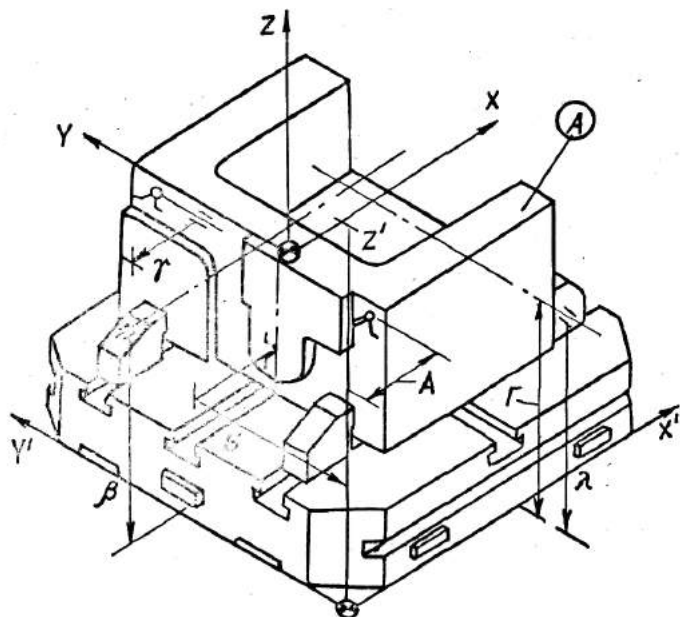


Рис. 5.14. Встановлення заготовки на супутнику на першій операції.

де  $a, b, c$  — параметри зміщення заготовки відповідно вздовж осей  $X, Y, Z$ ;  $\lambda, \beta, \gamma$  — параметри повороту заготовки навколо цих осей. Значення величин  $a, b, c$  при базуванні заготовки по розмітці знаходиться в межах  $0,5 \dots 1,0$  мм, а значення величини  $\lambda, \beta, \gamma$  — у межах  $0,3/300 \dots 0,8/300$ .

Для виконання подальшої обробки заготовку після першої операції повертають на розмічальний стіл, де її переставляють на інший супутник,

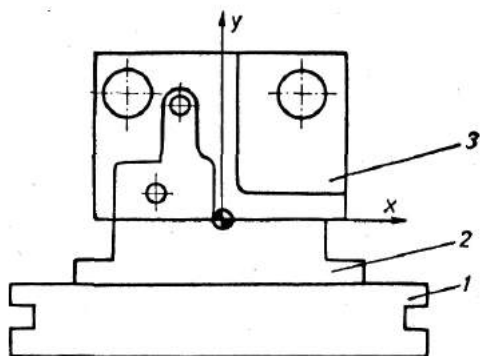


Рис. 5.15. Встановлення заготовки на супутнику на другій позиції:  
1 — супутник; 2 — підкладна плита; 3 — заготовка.

базуючи по обробленій площині  $A$  та двох отворах  $\varnothing 10H7$ . Для забезпечення доступу інструмента до всієї поверхні бокових площин при їх фрезеруванні заготовку встановлюють на підкладну плиту, закріплену на супутнику (рис. 5.15). На другій операції деталь обробляють з двох боків. Для кожної сторони обробки (стінки) розробляють план обробки, вибирають координатну систему і перераховують у разі потреби розміри деталі, що визначають положення її поверхонь у вибраній системі координат.

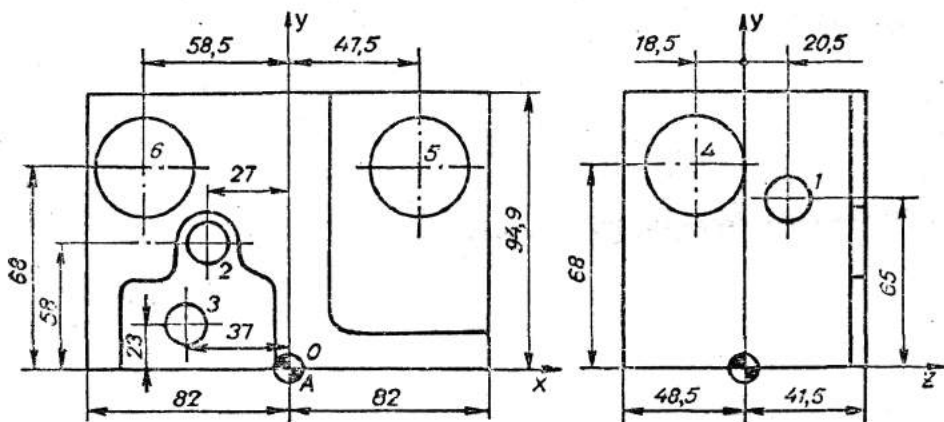


Рис. 5.16. План обробки заготовки:  
1-6 — отвори деталі.

Отворам присвоюють номери і записують координати їхнього розташування (рис. 5.16). Після повної обробки однієї стінки деталь повертають і обробляють всі поверхні та конструктивні елементи на другій стінці. Обробку виконують на багатоцільовому верстаті моделі 6904ВМФ з хрестовим пвворотним столом.

Після виконання другої операції деталь транспортується кареткою-оператором до розмічального стола, де робітник знімає її зі супутника та встановлює на стелаж готових деталей.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Перелічіть основні особливості обробки площин корпусів на багатоцільовому верстаті.
2. Які основні траєкторії переміщень фрези застосовують при фрезеруванні напівзакритих і закритих площин?
3. Які особливості обробки головних отворів корпусів на багатоцільових верстатах?
4. Якими основними принципами користуються при визначенні послідовності обробки дрібних отворів?
5. Перелічіть основні правила вибору чорнових баз.

6. Опишіть типову послідовність переходів фрезерно-свердлильно-розточувальної операції.

7. Складіть послідовність переходів для обробки на багатоцільовому верстаті деталі, зображеної на рис. 2.14.

8. Як програмується переміщення фрези по колу?

9. Опишіть ГАД обробки корпусних деталей на верстатах з ЧПК.



## ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ГВС

### 6.1. ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ ГВС

ГВС створюють поєднанням основного технологічного обладнання, автоматизованого складу, транспортних і допоміжних пристроїв. Структура одержаної таким чином ГВС визначається:

- кількістю і типом основного технологічного обладнання;
- видом транспортних засобів;
- об'ємом автоматизованого складу та його типом;
- видом і кількістю допоміжного обладнання.

Кількість основного технологічного обладнання визначають на основі верстатомісткості  $T_{\text{вм}}$  виробів, призначених для виготовлення у ГВС. Верстатомісткість визначають у верстато-годинах як

$$T_{\text{вм}} = \frac{1}{60} \sum_{i=1}^n N_i \sum_{j=1}^{m_i} t_{\text{ш-к}, ij},$$

де  $t_{\text{ш-к}, ij}$  — штучно-калькуляційний час виконання  $j$ -ї операції над  $i$ -ю деталлю, хв;  $N_i$  — річний обсяг випуску  $i$ -ї деталі, шт.;  $n$  — число типорозмірів деталей, які обробляються даною ГВС;  $m_i$  — число операцій обробки  $i$ -ї деталі.

Кількість верстатів визначається як

$$W = \frac{T_{\text{вм}}}{\Phi_0 \cdot K_3},$$

де  $\Phi_0$  — ефективний річний фонд роботи верстата, год;  $K_3$  — коефіцієнт завантаження верстата, значення якого для обладнання, що працює у складі ГВС, становить 0,85.

Якщо для виготовлення групи деталей необхідно використати різні типи верстатів, то кількість однотипних верстатів визначають на основі верстатомісткості кожного окремого методу обробки.

Нехай у ГВС обробляють, наприклад,  $n$  типорозмірів деталей на  $m_i$  операціях кожену, на яких здійснюють токарну, свердлильну, ..., шліцефрезерну обробку. Використовуючи відомі спрощені залежності, визначають основний технологічний час на кожний вид обробки (табл. 6.1).

## Штучно-калькуляційний час

$$t_{ш.-к.} = t_0 \varphi,$$

де  $\varphi$  — коефіцієнт, що залежить від типу верстата і типу вироб-

Таблиця 6.1

## Основний технологічний час обробки

Метод обробки	Модель верстата	Основний час обробки $t_0$ , хв			
		деталь 01	деталь 02	...	деталь i
Токарна	16К20Т1	2,5	2,7	...	3,5
Свердлильна	2Р135Ф2	—	1,2	...	0,6
Шліцефрезерна	5350А	4,8	—	...	6,0

ництва \*. Далі визначають верстатомісткість кожного методу обробки та виражають її в годинах.

Кількість верстатів, які виконують однотипну обробку, визначають як

$$W_{\text{ток}} = \frac{T_{\text{VM}}^{\text{ток}}}{\Phi_0 K_3};$$

$$W_{\text{св}} = \frac{T_{\text{ЗМ}}^{\text{св}}}{\Phi_0 K_3},$$

де  $W_{\text{ток}}$ ,  $W_{\text{св}}$  — кількість верстатів для виконання токарної, свердлильної та інших методів обробки;  $T_{\text{VM}}^{\text{ток}}$ ,  $T_{\text{VM}}^{\text{св}}$  — верстатомісткість токарної та свердлильної обробок, які обчислюють за формулами

$$T_{\text{VM}}^{\text{ток}} = \frac{1}{60} \varphi \sum_{i=1}^n N_i \cdot t_{0,i}^{\text{ток}};$$

$$T_{\text{VM}}^{\text{св}} = \frac{1}{60} \varphi \sum_{i=1}^n N_i \cdot t_{0,i}^{\text{св}}.$$

Приклад розрахунку верстатомісткості різних методів обробки наведений у табл. 6.2.

Місткість складу, що входить у ГВС, залежить від кількості типорозмірів деталей  $n$ , які обробляються в ГВС, обсягу випуску

\* Курсовое проектирование по технологии машиностроения / Под ред. Горбачевича А. Ф. Минск, 1975.

$N_i$  деталей одного типорозміру, обсягу виробничої партії  $P_i$  (або частоти запуску деталей одного типорозміру у виробництво).

Таблиця 6.2

Верстатомісткість обробки на верстатах ГВС

Деталь $i$	Річний об'єм випуску, $N_i$ , шт.	Основне обладнання ГВС							
		16K20T1		2P135Ф2		...		5350A	
		$t_0$ хв	$T_0$ год	$t_0$ хв	$T_0$ год	$t_0$ хв	$T_0$ год	$t_0$ хв	$T_0$ год
01	10000	2,5	416	—	—	...	...	4,8	800
02	20000	2,7	900	1,2	400	...	...	—	—
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$n$	10000	3,5	583	0,6	1000	...	...	6,0	1000
$\sum_{i=1}^n N_i$	300000	—	7500	—	2500	—	...	—	12000
$\varphi$		1,65		1,54		...		1,84	
Сумарна верстатомісткість, год		12375		3850		...		22080	

Оптимальний обсяг виробничої партії визначають з умов забезпечення найменших річних витрат на виробництво та зберігання деталей. Загальні річні витрати  $C$  складаються з витрат на підготовку виробництва, на виробництво та на зберігання деталей (рис. 6.1):

$$C = \frac{N}{P} A + \omega N + P \frac{q}{2},$$

де  $P$  — обсяг виробничої партії;  $N$  — річний обсяг випуску деталей одного типорозміру;  $A$  — витрати на підготовку виробництва однієї виробничої партії;  $q$  — питомі витрати на зберігання однієї деталі.

Аналіз наведеного виразу свідчить, що витрати на підготовку виробництва однієї виробничої партії не залежать від обсягу цієї партії.

Остання складова виразу для загальних річних витрат  $P \frac{q}{2}$  — це витрати на зберігання деталей на складі. Кількість деталей одного типорозміру, що постійно перебуває на складі, визначають таким чином. При рівномірному використанні деталей, наприклад, передаванні їх на дільницю складання, швидкість використання

$$V_{\text{вик}} = \frac{P}{T_{\text{вик}}},$$

де  $T_{\text{вик}}$  — період повного використання партії з  $P$  деталей. Математичне сподівання кількості деталей, що одночасно зберігаються на складі, визначають як

$$M(P) = \frac{1}{T_{\text{вик}}} \int_0^{T_{\text{вик}}} V_{\text{вик}} t dt = \frac{1}{T_{\text{вик}}} V_{\text{вик}} \frac{t^2}{2} \Big|_0^{T_{\text{вик}}} = \frac{P}{2}.$$

Оптимальний обсяг виробничої партії  $P_0$  визначають з умови

$$\frac{dC}{dP_0} = -\frac{NA}{P_0^2} + \frac{q}{2} = 0,$$

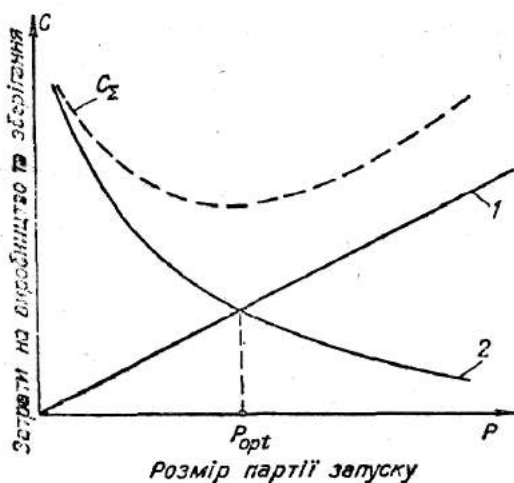


Рис. 6.1. Залежність сумарних витрат на виробництво та зберігання деталей від розміру виробничої партії:

1 — витрати на незавершене виробництво  $\frac{Pq}{2}$ ;

2 — витрати на підготовку виробництва  $\frac{P}{N} A$ .

звідки одержують

$$P_0 = \sqrt{\frac{2NA}{q}}.$$

Наближено обсяг виробничої партії розраховують за виразом

$$P_0 = \frac{Na}{253},$$

де  $N$  — річний обсяг випуску деталей одного типорозміру;  $a$  — кількість днів, протягом яких забезпечується запас деталей ( $a=1, 2, 5, 10, 20$ ); 253 — кількість робочих днів у році.

При обробці деталей партіями  $P$ , які переміщують до верстатів в уніфікованій тарі, кількість комірок у стелажі, які потрібно мати для зберігання деталей єдного типорозміру, визначають як

$$Z_{k,i} = K_H \frac{W \Phi_0}{\frac{N_i}{P_i} T_{p,i} m},$$

де  $T_{p,i}$  — середній час обробки партії  $P_i$  деталей  $i$ -го типорозміру на верстаті, год;  $m$  — кількість операцій під час обробки деталей;  $N_i$  — річний обсяг випуску деталей  $i$ -го типорозміру;  $K_H$  — коефіцієнт, що враховує нерівномірність надходження та збирання вантажів ( $K_H = 1,3-1,5$ );  $\Phi_0$  — ефективний річний фонд часу роботи ГВС;  $W$  — кількість верстатів у ГВС.

При щотижневому запуску деталей у виробництво кількість комірок у стелажі, необхідних для зберігання деталей  $i$ -го типорозміру, визначається як

$$Z_{k,i} = K_H \frac{W \Phi_0}{52 \cdot T_{pl} m}.$$

Кількість комірок у стелажах складу, які необхідні для зберігання деталей  $n$  типорозмірів,

$$Z_k = \sum_{i=1}^n Z_{k,i}.$$

Кількість стелажних секцій обчислюють за виразом

$$S_{ст} = \frac{Z_k}{N_s},$$

де  $N_s$  — кількість комірок в одній стелажній секції.

Якщо ГВС застосовується для обробки корпусних деталей, заготовки яких закріплюють на супутниках, то на складі необхідно мати добовий запас супутників. Кількість комірок у стелажах складу, які потрібні для зберігання супутників із заготовками та супутників без заготовок, що створюють резервний запас, визначають як

$$Z_k = K_H (Z_1 + Z_2),$$

де  $Z_1$  — кількість супутників із заготовками, що створюють добове завдання ГВС;  $Z_2$  — кількість супутників без заготовок. Звичайно величини  $Z_1$  та  $Z_2$  рівні, тобто  $Z_1 \cong Z_2$ . Величину визначають з виразу

$$Z_1 = \frac{W \Phi_0}{253 t_m},$$

де  $t_m$  — середній час обробки однієї заготовки, год.

Якщо у складі ГВМ є нагромаджувач на  $A$  позицій, то кількість супутників із заготовками, що зберігаються на складі, відповідно зменшується, а загальна кількість комірок визначається таким чином

$$Z_k = \left( \frac{Z_1}{A} + Z_2 \right) K_n \approx K_n Z_1 \left( \frac{1}{A} + 1 \right).$$

Кількість робіт-штабелерів  $S_{рш}$ , потрібних для обслуговування автоматизованого складу, визначають як

$$S_{рш} = \frac{T_{рш} K_n}{\Phi_0 K_n},$$

де  $T_{рш}$  — сумарний час роботи штабелера для переміщення річного обсягу вантажу, год;  $\Phi_0$  — ефективний річний фонд роботи штабелера, год;  $K^p$  — коефіцієнт використання штабелера, прийнятий 0,8;  $K_n = 1,3-1,5$  — коефіцієнт нерівномірності прибуття та використання вантажу.

Сумарний час роботи штабелера

$$T_{рш} = \frac{T_{ц} K_n Q_z}{60},$$

де  $T_{ц}$  — середня тривалість одного циклу, хв;  $K_n$  — число транспортних операцій при одному переміщенні;  $Q_z$  — сумарна річна кількість переміщеної тари, яка визначається за виразом

$$Q_z = Z_k \frac{253}{a},$$

де  $a$  — кількість днів, протягом яких поновлюється запас на складі.

Середня тривалість одного циклу завантаження—розвантаження тари

$$\bar{T}_{ц} = 2 \left( \frac{\bar{H}_s}{V_v} + \frac{\bar{L}_s}{L_r} \right) + 2t_b,$$

де  $\bar{H}_s$ ,  $\bar{L}_s$  — середня довжина вертикального та горизонтального переміщень, м;  $V_v$ ,  $V_r$  — швидкість вертикального та горизонтального переміщень; м/хв;  $t_b$  — тривалість завантаження—розвантаження тари, хв ( $t_b \approx 0,5 \dots 0,7$  хв).

Загальна кількість тари, потрібна для функціонування ГВС, визначається як

$$Q_z = 1,15 (Z_{скл} + Z_w + Z_{зп}),$$

де 1,15 — коефіцієнт, що враховує тару, яка ремонтується та перебуває у транспортній системі;  $Z_{скл}$  — тара, яка є на складі;

$Z_w$  — тара, яка є біля верстатів, на робочих місцях;  $Z_{зап}$  — тара для зберігання міжопераційних запасів.

Для ГВС з малою кількістю основного технологічного обладнання (до 6—8 одиниць) створюють одне робоче місце для налагодження інструменту. У разі більшої кількості основного обладнання створюють відділ інструментальної підготовки, який входить до складу АСІО.

У ГВС для обробки корпусних деталей використовують супутники. Встановлення заготовок на супутники та зняття з них оброблених деталей забезпечують робітники підготовчої ділянки. Кількість позицій завантаження—розвантаження виробів визначають за виразом

$$M_{\text{поз}} = \frac{W \Phi_0 K_3 t_b}{t_m \Phi_n},$$

де  $W$  — кількість верстатів з ЧПК у складі ГВС;  $\Phi_0$  — ефективний річний фонд часу роботи обладнання, год;  $K_3 = 0,85$  — коефіцієнт завантаження верстатів;  $t_b$  — середній час зняття деталі та встановлення заготовки, хв;  $t_m$  — середній час обробки деталі на верстаті, хв;  $\Phi_n$  — ефективний фонд часу роботи позиції завантаження—розвантаження, год.

## 6.2. ОПЕРАТИВНО-ВИРОБНИЧЕ ПЛАНУВАННЯ ГАВ

Організація ГАВ вимагає розв'язання задач планування та обліку переміщення виробів у ГВС. Для організації виробничого процесу у часі, тобто для впорядкування та оптимізації переміщень потоків виробів, застосовують оперативно-виробниче планування виробництва. Оптимальна послідовність виконання технологічних операцій над різними деталями групи забезпечує виготовлення групи деталей за найкоротший час або підвищення ступеня використання обладнання. Наявність у ГВС автоматизованої транспортно-нагромаджувальної системи для централізованого зберігання та оперативного постачання робочих місць деталями і технологічною оснасткою дає змогу розподіляти та перерозподіляти роботи між верстатами залежно від виробничої ситуації. Для розв'язання задач оперативно-виробничого планування користуються методами теорії розкладів.

Узагальнена задача оперативно-виробничого планування виглядає так. Нехай за найменший час необхідно завершити обробку  $n$  різних деталей. Кожну деталь  $i$  ( $i=1, n$ ) спочатку обробляють на верстаті  $a$  протягом часу  $t_{ai}$ , потім на верстаті  $b$  протягом часу  $t_{bi}$ . Тривалість обробки різних деталей на різних верстатах також



буде різною. Припустимо, що обсяг підготовчо-заклучних робіт не залежить від послідовності обробки. Крім цього, друга операція, яка виконується на верстаті *b*, не може початися, поки не завершиться перша операція на верстаті *a*.

Розглянемо цифровий приклад обробки деталей шести найме-

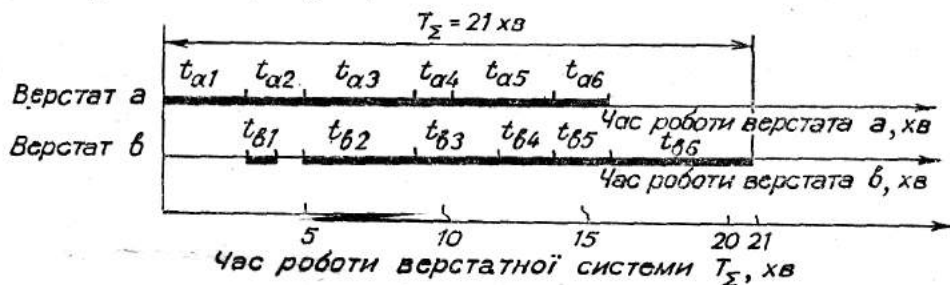
Таблиця 6.3

Тривалість обробки деталей, хв

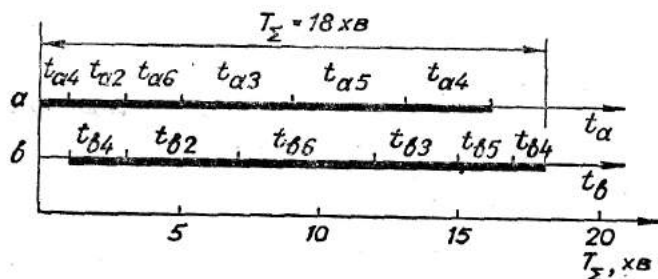
Верстат	Номер деталі					
	1	2	3	4	5	6
<i>a</i>	3	2	4	1	4	2
<i>b</i>	1	4	3	2	2	5

нувань ( $n=6$ ) послідовно на двох верстатах (*a*, *b*). Тривалість обробки кожної деталі на кожному з верстатів наведена у табл. 6.3.

Можливі варіанти послідовності обробки деталей зручно зображати графічно за допомогою так званих діаграм Гантта (рис. 6.2, *a*). На такій діаграмі кожному з верстатів відводять свою паралельну пряму, вздовж якої відкладають тривалість обробки кожної деталі на цьому верстаті.



*a*



*б*

Рис. 6.2. Діаграми Гантта для обробки шести деталей на двох верстатах: *a* — випадкова; *б* — оптимальна послідовність обробки.

Обробку  $n$  деталей оптимізують визначенням такої послідовності запуску їх у роботу, яка забезпечить найменший сумарний час їхньої обробки. Така задача може бути розв'язана повним або частковим перебиранням варіантів, а також наближеними евристичними методами.

Застосування методу повного перебирання варіантів забезпечує точне розв'язання задачі, але вимагає значних витрат машинного часу. Кількість можливих варіантів послідовності обробки  $n$  різних деталей на  $W$  верстатах визначається як

$$A = \prod_{i=1}^W n_i!$$

Для деталей, тривалість обробки яких наведена у табл. 6.3, кількість варіантів обробки

$$A = 6! \cdot 6! = 518400.$$

Оскільки кількість допустимих варіантів обробки завжди менша від кількості можливих варіантів внаслідок різноманітних обмежень на послідовність виконання операцій (технологічні, організаційні тощо), то неперспективні варіанти відсіюють на початкових і проміжних етапах розв'язання задачі. Застосування методів часткового перебирання варіантів значно прискорює розв'язання задачі на ЕОМ.

Найпоширенішими у розв'язанні задач оперативно-виробничого планування є наближені евристичні методи, що ґрунтуються на використанні переліку правил переважання. Ці правила є результатом попереднього виробничого досвіду.

Сформулюємо приблизний перелік правил переважання, наприклад, для розв'язання вищенаведеної задачі.

1. Спочатку обробляють деталі, в яких обробка на верстаті  $a$  коротша, ніж обробка на верстаті  $b$ , тобто

$$t_{ai} < t_{bi}.$$

2. Деталі, відібрані за правилом 1, обробляють у порядку зростання тривалості обробки на верстаті  $a$ .

3. Решту деталей обробляють у порядку зменшення  $t_{bi}$ .

Застосувавши ці правила, одержимо послідовність обробки деталей, яка описується відповідною діаграмою Гантта (див. рис. 6.2, б). Оптимізація послідовності їхньої обробки дає змогу зменшити сумарний час обробки з 21 до 18 хв, тобто на 15%.

Описану методику оптимізації поштучної обробки деталей використовують для оптимізації послідовності обробки партій деталей. При цьому у вихідних даних вказують час обробки відповідної партії деталей з урахуванням витрат часу на переналагоджен-

ня верстата для її обробки. Оскільки в умовах ГАВ маршрути обробки різних деталей відрізняються один від одного як кількістю, так і складом технологічних операцій, то вихідні дані задачі оперативного-виробничого планування відповідно доповнюють. Нехай задані  $n$  типів деталей ( $j=1, n$ ), обробка кожної з яких складається з  $l$  операцій ( $l=1, L$ ), що здійснюється на  $m$  верстатах ( $q=1, m$ ). Необхідно визначити таку послідовність подавання партій деталей на обробку, яка забезпечить оптимальне значення вибраної цільової функції (найменший час обробки, найбільше завантаження обладнання тощо) при виконанні таких умов:

— усі технологічні операції для кожної деталі виконуються відповідно до технологічного маршруту, тобто в залежній послідовності;

— на кожному верстаті одночасно обробляється тільки одна партія деталей;

— кожна партія деталей обробляється одночасно тільки на одному верстаті;

— кожна партієоперація здійснюється на верстаті без перерви.

Вихідні дані для оперативного-виробничого планування задають у вигляді двох матричних масивів: матриці технологічних маршрутів  $Q[q_{jl}]$  і матриці трудомісткостей  $T[t_{jl}]$ .

Матриця технологічних маршрутів набирає вигляду

$$Q[q_{jl}] = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1l} & \dots & q_{1L} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2l} & \dots & q_{2L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{j1} & q_{j2} & q_{jl} & \dots & q_{jL} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nl} & \dots & q_{nL} \end{pmatrix},$$

де  $q_{jl}$  — номер верстата, на якому здійснюють  $l$ -ту операцію над  $j$ -ю деталлю, тобто  $jl$ -ту партієоперацію;  $j=1, n$  — номер деталі;  $l=1, L$  — номер операції.

Матриця трудомісткостей має таку саму розмірність і структуру, однак в її комірках замість номера верстата записують тривалість здійснення відповідних партієоперацій:

$$T[t_{jl}] = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1l} & \dots & t_{1L} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2l} & \dots & t_{2L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{j1} & t_{j2} & \dots & t_{jl} & \dots & t_{jL} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{n1} & t_{n2} & \dots & t_{nl} & \dots & t_{nL} \end{pmatrix},$$

де  $t_{jl}$  — тривалість здійснення  $jl$ -ї партієоперації.

Вихідні дані задачі оптимізації послідовності обробки, наприклад, двох партій деталей ( $n=2$ ) на двох верстатах ( $m=2$ ), при технологічному маршруті, що містить три операції ( $L=3$ ), наведені у табл. 6.4 і 6.5.

Таблиці 6.4 та 6.5 є матрицями вихідних даних — матрицею технологічних маршрутів та матрицею трудомісткостей:

$$Q = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 2 \end{vmatrix}, \quad T = \begin{vmatrix} 4 & 4 & 4 \\ 5 & 5 & 2 \end{vmatrix} \text{ (год).}$$

Таблиця 6.4

Номер верстата,  
що здійснює партієоперацію

Номер деталі	Номер операції		
	1	2	3
1	1	2	1
2	2	1	2

Таблиця 6.5

Трудомісткість здійснення  
партієоперації, год

Номер деталі	Номер операції		
	1	2	3
1	4	4	4
2	5	5	2

Діаграма Гантта, яка описує роботу верстатів 1, 2, подана на рис. 6.3.

Оптимальну послідовність обробки партій деталей визначають за допомогою правил переважання. При цьому припускають, що

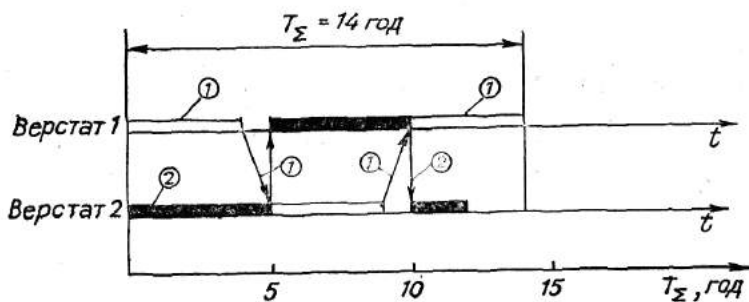


Рис. 6.3. Діаграма Гантта для обробки двох партій деталей на двох верстатах.

верстати під час обробки партії деталей з ладу не виходять, тривалість їх переналагодження входить у загальну трудомісткість виконання відповідної партієоперації. Для визначення оптимальної послідовності подавання на обробку партій деталей в умовах ГАВ доцільно використати такий перелік правил переважання.

1. Для обробки вибирають партію деталей, які пройшли всі попередні операції.

2. Якщо таких партій виявиться декілька, то для обробки вибирають партію деталей, над якими здійснено найбільше технологічних операцій.

3. Якщо, згідно з правилом 2, таких партій виявлено декілька, то для обробки вибирають партію деталей, яка має найменший час обробки.

4. Якщо, згідно з правилом 3, таких партій виявиться декілька, то для обробки вибирають таку, яка має найменшу тривалість наступної партієоперації.

5. Якщо, згідно з правилом 4, таких партій деталей виявиться декілька, то в обробку відправляють будь-яку з них з однаковою ймовірністю.

Цей перелік правил не є універсальним. У конкретних виробничих умовах правила вдосконалюються відповідно до виробничого досвіду експлуатації ГВС.

### 6.3. ПРОДУКТИВНІСТЬ ГВС

Продуктивність ГВС та її технологічного обладнання визначається обсягом продукції, що випускається за одиницю часу. Оскільки ГВС за один робочий цикл видає одиницю продукції, то її продуктивність доцільно визначити як кількість деталей, випущених за одиницю часу.

Однак під час визначення продуктивності слід враховувати, що періоди безперебійної роботи ГВС чергуються з періодами, коли виробнича система простоє з тих чи інших причин. Розглянемо процес функціонування токарного РТК, наприклад, протягом робочої зміни. Відкладемо на діаграмі роботи РТК (рис. 6.4) кількість оброблених деталей (у вертикальному напрямі) та час його роботи (у горизонтальному напрямі). На діаграмі прийняті такі позначення:  $\theta(z_1)$  — тривалість обробки першої партії деталей;  $\theta(z_2)$  — тривалість обробки другої партії деталей;  $z_1$  та  $z_2$  — дійсна кількість оброблених деталей першого та другого типорозмірів;  $z_1^T$  та  $z_2^T$  — теоретично можлива кількість оброблених деталей першого та другого типорозмірів за умови відсутності простоїв РТК;  $\theta_{п1}$  — тривалість налагодження РТК на обробку першої партії деталей;  $\theta_{п2}$  — тривалість заміни інструмента, що вийшов із ладу;  $\theta_{п3}$  — тривалість очікування на підвезення заготовок;  $\theta_{п4}$  — тривалість очікування оператора;  $\theta_{п5}$  — тривалість переналагодження РТК на обробку другої партії деталей;  $\theta_{п6}$ — $\theta_{п9}$  — тривалість вимірювання обробленої поверхні, коригування положення зношеного інструмента тощо. Внаслідок наявності перелічених простоїв, РТК замість  $z_1^T + z_2^T$  деталей обробить  $z_1 + z_2$  деталей. Очевидно, що для визначення дійсної продуктивності ви-

робничої системи необхідно врахувати втрати, пов'язані з різноманітними видами її простоїв.

Виходячи з наведеного прикладу, визначаємо, що за розглянутий період роботи РТК по чергово перебував в одному із двох можливих станів:

- безперервної роботи, сумарна тривалість якої становить  $\theta_p$ ;
- простоїв, сумарна тривалість яких —  $\theta_{\pi}$ .

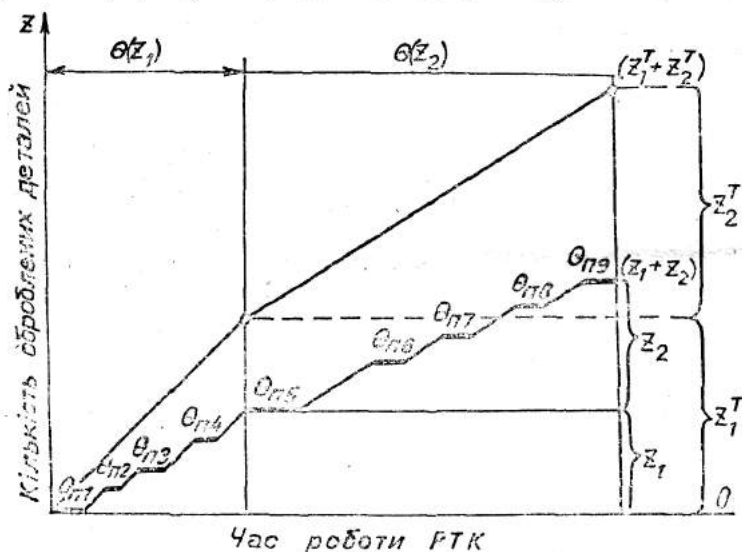


Рис. 6.4. Діаграма функціонування РТК.

Очевидно, що при цьому витримується співвідношення

$$\theta = \theta_p = + \theta_{\pi},$$

де  $\theta$  — дійсний фонд часу роботи виробничої системи, в який не входять ні перерви на обід, ні святкові та вихідні дні, ні нічні зміни, якщо вони не заплановані, ні час планово-попереджувального ремонту (табл. 6.6).

Таблиця 6.6

Дійсний річний фонд часу виробничої системи

Число змін	Номінальний річний фонд часу, год	Затрати часу на планово-попереджувальний ремонт, %	Час простою при планово-попереджувальному ремонті, год	Дійсний річний фонд часу, год
Дві зміни	4140	10%	415	3725
Три зміни	6210	12%	745	5465
Три зміни без вихідних та свят	8760	15%	1314	7446

Тривалість безперебійної роботи безпосередньо визначає кількість випущених виробів:

$$\theta_p = zT,$$

де  $T$  — тривалість робочого циклу.

Тривалість простоїв визначити складніше, оскільки вони зумовлені різними причинами. Для зручності аналізу простої поділяють на три види: власні тривалістю  $\theta_{вл}$ , організаційно-технічні тривалістю  $\theta_{орг-т}$  та переналагоджувальні тривалістю  $\theta_{пер}$ .

До власних простоїв належать ті, що викликані внутрішніми стосовно до виробничої системи причинами, наприклад, заміною зламаного інструмента, ремонтом та регулюванням механізмів, видаленням стружки із зони різання тощо.

Організаційно-технічні простої зумовлені зовнішніми стосовно до виробничої системи причинами, наприклад, відсутністю заготовок, енергії, оператора, керуючої програми тощо.

Переналагоджувальні простої пов'язані з витратами часу під час переходу виробничої системи з випуску одного виду виробів на інший. Переналагоджування РТК, наприклад, включає заміну затискного пристрою, інструмента, КП, захватного пристрою, а також їх регулювання та налагодження.

Загалом можна вважати, що

$$\theta_p = \theta_{вл} + \theta_{орг-т} + \theta_{пер}.$$

Дійсну продуктивність виробничої системи визначаємо з урахуванням всіх видів витрат через простої:

$$\begin{aligned} Q_d &= \frac{z}{\theta} = \frac{z}{T_z + \theta_{вл} + \theta_{орг-т} + \theta_{пер}} = \frac{1}{T + \frac{\theta_{вл}}{z} + \frac{\theta_{орг-т}}{z} + \frac{\theta_{пер}}{z}} = \\ &= \frac{1}{T + \frac{\theta_{вл}}{\theta_p} T + \frac{\theta_{орг-т}}{\theta_p} T + \frac{\theta_{пер}}{\theta_p} T} = \frac{1}{T} \eta_{вик}. \end{aligned}$$

Коефіцієнт використання  $\eta_{вик}$  визначає частку дійсного фонду часу, протягом якого виробнича система дійсно працює і випускає продукцію:

$$\eta_{вик} = \frac{1}{1 + \frac{\theta_{вл}}{\theta_p} + \frac{\theta_{орг-т}}{\theta_p} + \frac{\theta_{пер}}{\theta_p}}.$$

Значення цього коефіцієнта обчислюють за допомогою аналізу роботи виробничої системи протягом певного часу (рис. 6.5).



Визначення продуктивності ГВС ускладнюється непостійністю її робочого циклу, що пов'язане з різною тривалістю обробки різних деталей. У цьому випадку визначають середню тривалість робочого циклу  $T_m$  за допомогою знаходження середньозважених значень його складових. Нехай ГВС обробляє  $n$  типорозмірів деталей, обсяг випуску деталей  $i$ -го типорозміру дорівнює  $N_i$ . Для обробки деталі  $i$ -го типорозміру необхідно  $S_i$  переходів, які виконують із використанням  $A_i$  різальних інструментів. Тоді середнє

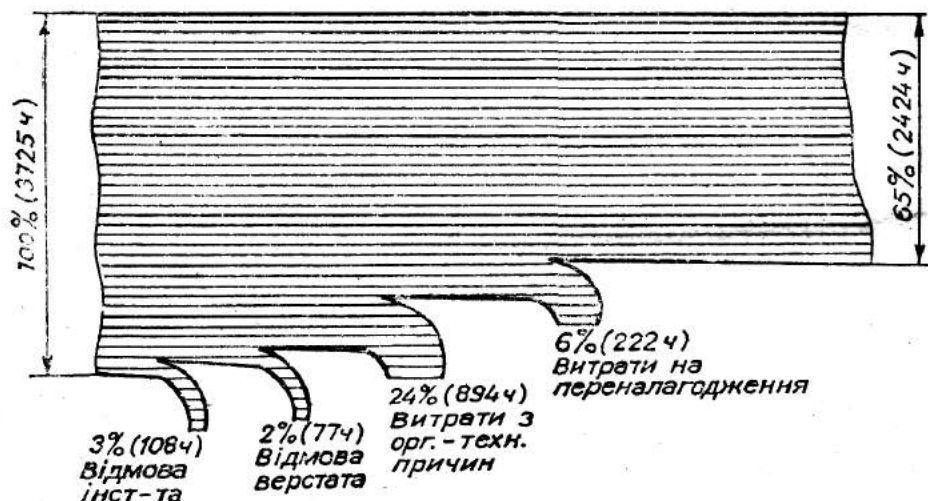


Рис. 6.5. Баланс витрат дійсного фонду часу РТК.

число переходів  $S_m$ , необхідне для обробки  $n$  типорозмірів деталей, визначається як

$$S_m = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

Аналогічно визначаємо середнє число різальних інструментів

$$A_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

Середній час здійснення одного переходу

$$t_{p1}^m = \frac{N_1 \sum_{j=1}^{S_1} t_{1j} + N_2 \sum_{j=1}^{S_2} t_{2j} + \dots + N_n \sum_{j=1}^{S_n} t_{nj}}{\sum_{i=1}^n N_i \cdot S_i},$$

де  $t_{ij}$  — тривалість здійснення  $j$ -го переходу під час обробки деталі  $i$ -го типорозміру. Тоді середньозважений час виконання технологічних переходів

$$t_p^m = t_{p1}^m \cdot S_m.$$

Середньозважений допоміжний час під час обробки деталей  $n$  типорозмірів

$$t_b = \frac{\sum_{i=1}^n t_{b,i} N_i}{\sum_{i=1}^n N_i},$$

де  $t_{b,i}$  — тривалість здійснення допоміжних дій під час обробки деталей  $i$ -го типорозміру;

$$t_{b,i} = t_{b1,i} S_i + t_{b2,i} A_i + t_{b3,i},$$

де  $t_{b1}$ ,  $t_{b2}$ ,  $t_{b3}$  — середньостатистичні значення тривалості заміни координати, заміни інструмента та завантаження—розвантаження виробів відповідно.

Остаточно середньозважена тривалість робочого циклу для обробки деталей  $n$  типорозмірів

$$T_m = t_p^m + t_b^m = t_{п}^m + t_{вз}^m.$$

Значенням середньої тривалості робочого циклу  $T_m$  користуються для визначення продуктивності ГВС:

$$Q_{гвс} = \frac{1}{T_m} \eta_{внк}.$$

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як визначити верстатомісткість обробки групи деталей?
2. Як визначити кількість основного технологічного обладнання у складі ГВС?
3. Від чого залежить місткість складу, що входить у ГВС?

4. Як визначити число комірок у стелажі складу?
5. З якою метою виконують оперативно-виробничі планування роботи ГВС?
6. Складіть діаграму Гантта та виконайте оптимізацію послідовності обробки п'яти деталей на двох верстатах, матриця трудомісткостей для яких має вигляд

$$T = \begin{vmatrix} 7 & 2 & 5 & 4 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 6 & 6 \end{vmatrix} / \text{хв./}$$

7. Складіть діаграму Гантта для обробки двох партій деталей на двох верстатах при технологічних маршрутах, що мають три операції. Матриця технологічних маршрутів має вигляд

$$Q = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 2 \end{vmatrix},$$

а матриця трудомісткостей (для партії)

$$T = \begin{vmatrix} 6 & 2 & 8 \\ 1 & 9 & 6 \end{vmatrix} / \text{год./}$$

8. Дайте визначення коефіцієнта використання ГВС.
9. Як визначають середню тривалість робочого циклу під час обробки групи деталей?
10. Дайте визначення середньозваженої тривалості робочого циклу.

\* \* \*

Аналіз основних етапів проектування технології виробництва деталей машин для умов дрібносерійного та серійного автоматизованого виробництва показує необхідність нового підходу до проектування технологічних процесів для ГВС.

Технологія ГАВ має свою специфіку, яка визначається потребою якнайповнішого використання технологічних можливостей верстатів з ЧПК, інтегрованих у гнучкі виробничі системи. Гнучка автоматизація впливає на всі елементи машинобудівного виробництва, змінюючи:

- конструкцію деталей та вузлів машин;
- структуру технологічного процесу механічної обробки та його елементів;
- організацію виробництва;
- конструкцію технологічного та периферійного обладнання;
- складальні та контрольні процеси.

Слід відзначити три головних напрями сучасного розвитку та вдосконалення гнучких виробничих систем.

1. **Одержання високоточних заготовок**, тобто розробка технології одержання заготовок точної форми зі зниженими припусками на обробку. У цьому випадку можливе створення ГВС, які повністю забезпечать чорнову та чистову обробку деталей з найвищою концентрацією обробки. Перспективним є одержання металопорошкових заготовок, форма яких максимально наближена до готових деталей.

2. **Підвищення ефективності механічної обробки деталей різанням**, що можна досягнути розробкою нових інструментальних матеріалів, які дають змогу збільшити швидкість різання у 10—15 разів порівняно з традиційною обробкою. Чистове фрезерування зі швидкістю різання 600...800 м/хв забезпечує одержання поверхонь, шорсткість яких нижча від шорсткості поверхонь, одержаних шліфуванням (фрези із пластинками ельбору чи твердого сплаву, покриті карбідом титану). У цьому випадку підвищується концентрація обробки шляхом вилучення шліфувальної операції. Аналогічні режими різання застосовують при токарній обробці, що дає змогу уникнути круглошліфувальних операцій.

Використання високих швидкостей різання (надвисокошвидкісна обробка) є новою тенденцією у ГАВ, завдяки якій зростають швидкості обертання шпинделів у нових модифікаціях верстатів з ЧПК. Сучасні токарні верстати з ЧПК забезпечують частоту обертання шпинделя 4000...6000 хв<sup>-1</sup>, фрезерувальні — 8000 хв<sup>-1</sup>, свердлильні — 12000...30000 хв<sup>-1</sup>.

3. **Підвищення комплексності ГВС**, що здійснюється шляхом розширення областей машинобудівного виробництва, в яких застосовуються методи гнучкої автоматизації. Автоматизація заготівельних і допоміжних операцій найуспішніше реалізується за допомогою ПР, які виконують складні зварювальні та газорізальні операції під час виготовлення заготовок, а також складання, очистку та фарбування вузлів. Автоматизована обробка складних штампів, пресформ, фільтрів та інших деталей із твердих сплавів і гартованої сталі здійснюється на електроерозійних верстатах з ЧПК, які дають змогу одержувати за допомогою простого електроду складні поверхні.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

---

- Балакишин Б. С.* Основы технологии машиностроения. М., 1969. 560 с.
- Васильев В. Н.* Организация, управление и экономика гибкого интегрированного производства в машиностроении. М., 1986. 312 с.
- Гельгафт Ю. И.* Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения. М., 1986. 271 с.
- Гибкое автоматическое производство / Под общ. ред. Майорова С. А., Орловского Г. В., Халкиопова С. Н. Л., 1985. 454 с.*
- Гусев И. Т., Елисейев В. Г., Маслов А. А.* Устройство числового программного управления. М., 1986. 295 с.
- Дерябин А. Л.* Программирование технологических процессов на станках с ЧПУ. М., 1984. 224 с.
- Дерябин А. Л., Эстерзон М. А.* Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ и в ГВС. М., 1989. 288 с.
- Киселев Г. А., Гуленков В. Ю.* Гибкие производственные системы в машиностроении. М., 1987. 288 с.
- Ковшов А. Н.* Технология машиностроения. М., 1987. 318 с.
- Козырев Ю. Г.* Промышленные работы: Справочник. М., 1983. 374 с.
- Косилова А. Д., Мещеряков Р. К., Калинин М. А.* Точность обработки заготовок и припуски в машиностроении: Справ. технолога. М., 1976. 288 с.
- Курсовое проектирование по технологии машиностроения / Под ред. Горбачевича А. Ф. Минск, 1975. 288 с.*
- Маталич А. А.* Технология машиностроения. Л., 1985. 512 с.
- Матвеев В. В. и др.* Размерный анализ технологических процессов. М., 1982. 262 с.
- Медвідь М. В., Шабайкович В. А.* Теоретичні основи технології машинобудування. Львів, 1976. 299 с.
- Металлорежущие станки и автоматы / Под ред. Пронникова А. С. М., 1981. 479 с.*
- Митрофанов С. П.* Групповая технология машиностроительного производства. В 2 т. Л., 1983. Т. 1. 407 с.
- Обработка металлов резанием: Справочник технолога / Под общ. ред. Панова А. А. М., 1988. 736 с.*
- Проектирование технологии / Под общ. ред. Соломенцева Ю. М. М., 1990. 416 с.*
- Пальчевский Б. А., Пеклич З. И., Гонтаревский С. И., Ступницкий В. В.* Обеспечение рационального использования оборудования ГПС // Станки и инструмент. 1989. № 11. С. 4—6.
- Промышленные роботы: Внедрение и эффективность / Пер. с яп. Асан К. и др. М., 1987. 384 с.*
- Пуховский Е. С.* Технологические основы гибкого автоматизированного производства. К., 1989. 240 с.

*Размерный анализ конструкций* / Под ред. Бондаренко С. Г. К., 1989. 150 с.  
*Роботизированные технологические комплексы и гибкие производственные системы в машиностроении: Альбом схем и чертежей* / Под общ. ред. Соломенцева Ю. М. М., 1989. 189 с.

*Руденко П. А.* Проектирование технологических процессов в машиностроении. К., 1985. 255 с.

*Соломенцев Ю. М., Кутин А. А., Шептунов С. А.* Оценка гибкости автоматизированной станочной системы // Вест. машиностроения. 1984. № 1. С. 38—40.

*Справочник технолога-машиностроителя* / Под ред. Косиловой А. Г., Мещерякова Р. К.: В 2 т. М., 1985.

*Стискин Г. М., Гаевский В. Д.* Токарные станки с оперативным программным управлением. К., 1989. 176 с.

*Черпаков Б. И.* Эксплуатация автоматических линий. М., 1978. 248 с.

*Эксплуатация многоцелевых станков* / Под общ. ред. Федорца В. А. К., 1988. 176 с.

*Пономарев В. М., Лескин А. А., Смирнов А. В.* Принципы автоматизированного проектирования технологических структур гибких автоматических производств // Системы автоматизации в науке и пр-ве. М., 1984. С. 209—217.

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

---

- АСВВ — автоматизована система видалення відходів  
АСІО — автоматизована система інструментального обслуговування  
АСКТП — автоматизована система керування технологічним процесом  
АСНД — автоматизована система наукових досліджень  
АТСС — автоматизована транспортно-складська система  
АСТПВ — автоматизована система технологічної підготовки виробництва  
ГАВ — гнучке автоматизоване виробництво  
ГАД — гнучка автоматизована ділянка  
ГАЛ — гнучка автоматизована лінія  
ГАЦ — гнучкий автоматизований цех  
ГВМ — гнучкий виробничий модуль  
ГВС — гнучка виробнича система  
ЕОМ — електронно-обчислювальна машина  
КП — керуюча програма обробки  
МОР — мастильно-охолоджувальна рідина  
РТК — роботизований технологічний комплекс  
РШ — робот-штабелер  
ПР — промисловий робот  
ПЧПК — пристрій числового програмного керування  
САК — система автоматизованого контролю  
СТ РЕВ — стандарт Ради Економічної Взаємодопомоги  
СЧПК — система числового програмного керування  
ТНС — транспортно-накопичувальна система  
ЧПК — числове програмне керування  
ЦПК — циклове програмне керування



# ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ГНУЧКОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ЗАСОБІВ ЙОГО АВТОМАТИЗАЦІЇ</b>	<b>4</b>
1.1. Особливості автоматизації багатомоделного виробництва	4
1.2. Гнучкі виробничі системи	10
1.3. Технологічне обладнання з ЧПК	14
1.4. Гнучкі виробничі модулі, їх класифікація	17
1.5. Роботизовані технологічні комплекси	26
1.6. Напрями вдосконалення технологічного обладнання ГВС	36
1.7. Автоматизована транспортно-складська система	39
1.8. Автоматизована система інструментального обслуговування	43
1.9. Система автоматизованого контролю	43
1.10. Автоматизована система видалення відходів	44
<b>Глава 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ В УМОВАХ ГАВ</b>	<b>46</b>
2.1. Особливості механічної обробки	46
2.2. Етапи розробки технологічного процесу	50
2.3. Підбір та групування деталей	51
2.4. Технологічність виробів	58
2.5. Технологічний аналіз креслення деталі	65
2.6. Вибір технологічних баз та визначення послідовності обробки поверхонь	72
2.7. Розмірний аналіз технологічного процесу	78
2.8. Вибір різального інструменту	87
2.9. Особливості нормування операцій	88
<b>Глава 3. СКЛАДАННЯ КЕРУЮЧИХ ПРОГРАМ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК</b>	<b>91</b>
3.1. Основи програмного забезпечення механічної обробки	91
3.2. Системи координат	92
3.3. Зв'язок між системами координат деталі та верстата	94
3.4. Кодування інформації	96
3.5. Програмування токарної обробки	103
3.6. Програмування фрезерно-свердлильно-розточувальної обробки	112
<b>Глава 4. ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ, ЩО Є ТІЛАМИ ОБЕРТАННЯ В УМОВАХ ГАВ</b>	<b>119</b>
4.1. Технічні вимоги до деталей, що є тілами обертання, та заготовок	119

4.2.	Особливості токарної обробки деталей, що є тілами обертання, на верстатах з ЧПК . . . . .	120
4.3.	Обробка валів в умовах ГАВ . . . . .	125
4.4.	Технологічний процес автоматизованої обробки фланця . . . . .	129
Глава 5.	ОБРОБКА КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ В УМОВАХ ГАВ . . . . .	154
5.1.	Технічні вимоги до корпусних деталей і заготовок . . . . .	154
5.2.	Особливості обробки корпусних деталей на багатоцільових верстатах . . . . .	156
5.3.	Вибір баз та складання технологічного маршруту . . . . .	162
5.4.	Типова структура фрезерно-свердлильно-розточувальної операції . . . . .	164
5.5.	Проектування технології автоматизованої обробки кронштейна . . . . .	170
5.6.	Обробка корпусних деталей на взаємозв'язаному обладнанні . . . . .	179
Глава 6.	ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ГВС . . . . .	184
6.1.	Визначення структури ГВС . . . . .	184
6.2.	Оперативно-виробниче планування ГАВ . . . . .	190
6.3.	Продуктивність ГВС . . . . .	195
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ . . . . .	202
	ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ . . . . .	204

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

ПАЛЬЧЕВСЬКИЙ Богдан Олексійович

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ  
ГНУЧКОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО  
ВИРОБНИЦТВА**

Редактор Е. А. Главацька  
Художній редактор Е. А. Каменщик  
Технічний редактор І. Г. Федас  
Коректор М. Т. Ломеха

Здано на складання 22.03.93. Підп. до друку  
15.12.93. Формат 60×84<sup>1/8</sup>. Папір друк. Літ. гарн.  
Вис. друк. Умовн. друк. арк. 12,09. Умовн. фарб.-  
відб. 12,43. Обл.-вид. арк. 13,4. Вид. № 19.  
Зам. № 2326.

Видавництво «Світ»  
при Львівському держуніверситеті.  
290000 Львів, вул. Університетська, 1.

Львівська обласна книжкова друкарня.  
290000 Львів, вул. Стефаника, 11.

**Пальчевський Б. О.**

**П14** Технологічні основи гнучкого автоматизованого виробництва: Навч. посібник. — Львів: Світ, 1994. — 208 с.: іл.  
ISBN 5-7773-0138-X

У навчальному посібнику описана методика проектування технологічного процесу механічної обробки деталей машин в умовах багатоменклатурного автоматизованого виробництва, що реалізується на базі верстатів із числовим програмним керуванням. Викладені питання вибору баз, визначення послідовності обробки поверхонь за допомогою матриць передування, технологічного розмірного аналізу, складання керуючих програм для основних типів верстатів з числовим програмним керуванням, оперативно-календарного планування, проектування роботизованих технологічних комплексів тощо. Уміщена значна кількість прикладів, що полегшує використання матеріалу в курсовому та дипломному проектуванні з технології автоматизованого виробництва.

Для студентів машинобудівного фаху вузів. Може бути корисна для інженерно-технічних працівників, які займаються питаннями технології автоматизованого виробництва.

**П** 240200000—007  
225—94 БЗ-9-7-93

**ББК 34.5—5я7**