

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ОДЕСЬКЕ ВІДДІЛЕННЯ ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ СИСТЕМНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСВІТИ**

**О.В. Якимов, В.С. Гусарев, О.О. Якимов,  
П.А. Лінчевський, Ф.В. Новіков, Г.В. Новіков, В.П. Ларшин**

# **ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ**

**Допущено Міністерством освіти і науки  
України як підручник для студентів  
вищих технічних навчальних закладів**

**Одеса, ОНПУ, 2005**

УДК 658.52.011.56:621.91.002(075)

**Технологія автоматизованого машинобудування: Підручник / О.В. Якимов, В.С. Гусарев, О.О. Якимов, П.А. Лінчевський, Ф.В. Новіков, Г.В. Новіков, В.П. Ларшин – Одеса: ОНПУ, 2005. – 410 с.**

У підручнику розглянуто питання технології автоматизованого машинобудування на основі прогресивних типових і групових методів. Показано технологічні можливості виготовлення деталей та сферу застосування роботизованого виробництва, багатоопераційних верстатів з ЧПУ та ГПС. Наведено вимоги, що ставляться до технологічності деталей, розглянуто діагностику режимів проектування й оптимізацію технологічних процесів, задачі та методи структурного, параметричного синтезу і принципи аналітичного описання автоматизованих систем, закони композицій агрегатних верстатів і автоматичних ліній, алгоритми функціонування РТК. Описано автоматизацію складальних процесів і типових технологій виготовлення валів, зубчастих коліс, важелів та корпусних деталей.

Призначений для студентів машинобудувальних спеціальностей 7.090202 и 7.090203 усіх форм навчання.

Іл. 126. Табл. 40. Бібліогр.: 64 назв.

ISBN 5-7763-2184-0

Рецензенти: Ю.М. Сухоруков, докт. техн. наук, професор  
В.Г. Лебедев, докт. техн. наук, професор  
О.М. Підкоритов, докт. техн. наук, професор

Підручник рекомендовано до видання Інститутом промислових технологій, дизайну і менеджменту (ІПТДМ) при ОНПУ і Одеським відділенням інженерної академії України

© Одеський Національний політехнічний університет, 2005

## ВСТУП

За час, який пройшов від першого до третього видання підручника "Технологія автоматизованого машинобудування", в технології сучасного машинобудівного виробництва відбулися значні зміни, пов'язані з новими формами організації багатомноменклатурного виробництва, функціонуючого в комп'ютерно - інтегрованій виробничій сфері.

В умовах ринкової економіки організація виробництва вимагає застосування комп'ютерних технологій і технологічного менеджменту при розробці інтегрованих і гнучких виробничих систем.

Головною одиницею технологічного обладнання гнучких виробничих систем, функціонуючих в умовах малолюдного і безлюдного виробництва, є гнучкий виробничий модуль - тобто автономно функціонуюча верстатна одиниця з автоматичним завантаженням і відвантаженням оброблених деталей, ріжучого інструмента і оснастки.

Розробка гнучких модулів у вигляді багатоцільових обробляючих верстатів дозволяє охопити класи деталей 71-74 всіх галузей промисловості головного і допоміжного виробництва і докорінно змінити методологію підходу до розробки технологічних процесів.

Суть цієї методології полягає у зменшенні місткості підготовчого етапу виробничого процесу за рахунок його багатокритеріальної оптимізації, яка полягає у визначенні ціни виготовленого виробу.

При обробці на багатоцільових верстатах, реалізуючих принцип максимальної концентрації операцій на одному верстаті при чорновій і чистовій обробці деталей, виконується відомий принцип сумісництва конструкторської, вимірювальної і установчої баз. В цьому випадку зникає необхідність в перерахунку розмірних ланцюгів при визначенні похибок від несумісності баз.

Впровадження комп'ютерних технологій у практику підготовки гнучких виробництв однозначно показало, що значним гальмом, яке не дає розвитку нових наукомістких технологій, є скрізь прийнятий в класичній технології емпіричний підхід на основі результатів експериментальних досліджень і досвіду, який історично склався на підприємстві.

Однак, при розробленні технологічних процесів для багатоцільових верстатів з'являються свої проблеми, пов'язані з багатоваріантністю технологічних процесів. В даному випадку можливе технологічне рішення може буди одержане тільки на основі математичного

моделювання, структурної і параметричної оптимізації. В цьому зв'язку курс технології машинобудування в новій редакції третього видання підручника включає дві частини: інформаційні основи технології машинобудування і правила прийняття технологічних рішень при проектуванні технологічних процесів і систем.

У підручнику значна увага приділяється питанням діагностики технологічних операцій, а також сучасним методам технологічного контролю на основі вбудованих спеціальних контрольно - вимірювальних систем, які дозволяють враховувати індивідуальні особливості елементів технологічної системи.

Третє видання підручника по курсу "Технологія автоматизованого машинобудування" ставить перед собою завдання підготувати студентів для розробки сучасних комп'ютерних технологій по виготовленню конкурентоздатної продукції з широким застосуванням гнучких виробничих систем.

Підручник складається з 11 глав.

У першій главі розглянуті питання, пов'язані з обробленням деталей на верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПУ).

Значна увага надається наладці цих верстатів і розробці керуючих програм. Розглянуті питання діагностики режимів різання, проектування і оптимізації технологічних процесів обробки деталей на верстатах з ЧПУ.

У другій главі розглянуті технологічні можливості багатоопераційних верстатів.

Третя глава розкриває технологічні можливості і області ефективного застосування виробничих роботів.

У четвертій главі розглядається принцип інтеграції автоматизованих технологій і керування багатоміністерним виробництвом. Розглянуто задачі і методи синтезу технологічних автоматизованих систем. Визначена область раціонального застосування технологічних автоматизованих систем. Наведені принципи аналітичного опису технологічних автоматизованих систем, розглянута структура і алгоритм функціонування РТК.

В сьомій главі показані особливості проектування технологічних операцій обробки деталей на агрегатних верстатах.

На конкретних прикладах з аналізом технологічних ланцюгів розглянуті принципи єдності і постійності баз.

Восьма глава присвячена питанням автоматизації складальних процесів. Тут розглянуті методи досягнення точності при автомати-

зованому складанні.

Для різних типів деталей виконано розмірний аналіз технологічних процесів. Розглянуті типові технологічні процеси виготовлення деталей.

В кінці підручника наведена загальна методологія розробки сучасних інтегрованих і гнучких виробничих систем на основі методології загальної теорії управління, яка охоплює з єдиних позицій підготовчу і виконавчу фази виробничого процесу з ціллю забезпечення не тільки якості і точності виробничого процесу, а також наперед заданої ціни виготовленого виробу і строки його виготовлення.

Розглянуті в підручнику питання розширюють кругозір студентів, дозволяють їм критично оцінювати існуючу технологію і виявляти напрямки інтенсифікації виробництва.

При вивченні курсу "Технологія автоматизованого машинобудування" студент одержує знання, необхідні для повсякденної творчої праці в галузі розробки високих комп'ютерних технологій.

При підготовці третього видання підручника застосовані останні досягнення вітчизняної і іноземної науки і техніки. Відображені перспективи розвитку технології машинобудування.

Технологія машинобудування, як прикладна наука, має велике значення в підготовці спеціалістів для машинобудівної промисловості. Вона озброює їх знаннями, необхідними для творчої діяльності по розробці прогресивної технології на базі технологічного менеджменту.

Матеріали, наведені у підручнику, дають студентам повну інформацію про нову методологію автоматизації для умов малолюдного і безлюдного виробництва.

Глави 1, 2, 3, 4 написані проф. Якімовим О.В.; 5, 6, 10 - доц. Гусаревим В.С.; 5 і 7 глави - докт. техн. наук Новіковим Ф.В.; 4 і 8 глави - доц. Якімовим О.О.; 9 глава - проф. Лінчевським П.А. і канд. техн. наук Новіковим Г. В.; 11 глава і вступ - проф. Ларшиним В.П.

## ГЛАВА 1

# ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ УПРАВЛІННЯМ

### 1.1. СУТЬ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАМНОГО УПРАВЛІННЯ ВЕРСТАТАМИ

На верстатах із ЧПУ з високою продуктивністю і точністю свердять, розточують, точать, фрезерують заготовку складних деталей.

Щоб під час обробки забезпечити виготовлення деталі правильної форми та потрібної точності розмірів, управляюча система верстата повинна мати вичерпну інформацію про те, коли та в якому порядку вступає в роботу інструмент, скільки обертів має шпиндель і яка для цього повинна бути подача. Ця вихідна інформація оформляється як програма. Програма складається на базі креслення та технологічного процесу обробки деталі.

Технологічна інформація, перетворювана у вигляді аналітичних залежностей, кодується на магнітну стрічку, дискету або перфокарту. Стрічка із записаною програмою пропускається через зчитувальний пристрій. Кожний отвір на стрічці подає електричний сигнал на вмикання приводу відповідного виконавчого механізму верстата. Інструмент або стіл з оброблюваною деталлю повинен вільно пересуватися.

На рис. 1 показано функціональну схему управління верстатом з ЧПУ. Структура комплексу з ЧПУ складається з трьох блоків, кожний з яких має своє призначення: блок управляючої програми (УП) А; пристрої ЧПУ, які реалізують основні функції управління виконавчими органами верстата Б, і об'єкт управління (верстат) В.

Матеріальні носії інформації в блоці управляючої програми УП розділяють на зовнішні та внутрішні програмоносії.

Зовнішні програмоносії: перфокарти, перфострічки, магнітні стрічки, магнітний дріт, магнітні барабани, диски та кіноплівка. Їх можна швидко замінювати, зберігати окремо від пристроїв ЧПУ, дублювати їх.

Внутрішні програмоносії: штекерні панелі, комутатори, електронно-променеві трубки та ін. Всі вони – невід'ємні елементи конкретного ЧПУ і конструктивно з ними пов'язані.

У верстатах з ЧПУ нижчих класів системне програмне забезпечення вводиться з перфострічки і управління здійснюється конкретним об'єктом.

У системах ЧПУ вищого рівня, коли забезпечується управління

групою об'єктів, системне програмне забезпечення вводиться по каналах зв'язку з ЕОМ верхнього рівня.

Пристрій ЧПУ реалізує цілий ряд функцій при управлінні верстатом (рис. 1). Наприклад, система управління приводами подач 2 визначає справжнє положення об'єкта, що переміщується, здійснює управління рухом за заданою програмою та за відповідними законами здійснює гальмування приводів руху виконавчих органів верстата.

Система управління приводом головного руху 3 здійснює вмикання й вимикання приводу головного руху, стабілізацію швидкості та управління кутом повороту як додатковою координатою.

Система коригування розміру інструмента 4 переносить системи координат, враховує фактичний радіус інструмента в процесі обробки, переміщує інструмент за еквідистантною запрограмованою траєкторією.

Система реалізації фіксованих циклів 5 сприяє скороченню

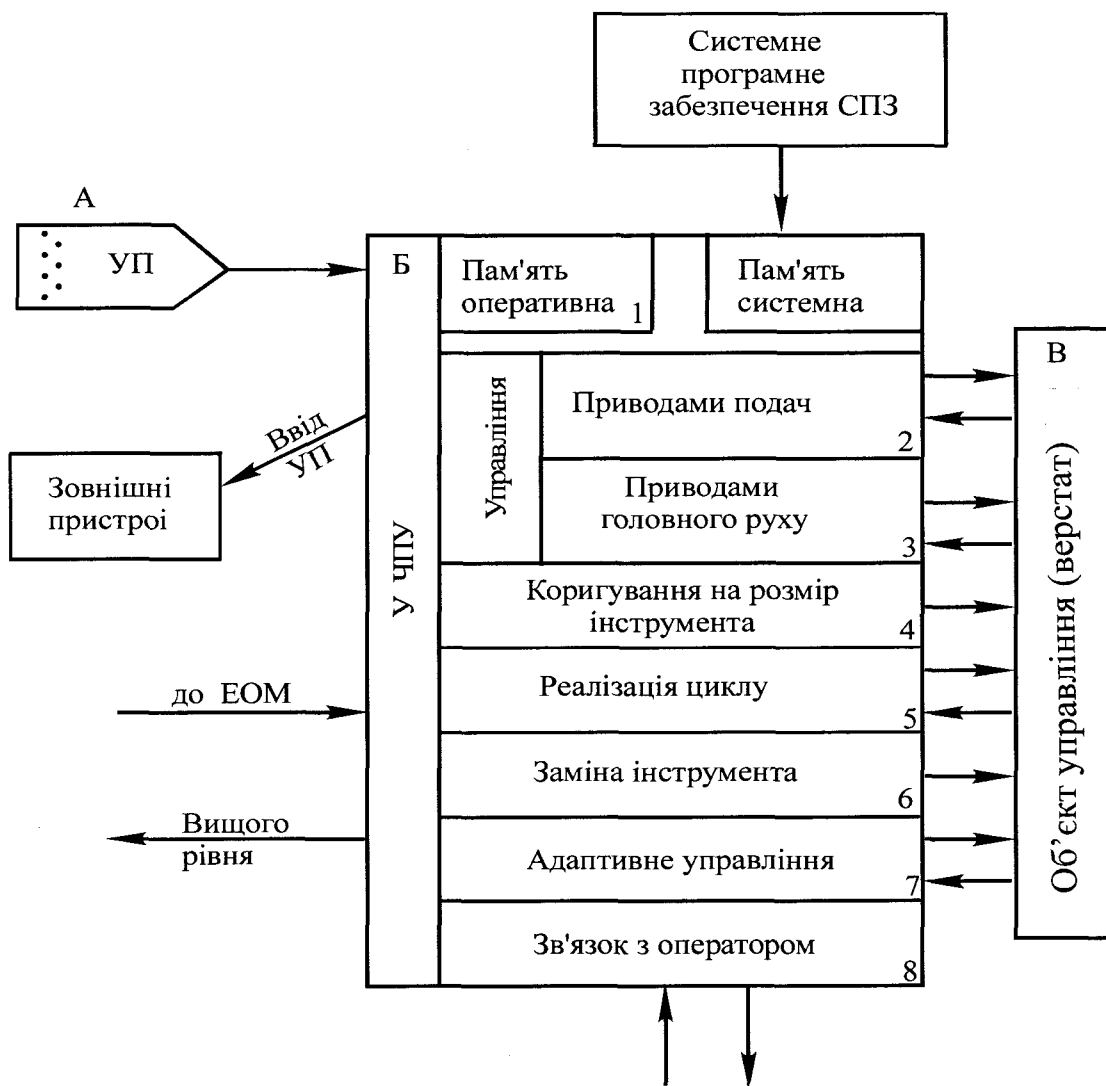


Рис. 1. Схема системи ЧПУ верстатом.

управляючої програми. Ці цикли у вигляді підпрограм заносяться до оперативної пам'яті 1 і в разі потреби багаторазово можуть повторюватися.

Система зміни інструмента б здійснює пошук магазину з потрібним інструментом і заміну відпрацьованого на новий.

За допомогою датчиків система адаптивного управління вимірює потужність, яка витрачається на різання, температуру, ступінь спрацювання інструмента, вимірювання приводу головного руху тощо.

Сигнали управління у вигляді електричних імпульсів надходять на крокові двигуни, які через ходові гвинти переміщують стіл. Кожний імпульс відповідає певному переміщенню стола.

Коли інструмент з нульової точки, отримуючи відповідне переміщення, по осі  $X$  – горизонтальне переміщення стола ліворуч або праворуч по осі  $Y$  – горизонтальне переміщення вперед або назад, суміститься з потрібною точкою на деталі, управляюча система подає команду, наприклад, на розточування отворів. Шпиндель переміщується за віссю  $Z$  – у вертикальній площині. Після закінчення операції розточування шпиндель повертається у вихідне положення. Крім того, система управління регулює швидкість обертання шпинделя, змінює подачі, вмикає і вимикає систему охолодження. Всі ці команди спочатку фіксуються на програмоносії відповідно до послідовності переходів технологічного процесу.

Якщо на деталі вимагається розточити не один, а кілька отворів, то цикл переміщення виконавчих органів верстата в напрямі  $Y$ ,  $X$  та  $Z$  повторюється. В системах ЧПУ на всіх етапах – від підготовки програми управління до її передачі робочим органам верстата – використовується інформація тільки в цифровій (дискретній) формі, яка отримується безпосередньо з креслення деталі. Програма управління складається з окремих технологічних команд, кожна з яких визначає дію системи управління. Програма кодується в міжнародному коді **ISO – 7 Bit**, який має 128 символів і пробивається на восьмидоріжковій перфострічці. Ці символи повинен розпізнавати не тільки верстат, а й людина, інакше він не зможе скласти управляючі програми.

Управляючі програми створюються з упорядкованих чисел і літер, кожне сполучення яких має суворо однозначне поняття. Крім символів (сполучення чисел і літер) в УП часто вводять розмірну інформацію, коди якої формуються за іншими законами. Ці коди називаються комбінаторними.



У порядку восьмидоріжкової перфострічки розміщується всього вісім отворів. Використовуючи їх, кадри записуються у двійковій системі числення управляючої інформації, зафіксованої на програмоносії, виконується спеціальними влаштуваннями – дешифраторами, які побудовані на напівпровідникових елементах. Одним з елементів, які входять у обчислювальний блок, є інтерполятор. Його призначення – забезпечити задану траєкторію руху інструмента. Інтерполятор видає інформацію як унітарний або одиничний код, тобто кожне число виражається кількістю цифрових знаків, наприклад: 1-I; 2-II; 3-III; 4-III тощо.

Це означає: для того щоб виразити число 1000, треба одиницю повторити тисячу разів. Перевагою унітарного коду є те, що він дозволяє управляти кроковими електродвигунами, які здатні сприйняти та відпрацювати 8000 імпульсів за секунду. У верстатах з ЧПУ інформація оброблюється лінійними та лінійно-коловими інтерполяторами, перші з яких забезпечують переміщення виконавчих органів верстата між двома опорними точками по прямій лінії. В цьому випадку криволінійний профіль деталей зображується як окремі прямі ділянки, опорні точки яких є заданими. Другі виконують як лінійну, так і кругову інтерполяцію.

Кругова інтерполяція може здійснюватися за двома схемами:

1. Отримання кривих другого порядку загального виду за допомогою двох інтеграторів, замкнених між собою.
2. Використання лінійного інтерполятора з блоком постійної пам'яті, в яку закладені тригонометричні функції кутів через достатньо малі інтервали.

Перша схема забезпечує найбільш точне відтворення контуру деталі, але вона є надзвичайно складною, а друга потребує великого обсягу пам'яті і крива зображується окремими ділянками прямих.

Розвиток систем управління верстатів з ЧПУ дозволив створити багатоопераційні верстати, які здійснюють точіння, розточування, свердління, фрезерування, нарізання різьби та ін. На цих верстатах заготовка переміщується вздовж трьох координатних осей та обертається навколо поворотного стола. Багатоопераційні верстати з ЧПУ забезпечуються глобусними столами, які мають не тільки вертикальну, а й горизонтальну вісь повороту, що дозволяє обробляти заготовку з різних боків і під різними кутами при одному закріпленні. Зміна інструментів, режимів обробки виконується автоматично. Такі верстати називаються оброблювальними центрами.

## 1.2. ТЕХНОЛОГІЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ

Верстати з ЧПУ за своїми технологічними можливостями поділяється на три групи:

1. Верстати фрезерної групи призначені для обробки складних контурів корпусних деталей, шаблонів, штампів та ін. Вони здійснюють комплексну обробку, включають операції фрезерування, розточування та свердління.
2. Верстати свердлильно-розточної групи виконують свердління, зенкерування, розвертання та розточування.
3. Верстати токарної групи оброблюють деталі тіл обертання з прямолінійними та криволінійними контурами, розточують складні внутрішні об'єми порожнини, нарізають зовнішні та внутрішні різі.

Згідно з ГОСТ 21609-82Е, ГОСТ 21610-82Е, ГОСТ 21613-82Е верстатобудівною промисловістю випускаються такі типи верстатів з ЧПУ:

1. Токарної групи – токарно-гвинторізні, токарно-револьверні, лоботокарні, токарно-карусельні, одно- та двостоякові з різним числом супортів.
2. Фрезерної групи – консольно-фрезерні горизонтальні та вертикальні; вертикально-фрезерні, консольні з хрестовим столом і револьверною головою; горизонтально-фрезерні з хрестовим поворотом або неповоротним столом; поздовжньо-фрезерні вертикальні двостоякові з пересувним порталом, одностоякові з вертикальною бабкою, з поворотним пересувним і не пересувним столом.
3. Вертикально-розточної групи - вертикально-свердлильні одностоякові з хрестовим столом і револьверною головою, двостоякові з револьверною головою; горизонтально-розточні з непере-сувним переднім стояком і хрестовим столом, з поздовжньо-пересувним переднім стояком і поперечно-пересувним поворотним столом, а також з поздовжньо- та поперечно-пересувним стояком.

Крім перелічених груп верстатобудівні заводи випускають одностоякові поздовжньо-стругальні, поперечно-стругальні, круглі - та плоскошліфувальні, заточні, координатно-розточні одно - та двостоякові, електроерозійні та лазерні, токарні, фрезерні та свердлильно-розточні групи верстатів, які мають автоматичні інструментальні ма-

газини з великою кількістю інструментів. Верстати виконують комплексну механічну обробку деталей без їхньої перестановки.

За принципом зміни інструмента виділяються наступні групи верстатів з ЧПУ: з ручною заміною, автоматичним поворотом револьверної головки та з автоматичною зміною їхнього магазину.

За принципом зміни заготовок верстати з ЧПУ поділяють на верстати з ручною і автоматичною зміною заготовок роботом або маніпулятором.

За способом управління верстати з ЧПУ класифікуються на позиційні, контурні та комбіновані.

У позиційних системах виконавчі органи переміщуються від точки до точки без завдання траєкторії. Такі системи управління застосовуються на свердлильних і розточних верстатах.

У контурних системах виконавчі органи верстата переміщуються за заданою траєкторією. Такі системи управління застосовуються на токарних, фрезерних, електроерозійних та інших верстатах.

У комбінованих системах виконавчі органи верстата переміщуються за заданою траєкторією та між окремими точками за заданими координатами.

У верстатобудуванні прийнято такі позначення систем управління: Ф1 - верстати з цифровою індексацією та з попереднім набором координат; Ф2 - верстати з позиційними та прямокутними системами; Ф3 - верстати з контурними системами; Ф4 - верстати з універсальними системами.

За точністю обробки верстати класифікуються на чотири групи: підвищеної - *П*; високої - *В*; особливо високої - *А*; особливо точної - *С*.

Згідно з міжнародною класифікацією всі системи ЧПУ за рівнем технологічних можливостей поділяються на такі класи: *NC (Numerikal Control)* - системи з однократним читанням всієї перфострічки зразу та запам'ятовуванням її перед обробкою партії однакових заготовок; *CNC (Computer Numerikal Control)* - система із вбудованою мініЕОМ (комп'ютером, мікропроцесором); *HNC (Hand Numerical Control)* - оперативна система з ручним набором програм на пульті управління; *DNC (Direct Numerikal Control)* - система прямого числового управління групами верстатів від одної ЕОМ.

Система класу *NC* найбільш розповсюджена у верстатах з ЧПУ. Недоліком її вважається те, що при обробці кожної заготовки системі ЧПУ приходится зчитувати всі карти перфострічки. Цього недоліку

не має система *SNC*, яка дозволяє розмістити всю програму в пам'яті.

Система класу *SNC* зберігає всі властивості системи класу *NC*, але відрізняється від неї збільшеним об'ємом пам'яті.

Система *CNC* має більші можливості внаслідок наявності в ній ЕОМ на базі мікропроцесора. Ця система дозволяє в режимі діалогу коригувати всю програму з ручним введенням інформації та виведенням її на дисплей для перевірок і отримувати програму у фіксованому вигляді на перфострічці. В системі *CNC* програма може бути легко набрана із достатньо великої кількості кадрів і виправлена за допомогою перемикачів на пульті управління.

Система класу *HNC* має спрощену схему порівняно із системою *CNC*. Вона не володіє можливістю внесення корекції, буферною пам'яттю, не має ввідного пристрою перфострічки. Але система *HNC* має вхідний пристрій для підключення фотозчитуючого пристрою, підвищений обсяг пам'яті вбудованої мікроЕОМ.

Система *DNC* пов'язана із загальною тенденцією розвитку сучасних комплексно-автоматизованих виробництв. У таких виробництвах управління роботою дільниць, що складаються з верстатів із ЧПУ, транспортно-завантажувальних і складувальних засобів, здійснюється від центральної ЕОМ.

Верстати з ЧПУ зберігають можливість автономно працювати за окремими управляючими програмами.

Системи класів *CNC*, *HNC*, *DNC* відносять до пристроїв із змінною структурою. Основні алгоритми роботи цих пристроїв задаються програмно. Вони мають структуру, подібну до структури ЕОМ, і володіють характерними ознаками обчислювальної машини.

### 1.3. ВИБІР ОСЕЙ КООРДИНАТ У ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

Позитивний напрям осі *Z* відповідає напрямку відводу інструмента від заготовки. Якщо верстат має кілька шпинделів, розташованих у різних осях трикоординатної системи, то за вісь *Z* приймається вісь, розташована перпендикулярно до робочої поверхні стола, на якому кріпиться заготовка. Рух по осі *X* відбувається в горизонтальній площині; наприклад, на стругальних верстатах вісь *X* є позитивною в напрямі головного руху стола. На верстатах із заготовкою, що обертається, наприклад, на токарних, вісь *X* напрямлена за радіусом заготовки паралельно поперечним напрямним.

Позитивний напрям осі  $Y$  вибирається таким чином, щоб три осі  $X, Y, Z$  склали праву прямокутну систему координат.

Обертний рух навколо осей  $X, Y, Z$  позначається літерами  $A, B, C$ . Позитивні напрями рухів  $A, B, C$  збігаються з напрямками закручування гвинтів у позитивних напрямках осей відповідно  $X, Y, Z$ . Розташування початку системи координат ( $X=0, Y=0, Z=0$ ) як початку відліку рухів вибирають довільно. Якщо додатково до основних (первинних) прямолінійних рухів  $X, Y, Z$  є вторинні рухи, паралельні їм, то напрями їх рухів позначають відповідно  $U, W, V$ . Якщо паралельно цим напрямкам є ще додаткові рухи виконавчих органів, то вони позначаються відповідно  $P, Q, R$ .

Наприклад, для радіально-свердлильного верстата осі рухів гільзи шпинделя та траверси позначають відповідно  $Z$  і  $W$ . Для токарно-револьверного верстата рух різців відносно напрямних полозків і револьверної головки позначають відповідно  $Z$  і  $W$ .

#### 1.4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСОБИ НАЛАГОДЖЕННЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ

Координатні осі робочих органів верстата на технологічних налагодках позначаються  $X, Y, Z$ . При програмуванні та налагодженні верстата для роботи за управляючою програмою (УП) за ГОСТ 20523-80 використовують нульову та вихідну точки. Нульову точку прийнято за початок системи координат. Відносно неї в УП задають абсолютні розміри переміщень робочих органів верстата. Вихідна точка характеризує початок роботи за УП. Вона вибирається з умов мінімізації додаткових ходів, забезпечення безпеки зміни інструмента та зручності закріплення заготовки на верстаті (рис. 2).

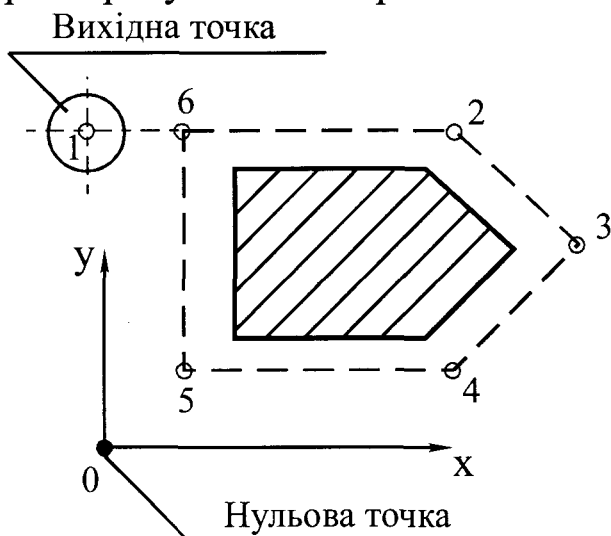


Рис.2. Траєкторія інструмента при формоутворенні плоского контуру.

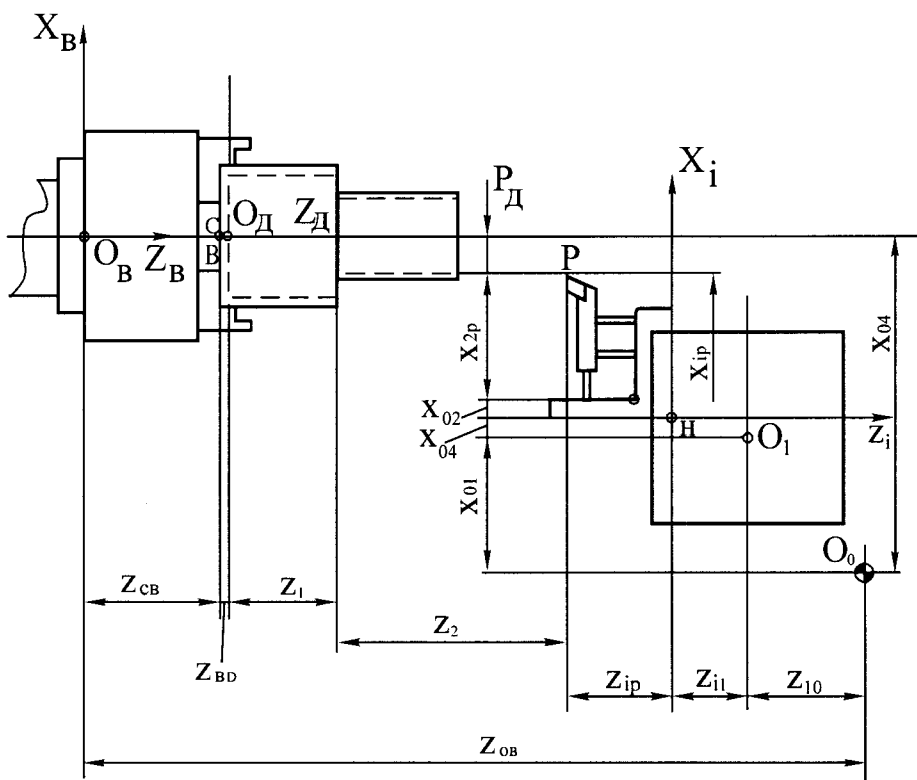
Вона вибирається з умов мінімізації додаткових ходів, забезпечення безпеки зміни інструмента та зручності закріплення заготовки на верстаті (рис. 2).

При розробці технологічного налагоджування зв'язок систем координат верстата, деталі та інструмента здійснюється через базові точки робочих органів, які несуть інструмент і заготовку. В інструментальному блоці, який настроюється поза верстатом, рекомендується початок системи

координат розміщувати в базовій точці, що лежить на перетині площин, які є комплектом основних конструкторських баз.

На рис. 3 показано технологічне налагодження з вибраними системами координат верстата  $X_B, Z_B$ , деталі  $X_D, Z_D$ , та інструмента  $X_i, Z_i$ . Ріжуча кромка різця  $P$ , яка є настроювальною точкою, виставляється строго на відповідній відстані  $X_{ip}$  та  $Z_{ip}$  від початку координат. Координати елементів розмірного настроювання верстата в поздовжньому та в поперечному напрямках осі шпинделя утворюють розмірні ланцюги. Складові ланки розгорнутих ланцюгів не можуть призначатися незалежно один від одного, оскільки точність замикаючих ланок залежить від точності виготовлення складових. Як замикаючі ланки при налагодженні верстатів з ЧПУ приймають значення переміщення інструмента вздовж осі  $Z$  та діаметр оброблюваної деталі. Розмірний ланцюг, який забезпечує точність обробки діаметра деталі, складається з координати нуля верстата  $O_{04}$  - координати центра різцетримача  $X_{01}$ , координати державки різця  $X_{02}$ , координати ріжучої кромки  $X_{zp}$ , радіуса оброблюваної деталі при статистичному настроюванні. Останній розмір є замикаючим, а решта – складовими.

Розмірний ланцюг, який встановлює зв'язок систем координат деталі, верстата та інструмента, дозволяє визначати точність позиціонування і переміщення інструмента в напрямі осі  $Z$ . Наприклад, у розмірний ланцюг (рис. 3) входять такі розміри: зв'язуючий систему



координат верстата з установчою базою заготовки  $Z_{CB}$ ; зв'язуючий систему координат деталі з установчою базою заготовки  $Z_{BD}$ ; поставлений в кресленні деталі  $Z_1$ ; зв'язуючий ріжучу кромку інструмента із системою координат інструментального блока  $Z_{ip}$ ; зв'язуючий центр різ-

Рис.3. Технологічне налагодження верстата з ЧПУ.

цетримача із системою координат інструментального блока  $Z_{i1}$ ; зв'язуючий нульову точку з центром повороту супорта  $Z_{10}$ , а також координата, яка зв'язує нульову точку із системою координат верстата  $Z_{0в}$ .

При налагодженні верстатів з ЧПУ за рішенням розмірних ланцюгів перевіряється точність отримання замикаючих ланок. У тих випадках, коли точність замикаючих ланок є регламентованою, визначають гранично допустимі розміри складових ланок.

Технологічне налагодження інструмента може здійснюватися за методом повної та неповної взаємозамінюваності.

У першому випадку до розмірного ланцюга входять усі ланки інструментальної системи:

$$R_{\partial} = x_{04} - x_{01} - x_{0i} - x_{02} - x_{2p}.$$

Сумарна похибка статичного настроювання верстата в цьому випадку:

$$\Delta R_{\partial} = 1,2 \sqrt{\Delta x_{04}^2 + \Delta x_{01}^2 + \Delta x_{0i}^2 + \Delta x_{02}^2 + \Delta x_{2p}^2}.$$

Тут прийняті такі похибки:  $\Delta x_{04}$  нульової точки в системі координат верстата;  $\Delta x_{01}$  - позиціонування;  $\Delta x_{0i}$  - встановлення додаткового інструмента та повороту різцетримача;  $\Delta x_{02}$  - встановлення державки різця;  $\Delta x_{2p}$  - вершини різця відносно державки.

Метод повної взаємозамінюваності забезпечує мінімальну трудомісткість настроювання, але вимагає високої точності виготовлення всіх елементів оброблювальної системи, що збільшує сумарні затрати на виготовлення.

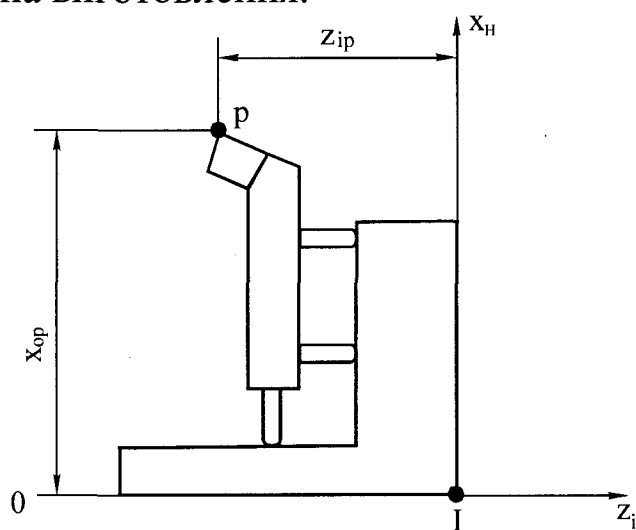


Рис.4. Схема настроювання різця поза верстатом.

За методом неповної взаємозамінюваності скорочується розмірний ланцюг. Наприклад, розміри  $x_{02}$  та  $x_{2p}$  (рис. 3) замінюються одним -  $x_{ip}$  (рис. 4). Налаштування ланцюга здійснюють поза верстатом за допомогою спеціальних пристроїв. Скорочення ланок у технологічному розмірному ланцюгу полегшує отримання потрібної точності замикаючих ланок. Але цей метод не компенсує помилок позиціонування, повороту рево-

льверної головки, встановлення державки інструмента в супорт верстата та ін.

Для верстатів з ЧПУ, як показує заводський досвід, часто застосовують технологічне налагодження на розмір. Суть цього засобу полягає в наступному:

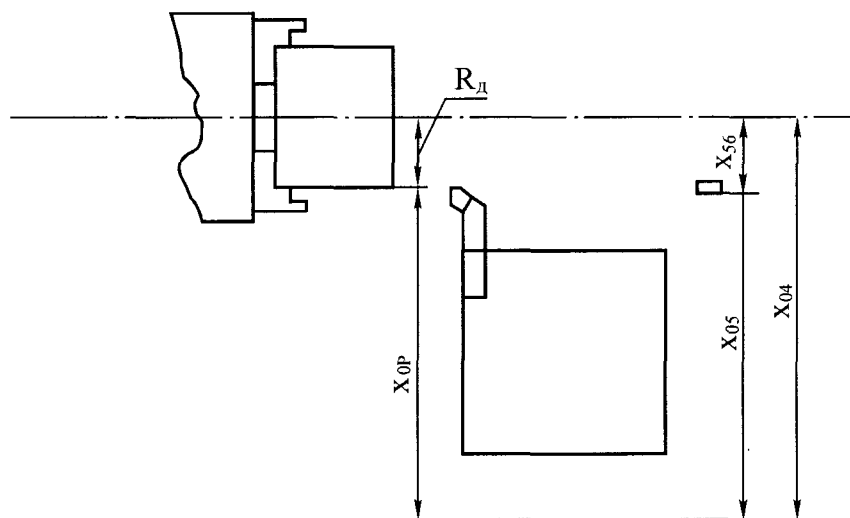


Рис. 5. Схема налаштування різця поза верстатом з датчиком корекції.

різець встановлюється в різцетримачі і вершина його підводиться до датчика, який визначає похибку положення та видає інформацію на корекцію різця при позиціонуванні. В цьому методі налаштування використовуються два розмірних ланцюги.

Ланцюг корекції початкового положення інструмента (рис.5)  $x_{04} = x_{05} + x_{56}$  та ланцюг точності: статичної інформації налаштування  $x_{04} = x_{0P} + R_d$ .

За аналогією з розглянутим методом здійснюється технологічне налагодження верстата та розрахунок розмірних ланцюгів за координатою  $Z$ . Наприклад, шлях різучої кромки різця:

$$A = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_{A_i} A_{z_i},$$

де  $i = 1, 2, \dots, m$  - порядковий номер ланки;  $\xi$  - передаточне відношення  $i$ -ї ланки розмірного ланцюга,  $\xi = 1$  - для збільшуваних складових ланцюгів,  $\xi = -1$  - для зменшуваних складових ланцюгів.

Збільшувачою називають ланку, збільшення якої збільшує замикаючу ланку. Зменшувача - це ланка, збільшення якої зменшує замикаючу ланку.

Технологічне налагодження верстата можна значно спростити, якщо нульову точку його сполучити з початком системи координат, а траєкторію інструмента задати в УП переміщеннями базової точки робочого органу, який несе інструмент в системі координат верстата.



## 1.5. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНИХ БАЗ ПРИ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

Засіб встановлення деталі на верстатах з ЧПУ повинен забезпечувати точне положення її відносно робочих органів верстата. Правильний вибір баз забезпечує цю умову.

Згідно з ГОСТ 21495-76 розрізняють конструкторські, технологічні та вимірювальні бази. Конструкторські бази визначають стан деталі у виробі, а технологічні - стан заготовки в процесі виготовлення або ремонту. Конструкторські бази поділяються на основні та допоміжні. Основна база - це поверхня, яка визначає стан деталі у виробі, а допоміжна - стан деталей, що приєднуються до неї. Вимірювальною базою називається поверхня, лінія або точка, від якої здійснюється відлік виконуваних розмірів при обробці або вимірюванні заготовок, а також при перевірці взаємного розташування поверхонь деталей (паралельність, перпендикулярність, співвісність та ін.). Технолог призначає технологічні бази одночасно з призначенням послідовності обробки окремих поверхонь заготовки. Призначення технологічних баз починається з вибору чорнової бази, яка використовується при першому встановленні заготовки.

Чорнова база повинна мати достатні розміри, більш високий ступінь точності (сталість форми та взаємного розташування) і найменшу шорсткість, давати змогу здійснювати обробку тих поверхонь, які використовуватимуться як установчі бази на наступних операціях.

Чорнова база використовується при обробці заготовок тільки один раз, оскільки точність оброблених поверхонь завжди вища від точності необроблених, використовуваних як чорнова база.

При призначенні технологічних баз бажано вибирати такі поверхні, які є конструкторськими та вимірювальними базами, а також використовуються як бази при складанні виробів.

При сполученні конструкторської, вимірювальної та технологічної баз обробка заготовок не потребує підвищення короткості операційних допусків, тому здійснюється за розмірами, проставленими в робочому кресленні.

Якщо технологічна база не збігається з конструкторською або вимірювальною, технолог змушений змінити проставляння розмірів. Ця зміна приводить до підвищення жорсткості допусків на технологічні розміри, що витримуються при обробці.

Сказане можна проілюструвати прикладом. При обробці уступу

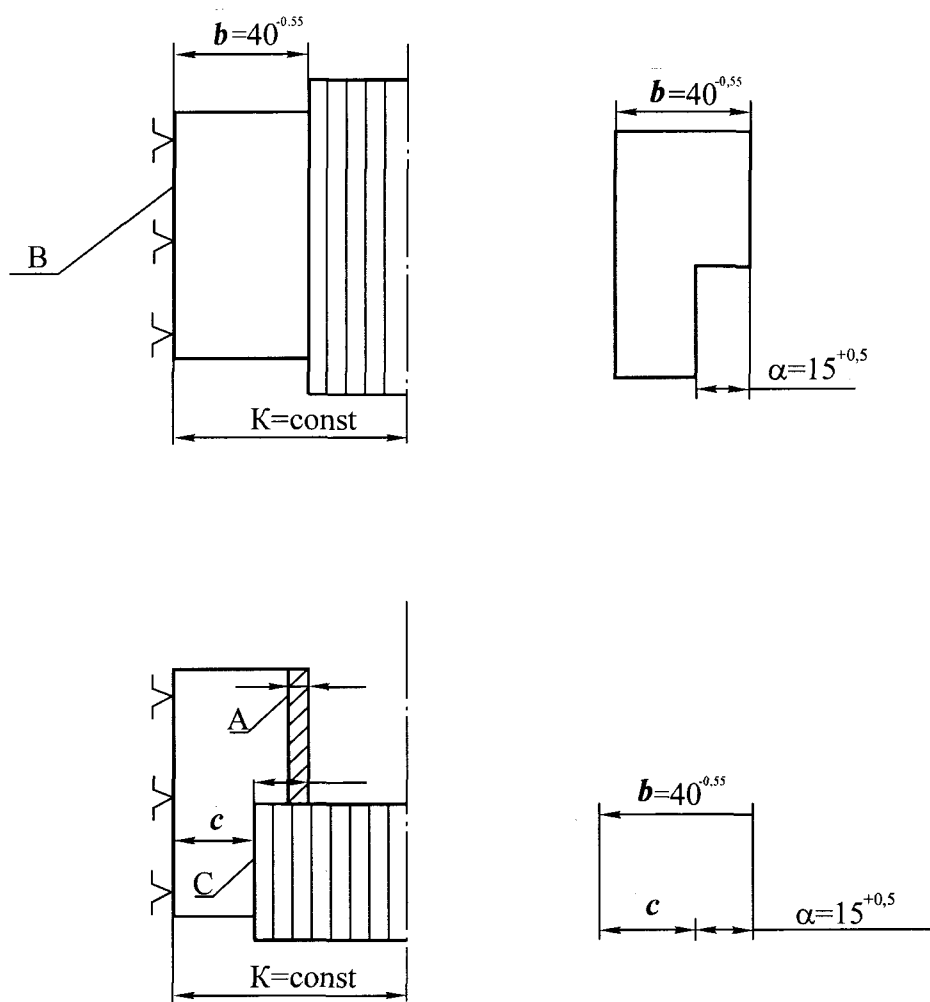


Рис.6. Розрахункова схема для визначення технологічних розмірів.

та не пов'язана з ними ні розміром, ні умовою правильного взаємного розташування.

На верстатах, налагоджених на розмір, або на верстатах з ЧПУ поверхня, на яку встановлена деталь, є базою для настроювання верстата. Тому розмір  $15^{+0,5}$ , не пов'язаний з цією базою, не може бути забезпечений автоматично, оскільки база  $A$ , від якої задано цей розмір, є плаваючою. Її коливання залежить від точності виготовлення розміру  $b$  в межах допуску  $0,55$ , який витримується на попередній операції.

Очевидно, на операційному ескізі слід поставити технологічний розмір  $c$ , а для визначення допуску  $T_c$  вирішити розмірний ланцюг. Приймаючи конструкторський розмір  $a$  як замикаючий, визначають допуски на складові ланки розмірного ланцюга (рис.6)  $T_b$  та  $T_c$  виходячи з умови, що допуск замикаючої ланки дорівнює сумі допусків складових ланок:  $T_a = T_b + T_c$ . Після підстановки відповідних значень

на глибину  $15^{+0,5}$  для спрощення конструкції пристосування зручно встановити заготовку на поверхню  $B$  (рис. 6). Оскільки поверхня уступу пов'язана розміром  $15^{+0,5}$  з верхньою площиною  $A$ , ця площина є для уступу конструкторською та вимірною базами. В цьому випадку технологічна база - поверхня  $B$  - не збігається з конструкторською та вимірною базами

маємо:  $T_c = 0,5 - 0,55 = -0,05$ . Оскільки допуск - величина істотно додатна і від'ємною не може бути, то отримане рівняння не може бути розв'язане без збільшення зменшуваного  $T_a$  або зменшення від'ємника  $T_b$ . Допуск на величину уступу заданий конструктором і не може бути збільшений, тому єдиним засобом розв'язання поставленої задачі є зменшення від'ємника  $T_b$ , тобто підвищення жорсткості допуску на розмір  $b$ . Зменшення допуску  $T_b$  слід виконати таким чином, щоб складність виконання розмірів  $b$  та  $c$  була однаковою.

Припустимо, що допуск на розмір  $T_b$  дорівнює 0,25. Визначимо граничні значення технологічного розміру  $c$  :

$$a = b - c; \quad a_{max} = b_{max} - c_{min};$$

$$c_{min} = b_{max} - a_{max} = 40 - (15 + 0,5) = 25_{-0,5};$$

$$a_{max} = b_{min} - c_{max};$$

$$c_{max} = b_{min} - a_{min} = 40 - 15 - 0,5 = 25_{-0,25}.$$

Розрахункова величина розміру  $c = 25_{-0,25}^{0,25}$  мм.

З розглянутого прикладу видно, що принцип сполучення баз може бути реалізований в тому випадку, якщо конструктор забезпечив цю можливість.

Технолог при розробці технології вибирає як технологічні бази такі поверхні, які забезпечують надійне встановлення деталі під час обробки. Конструктор вирішує свої завдання, які часто не забезпечують можливості реалізації принципу сполучення конструкторської, виміральної та технологічної баз. Тому технолог у цьому випадку повинен відмовитись від принципу сполучення баз, та реалізувати принцип їх сталості. Цей принцип полягає в тому, що під час розробки технологічного процесу вибраний комплект технологічних баз (установча, напрямна та опорна) застосовується за ходом всього циклу обробки (не враховуючи зміни чорнової бази).

Прагнення здійснювати обробку на одній технологічній базі підвищує точність обробки, тому що будь-яка зміна технологічних баз вносить додаткову похибку.

Під час розробки УП з'являються додаткові похибки при обробці. На верстатах з ЧПУ похибки, пов'язані з пружним віджиманням, складають не більше 10%, а похибки настроювання пристосування та інструмента досягають 60% [1].

Під час обробки деталей на верстатах з ЧПУ виникають додаткові похибки, пов'язані з точністю відліку координатних переміщень робочих органів верстата. На відміну від обробки заготовок на верстатах з ручним управлінням, коли точність розмірів, як правило, ви-

тримується відносно базуючих поверхонь, під час обробки заготовок на верстатах з ЧПУ точність розмірів забезпечується відносно початку відліку координатної системи верстата. Тому для забезпечення необхідної точності обробки треба мати не тільки точне переміщення робочих органів верстата, а й забезпечити точне погодження систем координат деталі, інструмента та верстата. Непогодження систем координат призводить до зміщення всього оброблюваного контуру відносно технологічних баз та поверхонь, оброблених раніше. Відхилення від потрібного положення заготовки пов'язане з похибками базування, похибками пристосування, податливості пружної системи та іншими факторами.

На верстатах з ЧПУ необхідно раціонально підбирати конструкції та розміри опорно-установчих елементів пристосування та забезпечувати принцип постійності баз.

Точка, від якої починається запрограмоване переміщення інструмента, тобто обробка, є початком системи координат інструмента (нуль обробки), а точка, відносно якої координуються оброблювані поверхні, є початком системи координат заготовки (нуль заготовки). Точка, відносно якої координуються робочі органи верстата, є початком відліку системи координат верстата (нуль верстата).

Формування зв'язків між цими системами координат здійснюється на етапі технологічної підготовки виробництва та настроювання верстата. На етапі технологічної підготовки виробництва вибирають вихідні точки координат, розраховують розмірні ланцюги та розробляють УП.

Під час вибору вихідної точки обробки (нуль обробки) бажано сполучити її з початком системи координат заготовки (нуль заготовки). Таке сполучення рівнозначне забезпеченню принципу сполучення вимірjuвальної та технологічної баз.

При налагодженні верстата встановлюють розмірні зв'язки між вихідною точкою, яка є початком програми обробки, та інструментом. Вихідна точка матеріалізується, як правило, сполученням поверхонь опорно-установчих елементів пристрою, а стан самого пристрою на верстаті визначається при розмірному настроюванні.

Сполучення напряму осей найпростіше реалізується у випадку, коли напрямні базові поверхні заготовки паралельні координатним осям відносної системи. До цієї умови бажано прагнути. Однак забезпечення принципу сполучення баз у деяких випадках збільшує витрати на програмування. Наприклад, на рис. 7 показано напрям рядків

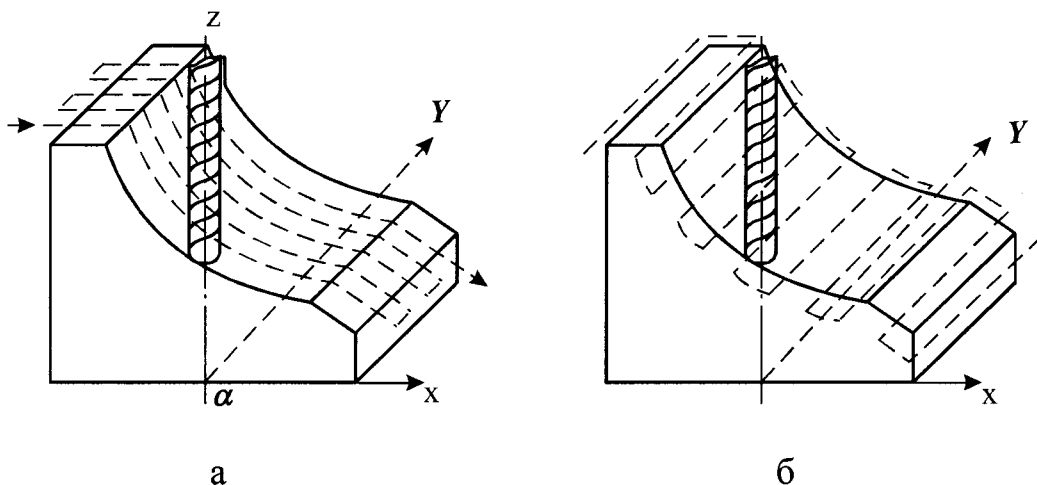
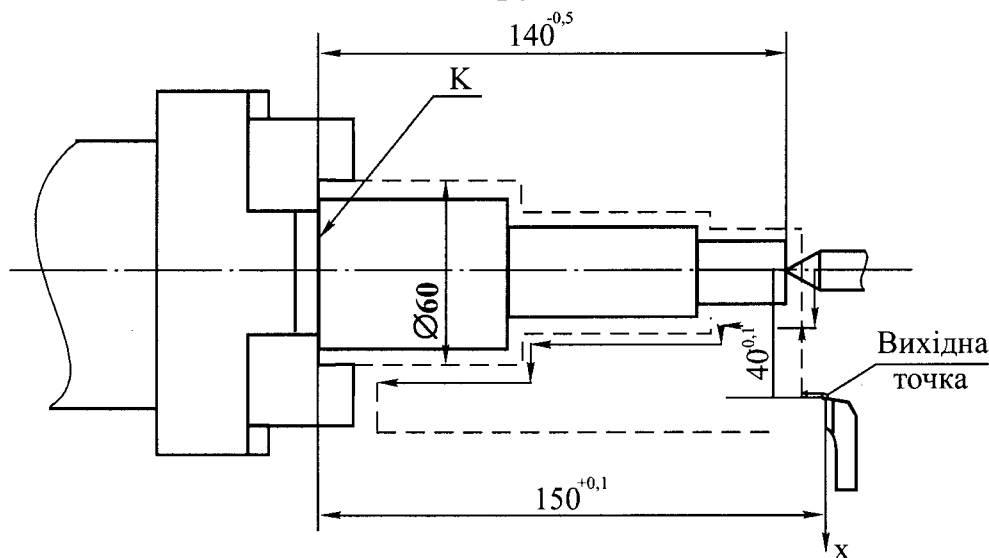


Рис. 7. Різні схеми обробки профільної поверхні пальцевою фрезою.

обходу інструмента вздовж осей  $X$  і  $Y$  системи координат. Об'єм програмування (розрахунків точок, що задають контур) є значно меншим при русі інструмента за віссю  $Y$  (рис. 7,б), оскільки тут інструмент значну частину свого шляху здійснює прямолінійне переміщення. Під час руху вздовж осі  $X$  (рис. 7,а) інструмент проходить довгий криволінійний шлях.

При базуванні деталей типу тіл обертання необхідно на заготовці встановлювати базовий торець, який орієнтує заготовку в напрямі осі  $Z$  суворо у відповідному положенні.

На рис. 8 показано ступінчастий валик, встановлений в чотирикулачковий патрон з упором у торець  $K$ . Від упорного торця на відстані  $150^{+0,1}$  вказано місцезнаходження вихідної точки. На верстатах з автоматичною зміною інструментів бажано, щоб кожний інструмент



револьверної головки займав положення, за яким вершини ріжучих кромок знаходились би на площині, що проходить через нуль деталі та перпендикулярної до осі  $Z$ .

Рис.8. Траекторія пересування ріжучої кромки інструмента при обробці ступінчастого валика на верстаті з ЧПУ.

Однак якщо за будь-яких конструкторських або технологічних умов застосовуються інструменти з різними вилітами, то координати нуля деталі призначаються виходячи з положення вершини ріжучого інструмента із найбільшим вилітом.

Для встановлення у вихідні позиції ріжучих інструментів з меншим вилітом програмою повинні бути додатково передбачені допоміжні переміщення револьверної головки в напрямі осі  $Z$ , які забезпечують сполучення ріжучої кромки інструмента з нульовою точкою.

Базування деталей за трьома площинами - установчої, напрямної та опорної - найбільш простий, надійний і точний засіб. Однак цей засіб базування в деяких випадках не дозволяє оброблювати деталі з чотирьох - п'яти боків з одного пристрою. Для корпусних деталей застосовується засіб базування за площиною та двома отворами, оброблених не нижче 7-го квалітету точності. Базовими елементами пристосування є циліндричний та ромбічний палець.

На столах верстатів, які мають поздовжні та поперечні пази, пристосування базуються за допомогою установчих шпонок або штирів. За наявності на столі верстата поздовжніх пазів і центрального отвору пристосування базується за центральним отвором та пальцем, встановленим у поздовжній паз. Якщо на столі верстата є тільки поздовжні пази, пристосування базується за пазом за допомогою двох шпонок. Пристосування відносно нульової точки орієнтується за спеціальним установчим штирем або отвором.

Оскільки верстати з ЧПУ застосовуються в основному в малосерійному та серійному виробництвах, потрібна часта зміна пристосувань на столі верстата. Отже, при базуванні пристосувань по пазах верстата шпонками з'являється інтенсивне спрацювання пазів, для усунення якого рекомендується на верстатах з ЧПУ фіксувати елементи закріплювати не на корпусі пристосування, а на столі верстата. В корпусі пристосування в цьому випадку виконується паз.

Для токарно-револьверного верстата рух різців відносно напрямних полозків і револьверної головки позначається відповідно  $Z$  і  $W$ .

## **1.6. ПІДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЧИХ ПРОГРАМ**

### **1.6.1. ПІДГОТОВКА ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ УП**

Підготовка УП для обробки деталей на верстатах з ЧПУ складається з вибору інформації, необхідної для обробки, яку автоматично

може прочитати система ЧПУ. Потрібна інформація поділяється на геометричну та технологічну. До геометричної інформації відносять координати отворів, радіуси дуг, кіл, контурів, координати центрів радіусів, координати опорних точок тощо. Вся геометрична інформація наноситься на креслення деталі.

До технологічної інформації відносять: складання операційної технології, вибір ріжучого та допоміжного інструменту, вибір пристосування, режимів різання, а також задавання технологічних команд та ін.

Підготовка УП полягає в переведенні отриманої інформації на машинну мову, яка сприймається системою ЧПУ, та нанесенні її на програмоносій. Інформація зображується у вигляді кодів, причому коди повинні бути написані якомога коротше, легко читатися людиною, мати мінімальну вірогідність помилки при автоматичному читанні.

Існують поняття "цифра" (0, 1, 2, ..., 8, 9) та "число", яке є послідовністю цифр з урахуванням їх розрядності. Для побудови системи числення як основи можна використати будь-яке ціле число, яке більше або дорівнює одиниці:

$$A = A_i B^{n-1} + A_j B^{n-2} + A_k B^{n-3} + \dots + A_p B^{n-n},$$

де  $B \geq 1$  - основа числення;  $n$  - розряд числа.

Наприклад, розглянемо число 5352,24 в десятковій системі числення:

$$5 \cdot 10^3 + 3 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^1 + 2 \cdot 10^0 + 2 \cdot 10^{-1} + 4 \cdot 10^{-2}.$$

Таким чином, у десятковій системі числення число можна показати як суму добутків цифр (0, 1, ..., 9) на 10 в степені, який визначається розрядністю цього числа.

Даний вид запису має добру наочність при записі чисел на папір, але реалізація його в обчислювальній техніці утруднена. Зчитуючий пристрій не може розрізнити в одному рядку десять можливих цифр, тому кожний розряд числа повинен мати десять рядків з поділом від 0 до 9.

Найбільш прийнятною для запису інформації на програмоносій є двійкова система числення. В ній за основу числення прийнято число 2 ( $B=2$ ). При цьому десяткові цифри від 0 до 9 зображатимуться чотирирозрядними двійковими числами (табл. 1 [2]).

Таблиця 1

Десяткові числа	$B = 2$				Як утворюються числа
	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$	
0	0	0	0	0	$0 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 0 \cdot 1 = 0$
1	0	0	0	1	$0 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 1$
2	0	0	1	0	$0 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 0 \cdot 1 = 2$
3	0	0	1	1	$0 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 3$
4	0	1	0	0	$0 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 0 \cdot 1 = 4$
5	0	1	0	1	$0 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 5$
6	0	1	1	0	$0 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 0 \cdot 1 = 6$
7	0	1	1	1	$0 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 7$
8	1	0	0	0	$1 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 0 \cdot 1 = 8$
9	1	0	0	1	$1 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 9$

Відносячи число 2 до степеня (0, 1, 2, 3, ...), отримаємо наступний ряд:  $2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5, 2^6, 2^7, 2^8, 2^9, 2^{10}$ , який відповідає ряду чисел 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024. Будь-яке десяткове число у двійковій системі числення можна записати як суму чисел, доданки якої є число 2 в якому-небудь степені. Розглянемо запис числа 5 в такому вигляді:

$$5=4+1.$$

У двійковій системі його можна записати так:

$$5 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0.$$

Отже, число 5 у двійковій системі буде записано 101. Число 25 можна записати таким чином:

$$25 = 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0.$$

Значить, число 25 буде записано як 11001.

У двійковій системі числення, як і в десятковій, записуються тільки множники (цифри) розрядів. Запис числа у двійковій системі значно довший від десяткового запису, однак застосування двійкової системи числення зручне тому, що для зображення числа в машині можна використати надійні механізми, які мають два стійких положення. Наприклад, електромеханічне реле може бути замкнене або розімкнене. Якщо на перфострічці є пробивка, реле замикається і цей стан відповідає одиниці (1); там же, де пробивки немає, реле не замикається і це положення відповідає нулю (0).

У двійковій системі числення для зображення чисел використовується всього дві цифри: 0 та 1 і при побудові блоків обчислювальної техніки можна використати елементи із двома стійкими станами



(наявність або відсутність напруги в ланцюгу).

У верстатах з ЧПУ широко застосовується двійково-десятькова система числення, де запис робиться аналогічно десятковому коду, але коефіцієнт (від 0 до 9) ряду записується за двійковою системою. Наприклад, при записі числа 5278,31 у двійково-десятьковому коді достатньо записати коефіцієнти при степенях 10 у двійковому коді:

$$\begin{aligned} 5278,31 &= 5 = 0101 & 10^3, \\ &2 = 0010 & 10^2, \\ &7 = 0111 & 10^1, \\ &8 = 1000 & 10^0, \\ &3 = 0011 & 10^{-1}, \\ &1 = 0001 & 10^{-2}. \end{aligned}$$

Знаючи основи двійково-десятькового кодування, неважко зрозуміти, яким чином на перфострічці записується кодована програма. В ЧПУ використовується адресне кодування, де кожній геометричній команді відповідає своя адреса. Завдання програми в кодованому вигляді дозволяє значно скоротити об'єми програмоносія, спростити та здешевити його підготовку, розширити технологічні можливості верстата, підвищити надійність зчитування інформації.

### Програмоносії

УП записують на перфострічках і магнітних стрічках.

Перфострічка. Як програмоносій, що використовується для запису програми, застосовують перфоровану стрічку шириною 25,4 мм [1]. Для перфострічки використовується паперова або майларова (пластикова) стрічка. Паперова стрічка дешева, але через обмежену кількість прогонів через зчитуючий пристрій виходить з ладу. Стрічка на майларовій основі приблизно в 20 разів дорожча, але дуже міцна і може витримати багато тисяч прогонів.

Для фотозчитувального пристрою при протягуванні перфострічки важливим є суворе забезпечення допусків на відстань між отворами та на їхній діаметр. Між центрами отворів на перфострічці відстань дорівнює  $2,54 \pm 0,05$  мм, а діаметр отворів  $D = 1,83 \pm 0,05$ . Доріжки на перфострічці нумеруються від 1 до 8, починаючи з базової кромки. Між ведучою доріжкою та базовою кромкою розташовані три кодові доріжки. Кожний рядок має одну кодову комбінацію.

Магнітна стрічка. На верстатах з ЧПУ як програмоносій широко застосовують магнітну стрічку. Інформація на магнітну стрічку записується в кодованому вигляді.

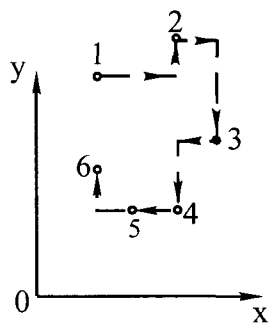
## 1.6.2. РОЗРАХУНОК ТРАЄКТОРІЇ ПЕРЕМІЩЕННЯ ІНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРОБЦІ

Траєкторія інструмента розраховується відповідно до операцій технологічного процесу. Характер траєкторії залежить від числа координат, що управляються одночасно, та принципу управління рухами робочих органів верстата з ЧПУ. Наприклад, двокоординатне управління дозволяє рухатися інструменту в площині; трикоординатне управління - в будь-якій точці простору. Залежно від числа координат, які управляються одночасно, розрізняють прямокутне, прямолінійне та криволінійне формоутворення.

При прямокутному формоутворенні переміщення вздовж координатних осей  $X$  і  $Y$  виконуються по чергово. При прямолінійному формоутворенні ріжуча кромка інструмента переміщується по кривій, яка є лінійною функцією. Траєкторія переміщення забезпечується лінійним інтерполятором.

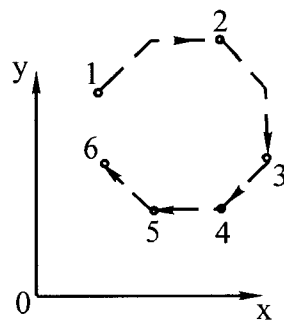
Криволінійне формоутворення пов'язане з обробкою контурів деталей, що мають форму дуги або кола.

При прямокутному формоутворенні контурів деталей траєкторія складається з робочих і допоміжних ходів. Траєкторії переміщення інструмента (свердла) з по черговим відпрацюванням координат



а

Рис. 9. Траєкторія пересування інструмента (свердла) при обробці отворів.



б

показані на рис. 9,а, та з одночасним рухом за двома координатами - на рис. 9,б. Елементами траєкторії інструмента при виготовленні більшості деталей є відрізки прямих або дуги кіл, обмежені опорними точками. Розрахунок координат опорних точок контуру деталі ведеться в системі

координат деталі за рівняннями, які описують геометричні елементи траєкторії переміщення інструмента. Опорні точки звичайно лежать на перетині прямих ліній або дотику прямої та кола, або перетині, або дотику двох кіл.

Пряма лінія в площині  $XOY$  описується рівнянням

$$A \cdot x + B \cdot y + C = 0. \quad (1)$$

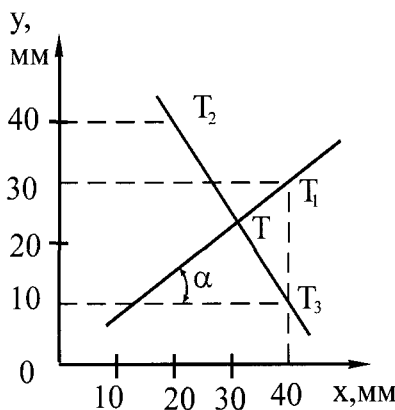
Якщо  $B \neq 0$ , то рівняння (1) перетворюється до виду:

$$y = -\frac{A}{B} \cdot x - \frac{C}{B} \text{ або } y = k \cdot x + b,$$

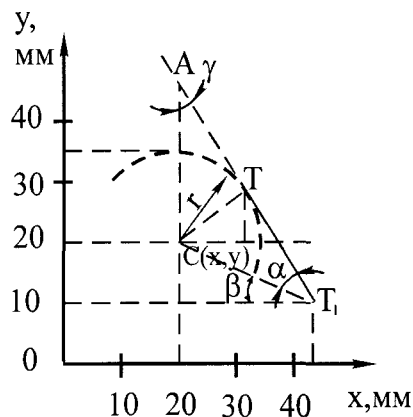
де  $b$  - початкова координата;  $k$  - кутовий коефіцієнт, який дорівнює тангенсу кута нахилу прямої до осі  $X$ .

Точка перетину двох прямих ліній визначається рішенням системи рівнянь, що описують ці прямі. Рішенням системи рівнянь  $y = k_1 \cdot x + b_1$ ,  $y = k_2 \cdot x + b_2$  є координати точки перети-

ну:  $x_T = \frac{b_2 - b_1}{k_1 - k_2}$ ;  $y_T = k_1 \cdot x + b_1$ .



а



б

Рис.10. Розрахункові схеми для визначення точки перетинання прямих ліній (а) і точки дотику прямої з колом (б).

### Приклад 1.

Пряма лінія задана точкою  $T_1(x_1=40 \text{ мм}, y_1=30 \text{ мм})$  та кутом  $\alpha = 35^\circ$ , а друга пряма - двома точками:  $T_2(x_2=15 \text{ мм}, y_2=40 \text{ мм})$  і  $T_3(x_3=40 \text{ мм}, y_3=10 \text{ мм})$  (рис. 10, а).

Визначити точку перетину цих прямих.

### Розв'язання.

Рівняння прямих :

$$y = tg\alpha \cdot (x - x_1) + y_1 = tg35^\circ \cdot (x - 40) + 30 = 0,7x + 2;$$

$$y = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} \cdot (x - x_2) + y_2 = \frac{10 - 40}{40 - 15} \cdot (x - 15) + 40 = 1,2x + 58.$$

Шукані координати точок перетину:

$$x_T = \frac{b_2 - b_1}{k_1 - k_2} = \frac{58 - 2}{0,7 - 1,2} = 24,47 \text{ мм},$$

$$y_T = -x_T + b_2 = -24,47 + 58 = 23,53 \text{ мм}.$$

### Приклад 2.

Визначити точку плавного переходу (спряження) прямої лінії з дугою кола радіуса  $r$ : (рис. 10,б). Координати центра кола  $C(x_c = 20$

мм,  $y_c = 20$  мм) радіуса  $r = 15$  мм. Пряма проходить крізь точку  $T_1$  ( $x_1 = 45$  мм,  $y_1 = 10$  мм).

Розв'язання. Із  $\Delta CTT_1$ :

$$\alpha = \arcsin \frac{r}{\sqrt{(x_1 - x_c)^2 + (y_c - y_1)^2}} =$$

$$= \arcsin \frac{r}{\sqrt{(45 - 20)^2 + (20 + 10)^2}} = 33,85^\circ$$

Із  $\Delta CBT_1$ :

$$\beta = \arctg \frac{y_c - y_1}{x_1 - x_c} = \arctg \frac{20 - 10}{45 - 20} = 21,8^\circ.$$

Із  $\Delta ABT_1$ :

$$\gamma = 90^\circ - (\alpha + \beta) = 90^\circ - (33,85^\circ - 21,8^\circ) = 34,35^\circ.$$

З подібності трикутників  $ABT_1$  та  $TCD$  (за ознакою перпендикулярності сторін) кут нахилу радіуса округлення  $r$  у точці дотику прямої з колом дорівнюватиме куту  $\gamma$ .

Шукані координати точки спряження визначаються за виразами:

$$x_1 = x_c + r \cdot \cos \gamma = 20 + 15 \cdot \cos 34,35^\circ = 32,38 \text{ мм.}$$

$$y_1 = y_c + r \cdot \sin \gamma = 20 + 15 \cdot \sin 34,35^\circ = 28,46 \text{ мм.}$$

Визначення опорних точок контуру деталі починають з аналізу робочого креслення.

Розглянемо на конкретному прикладі знаходження координат опорних точок деталі “кришка” (рис. 11) [3].

На кресленні розміри проставлені координатним методом від

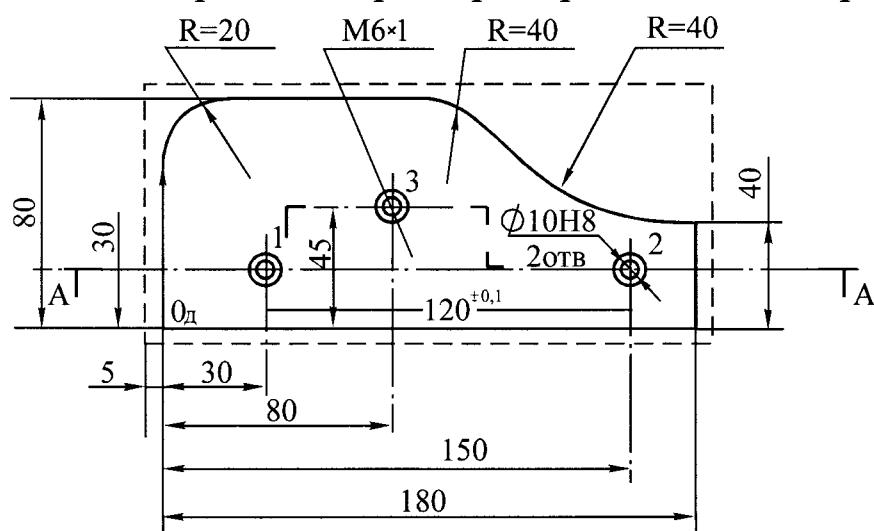


Рис. 11. Креслення деталі “кришка”.

однієї бази. Отже, за початок системи координат деталі вибираємо точку  $O_D$ . На свердлильному верстаті обробці підлягають два базових отвори діаметром 10H8 та отвір під різьбу 6x1 діаметром 5 мм. Опорними точками отворів є їхні

центри.

На рис. 12 показано операційний ескіз для обробки двох отворів діаметром 10H8 та отвору діаметром 5 мм під різьбу 6x1.

Послідовність обробки отворів така: центрування трьох отворів свердлом діаметром 16 мм. Ріжуча кромка свердла у вихідному положенні знаходиться на відстані  $Z_0 = 430$  мм. Після повороту револьверної головки виконується свердління двох отворів свердлом на відстані  $Z_1 = 445$  мм. Після повороту револьверної головки відбувається розвертання отворів 1 і 2 до діаметра 10H8.

Ріжуча кромка свердла діаметром 5 мм перед початком обробки

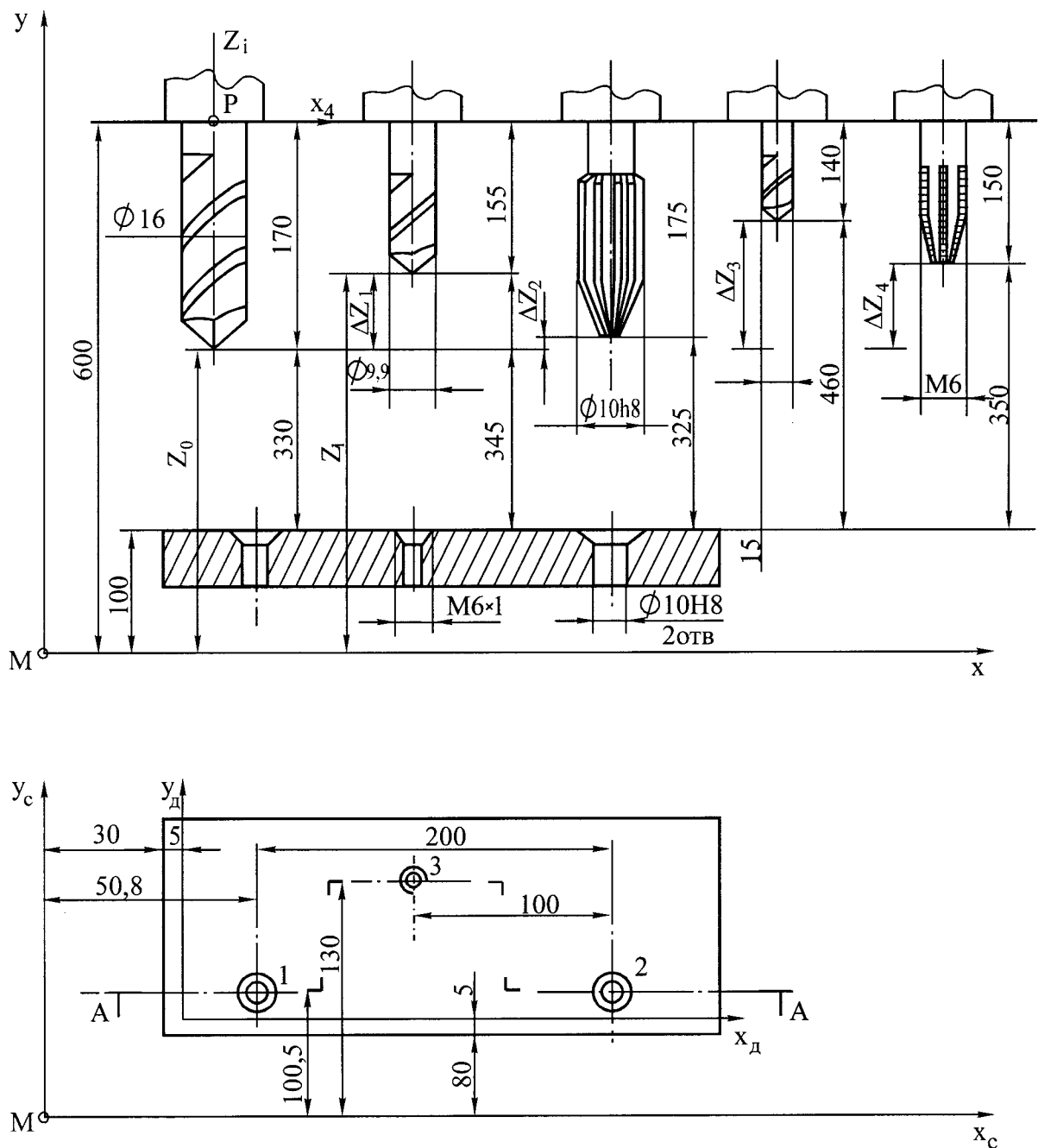


Рис.12. Налаштування верстата для обробки трьох отворів у пластині.

знаходиться від нульової точки на відстані 460 мм. Після свердління отвору 3 нарізується різьба 6х1.

Опорні точки зовнішнього контуру деталі позначені на операційному ескізі фрезерної обробки (рис. 13). У табл. 2 наведені координати опорних точок.

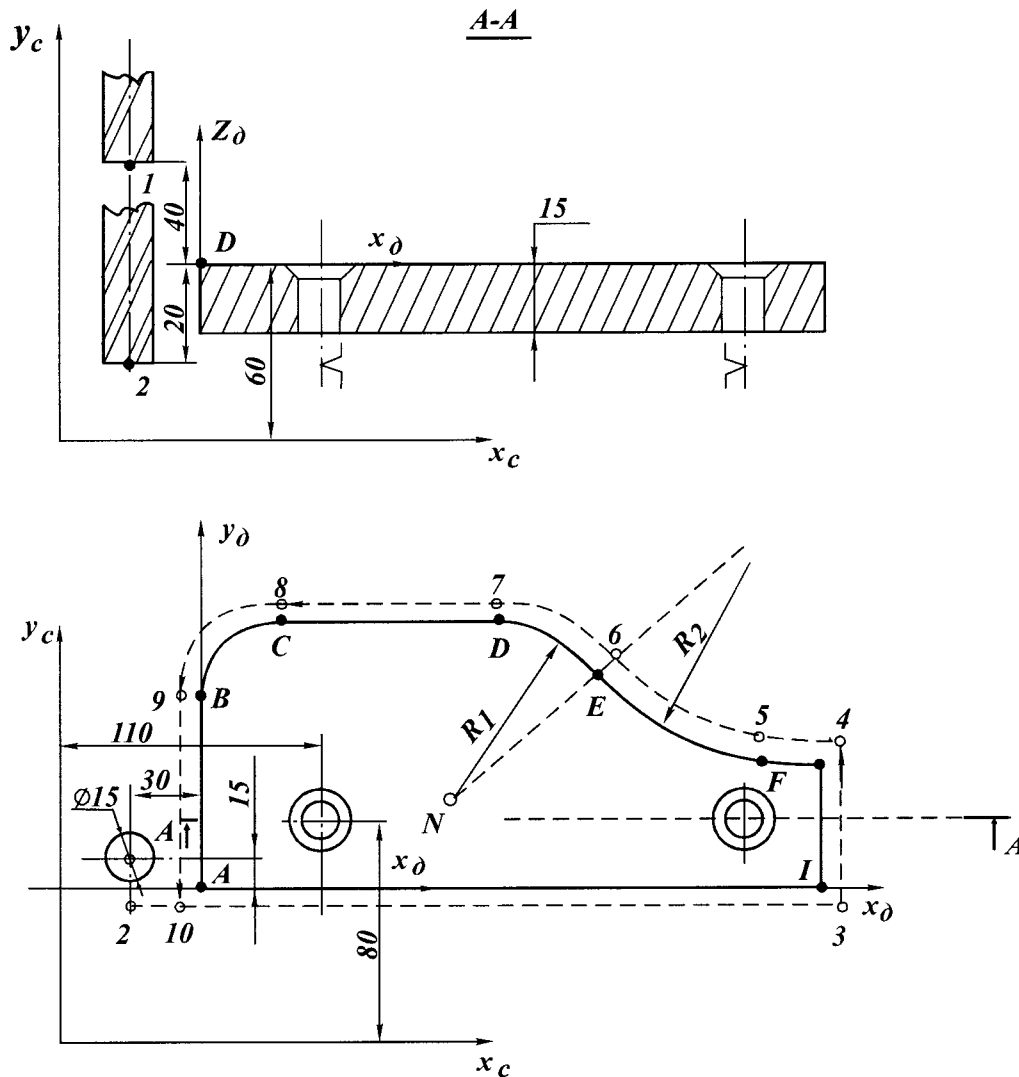


Рис. 13. Операційний ескіз фрезерування контуру пластини.

Координату опорної точки  $E (x_e, y_e)$  визначимо як точку дотику кола радіуса  $R_1 = 40$  мм з центром  $N (x_n = 170$  мм,  $y_n = 90$  мм) з колом із центром  $G (x = 239,28$  мм,  $y = 130$  мм).

Таблиця 2

Координата ку-та	Точка							
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>K</i>	<i>I</i>
<i>x</i>	80	80	100	170		239,28	260	260
<i>y</i>	50	110	130	130		90	90	50

Кут нахилу лінії центрів:

$$\alpha = \arctg \frac{y_c - y_n}{x_c - x_n} = \frac{130 - 90}{239,28 - 170} = 30^\circ.$$

Шукані координати точки дотику:

$$x_e = x_n + R \cdot \cos \alpha = 170 + 40 \cdot \cos 30^\circ = 204,64 \text{ мм},$$

$$y_e = y_n + R \cdot \sin \alpha = 30 + 40 \cdot \sin 30^\circ = 110 \text{ мм}.$$

На практиці часто виникають ситуації, коли траєкторію задають незначною кількістю опорних точок. В цьому випадку використовують згладжуючі сплайни, які не ідеально точно проходять через задану систему опорних точок, але є більш гладкими та усувають випадкові похибки. Задачі згладжування виникають у випадках, коли число опорних точок є незначним.

### 1.6.3. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ПІДГОТОВКУ УПРАВЛЯЮЧОЇ ПРОГРАМИ ОБРОБКИ

Процес підготовки УП обробки на верстатах з ЧПУ схематично подібний до процесу підготовки програми для звичайних автоматів та напівавтоматів. Тут можна також виділити три характерних етапи підготовки УП обробки: технологічна; математична; кодування та записна програмоносій. Однак за змістом, методами та використовуваними засобами, процес підготовки програм для верстатів з ЧПУ принципово відрізняється від підготовки програми для звичайних автоматів і напівавтоматів.

При підготовці УП обробки для звичайних автоматів і напівавтоматів технолог, отримуючи креслення, повинен вкладати цю інформацію в профілювання та виготовлення кулачків, копіїв та інші засоби, за допомогою яких вона передається верстату як програма обробки даної деталі. В цьому випадку є два дуже важливих недоліки. По-перше, знижується якість самої інформації, зображеної на кресленні, оскільки ця інформація з цифрової (дискретної) та однозначної перетворюється в неперервну (аналогову), таку, що залежить від точності виготовлення та зносу в процесі експлуатації кулачків, копіїв тощо. По-друге, вимагається виготовлення всіх носіїв інформації, що є дуже трудомістким і дорогим процесом.

УП для верстатів з ЧПУ є сукупністю інформації, показаної в числовому вигляді, яка визначає переміщення робочих органів верс-

тата, їхнє значення, напрям і знак, умови цих переміщень під час робочого циклу, а також забезпечує управління автоматичною зміною інструмента. Управляюча інформація поділяється на такі види:

- геометрична (опис траєкторії інструмента);
- технологічна (опис технологічних умов процесу);
- допоміжна (вмикання СОР, пуск шпинделя тощо).

Програма найчастіше записується на восьмидоріжкову перфострічку в кодї *ETARS* 244 або в кодї *UCOR* 840. В кодї *ETA*, який є семибітовим непарним, застосовують малі літери, а в кодї *ISO*, який також є семибітовим, але парним, - великі літери.

УП складається з упорядкованої множини основних геометричних, технологічних та допоміжних інформаційних кадрів. Кадр або фраза - це група слів, яка складається з адреси команди та відповідного їй числового значення.

Для однозначного визначення слів застосовується встановлений запис, так званий формат кадру.

Структура кадру являє собою групу літер, цифр і спеціальних символів, записаних у відповідній послідовності. Запис кожного кадру УП починається зі слова "номер" № і числа, наприклад, №01001. За номером кадру йдуть інформаційні слова, які вказують, наприклад, розмірне переміщення, функцію подачі, швидкість головного руху, функцію інструмента, підготовчу функцію та інше.

Перший символ слів позначається літерою, яка показує адресу, решта символів зображується як числа зі знаком або численний ряд. Позначення адреси наведено в табл. 3.

Слова "підготовча функція", які характеризують режим обробки, задаються адресою *G* та двозначним десятковим числом. Функція *G* діє доти, доки не буде замінена іншою функцією з тієї самої групи.

Таблиця 3

Символи, адрес	Значення символів, адрес
<i>A, B, C</i>	Кутові переміщення відповідно навколо осей.
<i>F</i>	Функція подачі.
<i>G</i>	Підготовча функція.
<i>M</i>	Допоміжна функція.
<i>P, Q, R</i>	Треті функції переміщень паралельно осям <i>x, y, z</i> або параметри корекції інструменту.
<i>S</i>	Швидкість головного руху.
<i>T</i>	Функція інструменту.
<i>U, V, W</i>	Вторинні функції переміщень паралельно осям <i>x, y, z</i> .



У табл. 4 наведені значення підготовчих функцій.

Таблиця 4

Підготовчі функції	Значення функції
1	2
<b>G 00</b>	Позиціонування, переміщення на швидкому ході в задану точку.
<b>G 01</b>	Лінійна інтерполяція. Переміщення по прямій до точки.
<b>G 02, G 03</b>	Кругова інтерполяція. Рух по дузі відповідно у від'ємному та додатному напрямках.
<b>G 04</b>	Пауза. Витримка на відповідний час.
<b>G 09</b>	Гальмування в кінці кадру. Плавне зменшення подачі до фіксованого значення.
<b>G17, G18, G19</b>	Площинна обробки. Завдання відповідно площин $xу$ , $zх$ та $уз$ для таких функцій, як кругова інтерполяція, корекція ріжучого інструмента та ін.
<b>G33, G34, G35</b>	Різьба. Нарізування різьби з постійним кроком, що збільшується та зменшується.
<b>G 40</b>	Відміна корекції інструмента, заданої однією з функцій.
<b>G 41, G 42</b>	Корекція діаметра або радіуса інструмента при контурному управлінні.
<b>G 43, G 44</b>	Корекція діаметра або радіуса інструмента відповідно додатна або від'ємна.
<b>G 45 - G 52</b>	Корекція діаметра або радіуса інструмента при прямолінійному формоутворенні.
<b>G 53</b>	Відміна лінійного зсуву, заданого однією з функцій G 54 - G 59.
<b>G 54 - G 59</b>	Лінійний зсув відповідно за $x$ , $y$ , $z$ , $xу$ , $zх$ , $уз$ . Корекція довжини або положення інструмента на величину, встановлену на пульті.
<b>G 80</b>	Відміна постійного циклу, заданого однією з функцій G 81 - G 89.
<b>G 81 - G 89</b>	Постійні цикли, які часто застосовуються при обробці отворів.
<b>G 90</b>	Абсолютний розмір. Відлік переміщень в абсолютній системі координат з початком у нульовій точці системи ЧПУ.
<b>G 91</b>	Розмір у приростах. Відлік переміщень відносно попередньої запрограмованої точки.
<b>G 96</b>	Одиниця виміру швидкості різання, м/хв.
<b>G 94 - G 95</b>	Одиниця виміру відповідно мм/хв; мм/об.
<b>G 97</b>	Одиниця виміру головного руху, об/хв.

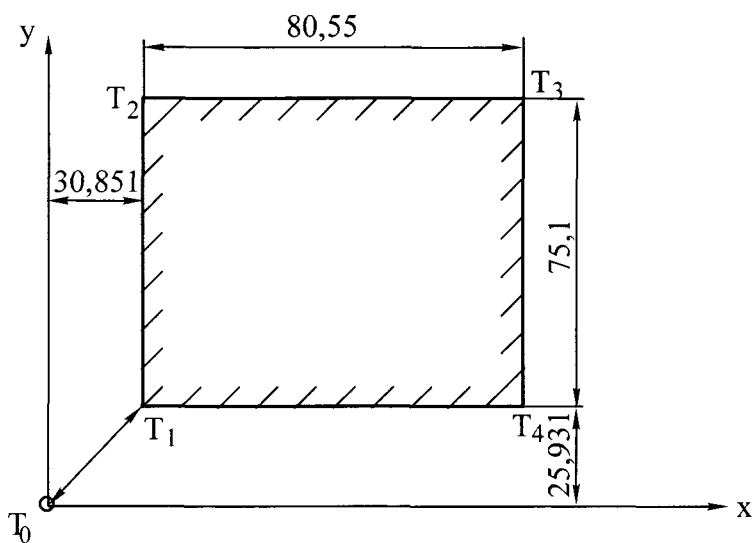


Рис. 14. Підготовчі функції, які визначають напрям рухів і корекцію інструмента.

Слова "розмірне переміщення" **G 01** дають уяву про геометричну інформацію, тобто про координати опорних точок траєкторії інструмента, абсолютні розміри, розміри в приростах. Абсолютні значення задаються числами координат опорних точок.

Характер переміщення задається в кадрі відповідною підготовчою функцією, наприклад **G00**

(позиціонування), **G02** (кругова інтерполяція за годинниковою стрілкою) або **G03** (проти годинникової стрілки), (параболічна інтерполяція). На рис. 14 ілюструються кодування підготовчих функцій (руху інструмента) **G02** і **G03** та **G41** і **G42**.

Слова "функція подачі" визначають швидкість подачі в міліметрах за хвилину. В кадрі швидкість подачі записується адресою після слів підготовчої функції "розмірні переміщення". Слова функція подачі відносяться до відповідної осі координат.

Розмірність швидкості подачі мм/хв та мм/об кодується відповідно функціями **G94** та **G95**. У табл. 5 наведені величини подач у мм/хв та їхні коди.

Швидкість головного руху в метрах за хвилину або в обертах за хвилину кодується відповідно функціями **G96** та **G97**.

У табл. 6 наведені значення чисел обертів шпинделя за хвилину та відповідні коди.

Таблиця 5

№	Подача, мм/хв	Код 2	№	Подача, мм/хв	Код 2	№	Подача, мм/хв	Код 2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	00 (ост)	<b>F 00</b>	19	8,00	<b>F 18</b>	37	63,0	<b>F 36</b>
2	1,12	<b>F 01</b>	20	9,00	<b>F 19</b>	38	71,0	<b>F 37</b>
3	1,25	<b>F 02</b>	21	10,0	<b>F 20</b>	39	80,0	<b>F 38</b>
4	1,44	<b>F 03</b>	22	11,2	<b>F 21</b>	40	90,0	<b>F 39</b>
5	1,60	<b>F 04</b>	23	12,5	<b>F 22</b>	41	100,0	<b>F 40</b>
6	1,80	<b>F 05</b>	24	14,1	<b>F 23</b>	42	125,0	<b>F 41</b>

Продовження табл.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	2,00	<i>F 06</i>	25	16,0	<i>F 24</i>	43	112,0	<i>F 42</i>
8	2,24	<i>F 07</i>	26	18,0	<i>F 25</i>	44	141	<i>F 43</i>
9	2,50	<i>F 08</i>	27	20,0	<i>F 26</i>	45	160	<i>F 44</i>
10	2,80	<i>F 09</i>	28	22,4	<i>F 27</i>	46	180	<i>F 45</i>
11	3,15	<i>F 10</i>	29	25,0	<i>F 28</i>	47	200	<i>F 46</i>
12	3,55	<i>F 11</i>	30	26,0	<i>F 29</i>	48	204	<i>F 47</i>
13	4,00	<i>F 12</i>	31	31,5	<i>F 30</i>	49	250	<i>F 48</i>
14	4,50	<i>F 13</i>	32	35,5	<i>F 31</i>	50	280	<i>F 49</i>
15	5,00	<i>F 14</i>	33	40,0	<i>F 32</i>	51	315	<i>F 50</i>
16	5,60	<i>F 15</i>	34	45,0	<i>F 33</i>	52	355	<i>F 51</i>
17	6,30	<i>F 16</i>	35	50,0	<i>F 34</i>	53	400	<i>F 52</i>
18	7,10	<i>F 17</i>	36	56,0	<i>F 35</i>	54	450	<i>F 53</i>
			70	2800	<i>F 69</i>	86	18000	<i>F 85</i>
55	500	<i>F 54</i>	71	3150	<i>F 70</i>	87	20000	<i>F 86</i>
56	560	<i>F 55</i>	72	3550	<i>F 71</i>	88	22400	<i>F 87</i>
57	630	<i>F 56</i>	73	4000	<i>F 72</i>	89	25000	<i>F 88</i>
58	710	<i>F 57</i>	74	4500	<i>F 73</i>	90	28000	<i>F 89</i>
59	800	<i>F 58</i>	75	5000	<i>F 74</i>	91	31500	<i>F 90</i>
60	900	<i>F 59</i>	76	5600	<i>F 75</i>	92	35500	<i>F 91</i>
61	1000	<i>F 60</i>	77	6300	<i>F 76</i>	93	40000	<i>F 92</i>
62	1120	<i>F 61</i>	78	7100	<i>F 77</i>	94	45000	<i>F 93</i>
63	1250	<i>F 62</i>	79	8000	<i>F 78</i>	95	50000	<i>F 94</i>
64	1410	<i>F 63</i>	80	9000	<i>F 79</i>	96	56000	<i>F 95</i>
65	1600	<i>F 64</i>	81	10000	<i>F 80</i>	97	63000	<i>F 96</i>
66	1800	<i>F 65</i>	82	11200	<i>F 81</i>	98	71000	<i>F 97</i>
67	2000	<i>F 66</i>	83	12500	<i>F 82</i>	99	80000	<i>F 98</i>
68	2240	<i>F 67</i>	84	14100	<i>F 83</i>	100	При- скор. хід	<i>F 99</i>
69	2500	<i>F 68</i>	85	16000	<i>F 84</i>			

Таблиця 6

Код	Число	Код	Число	Код	Число	Код	Число
S 0,0	0,00	S 25	18,0	S 50	315	S 75	5600
S 0,1	1,12	S 26	20,0	S 51	355	S 76	6300
S 0,2	1,25	S 27	22,4	S 52	400	S 77	7100
S 0,3	1,40	S 28	25,0	S 53	450	S 78	8000
S 0,4	1,60	S 29	28,0	S 54	500	S 79	9000
S 0,5	1,80	S 30	31,5	S 55	560	S 80	10000
S 0,6	2,00	S 31	35,5	S 56	630	S 81	11200
S 0,7	2,24	S 32	40,0	S 57	710	S 82	12500
S 0,8	2,50	S 33	45,0	S 58	800	S 83	14000

Продовження табл.6

S 0,9	2,80	S 34	50,0	S 59	900	S 84	16000
S 10	3,15	S 35	56,0	S 60	1000	S 85	18000
S 11	3,55	S 36	63,0	S 61	1120	S 86	20000
S 12	4,00	S 37	71,0	S 62	1250	S 87	22400
S 13	4,50	S 38	80,0	S 63	1400	S 88	25000
S 14	5,00	S 39	90,0	S 64	1600	S 89	28000
S 15	5,60	S 40	100	S 65	1800	S 90	31500
S 16	6,30	S 41	112	S 66	2000	S 91	35500
S 17	7,10	S 42	125	S 67	2240	S 92	40000
S 18	8,00	S 43	140	S 68	2500	S 93	45000
S 19	9,00	S 44	160	S 69	2800	S 94	50000
S 20	10	S 45	180	S 70	3150	S 95	56000
S 21	11,2	S 46	200	S 71	3550	S 96	63000
S 22	12,5	S 47	224	S 72	4000	S 97	71000
S 23	14,0	S 48	250	S 73	4500	S 98	80000
S 24	16,0	S 49	280	S 74	5000	S 99	Швидко

Слова “функція інструмента” використовуються для зазначення інструмента та коректора. Кодове число записується з адресою T та з однією або двома групами цифр. Перша група цифр задає номер і позицію інструмента, а друга визначає номер коректора, довжину та діаметр інструмента. Наприклад, у слові T 1519 літера T характеризує адресу, число 15 - номер інструмента, 19 - номер коректора.

Якщо програмується тільки найменування інструмента без зазначення коректора, то друга група цифр має нулі. Наприклад, інструмент розвертка Ø 20A з матеріалу BK8 позначається T0800, а якщо програмується коректор для заданого раніше в одному з попередніх кадрів інструмента, то нулі має перша група цифр (T00T8).

У табл. 7 наведені коди ріжучих інструментів.

Таблиця 7

Код T2	Назва інструмента	Код T2	Назва інструмента
T 01	Бортштанга Ø 45/46,5 мм	T 13	Свердло центрове Ø T8 мм
T 02	Бортштанга Ø 46,95 мм	T 14	Свердло Ø 6,7 мм
T 03	Цеківка Ø 65 x 90°; P18	T 15	Мітчик M8
T 04	Розвертка Ø 47A мм BK8	T 16	Свердло Ø 6,0 мм
T 05	Свердло Ø 18 мм	T 20	Бортштанга Ø 53/54,5 мм
T 06	Бортштанга Ø 19,5 мм	T 21	Розвертка 55A мм BK8
T 07	Бортштанга Ø 19,95 мм	T 23	Розвертка Ø 32A мм
T 08	Розвертка Ø 20A мм BK8	T 24	Фреза торцьова Ø 125 мм

Слова "допоміжна функція" визначають команду виконавчому органу верстата. Наприклад, зупинник шпинделя, обертання шпинделя за годинниковою стрілкою або проти неї, вмикання охолодження, зміна інструмента та ін. Допоміжні функції задаються словами з адресою M та двозначним десятковим кодовим числом (M00-M99). Призначення їхнє вказано в табл. 8.

Кодування елементів УП виконується відповідно до її формату та умов, пов'язаних із технологічними можливостями верстата. Наприклад, формат УП для координатно-розточувального верстата з ЧПУ, у якого шпиндель переміщується за віссю Z, а стіл - за осями X та Y, запишеться у вигляді [3]:

**N04. G 2X + 032. Y + 022. Z+ 031. F2. S2. T4. M2. LF.**

Таблиця 8

Допоміжна функція 1	Значення функції 2
M00	Програмований зупинник. Зупинник шпинделя та вимикання охолодження. Робота за УП відновлюється після натискання кнопки на пульті управління.
M02	Кінець УП. Повернення робочих органів верстата у вихідне положення.
M03, M04	Обертання шпинделя за годинниковою стрілкою або проти неї. Вимикання шпинделя.
M05	Зупинник шпинделя.
M06	Зміна інструмента.
M07, M08	Вмикання охолодження.
M10, M11	Затискач або розтискач пристрою, патрона.
M13, M14	Обертання шпинделя за годинниковою стрілкою та проти неї. Вмикання охолодження.
M15, M16	Переміщення додатного та від'ємного напрямку.
M17	Кінець програми.
M30	Кінець стрічки.
M50	Вмикання охолодження.

Тут N04 - адреса та чотиризначний номер кадра (наприклад, № 1002); G2 - адреса та дворозрядний кодовий номер підготовчої функції (наприклад, G90); X+032 - адреса та величина переміщення стола за віссю X із знаком "+", зображувана як п'ятизначне число: три цифри ліворуч десяткового числа до коми та дві цифри після коми (наприклад, X + 135,24); Y + 022 означає адресу та величину переміщення стола за віссю Y із знаком "+", зображувану як чотиризначне число

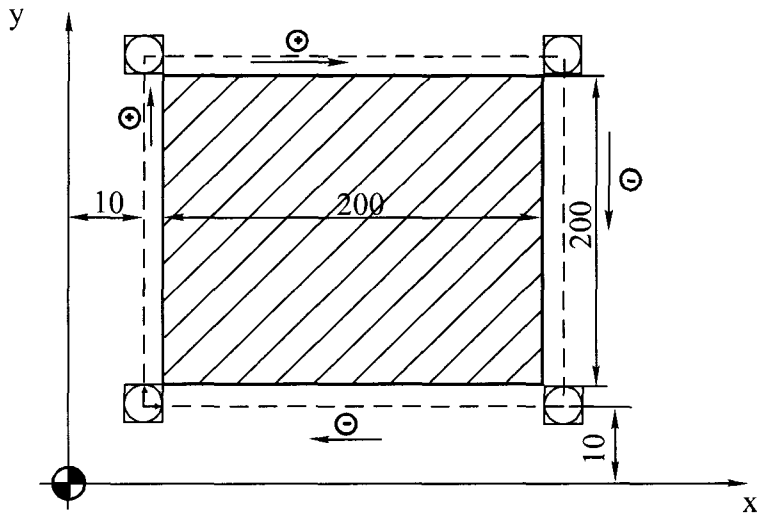


Рис.15. Траєкторія пересування інструмента при обробці деталі.

(наприклад,  $Y=45,15$ ); те саме, для переміщення за віссю  $Z$ ;  $F2$  означає адресу та дворозрядний код подачі (наприклад,  $G94F35$  означає величину та розмірність подачі 0056 мм/хв);  $S2$  - адреса та дворозрядний код швидкості головного руху шпинделя (наприклад,  $G96S39$  означає значення та розмірність швидкості 90 м/хв);

$T4S39$  - адреса та чотирирозрядний код інструмента та коректора;  $M2$  - адреса та дворозрядний кодовий номер допоміжної функції; (•) - символ табуляції;  $LF$  - символ кінця кадру.

Як приклад розглянемо управляючі програми для операцій фрезерування контуру деталі (рис. 15). УП для фрезерування контуру при переміщенні фрези за траєкторією  $T_0-T_1-T_2-T_3-T_4-T_0$  складається з таких кадрів:

1. № 01001  $G00 G90 X(10) Y(10)G94F900.$
2. № 01002  $G01 G90 Y(210) G94F200G96.50.$
3. № 01003  $G00 X(210).$
4. № 01004  $G01 Y(10).$
5. № 01005  $G01 Y(10)M17.$

З початку координат (точки 0) при обробці кадру з функцією починається рух фрези за віссю  $X$ . Підготовча функція  $G90$  вказує, що розміри переміщення за віссю  $X$  задані в абсолютних значеннях, а функція  $G94$  показує розмірність (мм/хв) прискореної подачі. В другому кадрі ділянка лінійної інтерполяції за віссю  $Y$  кодується функцією  $G01$ . Переміщення фрези здійснюється з робочою подачею 200 мм/хв із швидкістю різання 50 мм/хв. Третій кадр показує позиціонування фрези в точці  $T_2$  функцією  $G00$  та обробку контуру за віссю  $X$  на робочих режимах з подачею 200 мм/хв та швидкістю різання 50 м/хв на ділянці  $T_2 - T_3$ . У четвертому кадрі ділянка лінійної інтерполяції кодується підготовчою функцією  $G01$ , обробка ведеться на робочих режимах. В останньому кадрі функція  $M17$  сповіщає кінець програми. Знос ріжучого інструмента викликає похибку обробки. Для

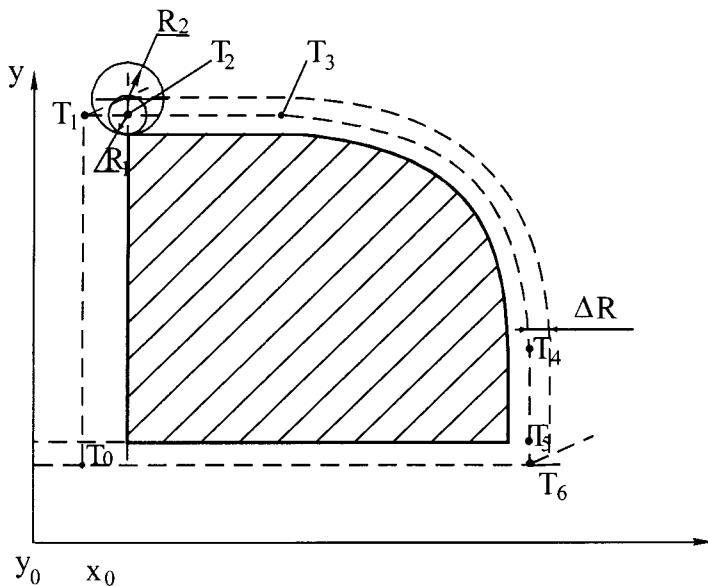


Рис.16. Траєкторія пересування зношеної пальцевої фрези.

компенсації похибок до траєкторії інструмента повинна періодично вводитися корекція.

Корекція траєкторії переміщення інструмента вноситься до програми за допомогою спеціальних підготовчих функцій **G41 - G52**. Причому функція **G40** відмінняє введену корекцію.

На рис. 16 показано траєкторію переміщення зношеної пальцевої фрези до радіуса  $R_1$ , яка скоригована

за допомогою функції **G41**. УП для фрезерування контуру деталі при переміщенні фрези за траєкторією  $T_0-T_1-T_2-T_3-T_4-T_5-T_6-T_0$  (рис.16) складається з таких кадрів:

1. 00001 <b>G00 G17 G90 Y+100 G94 F700</b>	$T_0-T_1.$
2. 00002 <b>G00 G41 X+50 Y+100 T0001</b>	$T_1-T_2.$
3. 00003 <b>X+100</b>	$T_2-T_3.$
4. 00004 <b>G02 X+50 Y-50 IOJ(50-100)</b>	$T_0-T_1.$
5. 00005 <b>G01 Y-20</b>	$T_4-T_5.$
6. 00006 <b>G40 Y-10</b>	$T_5-T_6.$
7. 00007 <b>G00 X-150 M17</b>	$T_6-T_0.$

### 1.7. ВИБІР ПРИСТОСУВАНЬ ТА РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТА НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

Пристосування верстатів з ЧПУ повинні забезпечувати:

- підвищену точність обробки;
- допускати вільне підведення ріжучих інструментів до всіх оброблюваних поверхонь;
- зміну заготовок під час роботи верстата;
- бути багатомісними та легко переналагоджуватися на інші вироби.

За конструктивним оформленням пристосування класифікуються так: універсально-безналагоджувальні (УБП), універсально-налагоджувальні (УНП), спеціалізовані налагоджувальні (СНП), та

універсально-збірні (УЗП) пристосування.

До УПБ відносять центри, цангові затискачі, магнітні та електромагнітні плити. Їх доцільно застосовувати на верстатах з ЧПУ у дрібносерійному виробництві. При групових методах обробки застосовуються УНП. Точне базування та закріплення типових за конфігурацією заготовок різних розмірів у заданому діапазоні забезпечують СНП. Компонування цих пристосувань складається з базового агрегату та змінних налагоджень для окремих деталей. Застосовуються на верстатах з ЧПУ в серійному виробництві. УЗП збираються із стандартних елементів, виготовлених з високою точністю. Складання елементів із деталей багаторазового використання у вузли здійснюється системою шпонка - паз. Оснащення верстата УЗП полягає в їхньому складанні, компоновці та встановленні.

Ріжучий інструмент, що застосовується на верстатах з ЧПУ, поділяється на мірний та немірний. Мірний інструмент - розвертки, мітчики, зенкери й свердла; немірний - різці, у яких вершина ріжучої кромки не має точних відстаней від трьох базових поверхонь. Знос мірного інструмента по заданій поверхні викликає похибку, що змінюється закономірно. Залежність зносу від пройденого шляху при обробці має три характерних періоди: приробки, встановленого зносу та інтенсивного зносу. При встановленому зносі спостерігається лінійна залежність розмірного зносу від шляху різання, що дозволяє компенсувати його вплив на точність обробки за допомогою корекції.

На верстатах з ЧПУ свердління рекомендується проводити з автоматичною зміною режимів різання. На дільницях, де, наприклад, є ливарна корка, зменшується частота обертання свердла. На виході свердла з отвору, коли припиняє роботу поперечна ріжуча кромка, різко (приблизно удвічі) зменшується осьове зусилля. Стрибкоподібна зміна навантаження викликає стрибкоподібну пружну деформацію елементів верстата. В результаті свердло зазнає удару, що може привести до поломки інструмента. Щоб уникнути цього, на виході з отвору слід зменшувати подачу, можливість зміни в ході процесу режимів різання - одна з переваг обладнання з ЧПУ. При обробці однакових отворів кількома інструментами, наприклад, свердління, зенкерування, розвертання на багатоопераційних верстатах з ЧПУ, рекомендується отвори спочатку свердлити, потім зенкерувати та нарешті розвертати. За такою схемою обробки за рахунок похибок позиціонування знижується точність обробки. Якщо вимоги до форми отворів та до точності діаметральних розмірів високі, послідовність обробки



повинна бути іншою: після завершення повного циклу обробки (свердління, зенкерування та розвертання) одного отвору в цій самій послідовності оброблюються інші.

В автоматизованому виробництві ефективним є застосування двокромкових свердел з механічним кріпленням багатограних твердосплавних пластин із стружкороздільними канавками.

Отвори великих діаметрів оброблюють кінцевими фрезами методом контурного (планетарного) фрезерування. Фреза обертається навколо своєї осі та одночасно навколо осі отвору. Контурне фрезерування порівняно з розточуванням має значну продуктивність.

Для обробки пазів застосовують кінцеві фрези. На верстатах з ЧПУ обробка здійснюється за два проходи: спочатку фрезерують середню частину паза, а потім з потрібною точністю - бічні сторони.

Для зменшення простоїв обладнання при заміні інструментів застосовують їхні швидкозмінні конструкції, які налагоджуються на розмір паза верстатом. При постановці такого інструмента на робоче місце у верстаті не потребується додаткового регулювання на розмір. Положення інструментів за довжиною регулюється за допомогою регулювальних гвинтів.

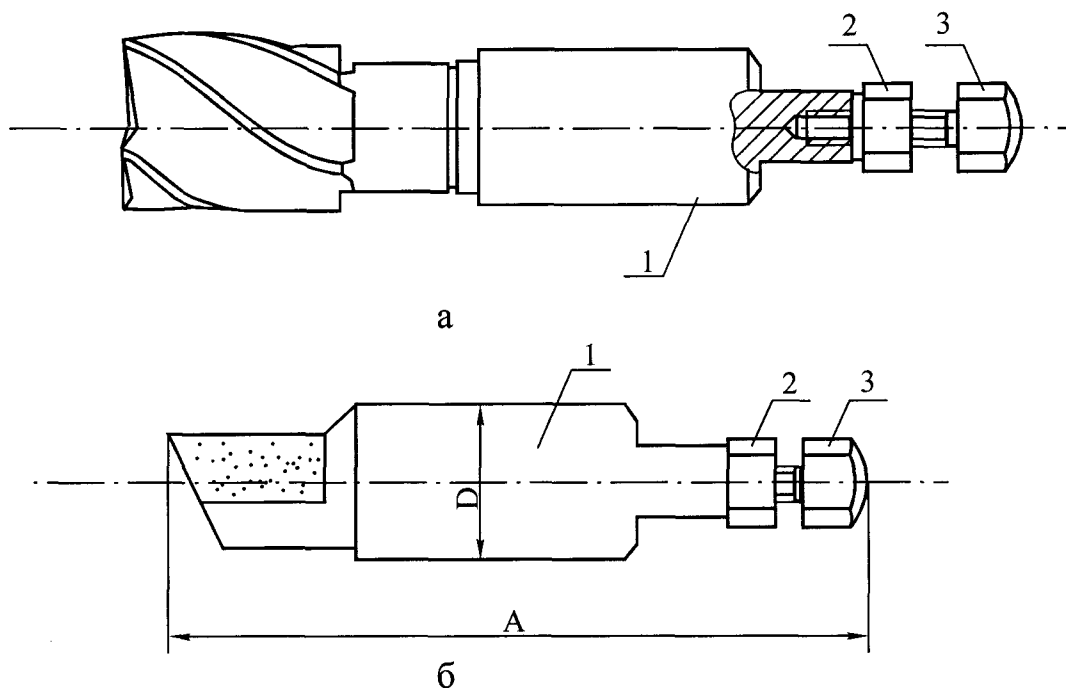


Рис.17. Кінцева фреза та різець з циліндричним хвостовиком.

На рис. 17,а показано кінцеву фрезу з циліндричним хвостовиком 1. Потрібний виліт фрези встановлюють за допомогою регулювального гвинта 2, а потрібне положення фіксують контргайкою 3. Встановлення розточних різців 1 на розмір також здійснюється за до-

помогою регулювального гвинта 2 (рис. 17,б) і положення фіксується контргайкою 3. Підналагодження різців на розмір, здійснюване поза верстатом за двома координатами, показане на рис. 18.

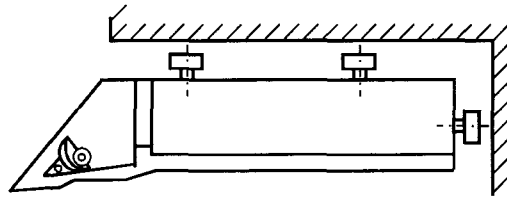


Рис.18. Схема підналагодження різців за двома координатами.

Якщо не вдається забезпечити необхідну точність позиціонування інструмента, слід передбачити регулювання стану інструмента на верстаті. В міру зносу інструмента відбувається зміна розмірів оброблюваних деталей. Як тільки розмір деталі наближається до гранично допустимої межі, контрольно-вимірювальний прилад видає команду про необхідність піднастроювання інструмента.

### 1.8. ПРИВОДИ ВИКОНАВЧИХ ОРГАНІВ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ

У верстатах з програмним управлінням використовують приводи дискретної дії із застосуванням крокових (імпульсних) двигунів. Крокова система управління працює за розімкненою системою і не потребує зворотного зв'язку. Ротор крокового двигуна складається звичайно з трьох секцій, кожна з яких зсунута відносно іншої на  $1/3$  крокового поділу. Почергове вмикання обмоток електромагнітів викликає поворот ротора на  $1/3$  кроку зубців при кожному імпульсі. Напрямою обертанню крокового двигуна залежить від послідовності подачі напруги до обмоток електромагнітів. При зміні послідовності подачі напруг в обмотки електромагнітів ротор обертається у зворотний бік.

Для системи програмного управління верстатів застосовують крокові двигуни невеликих розмірів та малої потужності, але з високою частотою та малою величиною крокового переміщення в сполученні з гідравлічним підсилювачем крутячих моментів. Вони використовуються для переміщення золотника гідропідсилювача крутячих моментів. Слідкуючий золотник перетворює крокові переміщення вихідного вала крокового електродвигуна в точно відміряну кількість масла, що надходить у гідравлічний двигун. Таким чином, гідродвигун верстата з ЧПУ обертається з тими самими кроками, що й вал електродвигуна, підсилюючи крутячий момент малопотужного крокового електродвигуна у 200-300 разів. Крім того, гідропідсилювач

згладжує коливання, що викликаються переривчастим обертанням вала крокового електродвигуна.

### 1.9. ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ

З досвіду експлуатації верстатів з ЧПУ відомо, що при обробці одних деталей їхня ефективність є достатньо високою, а при обробці інших - незначною. Таким чином, ефективність використання верстатів з ЧПУ залежить від конструктивних і технологічних особливостей.

Відомі випадки, коли підприємства, що придбали дороге устаткування, наприклад, верстати з ЧПУ, пересвідчуються в процесі їхньої експлуатації в тому, що завантажити це устаткування на повну потужність та з достатньо високою ефективністю на даному підприємстві неможливо.

Ефективність застосування верстатів з ЧПУ звичайно оцінюється по затратах на механічну обробку, які залежать від конструктивно-технологічної складності оброблюваних деталей. Затрати на обробку складаються із затрат живої та оречевленої праці [5]:

$$Z = T + B,$$

де  $Z$  - коефіцієнт сумарних затрат на обробку,  $T$  - затрати, пропорційні трудомісткості обробки;  $B$  - коефіцієнт, що характеризує затрати, пов'язані з придбанням технологічного обладнання, який є пропорційним продуктивності.

Трудомісткість обробки  $T$  можна зобразити у вигляді відношення коефіцієнта складності обробки  $C$  до коефіцієнта продуктивності:

$$T = \frac{C}{B} + B.$$

Зменшення затрат на обладнання викликає збільшення ручної праці. Із збільшенням затрат на обладнання збільшується вартість оречевленої праці, але зменшується вартість живої праці.

На рис. 19 зображено графік

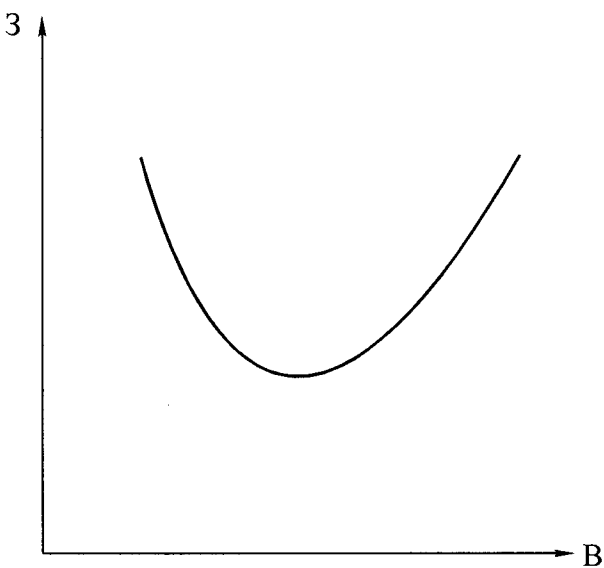


Рис.19. Залежність сумарних затрат від коефіцієнта, що характеризує затрати на обладнання [2].

якісної залежності коефіцієнта сумарних затрат на обробку від коефіцієнта, який характеризує затрати на обладнання. Права вітка кривої на графіку характеризує випадок обробки простих деталей на дорогих верстатах з ЧПУ, ліва - обробку надзвичайно складних у конструктивно-технологічному відношенні деталей на верстатах з низькими технологічними можливостями.

У першому випадку збільшення загальних затрат на обробку пов'язане з невиправдано високою вартістю оречевленої праці; у другому - збільшення загальних затрат на обробку пов'язано із збільшенням затрат живої праці.

З проведеного аналізу виходить, що для максимального використання технологічних можливостей верстатів з ЧПУ необхідно правильно підбирати деталі з певною конструктивно-технологічною складністю. Іншими словами, з рис. 19 виходить, що для кожної деталі існує верстат з оптимальними технологічними можливостями.

## 1.10. ВИСОКОПРОДУКТИВНІ СПОСОБИ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

### 1.10.1. ОБРОБКА КОНТУРА ДЕТАЛЕЙ НА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

Залежно від кількості одночасно керованих координат розрізняють плоску та об'ємну обробку поверхонь. Для високопродуктивного процесу фрезерування площин застосовують пальцеві циліндричні (а), пальцеві сферичні (б), торцеві (в) та дискові (г) фрези (рис. 20). Центр заокруглення фрези (рис. 20,б) приймається за розрахункову точку. При обробці внутрішнього та зовнішнього контурів розрахункові точки описують еквідистантні оброблюваному профілю контури.

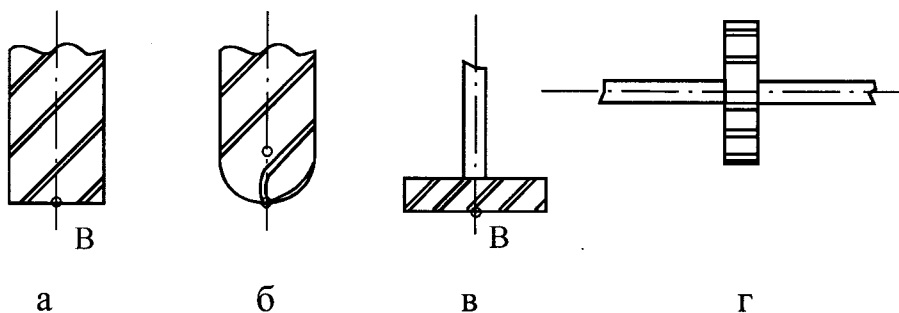


Рис.20. Конструкції фрез, застосовувані для обробки плоских і фасонних поверхонь.

При обробці закритих і відкритих контурів деталей, а також плоских поверхонь розрахунковою точкою є вершина пальцевої фрези В. При обробці об'

емних поверхонь застосовують пальцові сферичні фрези, що дозволяють виконувати обробку заокругленою частиною фрези. Тут еквідистантну до оброблюваного профілю криву описує центр заокруглення фрези. Траєкторія інструмента складається з ділянок підведення, робочого проходу та відведення фрези.

На рис. 21 показані схеми фрезерування зовнішніх (а) та внутрішніх (б) контурів, плоских поверхонь (в) та шпонкових пазів (г). Із нульової точки 1 (рис, 21,а,б) фреза переміщується у точку 2, а потім переміщується по замкнутих контурах 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 - 10 - 11. Після завершення циклу обробки фреза повертається у вихідне положення - нульову точку. Ділянкам врізання треба приділяти особ-

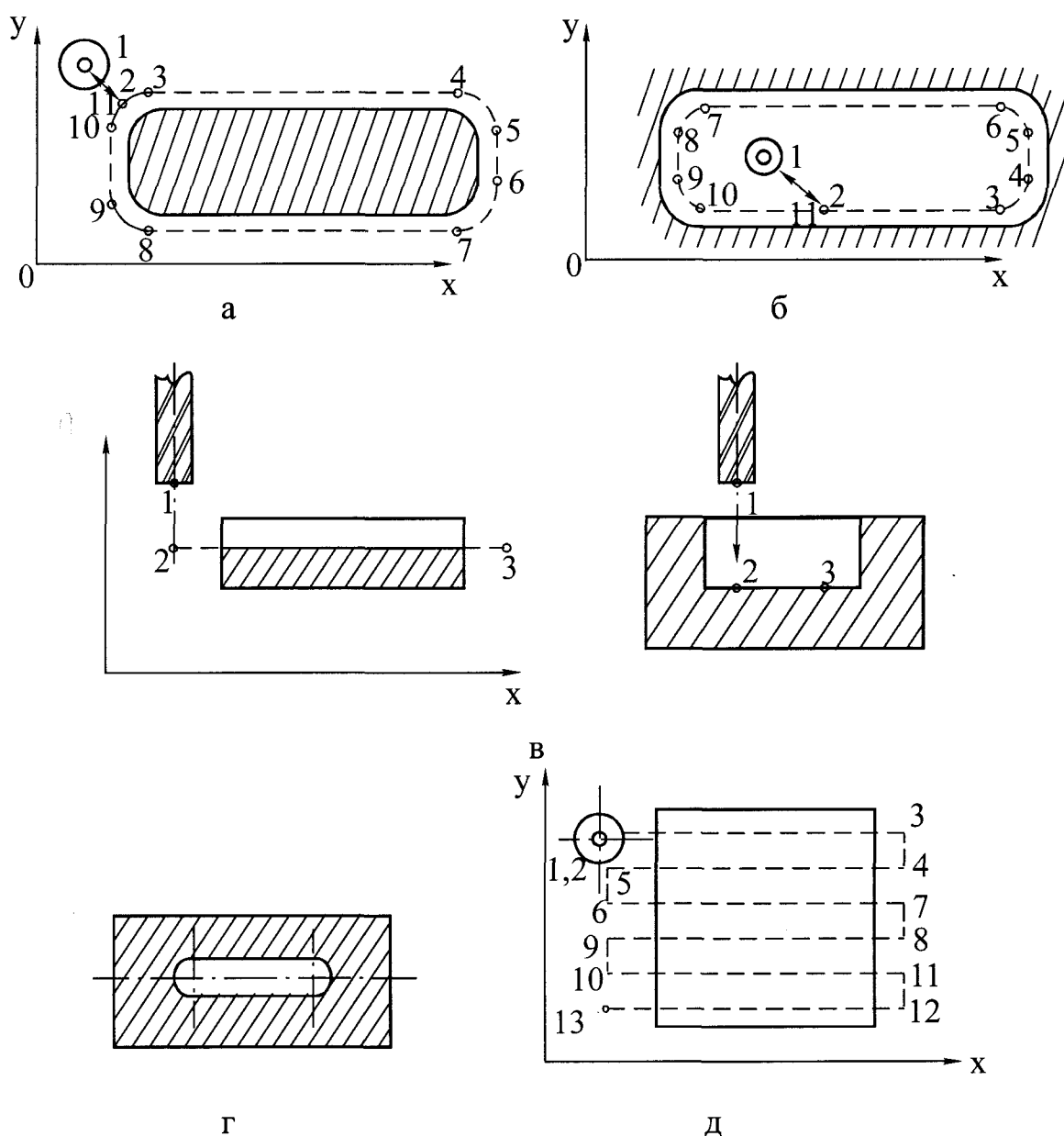


Рис.21. Схеми обробки зовнішніх (а) та внутрішніх (б) фасонних поверхонь, шпонкових пазів (в, г) та плоских поверхонь (д) на верстатах з ЧПУ.

ливу увагу, оскільки на них відбувається навантаження інструмента силою різання. На цих ділянках сила різання повинна наростати плавно, наближаючись до сили різання, яка діє на робочій дільниці оброблюваного профілю. При чорновому фрезеруванні врізування рекомендується здійснювати по нормалі, а при чистовому - за дотичною до оброблюваного контуру. Різка зміна напрямку руху інструмента викликає динамічні похибки. Для усунення або зменшення цих похибок рекомендується при зміні напрямку подачі зменшувати швидкість подачі та припуск на обробку.

При обробці площин порядкову відстань між окремими рядками вибирають, враховуючи радіус ріжучої частини фрези та вимоги до точності й шорсткості оброблюваної поверхні.

Під час обробки шпонкового паза кінцевою фрезою попередньо засвердлюється отвір для введення фрези в зону різання. Фрезерування паза відбувається за траєкторією 1, 2, 3 (рис. 21,г). У випадках, коли засвердлювання отвору неможливе або недоцільне, врізування здійснюють під кутом до оброблюваної поверхні.

При базуванні заготовок на фрезерних верстатах з ЧПУ необхідно у всіх випадках позбавляти їх усіх ступенів вільності відносно нульової точки. Базування повинно забезпечити однозначне положення заготовки на верстаті при обробці всіх її поверхонь. Бажано забезпечити принцип сполучення баз. При обробці площин, розташованих під кутом, застосовують кутові плити з постійним кутом  $90^0$  або універсальні, що допускають поворот на будь-який кут навколо однієї або двох осей. Для закріплення деталей застосовують лещата різних конструкцій: прості неповоротні, поворотні навколо однієї або двох осей та спеціальні з ручним, пневматичним, гідравлічним або пневмогідравлічним приводом.

Основним видом інструмента, призначеного для обробки деталей на фрезерних верстатах з ЧПУ, є калібровані за зовнішнім діаметром право - та ліворіжучі кінцеві фрези. Кінцеві фрези випускають з конічним і циліндричним хвостовиками. Фрези з конічним хвостовиком встановлюють у шпиндель верстата, використовуючи перехідні втулки, внутрішній конус яких відповідає конусу хвостовика інструмента, а зовнішній - конусу верстата. Крутячий момент від шпинделя до перехідної втулки, а від неї до фрези передається через торцеву шпонку. Кінцеві фрези з циліндричним хвостовиком закріплюються в патроні.

На рис.22 показані деякі компонування фрезерних верстатів.

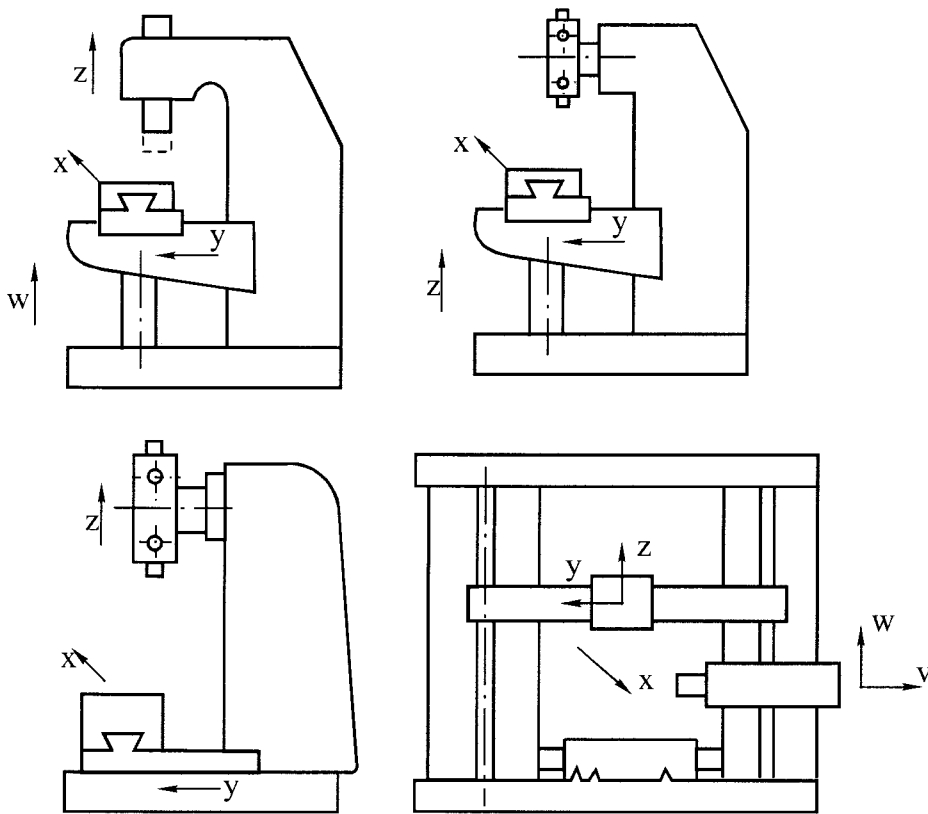


Рис.22. Компонування фрезерних верстатів.

При фрезеруванні пазів, точних за шириною, зношеними фрезами використовують патрони з регульованим ексцентриситетом.

Основна особливість фрезерних верстатів з ЧПУ - автоматизація всіх формуючих та допоміжних рухів: зміна інструмента, режимів різання, корекція положення інструменту

тощо. За своїм компонуванням фрезерні верстати з ЧПУ поділяються на три групи: консольно-фрезерні, безконсольні та поздовжньо-фрезерні.

Консольно-фрезерні верстати бувають одноінструментальні та багатоінструментальні з револьверною головкою. В безконсольних верстатах стіл вертикально не пересувається, а рухається лише фрезерна головка. Стіл монтується на масивній основі, тому верстати мають велику жорсткість, а отже, і точність порівняно з консольно-фрезерними.

Безконсольні верстати випускаються одноінструментальними з револьверною головкою або інструментальним магазином.

На рис.22 показані деякі компонування фрезерних верстатів.

### 1.10.2. ОБРОБКА ОТВОРІВ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

Залежно від конфігурації отворів допустимої точності, форми та взаємного розташування осей обробку їх на верстатах з ЧПУ свердильно-розточної групи виконують за визначеним набором технологічних переходів. У табл. 9 наведені набори типових технологічних переходів, які забезпечують отримання отворів діаметром 25 мм різ-

ної точності. З аналізу наведених даних виходить, що з підвищенням точності збільшується кількість необхідних технологічних переходів, отже, збільшується і вартість обробки. Якщо вартість обробки отворів діаметром 25 мм 12-го квалітету точності прийняти за 1,0, то вартість обробки отворів 9-, 8- та 7-го квалітетів точності відповідно збільшується до 1,5; 2,5; 4,0.

Таблиця 9

Номер комплекту переходів	Центрування	Свердління	Зенкування	Обробка фаски	Розвертання		Квалітет
					Попереднє	Остаточне	
1	+	+	+	+	+	+	7
2	+	+	-	-	+	+	8
3	+	+	-	-	-	+	9-10
4	+	+	-	-	-	-	12-14

Кожному технологічному набору переходів відповідає певний набір інструментів, якщо число позицій на верстаті менше числа потрібної кількості інструментів, то застосовують комбіновані інструменти або обробку розбивають на дві операції. Під час обробки корпусних деталей з великою кількістю отворів можливі два варіанти обробки: паралельна, коли всі отвори спочатку оброблюються одним інструментом, а потім виконується його зміна і цикл повторюється, та послідовна, коли кожний отвір оброблюється потрібним набором інструментів згідно з технологічною схемою, після чого виконується позиціонування для обробки наступного отвору.

Змінна частка часу, яка залежить від варіанта обробки отворів, складається з часу позиціонування інструментів і часу на зміну інструментів. Якщо час зміни інструмента менше часу позиціонування, перевагу віддають послідовному варіанту обробки, якщо більше - паралельному. Ці рекомендації враховують тільки продуктивність обробки. Приймаючи до уваги точність обробки, іноді рекомендується перші переходи виконувати за методом паралельної обробки, а остаточні - послідовної.

Технологічні переходи обробки отворів виконуються за типовими схемами. Траєкторія інструментів у межах кожного проходу складається з робочого та допоміжного ходів. Робочий хід складається з трьох ділянок: недоходу, ділянки обробки та перебігу. При зацентровці та обробці глухих отворів ділянка перебігу відсутня. Перебіг залежить від забірної конуса інструмента та приймається більше його



довжини на 2...3 мм. Залежно від стану поверхні деталі недохід інструмента коливається від 1...2 мм до 5...7 мм.

У межах робочого ходу інструмента встановлюються проміжні опорні точки, в яких змінюється щохвилинна подача або відбувається реверс обертання шпинделя. Наприклад, до опорної точки свердління відбувалося з подачею 120 м/хв, а потім подача зменшилася до 60 м/хв. Такі умови обробки збільшують стійкість та надійність роботи свердел і виключають їх поломки на виході з деталі.

Під час свердління отворів діаметром 5...20 мм в сталі з твердістю HB 230-270 рекомендується вибрати подачі 0,03... 0,26 мм/об. Для сталей з меншою твердістю (HB 220) рекомендується на 20-30% збільшити подачу, а для сталей підвищеної твердості (HB 270) на 20-25% зменшити.

Центрові отвори рекомендується оброблювати короткими спіральними свердлами з кутом при вершині  $2\phi = 90^\circ$  або комбінованими свердлами. Перевага коротких свердел перед комбінованими полягає в простоті конструкції, легкості заточування, більшій стійкості, можливості суміщення центрування з виконанням фаски.

Точність виготовлення деталей значно залежить від точності та жорсткості допоміжного інструмента, а також від режимів роботи верстата. Як допоміжний інструмент застосовують конічні перехідні втулки, оправки та перехідні патрони. Цангові патрони служать для встановлення і закріплення інструментів з циліндричним хвостовиком діаметром 2...28 мм. Оправки призначені для встановлення та закріплення зенкерів і розверток з посадочним конусом 1:30. До комплекту входить сім типорозмірів оправок з найбільшими діаметрами (13.. 40 мм) посадочного конуса оправки.

### 1.10.3. ПРОГРАМУВАННЯ СВЕРДЛИЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ

Програмування свердлильних операцій починається з визначення складу переходів для кожного отвору та вибору інструмента. Далі визначаються схеми осьових пересувань інструментів відносно опорних точок і назначаються режими різання.

На рис. 23 показані типові переходи роботи інструментів при обробці отворів в деталі типу "кришка" згідно з операційним ескізом (див. рис. 12). Для обробки отворів 1-3 (рис. 12) прийнято такий склад типових переходів: центрування (рис. 23,а,б), свердління (рис. 23.в,г), розвертання (рис. 23, д) та нарізання різьби (рис. 23,е).

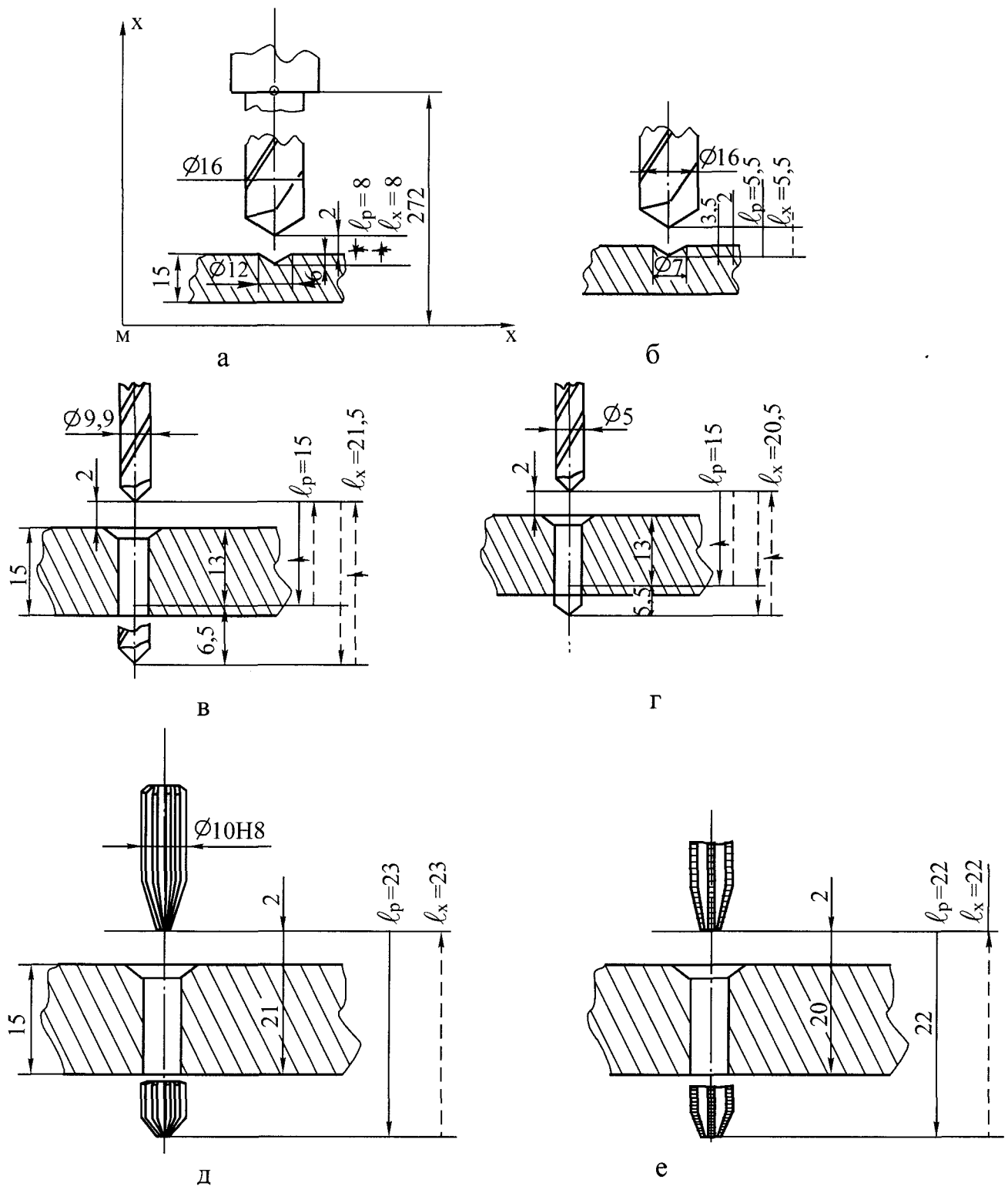


Рис.23. Типові переходи роботи інструментів при обробці отворів.

До складу інструментального налагодження входять: свердло ( $2\phi = 90^0$ ) діаметром 16 мм; свердло діаметром 9,9 мм; розвертка діаметром 10H8; мітчик М6. Послідовність переходів: центрування отворів 1-3; свердління та розвертання отворів 1 та 2; свердління та нарізання різьби в отворі 3.

Режими руху та позиціонування задаються за допомогою підго-

товчих функцій **G60- G69**. Відповідно до цих функцій забезпечується підхід інструмента до заданої точки та зупинка в зоні, яка визначає точність позиціонування. Функцію **G62** використовують при грубому позиціонуванні з прискореного ходу, а функцію **G60** - при точному позиціонуванні з робочою подачею.

При точному позиціонуванні забезпечується ступінчасте зниження швидкості руху: від прискореної до мінімальної швидкості підходу до заданої точки. При грубому позиціонуванні в зоні зупинки відключається подача прискореного ходу, внаслідок чого можливий перебіг. Наприклад, позиціонування шпинделя при свердлінні отворів 1 та 2 (див. рис. 12) записують таким рядком:

**N00001 G90 G60 X(50,8) Y(100,5) LF**  
**N00002 X(200) LF.**

Ріжучий інструмент змінюється за командою **M06**. За командою **T** вибирається з магазину потрібний інструмент, а за командою **M06** він встановлюється в шпиндель. Крім того, команда **M06** передбачає повернення відпрацьованого інструмента в магазин. Заміна інструмента здійснюється в певній (небезпечній) зоні робочого простору верстата. Код інструмента вказується разом з кодом коректора. Наприклад, інструмент має код **T08**, а коректор - **06**. Загальний запис команди на інструмент має вигляд **T0806**.

При обробці отворів різними інструментами часто доводиться здійснювати осепаралельну заміну (корекцію) довжин інструментів. Для осепаралельної корекції використовують підготовчі функції **G43** та **G44**. Для корекції виліту інструмента до коректора заноситься абсолютна різниця  $\Delta Z$  між розрахунковою та дійсною аплікатами вершин інструментів:  $Z_1 - Z_0 = \Delta Z$  (рис. 12).

В УП осепаралельна корекція довжини інструмента 2 (свердло 9,9 мм)(рис. 12), який коротший від запрограмованого свердла 1 діаметром 16 мм, записується рядком

№ 00001 ..... **G44** ..... T0106.

Якщо інструмент довший від запрограмованого (наприклад, розвертка), то кадр матиме такий запис:

№ 00004 ..... **G43** ..... T0306.

На прикладі програмування роботи інструмента (свердло діаметром 16 мм), кодовий номер **T01** (рис. 12) розглянемо порядок кодування інформації для випадку зміщення нуля системи кодування з віссю **Z**:

№ 0001 **G60 G80 T0101 LF.**                      № 0002 **F50 3600 M06 LF.**

№ 0003 **G44 2430.**

№ 0004 **X(50,8) Y(100,5) LF.**

У першому кадрі вказаний працюючий інструмент - свердло **T0101** та підготовчі функції **G60** (точне позиціонування) і **G80** (скасування постійних циклів). Мета останньої підготовчої функції **G80** - очистити пам'ять УЧПУ від команд, запрограмованих раніше, - стандартних циклів. У другому кадрі дано команду на зміну інструмента (**M06**), вказані режими свердління: подача 50 мм/хв та частота обертання шпинделя 60 об/хв.

Третій кадр вказує на необхідність корекції за віссю **Z** укороченого свердла діаметром 9,9 мм (**G44**)  $(600 - 1700) = 430$  мм (рис. 12.).

Четвертим кадром здійснюється позиціонування інструмента з точкою 1 (рис. 12), розташований від нульової точки **M** на відстані **X** = 50,8 мм, **Y** = 100,5 мм. Площина, розташована на відстані 600 мм від нульової точки **M**, називається базовою для всіх інструментів.

Наступний кадр виводить вершину свердла в точку, розташовану над рівнем поверхні деталі на відстані 2 мм. Щоб сумістити вершину свердла з цією точкою, необхідно здійснити позиціонування шпинделя з точки **P**, розташованої на відстані 600 мм від нульової точки **M**, до точки, розташованої на відстані **R** =  $600 - 328 = 272$  мм від нульової точки.

Координата положення торця шпинделя в кінці робочого ходу свердла визначиться координатою **Z** =  $272 - 8 = 264$  мм.

Ці дані в п'ятому кадрі записуються з адресами **R** та **Z**:

№ 0005 **00005 G82 R272 Z264 LF.**

Після виконання команди кадру № 5 торець шпинделя буде розташований у площині, визначеній координатою **R** = 272 мм. Для обробки отвору 2 за заданим циклом **G82** здійснюється програмування переміщення шпинделя за осями **X** та **Y**

№ 0006 **X(250,8) Y(100,5) LF**

№ 0007 **X(150,8) Y(130,0) Z(266,5) LF**

№ 0008 **G80 T0202 LF.**

Кадр №8 відмінює цикли **G82** та задає новий інструмент - свердло діаметром 9,9 мм.

#### 1.10.4. ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

При обробці деталей на токарних верстатах необхідно визначити траєкторію центра округлюючої дуги ріжучої кромки різця. На рис. 24 показані схеми обточування валика різцем, який має округ-

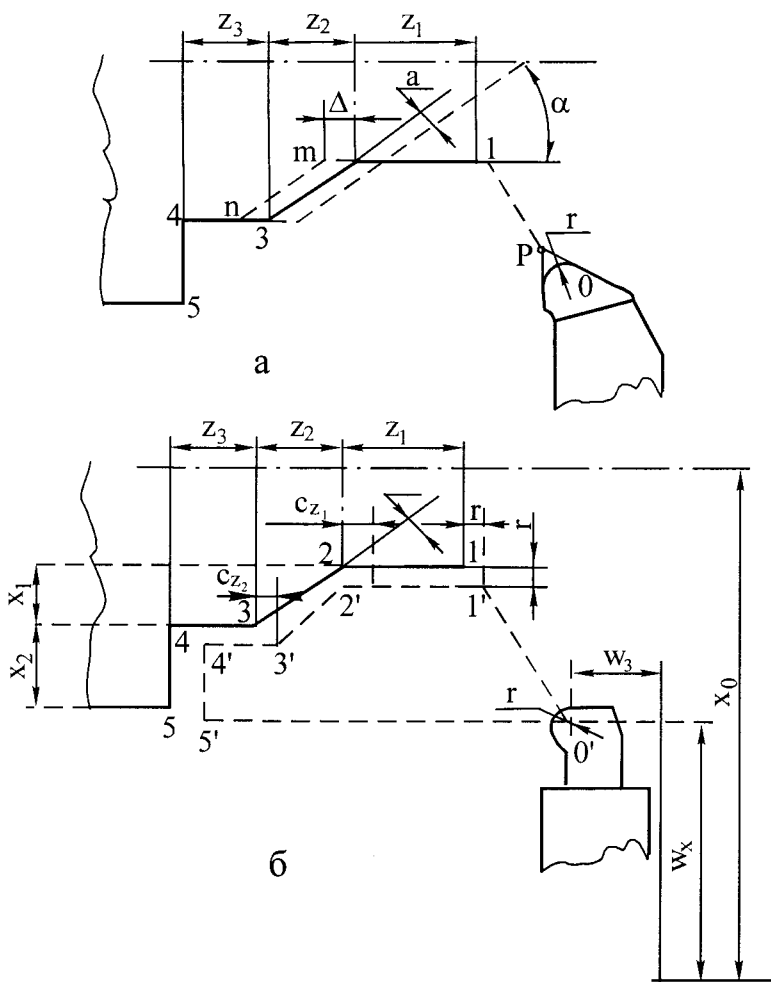


Рис.24. Схема обточування ступінчастого валика різцем із округленою вершиною (а) і схема розрахунку еквідистанти траєкторії пересування центра радіуса округлення різця (б).

Якщо при програмуванні знехтувати наявністю цього округлення, то точка  $P$  пройде за оброблюваним контуром, що проходить через точки 2 та 3 (рис. 24, а). Ріжуча радіусна поверхня різця пройде паралельно лінії 2-3 із зміщенням на величину  $a$ . Якщо кут нахилу  $\alpha = 90^\circ$  - величина перекручування  $a = 0$ , при  $\alpha = 45^\circ$  похибка досягне найбільшого значення. У загальному випадку  $a = r \cdot (1 - \operatorname{tg} \alpha / 2) \cdot \sin \alpha$ .

Похибку, що виникає, можна усунути, якщо при програмуванні оброблюваний контур 2-3 змістити в напрямі осі  $Z$  на величину поправки  $\Delta$ :  $\Delta = r \cdot (1 - \operatorname{tg} \lambda / 2)$ . За цих умов вершина різця  $P$  пройде за відрізком  $m-n$ , а ріжуча радіусна поверхня - за твірною 2-3.

При обробці конічних або сферичних поверхонь різцем із закругленою ріжучою поверхнею треба програмувати траєкторію центра радіусної кромки різця - еквідистанту.

На рис. 24,б показано приклад, що пояснює розрахунок еквідис-

лення при вершині. Товстою контурною лінією обведено контур деталі, а тонкою - еквідистанту, віддалену від контуру. Для визначення траєкторії руху різця розглянемо окремі ділянки шляху, обмежені опорними точками.

У горизонтальній площині робочого простору верстата вісь  $Z$  збігається з віссю шпинделя та напрямлена від патрона до інструмента, а вісь  $X$ , напрямлена від деталі праворуч, якщо дивитись упродовж осі шпинделя від патрона до інструмента. В цих координатах визначається положення всіх опорних точок траєкторії інструмента.

Різець має округлення радіусом  $r$  та точку  $P$ .

танти. Паралельно корпусу деталі побудована еквідистанта (тонка пунктирна лінія) з опорними точками  $0'-1'-2'-3'-4'-5'=0'$ . У табл. 10 наведено програму переміщень.

Таблиця 10

Опорні точки еквідистанти	Довжина шляху	
	за віссю $\alpha$	за віссю $Z$
1-2	$Z_1 + r - C_z$	0
2-3	$Z_2 + C_{z2} + C_z$	$x_1$
3-4	$Z_3 - r + C_{z2}$	0

Верстати з ЧПУ токарної групи призначені для обробки зовнішніх та внутрішніх поверхонь тіл обертання із ступінчастим і криволінійним профілем у замкненому напівавтоматичному циклі та нарізання різьби.

Програма переміщень інструмента та допоміжні команди записуються на перфострічці в стандартних кодах. Застосовуються в одиночному, дрібносерійному та серійному виробництвах з дрібними партіями деталей, що повторюються. Основними вузлами верстатів з ЧПУ токарної групи є: станина, автоматична коробка швидкостей, приводи головного руху, поздовжньої подачі каретки супорта та поперечної подачі супорта, кулькові гвинтові пари поздовжнього та поперечного переміщень, вузол вихідного нульового положення та установлення шляхових кулачків, датчик різьбонарізання, вузол централізованого змазування та пристрій для подачі охолоджуючої рідини, шкаф управління, система управління та гідростанція.

Для підвищення точності обробки застосовують точні датчики зворотного зв'язку (ДЗЗ) з дискретністю 0,001...0,002 мм, в приводах головного руху - електродвигуни постійного струму з тиристорним управлінням, у приводах подач - високомоментні електродвигуни постійного струму з мінімальним часом гальмування та розгону. Для зменшення сил тертя рекомендується напрямні верстата виготовляти з антифрикційних матеріалів та застосовувати напрямні кочення.

#### 1.10.5. ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНОЇ СКЛАДНОСТІ ДЕТАЛЕЙ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХНЬОЇ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

Трудомісткість проектування технологічних процесів у серійному виробництві складає 40-50% загальної трудомісткості технологічної підготовки виробництва. Вихідний об'єкт для розробки технології - заготовка, а кінцевий продукт обробки - готова деталь, яка відповідає робочому кресленню з технічними умовами.

Технологічний процес - це сукупність операцій, необхідних для перетворення заготовки в готову деталь. Основні етапи технологічного процесу згідно з ГОСТ 14.301-73 полягають у виборі заготовки, технологічних баз, послідовності та змісту технологічних операцій, обладнання та пристроїв, оптимальних режимів.

Розробка технологічного процесу належить до числа багатоваріантних задач.

Верстати з ЧПУ, в тому числі з мікропроцесорним управлінням, широко використовуються на машинобудівних заводах. Однак у деяких випадках їх застосування є малоефективним і навіть збитковим. Визначення пріоритетів у підборі деталей дозволяє знайти область найбільш ефективного використання верстатів з ЧПУ.

Основними параметрами, які беруться в основу оцінки ефективності обробки деталей на верстатах з ЧПУ є: складність і технологічність деталі, число деталей в партії, технологічні можливості та економічні показники верстата, а також методи та засоби підготовки УП. Складність деталі характеризується числом оброблюваних поверхонь, їх формою та розташуванням, вимогами до точності. Методика вибору оптимальної конструктивно-технологічної складності деталей розглянута в роботі [5]. Згідно з даною методикою коефіцієнт складності обробки:

$$C = C_k \cdot K_m \cdot K_p \cdot K_v \cdot K_m \cdot K_n \cdot K'_v,$$

де  $C_k$  - коефіцієнт конструктивної складності,  $C_k = a_k \cdot n$ ;  $a_k$  - коефіцієнт пропорційності (для деталей тіл обертання  $a_k = 0,02$ );  $n$  - число основних оброблюваних поверхонь (без урахування фасок, радіусів, округлень та інших другорядних елементів);  $K_m$  - коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу; для машиновиробних вуглецевих сталей з НВ = 156-229:  $K_m = 1,0..1,43$ ; для хромистих та хромо-нікельових сталей з НВ = 179-269:  $K_m = 1,43..1,66$ ; для інструментальних високовуглецевих сталей з НВ = 179-269:  $K_m = 1,1$ .

Для інструментальних легованих сталей з НВ = 229-331:  $K_m = 1,6..2,0$ ; для чавунів з НВ = 143-295:  $K_m = 1,9..3,0$ ; для алюмінієвих сплавів з НВ = 10-50:  $K_m = 0,4..0,5$  [5];  $K_p$  - коефіцієнт, який враховує розмір оброблюваної деталі, визначається залежністю:  $K_p = L_0 / L'_0$ ;  $L_0 = L + D$ ;  $L$  - довжина деталі;  $D$  - її діаметр;  $L'_0$  - базовий розмір, наприклад, 1200 мм;  $K_v$  - коефіцієнт використання матеріалу,

$$K_g = \left( \frac{1-k}{1-k'} \right) \cdot 0,6 + 0,4,$$

де  $k = P_{дет} / P_{заг}$ ;  $P_{дет}$ ,  $P_{заг}$  - маса відповідно деталі та заготовки;  $k'$  - середнє значення коефіцієнта використання матеріалу в машинобудуванні,  $k' = 0,7$ ;  $K_m$  - коефіцієнт технологічності конструкції;

$k$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95
$K_g$	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,42;

$K_n$  - коефіцієнт повноти обробки,  $K_n = n_1 / n$ ;  $n_1$ ,  $n$  - число основних поверхонь деталі, оброблюваних відповідно на даній операції та на деталі;  $K'_g$  - коефіцієнт, який характеризує вид операції (чорнова, чистова).

Якщо на верстаті з ЧПУ здійснюється чорнова та чистова обробки,  $K'_g = 1$ ; якщо виконується тільки чорнова обробка,  $K'_g = 0,6$ ; для чистової обробки  $K'_g = 0,4$ . Трудомісткість обробки  $T$  пропорційна коефіцієнту складності деталі  $C$ , тобто  $T = C / B$ , де  $B$  - коефіцієнт пропорціональності, що характеризує ступінь новизни обладнання, на якому здійснюється обробка.

Тут продуктивність розглядається як параметр, який характеризує технологічні можливості обладнання. Чим вище  $B$ , тим нижче трудомісткість обробки. Коефіцієнт складності деталі пропорційний штучному часу на обробку. За певних умов можна прийняти  $C = t_{шт}$ . Тоді коефіцієнт продуктивності при обробці партії деталей  $n$  штук на верстатах з ЧПУ можна показати так [13]:

$$\eta = \frac{1}{1 + t_{n,з} / t_{шт}^n} = \frac{1}{1 + t_{n,з} / C^n}.$$

З ускладненням деталі збільшується коефіцієнт продуктивності, підвищується ефективність використання верстатів з ЧПУ та ГПС. Отже, чим конструктивно складнішою є оброблювана деталь, тим вище ефективність використання верстатів з ЧПУ.

При визначенні ефективності використання верстатів з ЧПУ розв'язуються дві задачі: оптимальний вибір верстата з ЧПУ для обробки заданої номенклатури деталей та оптимальний вибір конструкцій деталей для завантаження заданого обладнання - верстатів з ЧПУ. Перша задача є актуальною на стадії придбання верстатів для підприємства та раціонального розподілу обладнання між підрозділами, а друга - на стадії вибору деталей для обробки на верстатах з ЧПУ.

При розв'язуванні другої задачі особливі вимоги ставляться до технологічності конструкцій деталей, форма та розміри яких повинні відповідати умовам обробки в автоматичному режимі. Технологічність



деталей має бути підвищеною (наприклад, деталі повинні мати однакові радіуси сполучень зовнішніх та внутрішніх поверхонь, уніфіковану форму та розміри технологічних каналів, розміри отворів тощо).

Для спрощення програмування бажано, щоб оброблювані поверхні розташовувалися паралельно базовим площинам та оброблювались по одній або по двох координатах, а їхні контури створювались відрізками прямих і дугами кіл. Не дивлячись на різноманітність форм та розмірів різних поверхонь, їх обробка на верстатах з ЧПУ ведеться, як правило, остаточно. Виняток складають лише деякі доводочні операції, як-то хонінгування отворів та нарізання зубчастих коліс, які виконуються на спеціальних верстатах.

Головною перевагою верстатів з ЧПУ є простота їхнього налагодження та переналагодження, відсутність, необхідності створення складного та дорогого технологічного оснащення (шаблонів, копирів, спеціальних пристосувань та ін.). Не дивлячись на відносно високу вартість верстатів з ЧПУ, при правильному застосуванні їх з повним завантаженням у дві або три зміни вони скуповуються протягом одного-двох років. Пояснюється це значною економією затрат на технологічне оснащення, зниженням браку, зменшенням кількості потрібних верстатів, зменшенням площі і числа операцій тощо. Автоматизація холостих ходів і підвищення їхньої швидкості до 10...15 м/хв різко скорочують затрати допоміжного часу обробки деталей. На верстатах з ЧПУ частка машинного часу складає 50-60%.



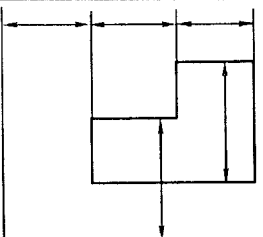
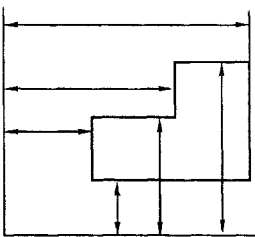
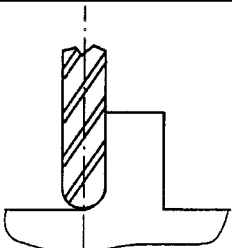
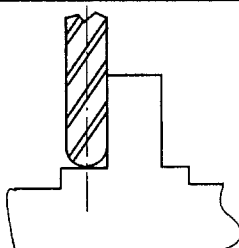
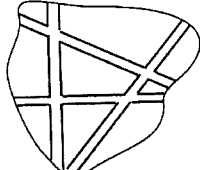
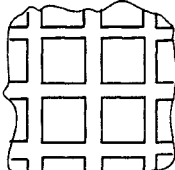
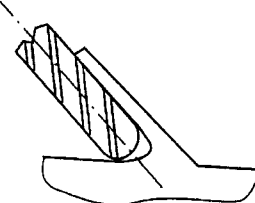
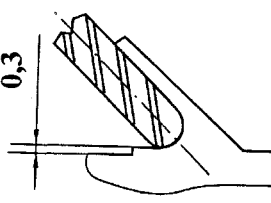
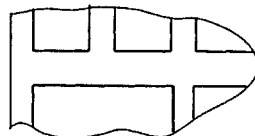
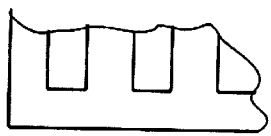
#### **1.10.6. ВИМОГИ ДО ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ОБРОБЛЮВАНИХ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ**

Технологічність конструкції деталей значно впливає на продуктивність обладнання, якість виробів та технологічну підготовку виробництва. В умовах автоматизованого виробництва вимоги до технологічності деталі різко збільшуються.

Загальні вимоги до технологічності деталей, оброблюваних на верстатах з ЧПУ, такі: уніфікація внутрішніх і зовнішніх радіусів, а також елементів форм та розмірів, забезпечення можливості зручного базування деталі під час обробки. Всі вони спрямовані на скорочення типорозмірів застосовуваного ріжучого інструмента, заміни спеціального інструмента на звичайний, зменшення числа перестановок деталі та кількості пристроїв, а також їх вартості, скорочення затрат на розрахунок і підготовку програм.

Вказані вимоги забезпечуються зміною геометричних форм і розмірів або окремих елементів деталі, зміною схеми проставляння розмірів. Деякі приклади нетехнологічних та технологічних рішень деталей, оброблюваних на верстатах з ЧПУ, наведені в таблиці 11.

Таблиця 11

Вимоги	Прилади конструктивного рішення	
	нетехнологічне	технологічне
1	2	3
1. Забезпечення сполучень ліній контуру плавного радіуса.		
2. Проставляння розмірів від однієї бази.		
3. У місцях сполучення передбачається завищення 0,3...0,5 мм. Це зменшує об'єм обробки і усуває зарізи.		
4. Спрощення геометричних форм і типізація основних повторюваних геометричних елементів. Скорочує затрати на програмування.		
5. Конфігурація деталі повинна забезпечувати вільний доступ до поверхонь обробки їх одним інструментом при мінімальній кількості робочих ходів.		
6. Забезпечення конструкції деталей, що потребують при обробці найменшої кількості установів.		

При обробці деталей на верстатах з ЧПУ вимагається сувора орієнтація їх відносно осей координат та прив'язка до шуканої точки траєкторії руху інструмента. Тому при аналізі робочого креслення треба передбачити елементи для базування деталі. Розміри на деталі проставляються в прямокутній системі координат від єдиної конструкторської бази. Слід зауважити, що вимоги робочого креслення та

технічних умов можуть бути забезпечені різними варіантами технологічного процесу. Однак технологічний процес для конкретної деталі може бути оптимальним для одних умов обробки, для інших - зовсім непридатним.

Багаторічний досвід експлуатації верстатів з ЧПУ показав, що незважаючи на багатоваріантність рішень, при розробці технологічних процесів треба керуватися суворо визначеними положеннями [2]:

- 1) у першу чергу слід оброблювати поверхні, які використовуватимуть як установчу базу;
- 2) останніми оброблюються поверхні, до яких ставляться більші високі вимоги за точністю і вони легкопошкоджувані (наприклад, різьби, опорні шийки підшипників тощо);
- 3) якщо конструктор при проставлянні розмірів на робочому кресленні забезпечив збіг основної конструкторської бази з установчою, технолог повинен реалізувати принцип єдності баз;
- 4) операції, де є вірогідність появи браку через дефекти матеріалу або складності механічної обробки, рекомендується виконувати на початку технологічного процесу;
- 5) технологічний процес треба розділити на три етапи: чорновий, за яким видаляється до 60% загального припуску; чистовий, за яким видаляється 30% загального припуску; оброблюваний - для забезпечення потрібної точності та якості поверхневого шару деталей.

При обробці деталей на верстатах з ручним управлінням технологічні документи призначені в основному для робітника, який обслуговує цей верстат. Керуючись ними, робітник управляє технологічним процесом, вносячи на ходу відповідні корективи для отримання деталі необхідної точності та забезпечення максимальної продуктивності.

Якщо деталь оброблюється на верстатах з ЧПУ, то технологічна інформація призначена в основному для програміста, можливості робітника коригувати програму дуже обмежені. Робітник разом з програмістом тільки налагоджує програму безпосередньо на верстаті. Одне з головних завдань програмування полягає в тому, щоб максимально скоротити трудомісткість налагодження програми при її впровадженні за рахунок усунення помилок програмування. Це забезпечується ретельним відпрацюванням всіх технологічних рішень, що приймаються.

Другою особливістю технологічного процесу на верстатах з ЧПУ є забезпечення максимальної концентрації обробки на одному верстаті. Коефіцієнт концентрації обробки дорівнює добутковій коефі-

цієнта повноти  $K_n$  та виду обробки  $K_e$ .

При обробці деталей на звичайних верстатах ступінь деталізації проробки технологічної операції залежить від обсягу випуску деталей. Для масового виробництва технологічні операції розроблюються з докладною деталізацією. При дрібносерійному та одиничному виробництві докладної деталізації технології не вимагається. Для верстатів з ЧПУ, незалежно від типу виробництва (масове, серійне, одиничне), характерна висока ступінь деталізації технологічного процесу.

Верстат з ЧПУ виконує такі дії, які задані програмою на перфострічці. Щоб скласти програму, яка забезпечує отримання технологічного процесу обробки, необхідно визначити траєкторії пересування ріжучого інструмента, обчислити опорні точки, режими різання для кожного переходу, підібрати високопродуктивне обладнання, інструмент та розробити детальну структуру операції.

Для забезпечення стабільності процесу пред'являються жорсткі вимоги до точності виготовлення заготовки та стабільності структурного стану матеріалу. Для верстатів з ЧПУ заготовки повинні мати мінімальний та рівномірний припуск та добру оброблюваність матеріалу. Однак слід мати на увазі, що чим менше загальний припуск, тим дорожча заготовка, але подальша обробка її - дешевша. І навпаки, при великих припусках заготовка буде дешевою, але ускладнюється її подальша обробка. Для отримання заготовок з мінімальними припусками застосовують більш прогресивні, дорогі способи: литво в кокіль, оболонкові форми, литво по виплавляючих моделях, центробіжне та ін. Заміна кування заготовок штампуванням зменшує припуски на обробку, але збільшує додаткові затрати на виготовлення дорогих штампів.

Якщо рівномірне розташування припуску отримати економічно допустимими способами неможливо, рекомендується вводити додаткову операцію обдирання на звичайних універсальних верстатах.

Операція зацентрування значно впливає на рівномірність розподілу припуску. Похибка зацентрування створює биття зовнішнього діаметра заготовки при обробці її в центрах. У заготовки, вісь центрових отворів якої збігається з віссю симетрії заготовки, зовнішній діаметр її відносно центрових отворів биття не має. Діаметральний припуск за всією довжиною заготовки є однаковим.

Заготовка, у якої вісь центрових отворів зміщена від осі симетрії заготовки, має суттєве коливання припуску. У заготовці, в якій вісь центрових отворів має перекид відносно осі симетрії заготовки, припуск змінюється не тільки в діаметральному, а й в осьовому напрямі.

## 1.11. ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

### 1.11.1. ФАКТОРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ

У напівавтоматичному режимі роботи верстатів з ЧПУ точність обробки деталей залежить від сумарної похибки, до складу якої входять: точність позиціонування верстата, точність системи управління, похибки установаження заготовки, похибки налагодження інструментів на розмір, похибки виготовлення інструмента, податливість пружної системи верстат - пристосування - інструмент - деталь.

Точність позиціонування верстатів з ЧПУ характеризується точністю лінійного позиціонування; зміщенням робочих органів у вихідне положення; стабільністю виходу робочих органів у задану точку; точністю обробки в режимі кругової інтерполяції; стабільністю положення інструментів після автоматичної зміни.

Нормативи точності лінійного позиціонування робочих органів верстата з ЧПУ наведені в табл. 12.

Таблиця 12

Клас точності верстата	Пересування за довжиною, мм					
	до 50		понад 50 до 80		понад 80 до 125	
	похибка $\Delta$ , мм					
	$\alpha$	$\delta$	$\alpha$	$\delta$	$\alpha$	$\delta$
Н	8	12	10	10	12	20
П	4	6	5	8	6	10
В	2	3	2,5	4	3	5
Клас точності верстата	Пересування за довжиною, мм					
	понад 125 до 200		понад 200 до 320		понад 320 до 500	
	похибка $\Delta$ , мм					
	$\alpha$	$\delta$	$\alpha$	$\delta$	$\alpha$	$\delta$
Н	16	25	20	30	25	40
П	8	12	10	16	12	20
В	4	6	5	8	6	10

Примітка. Похибка  $\alpha$  відноситься до осей  $X, Y, W, R$ . Похибка  $\delta$  - до осі  $Z$ . Н- нормальна точність, П- підвищена точність, В- висока точність.

На верстатах з ЧПУ стабільність, тобто багаторазове повторювання приходу робочих органів в одне і те саме положення, є найважливішою характеристикою точності.

У табл. 13 наведені гранично допустимі значення стабільності

при лінійному позиціонуванні.

Таблиця 13

Клас точності верстата	Пересування за довжиною, мм									
	до 50		від 50 до 125		125-320		320-800		800-2000	
	похибка $\Delta$ , мм									
	$\alpha$	$\delta$	$\alpha$	$\delta$	$\alpha$	$\delta$	$\alpha$	$\delta$	$\alpha$	$\delta$
Н	9,6	15,0	12,6	18,0	15,0	24,0	24,0	36,0	36,0	60,0
П	4,8	7,2	6,0	9,6	7,2	12,0	12,0	18,0	18,0	30,0
В	2,4	3,6	3,0	3,8	3,6	6,0	6,0	9,6	9,6	15,0

Загально допустима помилка позиціонування робочих органів верстата  $\Delta_p = \Delta + \delta$ . Наприклад для верстатів класу Н похибка позиціонування при пересуванні стола на довжині 125мм по осях  $X$  та  $Y$  складає 38 мкм, а для верстатів класу В-8,8 мкм.

Помилки режиму інтерполяції. Інтерполятор вносить деякі відхилення в траєкторію пересування ріжучого інструмента від розрахункової. Відхилення залежить від кута нахилу траєкторії до координатних осей і не перевищують ціни імпульсу (дискети).

Для сучасних верстатів з ЧПУ з ціною одиничних імпульсів 0,001...0,002 мм геометрична похибка інтерполяції - мала величина, яка не має значного впливу на точність обробки у вигляді відхилень мікрогеометрії, але ці відхилення впливають на шорсткість поверхні. Слід зауважити, що помилки інтерполятора не значні, а помилки, що проявляються в режимі інтерполяції, можуть бути значними. Виникнення цих похибок пов'язане з циклічними помилками в передачі руху приводами, осьовими внутрішньокроковими помилками ходових гвинтів, з накопиченою помилкою крону зубчастих коліс редукторів та з неспіввісністю валів у кінематичному ланцюгу: двигун приводу подач редуктор - ходовий гвинт - датчик.

Перераховані фактори викликають нерівномірність руху робочих органів за різними координатами.

У режимі інтерполяції нерівномірність руху робочих органів верстата навіть за однією з координат викликає появу похибок обробки та хвилястості на поверхні.

Наприклад, припустимо, що у двохкоординатній системі  $XZ$  на южний оберт ходового гвинта при русі за віссю  $Z$  з'являється нерівномірність, а рух за координатою  $X$  здійснюється рівномірно. За цих умов порушується лінійна інтерполяція та з'являється циклічна помилка. На оброблюваній поверхні спостерігається хвилястість. На верс-

татах з ЧПУ з лінійними інтерполяторами для обробки деталей за круговим контуром при розрахунку координат опорних точок у процесі підготовки УП застосовують апроксимацію кіл, що неминуче викликає похибку. Для підвищення точності необхідно зменшувати крок апроксимації, оскільки зменшення дуги удвічі зменшує похибку апроксимації в 4 рази.

Похибка установлення заготовки  $\delta_y$ , визначається сумою похибки базування  $\delta_b$  та закріплення  $\delta_z$ . Похибки базування виникають унаслідок несуміщення установчої, конструкторської та вимірювальної баз.

При обробці деталей на верстатах з ЧПУ при базуванні досягається більш висока точність. Тут на першому установі спочатку оброблюються поверхні, які є вимірювальними базами. Решта поверхонь, які координовані технологічними розмірами від вимірювальних баз, оброблюються від цих баз.

Можливий і зворотний варіант, коли за технологічні бази вибирають менш відповідальні поверхні, часто ті, які відповідно до технічних умов креслення не повинні оброблюватися (чорні).

Похибка налагодження інструмента на розмір. Сучасні прилади для налагодження інструментів на розмір мають високу розв'язувальну здатність: ціна відліку координатних шкал 0,001 мм, збільшення проектора до 30 разів. Однак якою б високою не була точність вимірювальних приладів, налагодження інструментів завжди здійснюється з деякими відхиленнями, обумовленими похибкою самого приладу та похибкою установлення інструмента на розмір. Ці похибки носять випадковий характер, тому результуюча похибка визначається за правилами складення випадкових величин:

$$\delta_{n,i} = [(k_1\delta_1)^2 + (k_2\delta_2)^2 + (k_3\delta_3)^2 + \dots + (k_j\delta_j)^2]^{1/2}, \quad (3)$$

де  $\delta_1$  – похибка відліку з урахуванням похибки шкал відліку;  $\delta_2, \dots, \delta_j$  – неточність зміщення вершини інструмента з перехрестям екрана приладу, неточність кутового розташування пристрою для закріплення інструмента, незбіг нуля відліку координат інструмента з теоретичним положенням.

Точність налагодження інструментів на розмір можна оцінити розрахунковим шляхом. При розрахунку можна прийняти  $\delta_1=2,5$  мкм;  $\delta_2=7,5$  мкм;  $k_1=k_2=1$ ;  $\delta_{n,i}=7,9$  мкм.

Похибка налагодження верстата на розмір. Налагодження верстата з ЧПУ на розмір полягає в узгодженій установці налагодженого на розмір ріжучого інструмента, робочих елементів верстата та базу-

ючих елементів пристрою в положення, яке з урахуванням явищ, що відбуваються в процесі обробки, забезпечує отримання необхідного розміру із заданим допуском на виготовлення [28] .

Похибка налагодження верстата виникає внаслідок того, що під час пошуку нуля програми та установлення інструментів неможливо розташувати робочі елементи верстата та інструменти точно в розрахункове положення.

Верстати з ЧПУ звичайно налагоджуються методом пробних проходів та промірювань.

Похибка налагодження верстата  $\delta_{н.в}$  залежить від похибок налагодження інструмента  $\delta_{н.і}$ , зміщення нульового положення програми від розрахункового значення  $\delta_o$ , похибки вимірювання пробних деталей при налагодженні  $\delta_{вим}$  відхилень центра групування пробних деталей відносно середини поля розсіювання розмірів у момент налагодження  $\delta_{раз}$ :

$$\delta_{н.в} = [(k_{н.і} \delta_{н.і})^2 + (k_o \delta_o)^2 + (k_{вим} \delta_{вим})^2 + (k_{раз} \delta_{раз})^2]^{1/2}, \quad (4)$$

де  $k_o = k_{раз} = k_{н.і} = 1,0-1,73$ ;  $k_{вим} = 1,0$ ;  $\delta_{раз} = 3\delta_{н.с} / \sqrt{n}$ ;  $\delta_{н.с}$  – середньоквадратичне відхилення в момент налагодження;  $n$  – число пробних деталей, які використовуються при налагодженні.

Точність налагодження підвищується при збільшенні числа пробних деталей. Однак слід зауважити, що на верстатах з ЧПУ обробка ведеться малими партіями деталей, тому число пробних деталей обмежено і часто не перевищує однієї штуки. Щоб першу пробну деталь отримати придатною, тобто з малими затратами засобів і часу, необхідно установити нульове положення програми і за допомогою коректорів досягти необхідних розмірів оброблюваної деталі. Це завдання є надто складним і може бути реалізоване тільки за рахунок високої кваліфікації наладчиків.

Правильне налагодження верстата, з одного боку, виключає появу браку, а з другого, дозволяє раціональніше використовувати поле допуску на знос інструмента та температурну деформацію, скоротивши тим самим число підналагоджень верстата протягом обробки партії деталей.

Піднастроюванням (підналагодженням) верстата називається процес відновлення первісної точності взаємного розташування інструмента та оброблюваної заготовки, порушеного в процесі обробки партії заготовок.

Враховуючи розмірний знос, інструменти слід налагоджувати ближче до нижньої границі поля допуску, а інструменти для обробки



внутрішніх поверхонь – ближче до верхньої границі. Установочний розмір при налагодженні, враховуючи розмір знос, повинен відстояти від нижньої до верхньої границі допуску приблизно на 1/5 частки поля.

### 1.11.2. ЖОРСТКІСТЬ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ ВЕРСТАТ – ПРИСТРІЙ – ІНСТРУМЕНТ – ДЕТАЛЬ

Сили різання при обробці викликають пружні деформації окремих елементів систем, а також відносне зміщення елементів у стиках з'єднань.

За відсутності необхідної жорсткості елементи пружної системи під дією складових сили різання деформуються, викликаючи появу похибок форми та розмірів оброблюваної заготовки. Під жорсткістю пружної системи розуміють її здатність давати опір деформуючій дії зовнішніх сил.

За критерій жорсткості приймають відношення приросту радіальної складової сили різання  $\Delta P_y$ , напрямленої за нормаллю до оброблюваної поверхні, до величини зміщення ріжучої кромки інструмента відносно поверхні деталі в напрямі дії цієї сили  $\Delta y$ :

$$K = \frac{\Delta P_y}{\Delta y}, \quad (5)$$

де  $K$  вимірюється в ньютонах на метр (Н/м);  $\Delta P_y$  – у ньютонах (Н);  $\Delta y$  – у міліметрах (мм).

Для оцінки жорсткості в будь-якій точці кривої  $P_y=f(y)$  необхідно знайти похідну в даній точці  $K_A=dP_y/dy$ . Чисельно похідна дорівнює  $tg\alpha$ , де  $\alpha$  - кут нахилу дотичної до кривої  $P_y=f(y)$  у точці  $A$ .

Чим більше жорсткість, тим більше число робочих ходів вимагається для досягнення необхідної точності.

Верстати з ЧПУ мають у середньому 40-50% більш високу жорсткість порівняно з універсальними, що забезпечує їхню високу точність.

Похибка шуканої заготовки копіюється на оброблюваній заготовці у вигляді однойменних похибок, але меншого значення. Відношення однойменних похибок шуканої заготовки  $\Delta_{шук.зар}$  та оброблюваної  $\Delta_{об.зар}$  прийнято називати уточненням:

$$\varepsilon = \Delta_{шук.зар} / \Delta_{об.зар}. \quad (6)$$

Величина, зворотна уточненню  $K_y = \Delta_{об.зар} / \Delta_{шук.зар}$  називається ко-

ефіцієнтом уточнення похибок. Представляючи похибку шуканої заготовки  $\Delta_{шук.зар} = 2(t_{max} - t_{min})$  у вигляді різниці глибин різання, а похибку оброблюваної заготовки у вигляді

$$\Delta_{об.зар} = \frac{(t_{max}^{xp} - t_{min}^{xp}) \cdot C_y \cdot S^{yp} \cdot HB^n}{K_y}, \quad (7)$$

$x_p = 1$ , маємо

$$\varepsilon = \frac{K_y}{C_y \cdot S^{yp} \cdot HB^n}. \quad (8)$$

Після першого проходу похибка оброблюваної заготовки

$$\Delta_{об.зар} = \frac{\Delta_{шук.зар}}{\varepsilon} = \Delta_{шук.зар} \cdot K_y = \frac{\Delta_{шук.зар} \cdot C_y \cdot S^{yp} \cdot HB^n}{K_y},$$

після другого проходу

$$\Delta_{об.зар} = \frac{\Delta_{шук.зар}}{\varepsilon^2} = \Delta_{шук.зар} \cdot K_y^2 = \frac{\Delta_{шук.зар} \cdot (C_y \cdot S^{yp} \cdot HB^n)^2}{K_y^2},$$

після  $i$ -того проходу

$$\Delta_{об.зар} = \frac{\Delta_{шук.зар}}{\varepsilon^i} = \Delta_{шук.зар} \cdot K_y^i = \frac{\Delta_{шук.зар} \cdot (C_y \cdot S^{yp} \cdot HB^n)^i}{K_y^i}.$$

З аналізу формул виходить, що після кожного проходу різця похибка заготовки зменшується обернено пропорційно жорсткості технологічної системи і прямопропорційно коефіцієнту зменшення похибок.

У більшості випадків  $\varepsilon > 1$ , тому із збільшенням числа проходів значно знижується похибка та підвищується точність обробки.

При малій жорсткості технологічної системи уточнення може бути менше одиниці:  $\varepsilon < 1$ . В цьому випадку кожний новий прохід не підвищуватиме точність обробки, а знижуватиме. Прикладом може бути обробка довгих тонких валів на токарних верстатах з ЧПУ.

Деформація вала, встановленого в центрах токарного або круглошліфувального верстата з ЧПУ, у точці, що знаходиться на відстані  $x$  від переднього центра, визначається:

$$y = C_y S^{yp} t^{xp} HB^n \left[ \left( \frac{l-x}{l} \right)^2 \frac{1}{K_{н.б}} + \frac{x^2}{l^2} \frac{1}{K_{з.б}} + \frac{x^2(l-x)}{3EJ} + \frac{1}{K_{суп}} \right], \quad (9)$$

де  $l$  – довжина вала мм;  $K_{п.б}$ ,  $K_{з.б}$ ,  $K_{суп}$  – жорсткість відповідно передньої, задньої бабок та супорта.

Із формули (9) виходить, що при обробці валів в центрах жорсткість технологічної системи за довжиною оброблюваної заготовки не залишається постійною. Це викликає відповідні зміни віджимання, а отже, і форми оброблюваної заготовки.

Одним із способів підвищення точності обробки є зменшення величини пружних віджимань технологічної системи за допомогою підвищення її жорсткості.

Жорсткість технологічної системи можна збільшити шляхом зменшення вилітів деталей та ріжучих інструментів, скорочення загального числа ланок технологічної системи та раціонального призначення режимів експлуатації верстатів з ЧПУ.

Жорсткість елементів технологічної системи - величина змінна, яка залежить від ряду факторів (робочої температури, умов змащування, характеру прикладання навантаження та ін.), пов'язаних з умовами експлуатації верстатів з ЧПУ.

Жорсткість технологічної системи (зокрема, верстатів з ЧПУ) у процесі експлуатації зменшується внаслідок дії різних виробничих причин, які викликають знос і розрегулювання елементів системи. Професор А. А. Маталін [39] показав, що внаслідок обстеження 150 однакових токарних верстатів з висотою центрів 200 мм, які працюють у механічних цехах, отримані дані про великі коливання їхньої жорсткості:

Жорсткість, Н/мм	Кількість верстатів, %
До 10000	16
10000...20000	42
20000...30000	22
30000...40000	10
40000...50000	7
понад 50000	3

Наведені дані показують, що для прогнозування точності обробки на стадії проектування технологічних процесів необхідно знати фактичну жорсткість пружної системи. До теперішнього часу методи визначення жорсткості верстатів, в тому числі з ЧПУ, зберегли емпіричний характер, оскільки різноманітність факторів, що впливають на жорсткість технологічної системи, не дозволяє при сучасному рівні знань встановити її розрахунковим шляхом.

### 1.11.3 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ВЕРСТАТІВ

Жорсткість окремих елементів звичайно визначають при навантаженні верстата статичними силами. За допомогою спеціальних динамометрів вимірюються періодично сили, що змінюються періодично, та відповідно деформації вузла в напрямі дії цих сил. За результатами вимірювання будується залежність  $y = f(P_y)$ . Жорсткість, визначена при навантаженні системи статичними силами, дозволяє судити про жорсткість окремих вузлів у процесі виготовлення, ремонту та експлуатації верстатів. Проте дані за статичною жорсткістю є недостатньо точними та при технологічних розрахунках дають занижені результати похибок обробки. Пояснюється це тим, що при визначенні жорсткості на верстаті, що не працює, не враховуються вібраційні процеси, які в дійсності збільшують деформацію системи, знижуючи її жорсткість.

На машинобудівних заводах жорсткість пружної системи металоріжучих верстатів визначається виробничими методами. Один із них - спосіб обточування ступінчастої або ексцентричної заготовки на токарному верстаті. На оброблюваній заготовці створюється уступ або ексцентриситет, який приймається в розрахунках за похибку вихідної заготовки  $\Delta_{вих.зар}$ . Після обробки ступінчастої або ексцентричної заготовки за один прохід на оброблюваній поверхні виникає копіюючий в зменшеному вигляді той самий уступ, який являє собою похибку  $\Delta_{обр.зар}$ . За величиною уточнення  $\epsilon = \Delta_{вих.зар} / \Delta_{обр.зар}$  розраховують жорсткість верстата в динамічних умовах, тобто в умовах працюючого верстата:

$$K = \lambda \cdot C_p \cdot S^{0,75} \cdot \frac{\Delta_{вих.зар}}{\Delta_{обр.зар}},$$

де  $\lambda = P_y / P_z$ ;  $C_p$  – коефіцієнт, який характеризує оброблюваний матеріал;  $S$  – подача, мм/об.

Величина  $C_p$  залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, геометричних параметрів ріжучої частини інструмента і умов обробки та перебуває в межах: для машиновиробної сталі  $C_p = 144 \dots 205$ ; хромистої та хромонікельової сталей  $C_p = 182 \dots 251$ ; чавунів  $C_p = 100 \dots 150$ .

Співвідношення складових зусилля різання перебуває в межах  $P_y / P_z = 0,3 \dots 0,65$ . Величина уточнення  $\Delta_{вих.зар} / \Delta_{обр.зар}$  залежить від точності виміру перепадів діаметрів ступінчатого зразка до і після обро-

бки.

Наведені інтервали коливання величин, що входять у формулу (10), свідчать про те, що точність виробничого методу визначення жорсткості верстатів залежить в основному від правильності вибору значень  $C_p$  та  $\lambda$ , а також від точності вимірювання діаметрів до обробки:

$$\Delta_{вих.зар} = \frac{D_2 - D_1}{2},$$

та після обробки:

$$\Delta_{обр.зар} = \frac{d_2 - d_1}{2}.$$

У технічній літературі нема конкретних рекомендацій до вибору значень  $C_p$  та  $\lambda$ .

Якщо прийняти для розрахунку граничні значення відношень складових сили різання  $P_y / P_z$ , то результати розрахунку, отримані за формулою (10), будуть вельми суперечливими. Наприклад, припустимо, що зміна перепадів діаметрів до та після обробки зроблена достатньо точно і значення  $C_p$  вибране правильно, але допущено похибку у виборі параметра  $\lambda$ , тоді:

при  $P_y / P_z = 0,3$  і  $C_p = 200$ ,  $K = 200 \cdot 0,3$   $A = 60A$ ;

при  $P_y / P_z = 0,65$  і  $C_p = 200$ ,  $K = 200 \cdot 0,65$   $A = 130A$ ,

де

$$A = S^{0,75} \cdot \frac{\Delta_{вих.зар}}{\Delta_{обр.зар}}.$$

Приймаючи умову  $A = 250$ , отримаємо  $K_1 = 15000$  Н/мм,  $K_2 = 32500$  Н/мм.

З наведеного прикладу видно, що допущена неточність у виборі тільки одного параметра  $\lambda$  спотворює розрахункову величину показів жорсткості пружної системи більше ніж удвічі.

Якщо врахувати, що в умовах виробництва, поряд із неточним вибором параметру  $\lambda$ , можлива помилка і у виборі значень  $C_p$ , то можна впевнено сказати, що точність отриманих результатів за жорсткістю буде зовсім недопустимою. Наприклад, приймемо граничні значення (для машиновиробної сталі)  $C_p = 144-205$ ;  $\lambda = 0,3-0,65$ , тоді  $K_{см.1} = 144 \cdot 0,3 \cdot 250 = 10800$  Н/мм,  $K_{см.2} = 205 \cdot 0,65 \cdot 250 = 33250$  Н/мм.

Із аналізу розглянутих прикладів видно, що за інших рівних умов випробувань верстатів на жорсткість помилки при виборі параметрів  $C_p$  та  $\lambda$  викликають розкид показів жорсткості більше ніж у 3

рази. Враховуючи недоліки розглянутого виробничого методу та приймаючи до уваги зацікавленість заводів у даних про жорсткість не тільки токарних, а й фрезерних верстатів з ЧПУ, авторами запропоновано метод визначення жорсткості верстатів, який не має вказаних недоліків [29].

Суть способу для визначення жорсткості токарних верстатів з ЧПУ полягає в обточуванні ступінчастої заготовки на оправці, яка має різну жорсткість у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Для виведення розрахункової формули зробимо припущення, що нормальна складова зусилля різання, незважаючи на різну величину прогину у двох взаємно перпендикулярних напрямках за один оберт оправки, не змінюється:

$$P_{y_1} = P_{y_2},$$

де  $P_{y_1}$  та  $P_{y_2}$  - складові зусилля різання при обробці зразка на оправці, що має у двох взаємно перпендикулярних напрямках різну жорсткість  $K_{опр_1}$  та  $K_{опр_2}$ .

Суміщення ріжучої кромки інструмента відносно оброблюваної деталі, враховуючи податливість основних вузлів верстата з ЧПУ, визначається так:

$$y = P_y \cdot \left[ \frac{1}{K_{суп}} + \frac{1}{4} \cdot \left( \frac{1}{K_{н.б}} + \frac{1}{K_{з.б}} \right) + \frac{1}{K_{опр}} \right], \quad (11)$$

де  $K_{суп}$  - жорсткість супорта, Н/мм;  $K_{н.б}$  - жорсткість передньої бабки;  $K_{з.б}$  - жорсткість задньої бабки, Н/мм;  $K_{опр}$  - жорсткість в одному з перерізів оправки, Н/мм.

Податливість пружної системи токарного верстата з ЧПУ:

$$\frac{1}{K_{ст}} = \frac{1}{K_{суп}} + \frac{1}{4} \cdot \left( \frac{1}{K_{н.б}} + \frac{1}{K_{з.б}} \right).$$

Із рівності зусиль різання у двох взаємно перпендикулярних напрямках оправки отримаємо:

$$\frac{y_1}{\frac{1}{K_{ст}} + \frac{1}{K_{опр_1}}} = \frac{y_2}{\frac{1}{K_{ст}} + \frac{1}{K_{опр_2}}}.$$

Після перетворення знаходимо жорсткість пружної системи верстата:

$$K_{ст} = \frac{(y_1 - y_2) \cdot K_{опр_1} \cdot K_{опр_2}}{K_{опр_1} \cdot y_2 - K_{опр_2} \cdot y_1},$$

де  $y_1$  та  $y_2$  - величини перепаду радіусів ступінчастого зразка, обробленого на оправці, що має у двох взаємно перпендикулярних напрямках жорсткість  $K_{опр1}$  та  $K_{опр2}$ .

Для перевірки стабільності показів запропонованого методу на токарно-гвинторізному верстаті ІК62 проводились дослід.

Жорсткість оправки у двох взаємно перпендикулярних напрямках визначалась за формулою

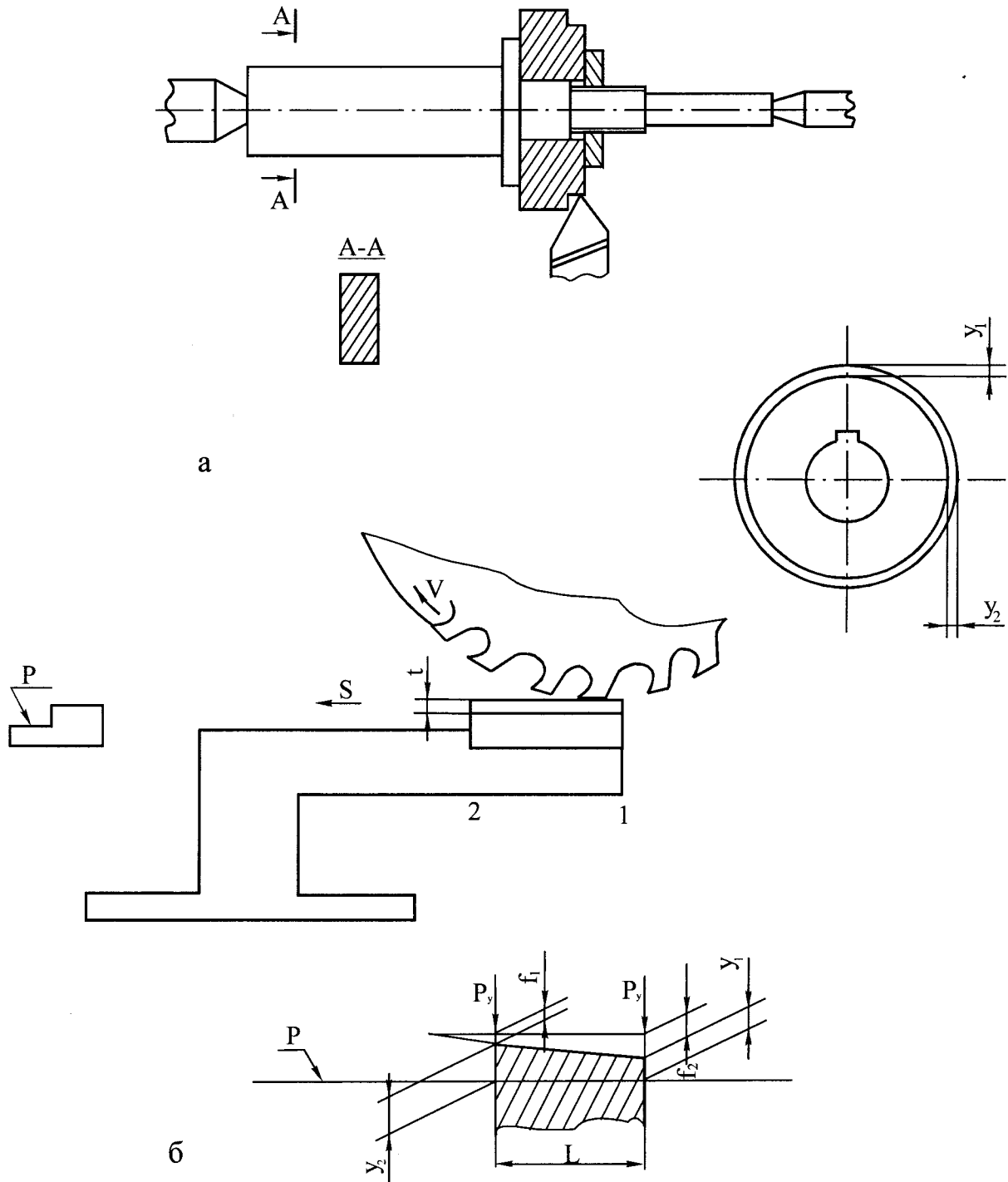


Рис.25. Схеми обточування (а) і фрезерування (б) ступінчастих зразків при визначенні жорсткості верстатів.

$$K_{опр} = \frac{P_y}{y_{опр}}$$

Сумарна деформація вимірювалась голівкою мініметра з ціною поділки 0,002 мм, встановленій у різцетримачі верстата.

Досліджувались зразки діаметром  $D = 150$  мм та  $l = 50$  мм, глибина знімного шару дорівнювала 1,0 мм. Досліди проводили у такій послідовності.

1. Ступінчастий зразок встановлювали на оправку з жорсткістю  $K_{опр1} = 9200$  Н/мм,  $K_{опр2} = 21000$  Н/мм.

2. Зразок проточували різцем із кутом у плані  $\varphi = 45^\circ$  та  $\varphi = 60^\circ$  з подальшим вимірюванням величини віджимання  $y_1$  та  $y_2$ .

Результати дослідів подані в табл. 14.

Із аналізу експериментальних даних видно добру стабільність показів пропонованого нового методу визначення жорсткості верстатів в умовах виробництва.

Визначати жорсткість системи фрезерних верстатів з ЧПУ пропонується на спеціальному пристрої, що є консольною балкою, на яку встановлюється довгий ступінчастий зразок (рис.25,б). Фреза настраюється до торкання з базовим майданчиком  $P$  на зразку, затим видаляється припуск  $t$ . В міру переміщення фрези в напрямі подачі  $S$  при постійно діючій нормальній складовій сили різання  $P_y$ , прогин  $x$  консольної балки зменшуватиметься. Пропорційно йому збільшуватиметься зйом металу. На зразку відносно базового майданчика створюється уступ. Після виміру уступу на кінцях зразка  $y_1$  та  $y_2$  жорсткість розраховують таким чином:

$$K_{ст} = \frac{(y_1 - y_2) \cdot K_1 \cdot K_2}{K_2 \cdot y_2 - K_1 \cdot y_1}$$

$K_1$  та  $K_2$  - жорсткість пристосування з прикладеним навантаженням відповідно в точці 1 та в точці 2;  $y_1$  - уступ біля торця зразка 1,  $y_2$  - менший уступ біля торця зразка 2.

Таблиця 14

Номер дослідів	$\varphi^\circ$	$y_1$ , мм	$y_2$ , мм	$K_{опр1}$ , Н/мм	$K_{опр2}$ , Н/мм	$K_{ст}$ , Н/мм
1	45	0,031	0,02	5306	10000	12822
2	60	0,024	0,016	5306	10000	13000

Точність результатів цього методу визначення жорсткості верстатів не залежить від зміни фізико-механічних засобів оброблюваного



матеріалу заготовки та геометрії ріжучого інструменту.

Жорсткість верстатів з ЧПУ, встановлена в статичних умовах, звичайно в 1,2-1,4 рази більше жорсткості, визначеної при роботі верстата виробничим методом. При малій жорсткості токарних верстатів співвідношення між статичною та динамічною жорсткістю збільшується і може досягти значення  $K_{стат} / K_{дин} = 2$ .

Простота та висока точність виробничого методу пояснюють його широке розповсюдження. Проте він не може повністю замінити статичний метод визначення жорсткості, наприклад, при виявленні слабких ланок верстатів при їх виготовленні.

### 1.12. УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ШЛІФУВАННЯ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

Управління процесом обробки на верстатах з ЧПУ звичайно зводиться до своєчасної подачі команд виконавчим органам верстата. Такими командами є, наприклад, початок і кінець руху робочих органів верстата, зміна їх напрямів швидкості та інше.

Однак через наявність високих температур у зоні контакту шліфувального кола з виробом, що залежать від великої кількості змінних факторів (твердості оброблюваного матеріалу, ріжучих властивостей шліфувального кола, форми зрізаного шару, виду та способу подачі СОР, жорсткості пружної системи та ін.), процес шліфування при управлінні верстатом відбувається нестабільно. Наприклад, шліфувальне коло, працюючи в режимі самозаточування, значно зношується. Це негативно відбивається на точності шліфування профільним колом деталей, хоч температура шліфування може не перевищувати гранично допустиму. При затупленні та засалюванні кола збільшуються сили та температура шліфування, збільшуються деформації пружної системи верстата і на оброблюваній поверхні з'являються шліфувальні прижоги та мікротріщини.

Для усунення вказаних недоліків необхідно контролювати хід процесу обробки та своєчасно коригувати вихідну програму шляхом зміни режимів обробки та зміщення інструмента відносно оброблюваної деталі.

Таким чином, управління процесом шліфування, крім виконання передбачених рухів робочих органів верстата відповідно до жорсткої програми, складається з контролю та коригування цієї програми при

зміні технологічних параметрів процесу шліфування.

Управління за жорсткою програмою позитивно відбивається при фрезеруванні складних контурів деталей, токарній обробці фасонних поверхонь і ступінчастих валиків на координатно-свердлильних та інших верстатах з лезвійними інструментами.

Проте обробка деталей на верстатах з ЧПУ шліфувальної групи не може бути здійснена за жорсткою програмою, оскільки змінювані технологічні параметри процесу сумірні за величиною з припуском на шліфування. Дійсно, при обробці деталей лезвійними ріжучими інструментами зрізувані припуски набагато більші пружних і температурних деформацій та значно перевищують знос ріжучого інструмента. При шліфуванні тільки один параметр - знос кола - значно перевищує припуск, що знімається.

Забезпечення високої точності форми деталей та якості їхньої поверхні за цих умов можливе лише за наявності гнучкої програми, яка змінюється в часі. Внаслідок цього система, управління верстатом з ЧПУ при шліфуванні повинна перетворювати (за певним алгоритмом управління) інформацію, що надходить, про зміну реєстрованих технологічних параметрів (потужності, температури, зусиль шліфування) та вносити певні корективи до програми дій виконавчих органів верстата.

Автоматичне управління технологічними процесами шліфування повинно розвиватися не тільки в напрямі копіювання дій людини (оператора). Часто це неможливо реалізувати без погіршення технологічних показників обробки, оскільки спосіб ручного управління заведений на використанні в замкненому контурі управління такої досконалої управляючої ланки, якою є людина. Питання автоматизації управління процесом шліфування повинні вирішуватися шляхом розробки принципово нових, високоінтенсивних способів шліфування, які неможливо реалізувати вручну.

Адаптивні системи управління являють собою новий, перспективний напрям розвитку автоматичних систем, до їх числа відносять системи із самонастроюванням програми та адаптивні системи із самонастроюванням параметрів і структури.

Системи із самонастроюванням програми здійснюють пошук оптимальної програми роботи, яка дозволяє максимізувати технологічну цільову функцію під час виконання технологічних обмежень.

Ці адаптивні системи управління мають спеціальний обчислюючий (аналізуючий або оптимізуючий) пристрій.

У системах із самонастроюванням параметрів і структури обчислювальні пристрої аналізують зміну передаточної функції об'єкта управління та виробляють управляючу дію на регулятор. При цьому добуток передаточних функцій всіх ланок підтримується на рівні, що забезпечує належну якість роботи системи.

Більшість існуючих систем адаптивного управління шліфувальними верстатами з ЧПУ мають неперервний принцип роботи. Слід зауважити, що неперервні (аналогові) системи управління є інерційними, оскільки в якості параметрів регулювання при шліфуванні, як правило, використовують електричні параметри електродвигуна привода шліфувального круга, які посередньо характеризують технологічні параметри процесу обробки. Вибір цих параметрів для регулювання зумовлений тим, що останні можуть бути достатньо точно та нескладно виміряні за допомогою відповідних перетворювачів.

Усунути негативний вплив інерційності замкненої системи на процес шліфування можна трьома способами:

- підвищенням швидкості окремих ланок системи автоматичного регулювання;
- перетворенням частотного спектра регульованого сигналу з метою виділення для регулювання низькочастотних складових цього сигналу, які характеризують технологічні фактори процесу;
- введенням у замкнений контур системи диференціюючих ланок (упередження).

Перший принцип вимагає вишукування нових конструктивних дороблень вузлів верстата. Однак усунути інерційність за рахунок конструктивних змін - складно, оскільки основною інерційною ланкою системи є електродвигун шліфувального круга. Зменшити інерційність цієї ланки поки неможливо.

Другий шлях вирішення вказаної задачі має великі можливості для реалізації, оскільки дозволяє майже на порядок зменшити динамічну помилку регулювання у стійкій системі. Інваріантність системи до високочастотних складових регульованого сигналу призводить до зменшення швидкості дії збурень. Як наслідок, поліпшується якість регулювання та надійність роботи системи.

Введення до контуру системи ланок випередження для компенсації запізнювання сигналів - теоретично дуже ефективний метод, оскільки при правильно вибраних параметрах настроювання вказаних ланок система управління стає безінерційною. Однак ефективність даного методу при його практичній реалізації знижується через тру-

домісткість синтезу необхідної передаточної функції ланок упередження та зменшення відношення сигнал-перешкода при диференціюванні флукуаційних складових сигналів.

Під час розробки систем автоматичного управління шліфувальними верстатами з ЧПУ як регульовані величини вибирають такі параметри, які найповніше відображують показники процесу обробки.

Для розв'язання даної технологічної задачі треба мати достатню інформацію про зв'язки вибраного регульованого параметра з якістю поверхні та продуктивністю обробки.

Наприклад, при управлінні процесом шліфування регульованим параметром часто виступає потужність, що витрачається на різання, яку в статистиці можна показати так:

$$P = c \cdot t^x \cdot S_n^y, \quad (13)$$

де  $c$  - коефіцієнт, що враховує умови різання (ріжучі властивості круга, матеріал оброблюваної деталі, вид СОР та ін.)  $t$  - глибина шліфування, мм;  $S_n$  - подача (швидкість стола), мм/хв;  $x, y$  - коефіцієнти, які враховують вплив режимних факторів на потужність шліфування.

Коефіцієнт передачі (зусилля) процесу шліфування в даному випадку може бути показаний як функція кількох змінних:

$$K_{np} = \frac{P}{S_n} = c \cdot t^x \cdot S_n^{y-1}. \quad (14)$$

Досліди показують [31], що для різних схем шліфувальних верстатів з ЧПУ коефіцієнт передачі  $K_{np}$  залежно від глибини різання змінюється у 5-10 разів. За цих умов практично неможливо забезпечити потрібну якість регулювання. Збільшення коефіцієнта  $K_{np}$  вище від критичного значення, як правило, призводить до втрати стійкості системи. Для забезпечення стійкої роботи системи автоматичного регулювання до основного її контура вводять додатковий коригуючий пристрій з метою забезпечення умови [31]

$$K_c = K_{к.дп} \cdot K_{np} = const,$$

де  $K_{к.дп}$  - коефіцієнт передачі коригуючого пристрою;  $K_c$  - коефіцієнт, який пропорціональний загальному коефіцієнту передачі системи.

У системах стабілізації наперед розраховуються та підтримуються незмінними оптимальні параметри, що є особливо ефективними для детермінованих об'єктів.

Системи програмно-слідкуючого управління застосовуються для автоматичної обробки заданої послідовності операцій за попередньо

розрахованою оптимальною програмою. В слідкуючих системах програма управління часто наперед невідома та формується в ході технологічного процесу обробки. Наприклад, система управління поздовжньою подачею зубошліфувального верстата 5851 забезпечує підтримання постійної потужності, що витрачається на різання при зміні глибини шліфування за рахунок деформації (що виникла) зубчастого вінця при хіміко-термічній обробці.

Системи логічного управління послідовністю операцій формують технологічний цикл за поточною миттєвою комбінацією умов переходу до наступної операції.

Логічні алгоритми забезпечують аналіз умов операцій, контроль за можливістю або недопустимістю їхньої поведінки. На основі логічного алгоритму в автоматичних системах управління реалізуються різні технологічні блокування, контроль режиму роботи та введення резервних систем, що забезпечують змащування, вентиляцію, транспортні засоби тощо. Від якості логічних систем залежить послідовність та безаварійність роботи верстата.

Незважаючи на різні системи, структура їх є однаковою. Вона складається з елементів пам'яті для зберігання апріорної та вихідної інформації, пристроїв, що виробляють управляючу інформацію, та з блоків зв'язку з об'єктами, які перетворюють останню в управляючу дію.

### **1.13. ДІАГНОСТИКА РЕЖИМІВ, ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ**

Діагностика режимів шліфування - це оцінка фактичного стану процесу обробки з урахуванням результатів фізичного вимірювання деяких його параметрів. Регулювання - безпосередня дія на процес шліфування, яка здійснюється людиною або автоматом (відповідно ручна або автоматична) за результатами виявленої невідповідності між бажаними та фактичними значеннями регульованих параметрів. Можлива кількість контрольованих параметрів при діагностуванні завжди більша від можливої кількості автоматично регульованих параметрів. У зв'язку з цим технологічні можливості діагностики в умовах автоматизованого шліфування вищі від можливості автоматичного регулювання.

Автоматична діагностика та автоматичне регулювання володіють приблизно однаковими технологічними можливостями.

Процес проектування є еквівалентним ідеальній системі автоматичного регулювання з необхідною (без обмеження) кількістю датчиків (первинних перетворювачів), яка здійснює всі необхідні управляючі дії для досягнення бажаних результатів. Але оскільки на етапі проектування нема ні датчиків, ні фактично існуючого процесу, то маються на увазі, що реальні умови протікання процесу (операції шліфування) та його вихідні показники збігаються з розрахунковими.

При проектуванні та розробці автоматизованого шліфування необхідно дотримуватися системного підходу, відповідно до якого будь-яка зміна структури та параметрів операції відбивається на структурі і параметрах технологічного процесу. Принцип системного підходу є ніби подальшим розвитком принципу технологічної гнучкості.

Розрізняють структурні та параметричні оптимізаційні задачі проектування. Задачі структурної оптимізації пов'язані з вибором тієї або іншої структури технологічного процесу на основі досвіду відомих типових технологічних рішень (досвіду інших виробництв), досягнутого світового рівня та тенденцій його розвитку.

Наприклад, при розробці технологічного процесу виготовлення ходових гвинтів, до складу якого входять операції різьбошліфування, слід вибрати суворо визначену послідовність виконання етапів попереднього та остаточного формоутворення профілю різьби з урахуванням термічної обробки, якщо формування різьби ходового гвинта починається після термічної обробки, то наступну чорнову операцію обробки найбільш раціонально виконувати багатонитковим різьбошліфувальним кругом (припуск 2...3 мм на бік). Напівчистову операцію можна здійснювати одно- або багатонитковим кругом (припуск 0,5... 0,8 мм), а чистову - однострижковим (припуск 0,2 мм).

Якщо різьба загартується після її попереднього формоутворення різцем або накаткою роликми, то багатониткове різьбошліфування застосовується на стадії попереднього різьбошліфування (припуск 0,7...0,8 мм).

Задача вибору того чи іншого варіанта технологічного процесу є оптимізаційною та потребує трудомістких обчислень. Проте після вибору оптимального варіанта технологічного процесу (на етапі проектування) його реалізація утруднюється (а іноді й зовсім неможлива) через відсутність потрібного обладнання, інструмента та вимірюва-

льних засобів.

У цьому випадку структуру технологічного процесу, що склалася, часто вдосконалюють шляхом застосування більш прогресивного інструмента, зміни порядку операцій (наприклад, уведення операцій відпалу, нормалізації, рихтування), а також параметричної та структурної оптимізації операцій.

Багатониткове різбошліфування при певній кількості ниток збільшує продуктивність обробки та підвищує її точність. Дійсно, із збільшенням кількості ниток на крузі зростає продуктивність обробки, але одночасно зменшується точність кроку різби. Оптимальна кількість ріжучих ниток на крузі залежить також від припуску, що приходить на кожну ріжучу нитку, та від ріжучої здатності і стійкості круга.

Визначення кількості ниток на крузі - це приклад структурної оптимізації різбошліфування. Підвищення точності кроку різби досягається стабілізацією відношення потужності різбошліфування до колової швидкості заготовки. Це є прикладом параметричної оптимізації операції.

На кафедрі "Технологія машинобудування" Одеського політехнічного інституту розроблено пристрій для автоматичної діагностики режимів шліфування різби. Він запам'ятовує двовимірні масиви типу  $P_{ij}$  та  $V_{ij}$ , де  $i$  - номер переходу шліфування,  $j$  - порядковий номер оброблюваної деталі. Пристрій вбудовується у шліфувальний верстат і має пульт, на якому розташовані органи управління та індикації. Технолог може пропустити на показуючому приладі зафіксовані дані про режими обробки на інтервалі часу, що його цікавить (у минулому), та встановити відповідні режими обробки.

Розроблений пристрій дозволяє також здійснювати "статичне регулювання" режимів шліфування, засноване на встановленні залежності між режимною частиною технологічного процесу та результатами післяопераційного контролю обробленої деталі. Даний пристрій є ніби індикатором дотримання технології шліфування, яка забезпечує точність і якість обробки та здійснює автоматизоване регулювання колової швидкості заготовки по відхиленню комплексу  $P/V$  (відношення потужності, яка витрачається на шліфування, до швидкості заготовки) від встановленого значення. Підтримування комплексу  $P/V$  на постійному рівні стабілізує точність кроку оброблюваної різби при багатонитковому різбошліфуванні.

Дослідження накопиченої похибки кроку різби ходових гвинтів

при двопрхідному багатонитковому рїзьбошліфуваннї (гвинт 63x10 з довжиною рїзьбової частини 1400 мм із сталї 8Х3, круг 44АІ6ПСМІ7К5, глибини шліфування за проходами 1,25 та 0,75 мм) показали, що підтримування енергетичного комплексу *P/V* на постійному рївнї зменшує коливання крокової похибки рїзьби у 3-4 рази.

Розробка та створення засобів автоматизованого проектування, діагностики та регулювання відповідають вимогам до сьогоднїшнього рївня розвитку виробництва і є перспективними. В умовах малолюдної та безлюдної технологїї розробка математичних моделей, що описують термодинамічні процеси при шліфуваннї, та прикладних програм складають основу забезпечення автоматизованих шліфувальних модулїв, якї входять у ГПС.

### **Запитання для самостїйного контролю**

1. Обґрунтувати, на якї групи класифїкуються верстати з ЧПУ за рївнем технологїчних можливостей; за способом управлїння та точнїстю.
2. Принцип сумїщення баз, умови для його реалїзацїї.
3. Принцип сталостї баз. Розглянути на конкретному прикладї.
4. Двїйкова та десяткова системи числення. Записати числа 25,342; 15,54 у двїйковїй системї числення.
5. Розшифрувати формат рядка  
*N04G2X+022.Y+033.Z+015F2S2T4M2LF.*
6. Вимоги до деталей, оброблюваних на верстатах з ЧПУ.
7. Методи визначення жорсткостї верстатїв з ЧПУ, переваги та недолїки.



## ГЛАВА 2

### ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ НА БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТАХ

#### 2.1. ТЕХНОЛОГІЧНІ МОЖЛИВОСТІ БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТІВ

Багатоопераційними називаються автоматизовані верстати з ЧПУ з високим ступенем інтеграції операцій, які забезпечують виконання великої номенклатури технологічних операцій та мають автоматичну зміну інструмента. Ці верстати називаються багатоцільовими або обробляючими центрами .

На відміну від звичайних багатошпиндельних верстатів-автоматів і автоматичних ліній, застосовуваних у масовому виробництві, підвищення потужності на багатоопераційних верстатах досягається за рахунок сполучення технологічних переходів і паралельної багатоінструментальної обробки багатьох поверхонь, значного скорочення затрат додаткового та підготовчо-заключного часу й інтенсифікації режимів різання.

Багатоопераційні верстати мають один шпиндель або револьверну шпиндельну головку. Обробка ведеться послідовно одним інструментом, перемінюваним відповідно до встановленої програми. В умовах серійного та дрібносерійного виробництва частка машинного часу на прецизійних верстатах не перевищує 18-20%. На верстатах з ЧПУ вона збільшується до 50-60%, а на багатоопераційних верстатах досягає 80-90%.

У багатоопераційних верстатах реалізовано новий підхід до побудови технологічних процесів. До появи багатоопераційних верстатів металоріжучі верстати створювались стосовно конкретного методу обробки (точіння, свердління, фрезерування, стругання та інші види обробки). За наявності такого обладнання технологічні процеси будувалися з розбиттям всього циклу обробки на велику кількість операцій. Багатоопераційні верстати призначені для максимальної концентрації операцій, щоб майже всі технологічні операції можна було виконувати на одному верстаті. Зокрема, на них успішно виконуються фрезерні роботи з різними конструкціями фрез: фрезерування площин торцевими фрезами; фрезерування пазів кінцевими фрезами; фрезерування дисковими фрезами; фрезерування по контуру плоских і фасонних поверхонь; фрезерування приливів та внутрішніх

поверхонь. На багатоопераційних верстатах виконують усі види робіт, пов'язаних з обробкою отворів, зокрема, свердління, розсвердлення, зенкерування, розточування набором різців, різцевими головками отворів великого діаметра, розвертання, нарізання різьби, відрізка торців бобишок тощо.

За точністю виконання операцій багатоопераційні верстати близькі до координатно-розточних. Технологічні можливості багатоопераційних верстатів визначаються їхнім компонуванням. Верстати, що випускаються, можна поділити на дві групи: вісь шпинделя розташована перпендикулярно до площини стола, тобто в його вертикальній площині; вісь шпинделя розташована паралельно площині стола, тобто в його горизонтальній площині.

До верстатів першої групи відносять верстати вертикально-консольно-фрезерні, безконсольно-вертикально-фрезерні та поздовжньо-фрезерні або двостоякові координатно-розточні.

До верстатів другої групи відносять горизонтально-консольно-фрезерні та горизонтально-розточні верстати.

У багатоопераційних верстатах процес обробки заготовок повністю автоматизовано. Рух робочих органів та зупинка їх у необхідній позиції, величини подач, затискання робочих органів, а також зміна інструменту з магазину виконуються автоматично за командами від системи ЧПУ. Разом з тим, операції завантаження заготовки та знімання готової деталі виконують вручну. Прагнучи максимально скоротити час простою обладнання, яке дорого коштує, на деяких верстатах встановлюють два поворотних столи, що дозволяє в момент обробки заготовки на одному з них встановлювати нову заготовку на другому.

На багатоопераційних верстатах першочергове значення має число сторін деталей, які повинні підлягати обробці.

Аналіз технологічних ознак можливості обробки корпусних деталей автомобільної, тракторної, сільськогосподарської, приладобудівної та авіаційної галузей промисловості показує, що близько 20% деталей оброблюються за два установа за допомогою одного-трьох інструментів. Решта 80% деталей потребують виконання значного числа установок, при здійсненні яких необхідна кількість інструментів досягає кількох десятків. В цьому випадку вельми доцільним є застосування багатоопераційних верстатів.

Аналіз показав, що від загальної кількості придатних для обробки на цих верстатах деталей 18% потребують обробки з одного боку,

32% деталей - з двох-чотирьох боків доступності, що можливо при повороті деталі навколо однієї з осей, тобто за наявності поворотного стола (рис. 26, б); 35% деталей - з п'яти-семи боків доступності, що можливо при повороті деталі навколо двох осей, тобто за наявності глобусного стола (рис. 26,в) [12]. Решта потребують більше семи сторін доступності.

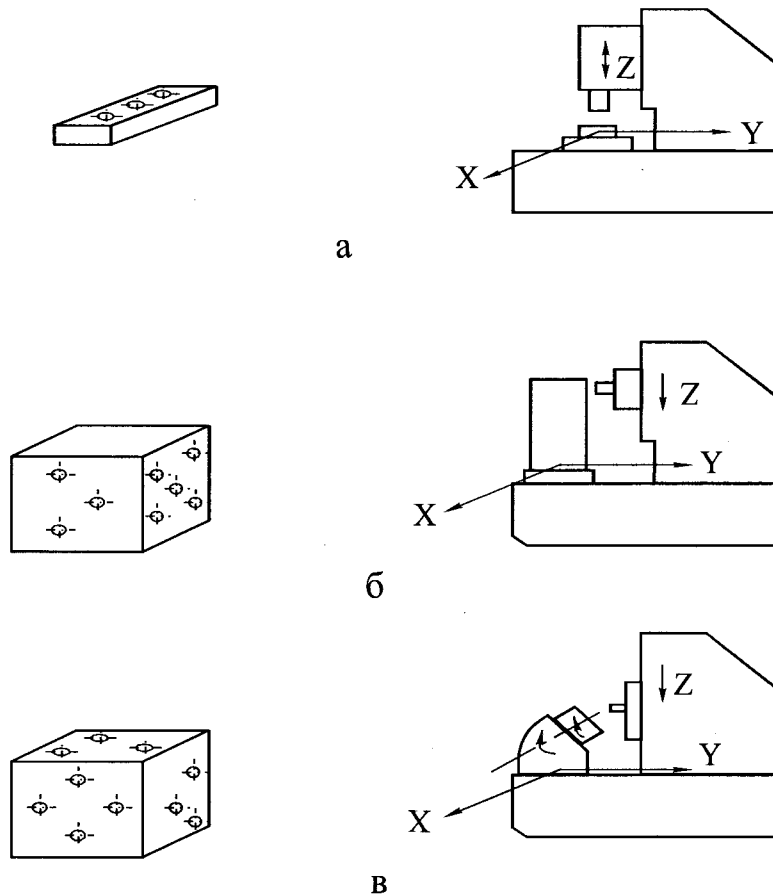


Рис.26. Схеми багатоопераційних верстатів з одним ступенем доступності (а), з чотирьох боків доступності (б), з п'яти боків доступності (в).

У процесі виготовлення деталей змінюються в широких межах і коригуються.

При обробці на багатоопераційних верстатах та верстатах з програмним управлінням всі ці дані встановлюються технологом-програмістом і не змінюються в процесі роботи верстата. Тому при розробці технологічних процесів їх треба вибирати та розраховувати ретельно і точно.

При експлуатації багатоопераційних верстатів роль робітника-оператора обмежується спостереженням за дією механізмів та пристроїв одного або кількох верстатів. Значно зменшується частка фізичної праці та збільшується обсяг висококваліфікованої праці інжене-

При обробці деталей на багатоопераційних верстатах точність взаємного розташування оброблених поверхонь не залежить від поверхонь, вибраних як установча база, оскільки тут відлік розмірів здійснюється від початку координат, з якими пов'язана одна з поверхонь деталі, яка часто є настроювальною базою.

При обробці на універсальних верстатах встановлення та закріплення деталей, вибір інструментів і режимів різання, спосіб обробки та послідовність переходів у процесі виготовлення

рів, технологів, програмістів, техніків з налагодження та ремонту верстатів.

Технологічні показники багатоопераційних верстатів порівняно з іншими видами обладнання, в тому числі верстатів з ЧПУ, забезпечили швидкий їхній розвиток і значне збільшення випуску. Не дивлячись на відносно високу вартість цих верстатів, при правильному їх використанні з повним завантаженням (у дві-три зміни) вони окупаються протягом одного-двох років. Це пов'язано із значною економією затрат на технологічне оснащення, зменшенням браку та кількості потрібних верстатів, числа операцій, скороченням виробничих площ та об'ємів незавершеного виробництва.

## **2.2. ВИМОГИ ДО ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ДЕТАЛЕЙ, ОБРОБЛЮВАНИХ НА БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТАХ**

Технологія обробки деталей на автоматизованих системах ставить певні вимоги до їхньої технологічності. Найбільш технологічною вважають конструкцію деталі, що відповідає таким вимогам:

- деталь повинна мати комплект баз, що забезпечують необхідну орієнтацію та надійне кріплення заготовки на верстаті при можливості обробки її з кількох боків та вільного підведення інструмента до оброблюваних поверхонь;
- мати просту геометричну форму заготовки, яка дозволяє оброблювати максимальну кількість поверхонь з однієї установки;
- забезпечувати обробку на прохід у напрямі подання;
- приливи та платики повинні розташовуватися в одній площині;
- деталь не повинна мати складних уступів, пазів, перервних поверхонь і оброблювальних ділянок, розташованих під кутом;
- оброблювальні поверхні повинні розташовуватися в доступних для обробки площинах, які можуть бути звернені до шпинделя при послідовному повороті стола із заготовкою на відповідний кут;
- кріпильні отвори бажано мати однакових розмірів з можливістю нарізання в них різьби за допомогою мітчиків, що дозволяє використовувати стандартні цикли обробки;
- заготовка повинна мати достатню жорсткість та міцність, за яких виключається можливість появи вібрацій під час обробки або неприпустимих деформацій від сил різання та закріплення;
- отвори, розташовані на одній осі в різних стінках, бажано викону-

вати одного діаметра;

- за наявності на одній осі кількох отворів їхні діаметральні розміри повинні зміщуватися від зовнішньої стінки до середини деталі;
- найбільш точні отвори бажано розташовувати на зовнішніх стінках.

Обробка отворів на багатоопераційних верстатах виконується без підтримки та напряму інструмента кондукторними втулками. Тому для досягнення необхідної точності отвори розточуються короткими жорсткими консольними інструментами. Необхідність розточування отворів, розташованих у внутрішніх і проміжних стінках деталі, веде до подовження розточних борштанг та зменшення їхньої жорсткості, а отже, до зниження точності й продуктивності розточування. Крім того, великий виліт борштанги утруднює поворот стола з деталлю, навіть якщо він відведений в саме крайнє положення, оскільки кут деталі, найбільш віддалений від осі повороту, зачіпає інструмент. Це змушує відводити інструмент у крайнє положення, видаляти його з шпинделя, а після повороту деталі знову встановлювати в шпидель. Така марна робота інструментального автооператора знижує продуктивність операції.

Отвори в стінках корпусних деталей повинні бути по можливості гладкими, а їхні зростаючі діаметри напрямлені до зовнішніх поверхонь. Протилежний напрям ступенів отворів є неприпустимим, оскільки їхня обробка може стати неможливою.

Кріпильні отвори повинні бути максимально нормалізовані, а їхня номенклатура - мінімальна. Фрезерувати площини фрезами великого діаметра недоцільно, тому що вони можуть перекрити сусідні гнізда в інструментальному магазині (особливо зіркоподібного або револьверного виду). Крім того, зміна автооператором інструментів великих розмірів ускладнюється. Прагнення обробити максимальну кількість поверхонь на одному верстаті при одному закріпленні деталі накладає певні обмеження на вибір поверхонь, використовуваних як установчі бази, та спосіб закріплення деталі. При виборі установчих баз і способу кріплення необхідно створити умови доступності підходу інструментів до всіх поверхонь, які підлягають обробці. Треба забезпечити ще й надійну стійкість деталі, ліквідувати чутливість до збурюючих сил різання, забезпечити відсутність деформацій деталі в процесі закріплення й обробки та сталість положення встановлюваних на верстатах деталей відносно початку координат.

Під час обробки деталей на універсальних і спеціальних верста-

тах базуючі поверхні не тільки здійснюють орієнтацію їх відносно ріжучих інструментів та напрям їхнього переміщення, а й забезпечують точність виконання розмірів, що проставляються звичайно в технологічних картах від цих баз, часто з більш жорсткими допусками.

### **2.3. ВИМОГИ ДО РОБОЧОГО КРЕСЛЕННЯ**

При обробці деталей на багатоопераційних верстатах траєкторія відносного переміщення заготовки та ріжучого інструмента формується за командами в опорних точках, заданих в прямокутній системі координат. Відповідно до цього розміри в кресленнях слід також задавати в прямокутній системі координат. У зв'язку з цим конструктор при розробці креслення вибирає початок системи координат заготовки. Напрямок осей координат заготовки повинен збігатися з напрямком осей координат верстата, а технологічні бази відповідати координатним площинам верстата, що значно спрощує орієнтацію заготовки та підвищує точність її встановлення. За початок системи координат рекомендується вибирати вісь основного отвору. За наявності значної кількості кріпильних отворів координуючі їх розміри в кресленні повинні проставлятися табличним методом як найбільш зручним для програмування. Розміри на кресленні повинні проставлятися так, щоб при підготовці управляючої програми необхідність їхнього перерахунку була найменшою. Поле розсіювання розмірів повинно розташовуватися асиметрично відносно номінального значення, оскільки програмовані розміри з несиметричними допусками повинні перераховуватися. Наприклад, на кресленні задано розмір  $100^{+0,03}_{+0,17}$ , який при програмуванні перераховується:  $100 + (0,03 + 0,17)/2 = 100,1$  мм.

Координатні переміщення задаються за приростами або в абсолютній системі. Отже, розміри на кресленні слід задавати в прямокутній системі координат.

### **2.4. РОЗРОБКА СТАНДАРТНИХ ЦИКЛІВ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ**

При розробці технологічних процесів та управляючих програм доцільно для операцій, що повторюються, розробляти стандартні цикли. Наприклад, при свердлінні або розточуванні кількох однакових

отворів слід програмувати цикл обробки тільки першого отвору, а для виконання наступних отворів вказуються тільки значення їхніх координат  $x$  і  $y$ .

Постійні цикли обробки поряд із спрощенням розробки технології підвищують продуктивність за рахунок скорочення допоміжних і холостих перебігів. При повторенні циклів не витрачається час на відведення інструмента в нульову точку та підведення його в робочу позицію для обробки наступних отворів, оскільки при повторному циклі інструмент при зворотному ході зупиняється на рівні поверхні оброблювальної деталі.

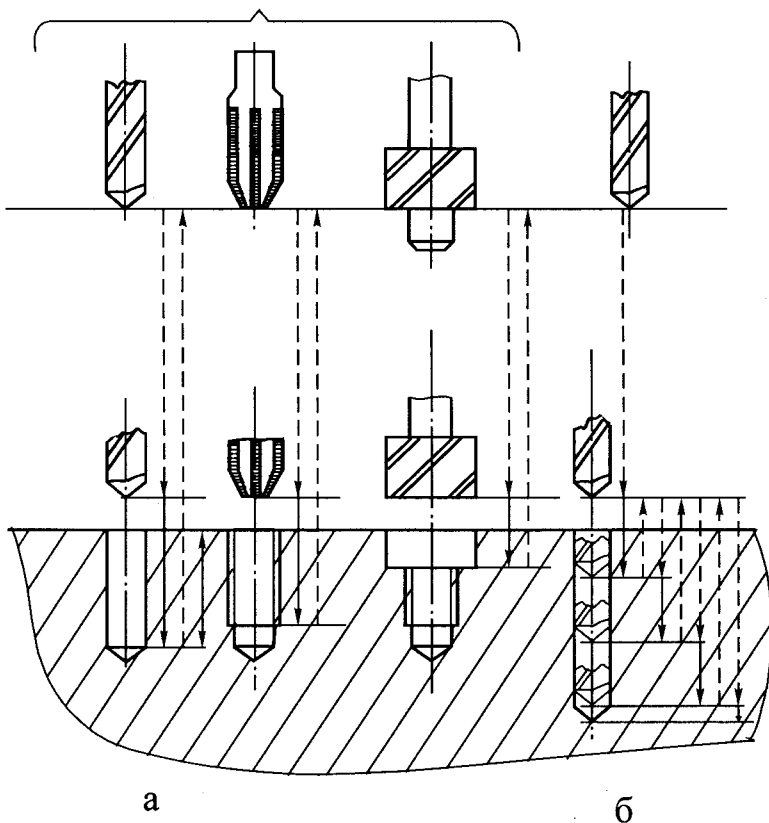


Рис.27. Стандартні цикли роботи багатоопераційного верстата.

На рис. 27 показані стандартні цикли роботи багатоопераційного верстата. Перший цикл складається з трьох переходів (рис. 27,а):

1-й перехід. Свердлильні полозки переміщуються на швидкому ході вниз і зупиняються в позиції, коли кромка свердла не дійшла 1 мм до поверхні деталі, потім вмикається робоча подача та виконується свердління на глибину  $h$ . По закінченні свердління полозки переміщуються на швидкому ході назад.

2-й перехід. Після зміни інструмента (свердло замінюється на мітчик) свердлильні полозки переміщуються вниз на швидкому ході та зупиняються, коли мітчик підходить до деталі, потім вмикається праве обертання мітчика та робоча подача. По закінченні нарізання різьби вмикається ліве обертання мітчика та зворотний хід полозків. Після виходу мітчика з отвору відбувається прискорене відведення полозків.

3-й перехід. Після зміни інструмента (мітчик замінюється на зенкер) свердлильні полозки переміщуються на швидкому ході вниз і зупиняються при підході зенкера до деталі, потім вмикається робоча

подача та відбувається підторцювання отвору. При досягненні необхідної глибини дається витримка інструмента, що обертається, без подачі і далі швидко відведення зенкера у вихідне положення. Якщо деталь має кілька однакових отворів, то після обробки першого з них за рахунок переміщення стола в напрямі координат  $x$  та  $y$  вісь шпинделя суміщається з віссю другого отвору.

Стандартний цикл обробки, що складається з трьох переходів - свердління, нарізання різьби та зенкерування - повторюється.

При свердлінні глибоких отворів (рис.27,б) ползки свердлильного верстата переміщуються на швидкому ході і, не доходячи 1...1,2 мм до оброблювальної поверхні, зупиняються. Вмикається робоча подача і відбувається свердління отвору на деяку глибину  $h$ . Для видалення стружки із зони різання процес свердління супроводжується періодичним виведенням та введенням свердла в отвір на прискореній подачі.

На рис.28 показано стандартний цикл обробки отворів, що складається з послідовного свердління трьох отворів, зенкерування та нарізання різьби. Позитивною якістю циклу є те, що інструменти після кожного переходу у вихідне положення не вертаються, а вертаються тільки для зміни інструмента. Починається цикл із точки  $H$  (початок). Свердло на швидкому ході підходить з нульової позиції до оброблюваної деталі і виконується послідовне свердління трьох отворів (поз. 1, 2, 3). Після закінчення свердління 3-го отвору свердло на швидкому ході вертається до нульової точки  $J_1$ , де відбувається зміна інструмента: свердло замінюється зенкером. Зенкер на швидкому ході підходить до торця оброблювальної деталі, переключається робоча

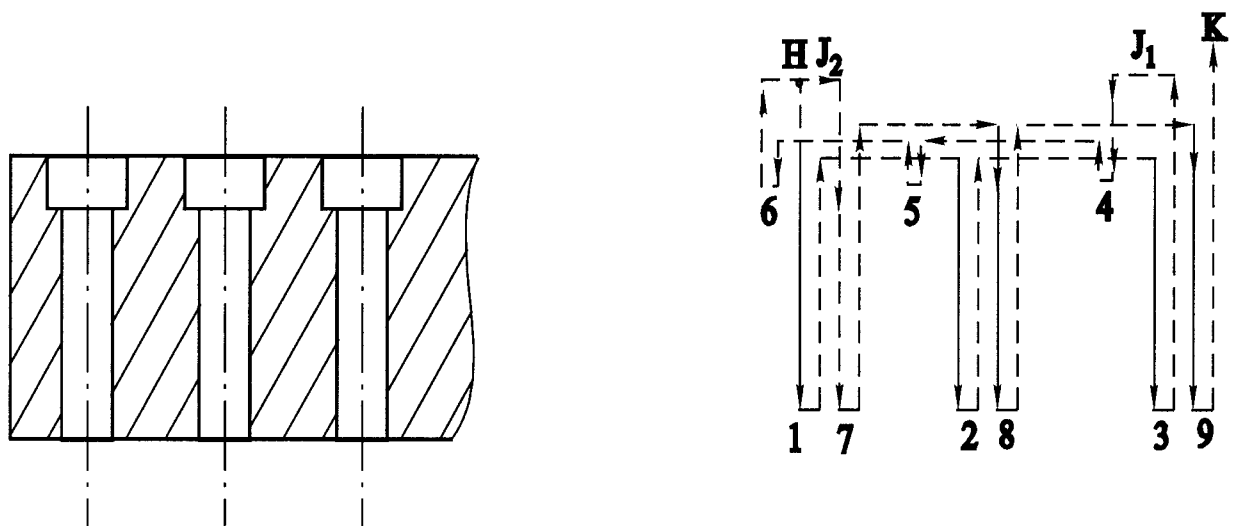


Рис.28. Стандартний цикл обробки отворів.



подача та відбувається послідовна обробка поглиблень (поз. 5, 6). Після підторцювання 3-го поглиблення шпиндель вертається на прискореній подачі у вихідне крайнє положення (нульова точка). Тут у позиції  $J_2$  відбувається заміна інструмента: зенкер замінюється на мітчик. Мітчик на прискореному ході підходить до поверхні підторцювання і здійснюється послідовне нарізання різьби (поз. 7, 8, 9). Після нарізання різьби в останньому отворі шпиндель повертається у вихідне крайнє положення – позиція  $K$  (кінець циклу).

## **2.5. ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТІВ**

Економічна доцільність застосування багатоопераційних верстатів визначається головним чином скороченням допоміжного часу в загальному балансі часу обробки та вартості застосовуваних пристосувань.

Проте, значна вартість багатоопераційних верстатів у ряді випадків обмежує доцільність їхнього застосування. Затрати часу на виконання додаткових рухів визначаються конструкцією та технічними умовами деталі, а також раціональною побудовою стандартних циклів. Наприклад, під час розробки стандартних циклів використовуються такі допоміжні рухи: 1) зміна інструмента; 2) встановлення числа обертів шпинделя; 3) встановлення величини подач; 4) переміщення шпинделя у вихідне положення; 5) зупинка обертання шпинделя; 6) виведення інструмента з деталі для переміщення стола в наступну позицію; 7) переміщення шпинделя в позицію для зміни інструмента; 8) переміщення робочого стола в задане положення.

Зміна інструмента складається з ряду дій: пошук інструмента, його захват з інструментального магазину, захват інструмента, встановленого в шпинделі, заміна інструмента, встановлення відпрацьованого інструмента в магазин.

Час на встановлення чисел обертів шпинделя та величини подачі фіксується одночасно з позиціонуванням, тобто він перекривається в загальному циклі додаткового часу. Для здійснення зміни інструмента необхідно перемістити шпиндельну головку в нульову точку.

При обробці кількох однакових отворів необхідно виводити інструмент і переміщувати стіл в наступну позицію, а при глибокому свердлінні періодично виводити свердло з отвору для очищення його

від стружки.

Залежно від конструкції деталі можливі різні сполучення допоміжних елементів. Наприклад, на деталі вимагається просвердлити кілька отворів однакового діаметра. Для здійснення цього циклу обробки достатньо передбачити сполучення допоміжних переміщень: виведення інструмента з деталі та переміщення робочого стола в задане положення.

При обробці деталей, які потребують в процесі обробки свердління, зенкерування, розвертання, нарізання різьби, фрезерування різних поверхонь, цикл виготовлення складається з повного переліку перерахованих раніше допоміжних рухів.

Ефективність застосування багатоопераційних верстатів залежить від складності конструкцій деталі та від розміру партії оброблювальних виробів. Чим більше число оброблювальних поверхонь і чим більше число інструментів, застосовуваних для обробки, тим більша ефективність досягається при використанні багатоопераційних верстатів. Корисний час роботи багатоопераційного верстата, порівняно з універсальним, збільшується із 40-48 до 80-85% [12]. Найбільший економічний ефект досягається в дрібносерійному та одиничному виробництвах при розмірах партії деталей від 30 до 100 шт.

На основі проведеного економічного аналізу запропонована формула для визначення числа оброблюваних деталей, при якому економічно вигідно застосування багатоопераційних верстатів [12]:

$$\frac{C_0 \cdot C_n \cdot i + C_{np.m} - \sum A \cdot T_{n.z}}{\sum A \cdot T_{шт} - A_m \cdot T_{m.шт}} \leq n, \quad (15)$$

де  $C_0$  - однократні затрати для підготовки до виготовлення деталей на багатоопераційному верстаті,  $C_0 = T_0 C_{np}$ , грн;  $T_0$  - час на однократно проведену підготовку обробки, год;  $C_{np}$  - тарифна ставка програміста, грн/год;  $C_n$  - повторювані для кожної партії затрати на багатоопераційному верстаті, грн;  $i$  - число партій;  $C_{np.m}$  - вартість установчого пристосування на багатоопераційному верстаті, грн;  $A$  - вартість 1 верстато-години, грн/год;  $T_{n.z}$  - підготовчо-заклучний час;  $A_m$  - вартість 1 верстато-години багатоопераційного верстата, грн;  $T_{m.шт}$  - штучний час обробки на багатоопераційному верстаті, год.

Вираз (15) визначає нижню межу числа оброблюваних деталей при економічно раціональному використанні цих верстатів. Верхня межа числа оброблюваних деталей при економічно раціональному застосуванні багатоопераційних верстатів визначається так:

$$n \leq \frac{\sum A \cdot T_{n.з} - (C_0 \cdot C_n \cdot i) + (C_{пр} - C_{пр.м})}{A_m \cdot T_{м.шт} - \sum A \cdot T_{шт}} \quad (16)$$

Визначення верхньої та нижньої меж чисел дозволяє визначити в кожному конкретному випадку зони економічно ефективної роботи багатоопераційних верстатів:

$$n_2 \leq n \leq n_1. \quad (17)$$

Заводський досвід застосування багатоопераційних верстатів показує, що пряма економія затрат, пов'язаних із значним підвищенням продуктивності та різким скороченням витрат на технологічне оснащення, являє собою лише малу частку реальної ефективності застосування цих верстатів.

Не менше ніж 70% загальної ефективності [12] складається з окремих елементів посередньої економії. Наприклад, значно (до 5-8 разів) скорочуються строки підготовки виробництва нових виробів, об'єми транспортних операцій (особливо під час обробки крупногабаритних деталей), число установок оброблюваних деталей. Збільшується оборотність оборотних засобів та підвищується загальна мобільність виробництва.

## **2.6. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТАХ**

### **2.6.1. ОСНОВНІ ЕТАПИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИБІР УСТАНОВЧИХ БАЗ**

Однією з головних особливостей побудови технологічних процесів на багатоопераційних верстатах є максимальна концентрація послідовного виконання за програмою технологічних переходів із застосуванням великої номенклатури інструментів при забезпеченні принципу єдності або постійності баз. При цьому досягається висока точність відносного розташування поверхонь деталі, оброблюваних з однієї установки при використанні різного ріжучого інструмента.

Обробка кількох поверхонь деталі з однієї установки виключає вплив похибки установки на точність їхнього відносного стану.

Робочі переходи виконуються в такій послідовності: спочатку провадиться попереднє та остаточне фрезерування плоских поверхонь, потім оброблюють головні отвори (свердління, зенкерування, розточування, розвертання), а на закінчення - дрібні отвори (сверд-

ління, знімання зенкером фасок, нарізування мітчиком різьби).

Якщо обробка заготовки з однієї установки неможлива, то структура технологічного процесу складається з таких етапів:

1. На першій операції оброблюють поверхні, які в подальшому використовуються як комплект установчих баз.
2. Використовуючи оброблювані поверхні як технологічні бази, виконується подальша обробка всіх поверхонь заготовки, що залишилися.

Для створення зручних і надійних установчих баз на заготовці іноді передбачають спеціальні технологічні приливи, платики, які оброблюються на першій операції.

Найбільш зручними технологічними базами корпусних деталей є три площини, які створюють координатний кут, - базування за трьома площинами, або площина та два отвори.

Таким чином, для обробки поверхонь деталей на багатоопераційних верстатах необхідно попередньо ці комплекти технологічних баз обробити за 6-м - 7-м квалітетами точності.

Точність базування заготовки на першій операції забезпечується попереднім вивіренням деталі на розмітці. Розмітка здійснюється для сполучення початку відліку координатної системи заготовки з початком відліку координатної системи супутника та пристрою. Розмітка забезпечує також рівномірний розподіл припуску при обробці головних отворів і рівномірну товщину стінок, враховуючи досягнення необхідної точності стану оброблюваних поверхонь відносно поверхонь, що не підлягають обробці.

Внаслідок того, що в автоматизованому циклі обробки переривати процес між чорновими та чистовими переходами небажано, операцію старіння рекомендується проводити до механічної обробки.

При розробці операційної технології оброблювана деталь розглядається як геометричний комплекс елементарних поверхонь, оброблюваних за типовими технологічними схемами з використанням стандартних циклів. Якщо деталь на одному боці має кілька однакових поверхонь, наприклад, отворів одного діаметра, пазів однакової ширини тощо, то найбільш раціональною є послідовна обробка поверхонь за стандартними циклами.

Для зменшення відведення свердел і підвищення точності міжосьових відстаней перед свердлінням отворів рекомендується виконувати центрування. Для центрування застосовуються спеціальні центрові свердла діаметром 4-10 мм або свердла більшого діаметра.

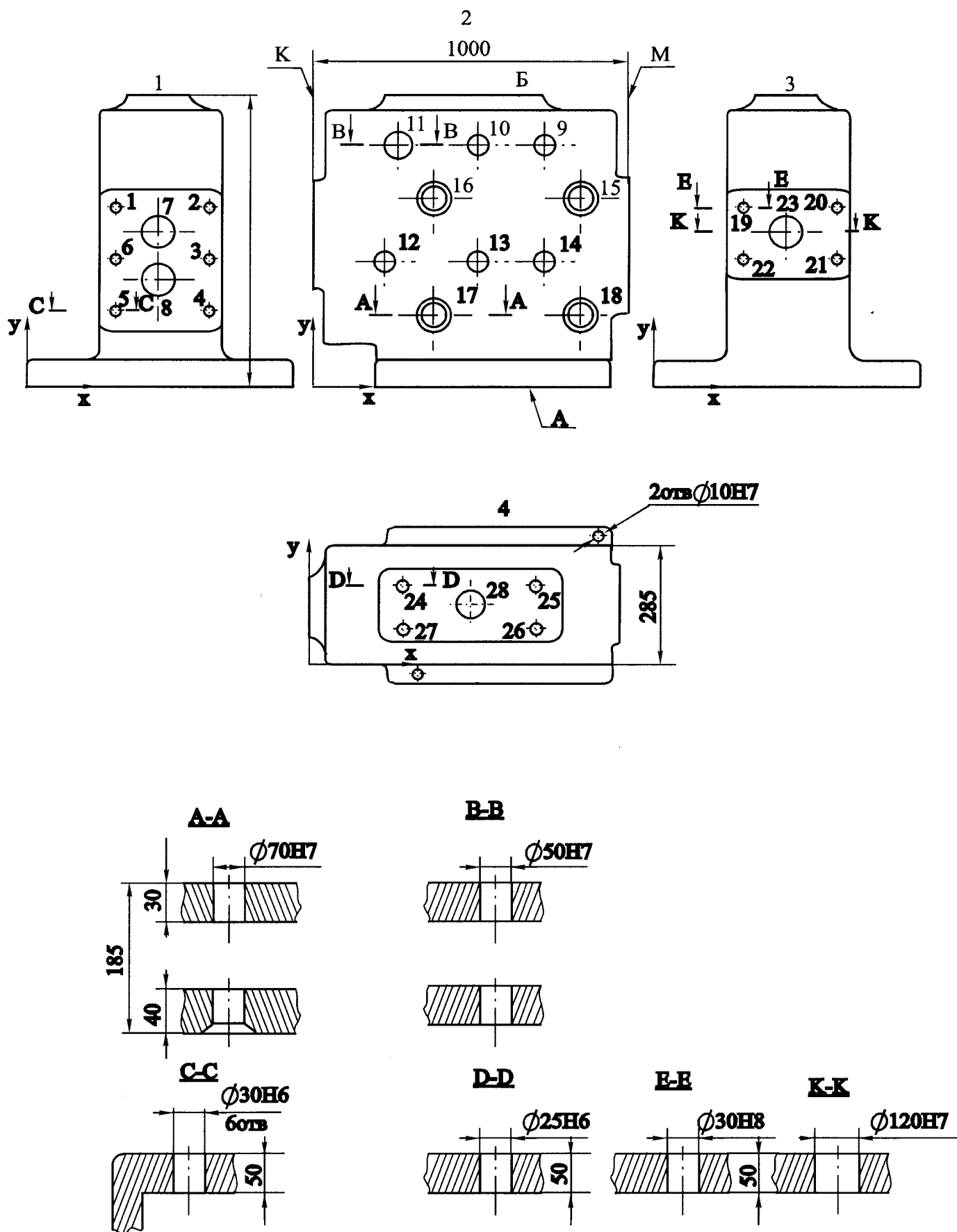


Рис.29. Розмірні схеми обробки отворів корпусної деталі.

Технологічна підготовка обробки деталей на багатоопераційних верстатах значно відрізняється від такої на звичайних універсальних верстатах. Вона складається із задач, пов'язаних з розробкою управляючих програм і технологічним оснащенням, що забезпечують потрібне настроювання верстата. На прикладі обробки корпусної деталі розглянемо питання технологічної підготовки на дільниці з двох багатоцільових верстатів. На першій операції створюється комплект установчих баз: оброблюється площина А і два базових отвори діаметром 10Н7 (рис. 29). Після переставляння заготовки в палету на другому верстаті оброблюється площина Б. На другій операції деталь базується за площиною та двома отворами діаметром 10Н7.

Відповідно до прийнятої схеми базування вибирається система відліку (нуль заготовки, рис.29). Відносно цієї системи відбувається перерахунок всіх розмірів, що визначають стан оброблюваних поверхонь деталі. Складається таблиця координат стану отворів відносно нульової точки.

За координатні площини початку відліку прийняті площина А (установча база)  $xoz$  та перпендикулярні до неї дві площини симетрії  $-xoy$  та  $yoz$  (рис. 29). Такий стан початку відліку означає наявність як позитивних, так і від'ємних координатних отворів. Для випадку фрезерування площини задають координати стану осі фрези, які відповідають початку та завершенню робочого ходу, враховуючи значення врізання та перебігу фрези.

Для кожного боку деталі складаються геометричні плани розташування отворів. Послідовність обробки кожного з отворів та їхні координати наведені в табл. 15.

Кожний отвір на цьому плані пронумеровано порядковим номером. При вибраній схемі координати всіх отворів є позитивними. Відповідно до необхідної точності діаметральних розмірів визначається послідовність обробки кожного отвору. Отвори в корпусній деталі оброблюються за стандартними циклами. Кількість переходів у стандартних циклах визначається за формулою

$$k_j = \frac{lg \varepsilon_0}{a}, \quad (18)$$

де  $a$  - коефіцієнт ( $a=0,45...0,5$ );  $\varepsilon_0$  - уточнення за геометричним розміром,

$$\varepsilon_0 = \frac{T \cdot d_{cv}}{T \cdot d_{det}}, \quad (19)$$

$Td_{cb}$  - допуск діаметрів після свердління (точність після свердління отворів відповідає 14-му квалітету точності).

Наприклад, для отвору діаметром 25H6 уточнення

$$\varepsilon = \frac{T \cdot d_{cb}}{T \cdot d_{det}} = \frac{520}{23} = 22,6.$$

Кількість переходів, потрібна для отримання діаметра Ø25H6,

$$k_{d=25} = \frac{\lg 22,6}{0,4} = 3,38.$$

Таблиця 15

Геометричні дані плану деталі (рис.29)

Номер отвору	Розміри координат		Розмір отвору
	x	y	
1	56	450	Ø30H6
2	198,5	450	
3	198,5	270	
4	198,5	90	
5	56	90	
6	56	270	
7	142,5	360	Ø120H7
8	142,5	180	
9	750	650	Ø50H7
10	500	650	
11	250	650	
12	250	300	
13	500	300	
14	750	300	
15	875	500	Ø7H7
16	350	500	
17	350	150	
18	875	150	
19	56	480	Ø30H8
20	198,5	480	
21	198,5	320	
22	56	320	
23	142,5	400	Ø120H7
24	400	122	Ø25H6
25	600	122	
26	600	62	
27	400	62	
28	500	92,5	Ø120H7

Різниця граничних значень квалітетів точності  $IT14-IT6 = 8$  при  $k_{d=25} = 3$ .

Різниця квалітетів між окремими переходами буде розподілена за законом прогресивного убавання  $8=3+3+2$ .

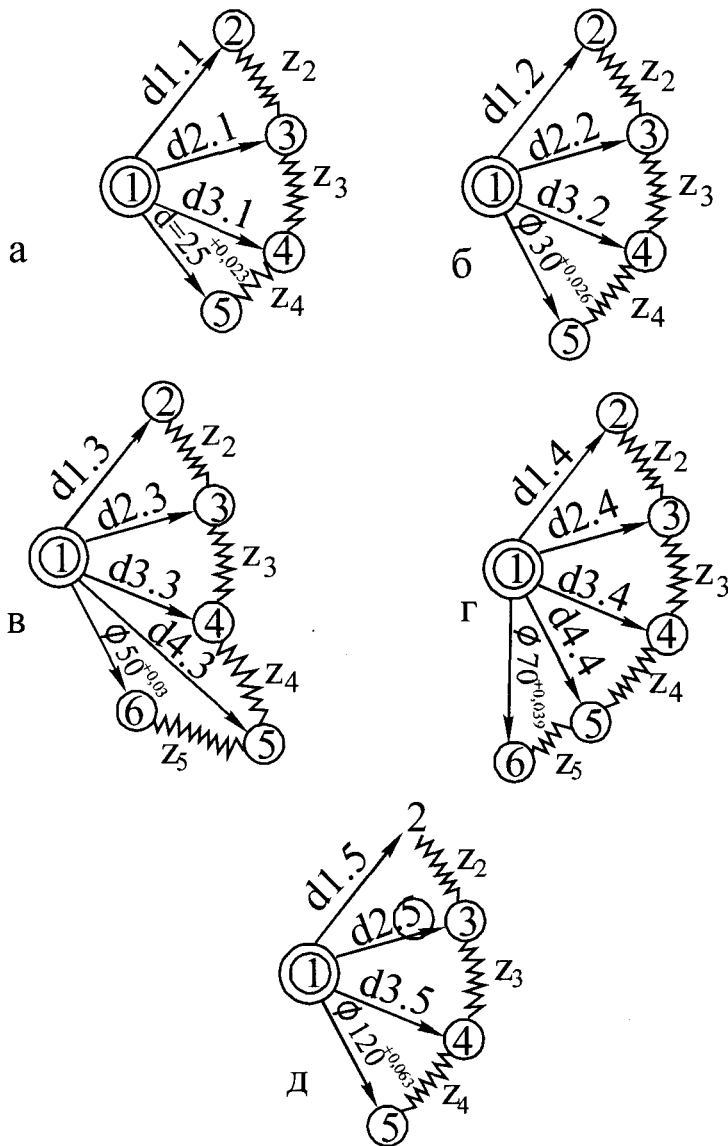


Рис.30. Розмірна схема обробки отворів (а) та сполучений граф (б): а - для діаметра  $\varnothing 25^{+0,023}$ ; б- для діаметра  $\varnothing 30^{+0,026}$ ; в- для діаметра  $\varnothing 50^{+0,03}$ ; г-для діаметра  $\varnothing 70^{+0,039}$ ; д-для діаметра  $\varnothing 120^{+0,063}$ .

$z_4$  вибираємо з [21, табл. 12].

Загальний припуск на операції розвертання  $z_{min} = 0,16$  розподіляється між операціями попереднього та остаточного розвертання в такій пропорції:  $2/3 z_{min}$  та  $1/3 z_{min}$ . Мінімальне значення технологічного розміру  $d_{3,1}$ :

$$z_{4min} = d_{1max} - d_{3,1min};$$

Технологія обробки отвору 25H6 складається з таких переходів: свердління, зенкерування, попереднє розвертання і остаточне розвертання.

Зенкерування підвищує точність з  $IT14$  до  $IT11$ , попереднє розвертання - з  $IT11$  до  $IT9$  та остаточне розвертання - з  $IT14$  до  $IT7$ .

На рис.30 показано геометричну структуру технологічного процесу обробки отворів.

Граф розмірних зв'язків дозволяє виконувати розмірний аналіз технологічних процесів обробки отворів.

Розрахунок технологічних розмірів отворів за графом розмірних зв'язків слід починати із замкнутого контуру, який складається з креслярського розміру отвору, наприклад  $d_1=25^{+0,025}$  (рис. 30,а).

Мінімальний припуск



$$d_{3.1min} = 25,023 - 0,053 = 24,97 \text{ мм};$$

$$d_{3.1max} = d_{3.1min} + Td_{3.1}.$$

Для 8-го квалітету точності допуск на отвір діаметром 25 мм  
 $Td_{3.1}=0,033$

$$d_{3.1} = 24,97^{+0,033} \text{ мм.}$$

Таблиця 16

Номер отвору	Послідовність переходів	Діаметр отвору, мм	Інструмент
1, 2, 3, 4, 5, 6	1) свердлити отвори 2) зенкерувати 3) розвернути попередньо 4) розвернути остаточно	29,526. 29,896 29,97 30,0	Свердло Зенкер Розвертка
7, 8, 23, 28	1) пролити 2) розточити 3) розточити 4) розточити	117,106 119,306 119,746 120	Розточна борштанга Те саме Те саме
9, 10, 11, 12, 13, 14.	1) пролити 2) розточити 3) розточити 4) розвернути 5) розвернути	47,4 49,547 49,877 49,97 50	Розточна борштанга Те саме Розвертка Те саме
15, 16, 17, 18	1) пролити 2) розточити 3) розточити 4) розвернути 5) розвернути	67,5 69,159 69,859 69,969 70	Розточна борштанга Те саме Розвертка Те саме
24, 25, 26, 27	1) свердлити отвір 2) зенкерувати 3) розвернути завчасно 4) розвернути остаточно	24,53 24,896 24,97 25,0	Свердло Зенкер Розвертка Те саме

За аналогією з наведеним, розрахунком визначені операційні розміри та послідовність обробки всіх отворів корпусної деталі (див.

рис. 29).

Послідовність обробки отворів наведена в табл. 16.

Наступним документом, що є необхідним під час програмування, є технологічний процес обробки деталі, в якому вказується послідовність обробки поверхонь, ріжучий інструмент, його розміри та режими різання.

Технологічний процес обробки корпусної деталі представлено в табл. 17.

Таблиця 17

Номер операції	Найменування переходу	Ріжучий інструмент, розміри, матеріал	Режими різання		
			$t_B$ , мм	$V$ , м/хв	$S$ , мм/хв
1	2	3	4	5	6
A	Встановити деталь				
I	Фрезерувати площину Б двома послідовними проходами	Фреза торцюва Ø 125 мм BK8	2	59	50
2	Свердлити 4 отвори Ø 24,53 мм	Свердло Ø 24,53 мм	-	18	63
3	Цекувати фаски 4 отворів	Цікування Ø 60x90: P6M5	0,5	6	20
4	Зенкерувати 4 отвори Ø 24,896 мм	Зенкер Ø 24,89 мм	0,5	15	50
5	Розвернути завчасно 4 отвори Ø 24,97 мм	Розвертка Ø 24,97 мм BK8	0,03	30	400
6	Розвернути остаточно Ø 25H6	Розвертка Ø 25 мм BK8	0,03	25	800
7	Фрезерувати площину М	Фреза торцева Ø 125 мм BK8	2	60	50
8	Свердлити 6 отворів Ø 30H6	Свердло Ø 29,53 мм	-	18	63
9	Зенкерувати 6 отворів	Зенкер Ø 29,89 мм	0,5	15	50
10	Розвернути 6 отворів завчасно	Розвертка Ø 29,97 мм	0,03	30	400
11	Розвернути 6 отворів остаточно 30H6	Розвертка Ø 30 BK8	0,03	30	400

Б	Повернути стіл на 180°				
12	Фрезерувати площину К	Фреза торцюва Ø 125 мм ВК8	2	60	50
13	Свердлити 4 отвори Ø 30Н8	Свердло Ø 28,5	–	18	63
14	Зенкерувати 4 отвори	Зенкер Ø 29,94	0,5	15	50
15	Розвернути 4 отвори Ø 30Н8	Розвертка Ø 30	0,03	30	400
В	Повернути стіл на 90°				
16	Фрезерувати площину	Фреза торцева Ø 125 мм ВК8	2,5	60	50
17	Розточити 6 отворів Ø 50Н7 до Ø 49,547мм	Борштанга Ø 49,547мм	1,07	50	30
18	Розточити до Ø 49,859мм	Борштанга Ø 49,859	0,15	59	31,5
19	Розвернути Ø 49,97	Розвертка Ø 49,97	0,05	30	400
20	Розвернути Ø 50	Розвертка Ø 50	0,015	40	400
Г	Повернути стіл на 90°				
21	Розточити за 3 проходи 2 отвори Ø 120Н7	Борштанга Ø 119,306 Ø 119,746 Ø 120	1,1 0,22 0,12	30 50 50	20 30 30
Д	Повернути стіл на 180°				
22	Розточити 1от-вір Ø 120Н7 за 3 проходи	Борштанга Ø 119,306 Ø 119,746 Ø 120	1,1 0,22 0,12	30 50 50	20 30 30

Управляюча програма формується з ряду послідовних кадрів, що мають відповідний формат:

$$N3 \cdot G2 \cdot X + 33Y + 22Z + 32B32F2 \leq T2M2ПС,$$

де  $N$  - номер кадра (фрази) – номер всякої послідовної дії, пов'язаної з виконанням переходів у загальній послідовності технологічного процесу;  $3$  - кількість цифр номера кадру, нумерація кадрів починається із значень 0,01, далі 0,02, 0,03 ...;  $G$  - режим роботи системи числово-

го програмного управління, основні підготовчі команди, що визначають характер роботи системи програмного управління; **2** - дві цифри, які характеризують запис цифрового значення кадру (таб. 5); **X, Y, Z** - переміщення вздовж осі **x, y, z** (система готує переміщення стола з деталлю за відповідною координатою); **33** - шестизначний цифровий запис величини координати **x** шість рядків на програмоносії, перший рядок - сотні, другий - десятки, третій - одиниці міліметрів, четвертий - десяті частки, п'ятий - соті частки, шостий - тисячні частки міліметра; **32** - те саме, для координати **Z** (включаючи тільки соті частки); **B** - поворот навколо осі **y** (система готує поворот стола з деталлю); **32** - запис величини кутової координати, **3** - характеризує сотні, десятки та одиниці, а **2** - десяті та соті частки оберту (або градуси); **F** - швидкість подачі (система готує вмикання ланцюга зміни величини подачі); **2** - дві цифри, що характеризують кодове позначення; **S** - швидкість головного руху (система готує вмикання зміни числа обертів шпинделя); **2** - дві цифри характеризують кодове позначення величини числа обертів (табл. 7); **T** - код інструмента (система готує переміщення магазину та пошук потрібного інструмента); **2** - дві цифри позначають код або шифр потрібного інструмента; **M** - виконання всіх допоміжних команд; **2** - дві цифри характеризують потрібну команду (табл. 8).

Отримана інформація дозволяє розробляти управляючу програму та карту налагодження верстата.

Карта налагодження складається з номенклатури ріжучого інструмента, їхніх розмірів та відносного стану пристосування на столі. Вказується розмірний зв'язок координатних систем заготовки, пристосування та верстата, вказуються вимірювальні бази та послідовність виконання етапів багатоопераційного верстата та погодженість нулів. Показують виліт ріжучого інструмента в осьовому напрямі.

На багатоцільових верстатах при обробці деталей використовується від 40 до 20 різних ріжучих інструментів - фрез, зенкерів, свердел, розточних різців, мітчиків та ін. При такій структурі технологічного процесу необхідно мати уяву про стан зносу ріжучого інструмента.

В міру зносу ріжучих інструментів змінюється шорсткість оброблених поверхонь, збільшується сила різання та температура. За характером зміни цих параметрів можна посередньо судити про стан ріжучого інструмента. В [7] рекомендується оцінювати зміну ріжучої здатності інструментів за характером зміни сил різання.

При обробці деталей на багатоцільових верстатах стан зносу ріжучого інструмента рекомендується оцінювати за фактичним часом роботи [12]. Якщо фактичний час роботи ріжучого інструмента досягне періоду його стійкості, то його треба замінити. Рекомендовані значення стійкості інструментів вводять у пам'ять ЕОМ у вигляді масивів або апроксимуючих залежностей  $T_{Ci} = f(S, V)$ . За зіставленням періоду стійкості  $T_{Ci}$  з фактичним часом обробки деталі визначається число деталей, яке може бути оброблено інструментом до його заміни;  $m_i = T_{Ci} / \tau_{i\Sigma}$  визначається момент, коли час різання при обробці однотипних заготовок досягне заданого періоду його стійкості:  $m \tau_{i\Sigma} \rightarrow T_{Ci}$ ; оцінюється стан ріжучого інструмента за стійкістю, що залишилася:  $T_{oci} = T_{Ci} - m \tau_{i\Sigma}$ . Стійкість ріжучих інструментів залежить від режимів обробки. Кожному режиму обробки відповідає своє розрахункове значення періоду стійкості інструмента:  $T_{C1} = f(V_1, S_1)$ ;  $T_{C2} = f(V_2, S_2)$ ;  $T_{C3} = f(V_3, S_3)$ ...

Внаслідок цього після закінчення обробки заготовок одного типорозміру інструмент ще може зберігати відповідний ресурс стійкості. Цей інструмент можна використати для подальшої обробки деталей на інших, менш напружених режимах.

З метою введення необхідної корекції при розмірному настроюванні верстата застосовуються спеціальні вимірювальні пристрої.

На першому проході при обробці деталі гострим ріжучим інструментом вимірюється сила різання, значення якої заноситься до пам'яті ЕОМ. В міру затуплення інструменту навантаження збільшується. За допомогою динамометра або датчика потужності вимірюється сила різання або потужність, яка витрачається на різання, та обчислюється приріст її відносно першочергового нульового виміру. Коли діюче навантаження досягне граничного значення, подається команда на заміну інструмента.

Заміна інструмента відбувається також в тому випадку, коли розрахунковий період його стійкості вичерпується, а співвідношення фактичної  $N$  до гранично допустимої  $N_{zp}$  потужності різання приймає вигляд:

$$N \geq 0,95N_{zp}.$$

Багатоопераційні верстати оснащені спеціальними вимірювальними системами, які дозволяють контролювати точність оброблюваних деталей в процесі їхнього виготовлення. Вимірювальні пристрої за допомогою вимірювального наконечника дають змогу вимірювати

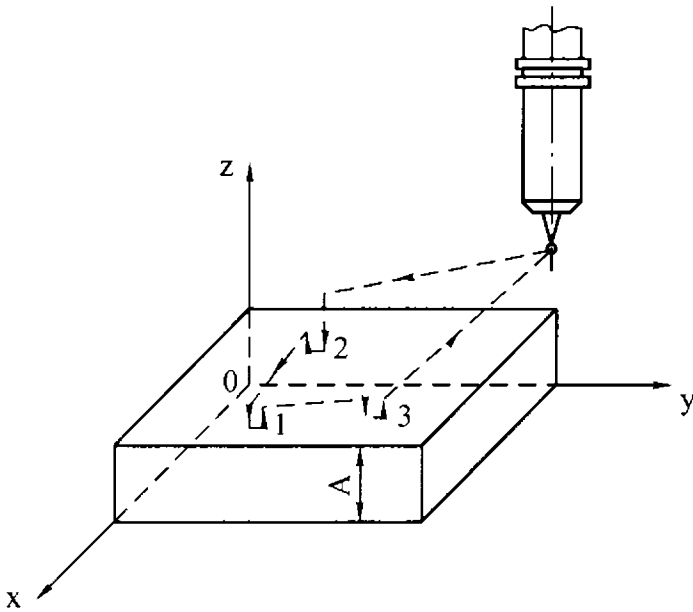


Рис. 31. Схема вимірювання точності стану обробленої поверхні.

рхні.

На рис.31 показана схема вимірювання точності стану оброблюваної поверхні відносно установчої та направляючої баз у системі  $Oxyz$ . Для визначення точності обробки по черзі вимірюють координати  $x, y, z$  в трьох точках: 1, 2, 3.

Відхилення розміру [16]:

$$\Delta A = \frac{x_2 y_3 - y_2 x_3}{C} \cdot \Delta z_1 + \frac{y_1 x_3 - y_3 x_1}{C} \cdot \Delta z_2 + \frac{y_2 x_2 - y_1 x_2}{C} \Delta z_3;$$

$$C = (x_2 y_3 - y_2 x_3) + (y_1 x_3 - y_3 x_1) + (y_2 x_2 - y_1 x_2),$$

де  $\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3$  - відхилення розміру  $A$  в точках вимірювання  $x_i, y_i$ . Відхилення показників точності оброблюваної поверхні розраховуються за допомогою ЕОМ. За результатами цих відхилень вводиться корекція в програму наступних числових переходів.

Автоматизація виконання контрольних операцій на робочій позиції дозволяє створити технологічні цикли управління верстатом, які гарантують потрібну точність обробки деталей.

## 2.6.2. ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТАХ

На багатоопераційних верстатах, які працюють у автоматичному режимі, точність обробки деталей залежить від ряду факторів: кіне-

похибки обробки. Вимірюються розміри окремих характерних точок оброблюваної поверхні деталі та за алгоритмами, при розрахунку на керованій ЕОМ, вноситься корекція в показник точності.

Вимірювання виконується за циклом, передбаченим у програмі верстата. При цьому розрізняють плановані координати характерних точок  $x_i, y_i, z_i$  і прирости цих координат  $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ , - які характеризують відхилення точок по нормалі до вимірюваної пове-

матичної та геометричної точності верстата, точності системи управління, похибок встановлення заготовки, точності настроювання верстата на розмір, зносу ріжучого інструмента, жорсткості пружної системи.

Точність верстата характеризується точністю лінійного позиціонування робочих органів, точністю повернення робочих органів у вихідне положення, стабільністю положення інструментів після їхньої автоматичної зміни та стабільністю виходу робочих органів у задану точку. За точністю багатоопераційні верстати поділяються на чотири класи: *H* - нормальної точності; *II* - підвищеної точності, *B* - високої точності, *A* - особливо високої точності.

Загальна похибка позиціонування робочих органів верстата:  $\Delta p = \Delta + \delta$ .

Похибки встановлення та базування. Похибка встановлення  $\delta_6$  дорівнює сумі похибок базування  $\delta_8$  та закріплення  $\delta_3$ . Похибка базування виникає через несуміщення установчої та вимірjuвальної баз.

При проектуванні технології обробки деталей на багатоопераційних верстатах як технологічні бази слід приймати поверхні, які одночасно є конструкторськими та вимірjuвальними базами. В цьому випадку похибка базування дорівнює нулю. Обробка деталей може здійснюватися за розмірами, проставленими в робочому кресленні, з використанням всього поля допуску на розмір. У випадках, коли технологічна база не збігається з конструкторською або з вимірjuвальною базою, виникає похибка базування. В цьому випадку технолог змушений змінити схему проставляння розмірів безпосередньо від технологічних баз. При цьому подовжуються розмірні ланцюги та поля допусків на вихідні розміри, проставлені від конструкторських баз, збільшуються за рахунок знову введених проміжних розмірів, які пов'язують технологічні бази з конструкторськими та з оброблюваними поверхнями. В результаті це призводить до підвищення жорсткості допусків на розміри, що витримуються при обробці заготовок, до дорожчання процесу обробки та зниження продуктивності.

Призначаючи технологічні бази, треба враховувати стан і точність базуючих поверхонь, розмірні зв'язки між поверхнями деталі, можливість підведення ріжучого інструмента до оброблюваних поверхонь, зручність встановлення та вимірjuвання розмірів.

Проставляння розмірів на кресленні значно впливає на вибір технологічних баз. Конструктор при проставлянні розмірів розв'язує задачі, пов'язані із забезпеченням оптимальних умов роботи деталі в

машині. Конструктора цікавлять розмірні зв'язки, які забезпечують точність замикаючих ланок у вузлах та експлуатаційні характеристики деталей у процесі роботи виробу.

Технолог бачить у деталі не конкретний обрис її конфігурації з конкретними технічними умовами та розмірами, а цілий спектр форм і технологічних розмірів у міру перетворення заготовки в готову деталь. На всіх технологічних операціях оброблювані поверхні, маючи напрямлений вид, орієнтуються відносно технологічних баз.

У випадках, коли конструкторські бази не збігаються з установчими та вимірювальними, вибору баз на операціях технологічного процесу передусє аналіз розмірних зв'язків і технологічних умов.

Головною задачею розмірного аналізу є обґрунтоване визначення проміжних операційних розмірів, що забезпечують за ходом технологічного процесу отримання розмірів і технічних умов відповідних тим, які призначені конструктором в кресленні деталі.

Під час виготовлення деталі будь-яка переустановка викликає похибку. Для зменшення похибок треба максимально скорочувати число переустановок заготовки під час виготовлення та застосовувати принцип єдності (суміщення) баз.

Принцип єдності баз полягає в тому, що при розробці технологічного процесу назначають як технологічні бази (вимірювальної та установчої) комплект конструкторських баз.

Однак слід мати на увазі, що застосування принципу єдності баз часто викликає ускладнення технологічного оснащення, погіршує умови обробки, в ряді випадків вимагає застосування більш дорогих методів обробки.

Враховуючи переваги принципу єдності баз та виникаючого при цьому ускладнення, технолог приймає остаточне рішення про призначення таких технологічних баз, які спрощують структуру операції.

Відмова від застосування принципу єдності баз, з одного боку, спрощує схему обробки, але з іншого - вимагає підвищення жорсткості допусків технологічних розмірів. З підвищенням жорсткості допусків пов'язано введення додаткових операцій, застосування більш точного обладнання та дорогих вимірювальних приладів.

Додаткові затрати, пов'язані з підвищенням жорсткості допусків, модна вважати як "плату" технолога за те, що він відмовився від принципу єдності баз.

Принцип єдності баз можна реалізувати тільки в тому випадку, якщо конструктор при проставлянні розмірів на кресленні створив цю



можливість, тобто як комплект конструкторських баз вибрав такі поверхні, які технолог під час розробки технологічного процесу може використати як установчі та вимірювальні бази. Сказане можна проілюструвати прикладами.

На рис. 32 показано креслення деталі та дві схеми базування при обробці двох отворів.

На кресленні деталі отвору закоординовані від площин *F* та *K*. Якщо за установчі бази прийняти поверхні, від яких проставлені розміри на кресленні, то в цьому випадку підвищувати жорсткість розмірів координат розточуваних отворів не треба (рис. 32, ескіз № 1). Допуски на операційні розміри та проставлені на кресленні, повинні бути однаковими.

При порушенні принципу сполучення установчої та вимірювальної баз необхідно підвищити жорсткість розмірів.

З аналізу розмірних ланцюгів видно, що для забезпечення точності отримання вихідних розмірів *A*, *B*, *C*, *D*, відхилення яких регламентовані конструктором, жорсткість допусків на складові ланки

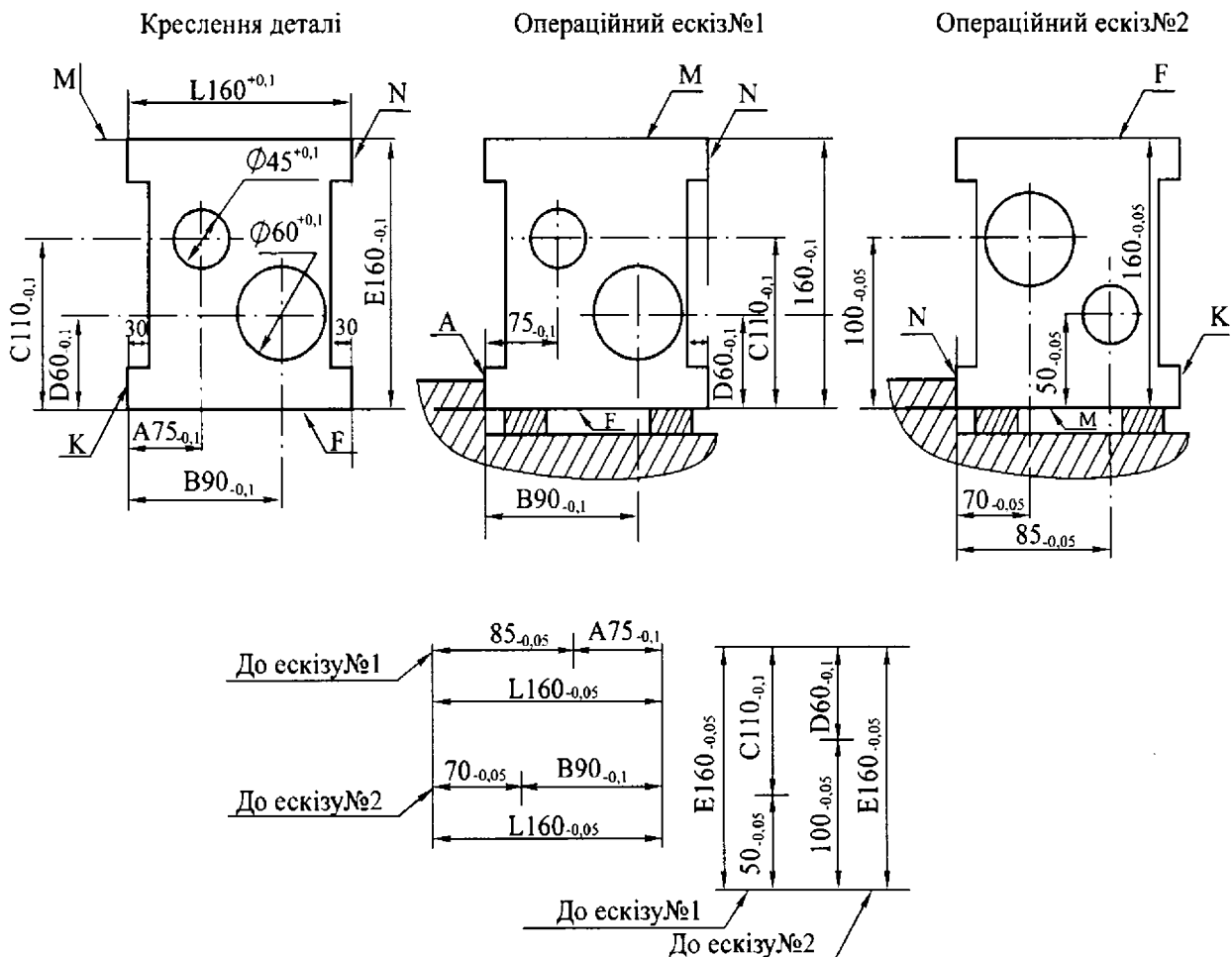


Рис.32. Креслення деталі та різні схеми базування.

розмірного ланцюга підвищується.

На верстатах, налагоджених на розмір, осі розточних шпинделів знаходяться суворо на відповідній відстані від установчих поверхонь. Отже, при порушенні принципу сполучення баз на коливання вихідних розмірів *A*, *B*, *C*, *D* безпосередньо впливають розміри *E* та *L*, які витримуються на попередніх операціях.

На багатоопераційних верстатах застосовується принцип постійності баз. Прагнення здійснювати обробку на одній технологічній базі пояснюється тим, що будь-яка зміна технологічних баз збільшує похибку взаємного розташування поверхонь.

### **Запитання для самостійного контролю**

1. Сформулювати вимоги, що пред'являються до конструкцій деталей, які оброблюються на багатоопераційних верстатах.
2. Побудувати стандартні цикли обробки *N* отворів за принципом послідовної та паралельної обробки.
3. Сформулювати рекомендації по вибору установчих баз під час обробки на багатоопераційних верстатах.

## ГЛАВА 3

# ТЕХНОЛОГІЧНІ МОЖЛИВОСТІ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

### 3.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО РОБОТИ

Промислові роботи (ПР) належать до класу пристроїв, які називаються маніпуляторами. ПР - це автономно функціонуюча машина-автомат, призначена для виконання рухових і розумових функцій людини, наділена (в деяких випадках) слухом, зором, дотиканням, пам'яттю, а також здатністю до самовивчення та адаптації [8, 9].

Враховуючи це формулювання, прийняті такі визначення.

Маніпулятор (М) - пристрій для переміщення в просторі тіла, яке утримується захватом та управляється оператором або діє автоматично.

Автооператор (А) - непереналагоджуваний маніпулятор, який діє автоматично за незмінюваною програмою.

Промисловий робот (ПР) - переналагоджуваний маніпулятор промислового застосування, здатний автоматично виконувати комплекс дій, передбачених програмою. На рис. 33 показані загальна функціональна та структурна схеми ПР.

Будь-який ПР конструктивно складається з двох частин: 1) виконавчого механізму у вигляді руки М та пристрою переміщення (ПП); 2) управляючого пристрою (УП).

Рука робота звичайно являє собою багатоланковий механізм з числом ступенів рухомості від трьох до дев'яти, що закінчується робочим органом у вигляді схвата, вакуумного присоска або спеціального технологічного інструмента, наприклад, гайковерта, свердлильної головки та ін.

До складу УП входять: пульт управління (ПУ), призначений для введення та контролю завдання; пам'ятовуючий пристрій (ЗП), який зберігає в собі програму роботи та іншу необхідну інформацію; обчислювальний пристрій (ОП), котрий реалізує алгоритм управління роботом; блок управління приводами маніпулятора (БУП); пристрої пересування та чутливі елементи (ЧЕ) - датчики, які виявляють стан роботи та умови зовнішнього середовища.

На схемі функціональної взаємодії та органів робота показані зв'язки окремих ланок системи управління, починаючи від введення завдання оператором та закінчуючи надходженням до комплексу чу-

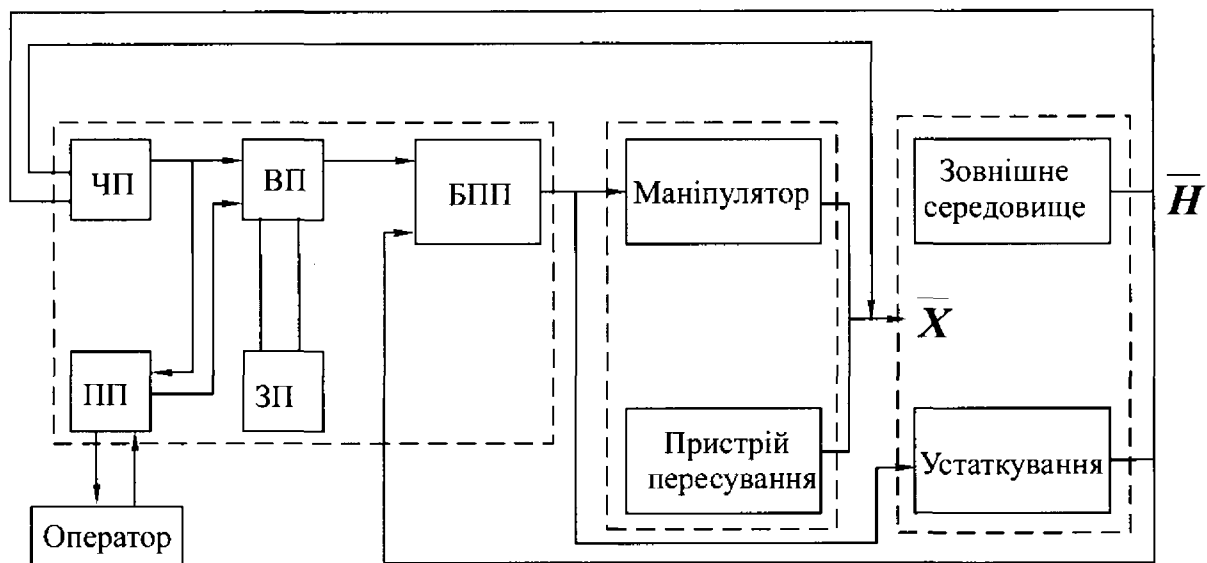
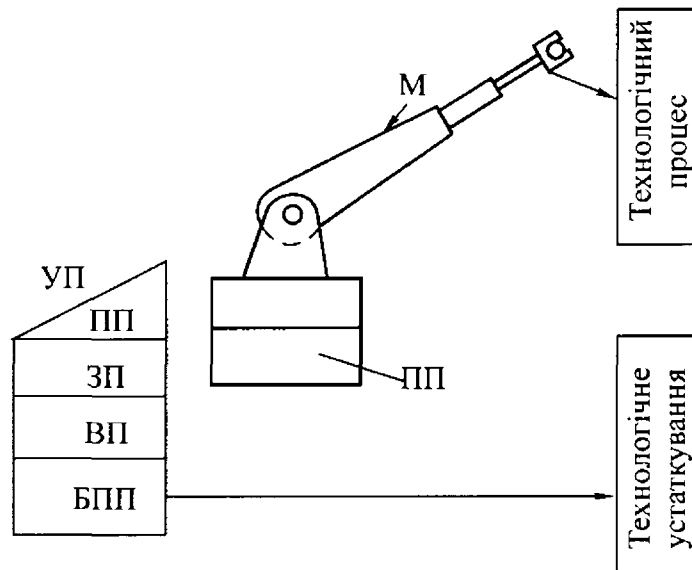


Рис. 33. Функціональна та структурна схеми робота.

тливих (сенсорних) пристроїв (ЧП) інформації  $\bar{X}$  про стан робота та  $\bar{H}$  про стан зовнішнього середовища, яка через блоки ОП та БУП трансформується в завдання на приводи маніпулятора та пристрої пересування.

Сучасний ПР найчастіше імітує руку людини, яка управляє пристроєм програмного управління. З точки зору механіки, рука людини - виключно гнучкий транспортний засіб: вона легко згинається в плечі, біля ліктя та кисті, оснащена п'ятьма пальцями, має 27 ступенів волі, що дозволяє їй брати різні предмети, переносити їх за складною траєкторією в потрібну точку та в потрібному положенні. Руки сучасних роботів у кращому випадку мають 8-9 ступенів волі.

Управляюча програма виконує функцію мозку людини, посилюючи сигнали руці, вказуючи команди, що їй треба робити. Програмне

управління наділило роботів особливою якістю: достатньо змінити машинну стрічку із записом програми і робот перестроюється на виготовлення інших виробів.

Які операції може виконувати робот?

Прослідкуємо створення нових машин. Процес створення машини починається з отримання заготовки литвом або штампуванням.

Розглянемо роботу автоматичної лінії для литва під тиском. Литварна машина обслуговується трьома роботами.

Перший робот здійснює залив: зачерпує ковшем потрібну порцію металу з печі, переносить її на деяку відстань і виливає точно в отвір прес-форми.

Другий робот для забезпечення потрібної якості отримуваних відливок обдуває через форсунку поверхню прес-форми та наносить тонкий шар мастила.

Третій робот виймає відливку із прес-форми та завантажує її до обрізного штампу.

У механічних цехах роботи здійснюють завантаження та знімання деталі зі стояка, пересування її з одного верстата на інший та встановлення у накопичувач. Ці функції виконують роботи першого покоління.

У сфері промислового виробництва починають застосовуватися роботи другого покоління, наділені різними пристроями, еквівалентними органам почуття людини, - технічним зором та іншими формами сприйняття оточуючих обставин.

Роботи третього покоління наділені: здатністю "самонавчатися"; накопичують власний досвід та застосовують його в потрібних цілях під час виконання інших робіт.

Основні переваги роботів третього покоління - здатність розпізнавати ситуацію технологічного процесу та автоматично вносити корективи. Ці роботи оснащуються технічними системами, здатними розпізнавати невідоме або змінюване оточення та автоматично виробляти рішення про свої наступні дії по виконанню певної технологічної задачі. Роботи третього покоління значно "розумніші" за своїх попередників - роботів першого та другого поколінь. Головною їхньою перевагою є те, що вони здатні розпізнавати ситуацію, що склалася під час здійснення того чи іншого технологічного процесу, та забезпечувати ведення цього процесу на рівні, який відповідає вимогам прогресивної технології.

Промислові роботи працюють на заводах невтомно: встановлю-

ють заготовки на верстати, знімають і укладають їх у тару. Робот-візок, що має кузов для ящиків з деталями, переміщує заготовку по цеху. Зверху встановлена механічна рука, яка завантажує та вивантажує ці ящики. По цеху роботи переміщуються по трасах, позначених під підлогою стрічковим кондуктором. Зв'язок із верстатами та іншим обладнанням підтримується електронно-оптичними датчиками. Застосування роботів-візків дає змогу вивільнити (при двозмінній роботі механічного цеху) не менше 60 чоловік [14]. Роботи, які не знають втоми, в 1,5-2 рази збільшують продуктивність праці, підвищують коефіцієнт використання обладнання та ритмічність виробництва. Застосування роботів сприяє також підвищенню якості продукції.

Сучасне роботизоване виробництво є складним за технологією та структурою взаємозв'язків виробничих механізмів. Взаємозв'язки між окремими елементами та ланками в подібній системі є дуже складними. По суті, в такій системі в кожній конкретній ситуації виникає різноманітність умов, що швидко змінюються, факторів і зовнішніх дій, які значно впливають на виконання основного технічного завдання.

Структура роботизованого виробництва відрізняється від традиційної тим, що в ній у всі ланки виробничої системи впроваджені роботи.

Робототехніка покликана автоматизувати всі не цікаві для людини дії рутинного характеру. У перспективі роботи виконуватимуть не тільки рухові функції, а й розумову роботу. Тому, розуміючи робототехніку в широкому розумінні як створення систем, що імітують рухові та інтелектуальні дії людини, доречно запропонувати об'єднуючий термін - робот-спеціаліст. Наприклад, робот-інформатор, бібліотекар, діагностик, робот, який виконує маніпуляційні роботи тощо. Із застосуванням роботів-спеціалістів підвищується продуктивність та якість виконуваної роботи. Останнє виходить з того, що в такий робот можна закласти не тільки вміння одного спеціаліста, а весь досвід, накопичений людством у цій галузі.

### **3.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ**

Залежно від призначення та складності виконуваних операцій ПР класифікують за трьома видами: програмні, адаптивні та інтелектуальні.

Програмні роботи застосовують для виконання суворо визначених робіт за заздалегідь заданою програмою, записаною у пам'ять машини. Заміна виду продукції потребує складання нової програми.

Програмні роботи, які відносять до робіт першого покоління, обладнані системами ЧПУ. Вони запам'ятовують і відтворюють у автоматичному циклі задану управляючу програму будь-яку кількість разів.

Адаптивні роботи - роботи другого покоління. Вони мають властивості адаптації до зовнішніх умов і велику інформаційну ємкість. Руки цих роботів оснащені датчиками сигналізації доторку, телевізійними та оптичними системами штучного зору, датчиками температури, зусиль, моментів та ін.

Система зчутливлення (керована від ЕОМ) дозволяє роботам на основі інформації про умови середовища виконувати різні цикли операцій за обставин, що змінюються, та, адаптуючись до неї, виконувати пошук режимів і управління приводами виконавчих рук робота.

Інтелектуальні роботи - роботи третього покоління - володіють елементами штучного інтелекту. За допомогою сенсорних пристроїв (наприклад, датчиків зору, тиску, температури) вони здатні розпізнавати предмети в просторі, будувати модель середовища, виробляти та автоматично приймати розв'язки поставлених задач, виконувати операції в розпізнаних обставинах, змінювати свої дії із змінюванням умов, самонавчатися в міру накопичення виробничого досвіду. Характерною їх властивістю є здатність до адаптивного перепрограмування. При досягнутому рівні технології та обладнання інтелектуальні роботи знаходять поки що обмежені застосування. Наприклад, у 1988 р. на машинобудівних заводах застосовувалось 50% роботів першого покоління, 48% - другого та тільки 20% - роботів третього покоління.

З аналізу конструктивно-технологічних параметрів промислових роботів і області застосування їх можна умовно класифікувати.

1. За родом виконуваних операцій - на виробничі, що безпосередньо беруть участь в технологічному процесі (складанні, фарбуванні тощо), та підйомно-транспортні для обслуговування обладнання та транспортно-складських операцій.
2. За ступенем спеціалізації - на спеціальні, що обслуговують конкретну модель верстата; спеціалізовані, які виконують певну операцію; багатоцільові, що виконують різнобічні операції різного призначення.

3. За вантажопідйомністю - на легкі (до 5 кг), середні (до 160 кг) та важкі (більше 160 кг).
4. За конструктивним виконанням - вбудовані в обладнання, підлогові та підвісні.
5. За типом силового приводу робочих органів - із пневмоприводом, гідроприводом, електроприводом та з комбінованими приводами.
6. За характером програми - на жорстко програмовані, без коригування програми при зміні зовнішніх умов, та гнучкопрограмовані, які дають змогу змінювати та вибирати програму.
7. За виконуваними функціями - обслуговуючі (універсальні), транспортні (спеціалізовані) та технологічні (спеціальні); за структурою - на стаціонарні (найчастіше поворотні) та рухомі (що переміщуються по естакаді або по рейках). Останні за способом пересування можуть бути несучими, штовхаючими і тягнучими.

До обслуговуючих можуть бути віднесені ПР, які встановлені на багатоопераційних верстатах з ЧПУ для зміни інструмента.

До транспортних ПР належать пристрої, які виконують дії по завантаженню, пересуванню та розвантаженню технологічного обладнання або магазинів-накопичувачів, вхідних і вихідних столів та ін. Технологічні ПР - це пристрої, які виконують технологічні операції: свердління, зварювання, фарбування тощо.

Найчастіше застосовують транспортні ПР у так званих роботизованих технологічних комплексах (РТК). Широко розповсюджені компонування РТК двох видів: колові та лінійні.

У цих комплексах використовується такий набір обладнання: вхідний стіл (або магазин) для заготовок, кілька верстатів та вхідний стіл (або магазин) для оброблених деталей. Порівняння колового компонування з лінійним показало значні переваги останнього:

- економія зайнятої площі - в 1,3-1,4 рази;
- зручність підходів до технологічного обладнання (верстатів) при налагодженні та аварійних ситуаціях;
- кількість верстатів, включених у РТК, визначається насамперед машинним часом обробки деталей на верстатах. Цей час залежить від розмірів (або маси) деталей. Так, при обробці "легких" деталей (масою 5...7 кг)  $t_m \leq 3$  хв, а при обробці важчих (масою більше 10 кг)  $t_m \leq 3$  хв. Економічно доцільно мати в РТК у першому випадку один верстат, у другому - кілька.

8. За характером систем управління - на циклові, позиційні, контурні та комбіновані.



Циклові системи управління застосовуються у ПР першого покоління та характеризуються незначною кількістю точок позиціонування. Пересування рухомих елементів робота обмежується шляховими датчиками стану, кінцевими перемикачами або кулачками.

Позиційні системи управління мають значний об'єм пам'яті. Визначною їх особливістю є універсальність та висока точність позиціонування. Розрізняють цифрові та аналогові позиційні системи управління.

У цифрових позиційних системах управління як пам'ять застосовують барабани з магнітним покриттям - високоерцитивним сплавом типу *Ni-Co*. Для запису програми використовують цифровий код.

Контурні системи управління застосовують у ПР, призначених для нанесення різних покриттів, зварювання, газового різання по контуру та інших робіт. Ці системи будуються за цифровим та аналоговим принципами управління. Датчиками звітного зв'язку в них слугують обертові трансформатори, а програмоносієм є магнітна стрічка.

### 3.3. ТЕХНОЛОГІЧНІ МОЖЛИВОСТІ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Як приклад розглянемо технологічні можливості підлогового безрейкового робота М20П40.01, призначеного для автоматизації завантаження та вивантаження деталей і зміни інструмента на метало-різальних верстатах з ЧПУ. Робот може обслуговувати один або два верстати.

Основні дані робота:

1. Пересувається за п'ятьма напрямками: піднімання і опускання за віссю  $z$ , обертання навколо вертикальної осі, горизонтальне висування руки  $R_1$ , обертання захвата руки навколо горизонтальної осі  $\alpha$  та нахил захвата на куту  $\beta$ .
2. Має три види захватів для деталей різних розмірів і конфігурацій.
3. Характеризується швидким встановленням заготовок та зніманням з верстата готових деталей, високою надійністю (технічна система проста - з мінімальною кількістю елементів).
4. Працює в трьох режимах: навчання, повторення та редагування. Управління режимами здійснюється за допомогою кнопок, розміщених на панелі навчання. Може управлятися вручну або автоматично.

Навчання здійснюється в такій послідовності: повернення в ну-

льову точку та ручне управління; повторення рухів автоматичне; редагування передбачає корекцію в управлінні роботом.

При роботі в автоматичному режимі робот змінює заготовку та інструмент на верстаті паралельно з механічною обробкою. Після зміни заготовки подає команду верстату для початку циклу механічної обробки.

До складу РТК входить тактовий стіл, що призначений для подачі та прийому заготовок і деталей, оброблюваних на верстаті і управляється від системи ЧПУ робота. Тактовий стіл може працювати в трьох режимах: ручному, автоматичному та безперервного обертання. Потрібний режим вибирають за допомогою перемикача-режимів на пульті управління.

У ручному режимі пересування палет тактового стола здійснюється за вимогою оператора. При натисканні кнопки обертання палет продовжується до моменту приходу чергової палети на завантажувальну позицію. Для відновлення роботи тактового стола повторно натискається кнопка руху палети.

В автоматичному режимі команди управління тактового стола надходять від системи ЧПУ робота.

### **3.4. ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ**

Автоматизація допоміжних операцій з використанням ПР дозволяє вивільнити робітників, підвищити продуктивність праці, поліпшити якість продукції та умови праці, а також значно полегшити труд працюючих.

Промислові роботи звичайно перевищують можливості людини в підніманні вантажів та у швидкості реакції при виконанні монотонних операцій. Під час виконання одноманітних операцій, які втомлюють робітників, ПР практично є незамінними. Зростає їх значення при виконанні важкої фізичної праці за підвищених температур, в умовах надмірних забруднень і вологості повітря, за наявності вібрації та шуму.

Пересування або транспортування деталей - одна з основних операцій, виконуваних у процесі виробництва. Об'єкт пересувають для складування, обробки або упакування.

Здатність робота захоплювати, пересувати в просторі та опускати об'єкт робить його ідеальним транспортним засобом. Для простих

операцій транспортування, наприклад, пересування по прямій в одній площині, використовують роботи, які не мають сервоуправління. Для виконання складніших операцій, наприклад, таких, що потребують виконання завантаження та розвантаження деталей на верстат, сортування деталей, упакування тощо, використовують сервокеровані позиційні роботи.

Застосування роботів для складніших операцій, наприклад, збирання, потребує маніпулювання об'єктами, а значить - використання роботів з позиційним або контурним управлінням, які мають велику ємкість ЗП.

Здатність роботів реагувати на зміну навколишнього середовища забезпечується сенсорним зворотним зв'язком. Область застосування роботів та їх технологічні можливості наведені в табл. 18.

Таблиця 18

Область застосування	Приклади використання	Функціональні можливості			Технологічні можливості			
		Пересування	Маніпулювання	Взаємодії із середовищем	Поліпшення якості	Зростання продуктивності	Скорочення затрат	Поліпшення умов праці
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пересування матеріалу	Пересування, транспортування	+					+	+
Обслуговування верстатів	Ливарні машини, металорізальні верстати	+	+			+	+	
Оброблення	Фарбування розпилюванням покриття		+		+		+	+
Механообробка	Свердління, шліфування, точіння, фрезерування		+			+	+	+
Складання	З'єднання, установлення, кріплення		+	+	+	+		
Контроль	Вимірювання похибки, шорсткості, фізико-механічного стану			+	+			

### **3.4.1. ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТІВ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

У ливарному виробництві ПР застосовують для виконання різноманітних операцій — від заливання розплавленого металу в ливарні форми до завершального очищення відливок. Найефективніше використовують роботи при підготовці прес-форм - установленні стержнів, а також розпиленні та закріпленні вогнетривких покриттів на верхній та нижній частинах форм. Використання роботів у ливарному виробництві скорочує затрати та звільняє людей від небезпечної та шкідливої для здоров'я роботи. Крім того, робот забезпечує стабільність виконання операцій. Ця перевага є особливо важливою для точного литва по виплавлених моделях, наприклад, при багатократному покриванні воскових моделей суспензією вогнетривкої глини та кварцовим піском.

Ручне обробування відливок - одна з найбільш трудомістких і небезпечних операцій у ливарному виробництві. На ділянках обробування плінність кадрів вища, ніж у ливарному виробництві. Медики довели, що ручні віброінструменти негативно впливають на кровоносні судини, нервові волокна та кісткові тканини. Впровадження ПР дає змогу відмовитися від зниження рівня вібрацій (що неминуче призводило до зниження продуктивності праці).

Роботизована технологія обробки відливок є доцільною не тільки з економічної точки зору, вона поліпшує також умови праці в ливарному цеху, знижуючи ступінь травматизму та звільняючи людей від роботи у важких умовах. Робот повинен реагувати на зміну обставин і зупинятися в тому випадку, коли продовження процесу стає нецільним. Наприклад, при витягуванні з ливарної машини пошкодженої заготовки робот повинен подати попереджувальний сигнал оператору (не перериваючи при цьому охолодження відливки та подання її на спеціальний стіл) про те, що необхідно утриматися від нового циклу литва до з'ясування причин браку.

Крім того, робот має бути надійним і зручним в обслуговуванні. Пристрій управління повинен забезпечувати зберігання достатньо великої програми. Ступінь інтелектуальності має відповідати ступеню складності технологічного процесу.

### **3.4.2. ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТІВ У КОВАЛЬСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

У ковальському виробництві роботи використовують для заван-

таження та розвантаження ковальських пресів і пересування нагрітих зливків від печі до молотів, а також пересування поковок від пресів на волочильні стани, обрубувальні преси, транспортери або палети. Роботи також застосовуються для нанесення мастила на оброблювані деталі та штампи. Оскільки виконання ковальських операцій пов'язане із шкідливими діями, головною метою використання роботів є звільнення людей від шкідливих і важких умов праці.

### **3.4.3. ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТІВ У ТЕРМІЧНИХ ЦЕХАХ**

У термічних цехах роботи застосовують для завантаження та розвантаження деталей нагрівальних печей, сольових ванн і на ділянках миття і сушіння. Застосування їх у термічних цехах вивільняє людей від шкідливої та небезпечної праці, забезпечує зменшення затрат, підвищує продуктивність праці та якість продукції.

### **3.4.4. ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТІВ ПРИ ЗВАРЮВАННІ**

**3.4.4.1.** Точкове зварювання - найбільша область застосування роботів у автомобілебудуванні. Головні вимоги, що ставляться до роботів у даному випадку, - точність позиціонування (+1,0 мм) та здатність маніпулювати досить масивними об'єктами. Використовуються роботи як з електричним, так і з гідравлічним приводами у підлоговому та підвісному виконанні. Процес точкового зварювання, що полягає в стисненні з'єднаних деталей між двома електродами з діаметром робочої зони контакту 5...6 мм, дещо шумний та потенційно небезпечний.

Автоматизація процесу точкового зварювання не тільки вивільняє людей від важкої та шкідливої праці, а й забезпечує стабільність виконання операцій з відповідним кроком та підвищує продуктивність. Однак застосування роботів для зварювальних робіт потребує підвищення точності виготовлення сполучених деталей і точності позиціонування.

На Волзькому автомобільному заводі працює автоматична лінія для зварювання кузовів легкових автомобілів. Вона має вісім стаціонарних зварювальних роботів і три - в начіпному варіанті. Кожний з 11 роботів має точність позиціонування  $\pm 1$  мм. Всі роботи мають

п'ять ступенів рухомості.

Раціональне компоновання роботів забезпечило економію виробничих площ і підвищення потужності в 1,8 рази [10].

**3.4.4.2.** Дугове зварювання, або зварювання плавленням вважається однією з швидко розвинених областей застосування роботів. Цей процес дуже шкідливий для здоров'я людини, пов'язаний з виділенням диму та інтенсивного світла. Автоматизація його забезпечує високу якість швів, значну стабільність і швидкість роботи.

Для дугового зварювання використовують роботи з п'ятьма ступенями рухомості, електроприводом, контурним управлінням та лінійною інтерполяцією. Необхідна точність  $\pm 0,2$  мм. Процес дугового зварювання складається з подачі розплавленого дроту до пальника та створення екрана із захисного газу ( $CO_2$ ). Між торцем електрода та оброблюваною деталлю виникає електрична дуга, електрод плавиться і на поверхні деталі утворюється зварювальна ванна. Дугове зварювання забезпечує міцне з'єднання, малі деформації та герметичність з'єднань. Однак зварювання надійно виконується доти, доки зварювані деталі подаються конвеєром із заданою точністю. Якщо з якихось причин деталь встановлено з похибкою більше допустимої, а робот не поінформований про те, що відбувається, то зварювання буде виконане не на тих ділянках, на яких потрібно.

Для усунення браку зварювальні ділянки оснащуються вимірвальними датчиками, які дають змогу уточнювати дійсний стан деталі й на основі отриманої інформації вносити корективи в УП. В цьому випадку робот буде здатний адаптуватися до деяких змін зовнішнього виробничого середовища, в даному випадку - до стану зварюваних деталей. Наведений приклад ілюструє переваги адаптивних роботів, які мають можливість автоматично коригувати свої дії залежно від контрольованих параметрів зовнішнього середовища, порівняно з роботами, що функціонують за жорсткою програмою.

Застосування роботів для дугового зварювання забезпечує зниження собівартості складання зварних вузлів; підвищення якості швів; зниження затрат на підготовку кваліфікованих зварників, оскільки всіма параметрами процесу зварювання управляє ЕОМ; зменшення шкідливої дії теплоти та випромінювання на робітників, підвищення безпеки праці.

Робот-зварник виконує роботу дуже акуратно і при суворій одноманітності дій. Слід, однак, зазначити, що якщо один шов виконаний з дефектом, то і решта матимуть той самий дефект.

### **3.4.5. ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТІВ ПРИ СКЛЕЮВАННІ ДЕТАЛЕЙ**

Для нанесення на поверхню певної кількості клею застосовують роботизовані системи. Робот забезпечує ширину смуги клейового шару, змішує компоненти суміші, підвищує гнучкість технологічного процесу, скорочує численність робітників, зайнятих на шкідливих операціях. Для цього на автомобільних заводах роботи застосовуються на таких операціях: герметизації днища автомобіля, нанесенні поліуретанового складу на край лобового скла перед встановленням його в кузов, склеюванні капота, поліуретановим або епоксидним клеєм, герметизації побутових приладів. Дія виконання складних рухів під час склеювання роботи мають від 5 до 6 ступенів рухомості.

### **3.4.6. ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТІВ ДЛЯ МОНТАЖУ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ**

Інтегральні схеми на друковані плати монтуються спеціалізованими роботами "Трамплин". Рука робота переміщується у вертикальному напрямі на 150 мм. Стіл переміщується за координатами  $x$  і  $y$  на відстань до 560 мм.

За сигналом від ЕОМ рука робота піднімає інтегральну схему, утримуючи її за корпус, і суміщає виводи (пелюстки) з отворами друкованої плати. При русі руки донизу пелюстки з протилежного боку плати підгинаються, забезпечуючи механічне кріплення до операції розпаювання. Після цього рука визволяє схему і піднімається у верхній вихідний стан. Точність позиціонування - 0,05 мм, продуктивність робота - 4000 елементів за годину.

Впровадження одного роботизованого комплексу "Траса" на заводах електротехнічної промисловості вивільняє 20-25 робітників. Строк окупності комплексу - 2-2,5 роки.

### **3.5. РОБОТИЗАЦІЯ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Автоматизація складальних процесів здійснюється двома шляхами: створенням вузько спеціалізованих автоматів і складальних автоматичних ліній, а також швидкопереналагоджувальних технологічних ліній на базі ПР.

Перший напрям економічно вигідно застосовувати при програмі

випуску виробів більше 500 тис. шт. на рік із збереженням випуску даної продукції не менше 2-3 років. Крім того, кількість комплектуючих деталей у вузлі не повинна перевищувати 5-6 шт.

При складанні вузлів із застосуванням роботів кількість комплектуючих деталей не лімітується.

Роботизована технологія складання вимагає наявності ряду функціональних пристроїв, які відсутні при складанні на вузько спеціалізованих автоматичних лініях.

До таких пристроїв відносяться:

- завантажувально-орієнтовані пристрої, накопичувачі, в яких деталі, що складаються, приймають суворо орієнтований стан;
- пристрої компенсації неточностей позиціонування робочих органів робота;
- транспортні пристрої для прийому комплектуючих та відведення готової продукції.

Роботизація механо-складального виробництва - найбільш складний процес, тому на перших етапах розробки технологічного процесу складання рекомендується використати ПР на операціях встановлювання базової деталі на технологічну позицію та зняття складеного вузла. На наступних етапах більш детально опрацьовуються операції роботизованії технології, наприклад, склеювання деталей, точкове зварювання, згвинчування, селективне збирання високоточних з'єднань. Вихідні дані для розробки технологічного процесу роботизованого складання:

- вихідне креслення вузла з кресленнями всіх елементів, що входять у з'єднання;
- маса та габаритні розміри виробу;
- технічні умови на виготовлення та прийом виробів;
- застосовуване обладнання, пристрої та інструменти;
- наявність виробничих площ;
- змінність роботи.

Підготовка складального роботизованого виробництва має такі етапи:

- відпрацювання виробу на технологічність (за ГОСТ 14201-83, ГОСТ 14202-73, ГОСТ 14203-73, ГОСТ 14204-73);
- розробка технологічних процесів і програм для верстатів з ЧПУ;
- оптимізація технологічних процесів;
- створення інформаційно-технологічного масиву об'єкта виробництва.



### 3.5.1. ВІДПРАЦЮВАННЯ ВИРОБІВ НА ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ

Технологічність - це властивість конструкції деталі або вузла, за якою забезпечуються необхідні технічні та експлуатаційні характеристики з мінімальними затратами суспільно-корисної праці на їх виготовлення.

При роботизації виробництва підвищення технологічності деталей та вузлів має першочергове значення. При обробці об'єкта на технологічність в умовах роботизованої технології слід враховувати такі вимоги:

1. Деталь повинна мати оптимальне співвідношення виконавчих розмірів, точності та шорсткості поверхні.
2. Поверхня деталі, призначена для захвату, не повинна мати гострих країв, ребер жорсткості та виступів.
3. Деталь повинна мати зручні установчі бази.
4. Конструкція складальної одиниці має бути доступною до складованих деталей.
5. Вузли, що складаються, повинні мати симетричне розташування орієнтованих деталей, центруючі та фіксуючі елементи, пристрої та мінімальні складальні розмірні ланцюги.

Перелічені вимоги до технологічності об'єктів роботизації не вичерпують всієї різноманітності проблем, що виникають при роботизації виробництва. Наприклад, розв'язуючи задачу забезпечення мінімальної трудомісткості та собівартості складання, необхідно оптимізувати траєкторію пересування робочих органів промислового робота. Вона повинна бути простою за пересуванням, мати мінімальну протяжність траєкторії руху, максимальне число прямолінійних ділянок, які сполучаються якомога більшими радіусами. Треба прагнути до мінімального числа опорних точок траєкторії.

Вказані вимоги характерні для роботизованої технології складання. Крім того, для забезпечення високої точності складання при заданій продуктивності процесу необхідно мати максимальну швидкість пересування робочих органів маніпуляторів, прості зворотні зв'язки, високу точність позиціонування деталей та мінімальну кількість технологічних команд.

Технологічність конструкції об'єкта роботизації може оцінюватися якісно та кількісно.

Якісна оцінка технологічності конструкції об'єкта роботизації проводиться на основі досвіду і дає узагальнене уявлення про техно-

логічність.

Кількісна оцінка технологічності конструкції виражається числовим показником, значення якого характеризує ступінь технологічності об'єкта роботизації [9].

### **3.5.2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РОБОТІВ**

Основою проектування індивідуальних технологій із застосуванням роботів є складальне креслення вузла та креслення деталей, що входять у даний вузол.

Аналіз цієї документації і технологічних умов у сполученні з програмою випуску дозволяє визначити форму та розміри заготовок, припуски на обробку та розробити креслення заготовок.

На наступному етапі проектування роботизованої технології визначається послідовність технологічних операцій, вибирається обладнання, інструменти та пристрої, назначаються режими обробки, розраховуються норми часу та собівартість, розроблюється схема складання і циклограма рухів виконавчого органу ПР. На основі аналізу робочих рухів підбирається модель робота та орієнтовно розраховується продуктивність процесу обробки.

Особливого значення при створенні складальних роботизованих технологій набуває вибір методів компенсації неточностей взаємної орієнтації деталей при складанні їх промисловим роботом. Порушення орієнтації деталей призводить до їхнього заклинювання і, як наслідок, до простою обладнання. Для успішного виконання складальних деталей необхідно, щоб зміни розмірів і форми деталей, їхній стан у просторі були зведені до мінімуму.

Для підвищення точності сполучень при роботизованому складанні виконують:

- розрахунок розмірних ланцюгів у системі робот - пристрій - деталь для подальшої компенсації наявних неточностей позиціонування за рахунок, наприклад, фасок, західних конусів;
- розширення функціональних можливостей робота в напрямі пошуку взаємозадівільного розташування сполучених деталей шляхом скануючих рухів складальних елементів.

У першому випадку для центрування сполучених деталей звертаються до направляючих фасок при нежорсткій схемі (рис.34,а) та з

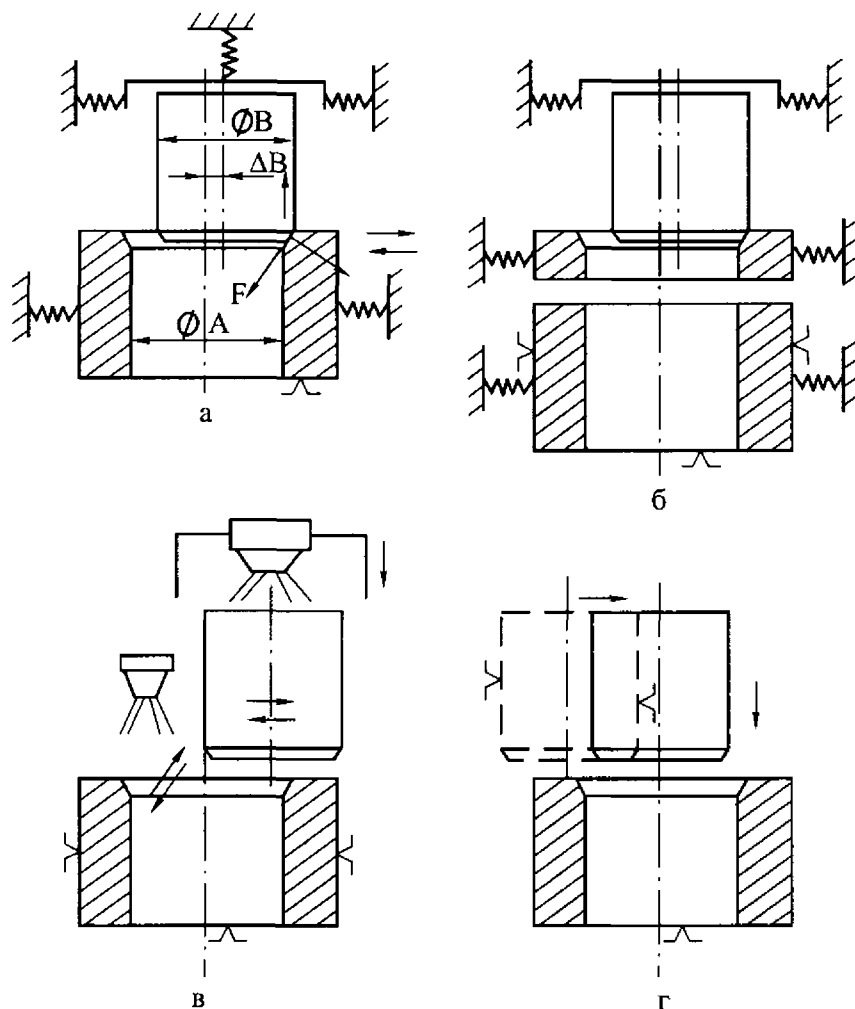


Рис.34. Схема центрування сполучених деталей на складанні.

Із застосуванням адаптивних роботів вірогідність сполучення деталей на основі зорової адаптації здійснюється в такій послідовності: зорова камера 1 (рис. 34,в) здійснює загальний огляд місцевості, а камера контролює точне встановлення деталі. Складальні деталі з допомогою візуальних сенсорів повинні мати чіткі контури, градації у відбивній здатності та однакове забарвлення.

Базова деталь взагалі нерухома, а сполучена отримує пошукові рухи в напрямі осей  $x$  і  $y$  та пересувається в напрямі осі  $z$ . Унаслідок

використанням спеціальних вловлювачів (рис. 34,б).

Якщо вірогідність сполучення деталей при збиранні не забезпечує достатню надійність комплексу робіт оснастка - деталь, то переходять до застосування засобів сполучення з використанням зорової інформації (рис. 34,в) або повторних спроб сполучення за заданою програмою (рис. 34,г).

Після розв'язування задачі загального синтезу

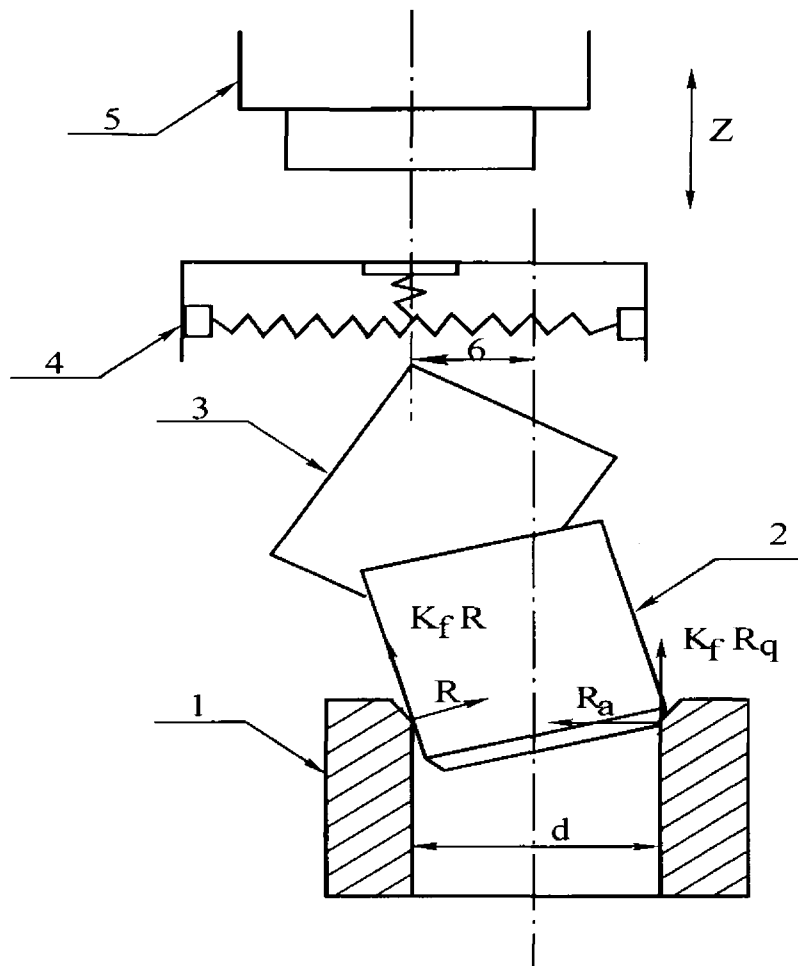


Рис.35. Схема пружних центруючих пристроїв сполучення деталей.

елементи захватного органу 3, який утримує вал при сполученні з базовою деталлю 1. Перекоси деталі, які є наслідком незбігу осей на величину  $\delta$ , приводять до появи реакцій  $R$  і  $R_a$ , які сприймаються пружною підвіскою, детектуються та виконують роль управляючої інформації для здійснення операції складання.

Складання вузлів з використанням роботів з пружними елементами для центрування сполучених деталей здійснюється в такти послідовності виконання виконавчих рухів: перехід до базової деталі в напрямі осі  $z$  – пошук центруючого отвору – вирівнювання - посадка - запресування (рис. 36).

Роботизоване виробництво повинно забезпечити виконання заданого технологічного процесу та найбільшу продуктивність.

Виконання цих вимог досягається за рахунок розробки оптимального інструмента, а також ефективного планування роботи ПР і технологічного обладнання.

Виключаючи людину, ПР має певні обмеження, зумовлені

податливості несучих елементів та пружної реакції їх на зусилля, що з'являються при кутовому вирівнюванні осей складених деталей, досягається ефект їхнього самовстановлення. Пружні пристрої, що реалізують центрування складених деталей, являють собою багатівісні шарнірні механізми.

Технічна реалізація пристроїв, що здійснюють м'яку посадку вала 2 з допомогою пружної системи, зображена на рис, 35. Кисть робота 5 є пружною гнучкою підвіскою 4, на якій закріплені

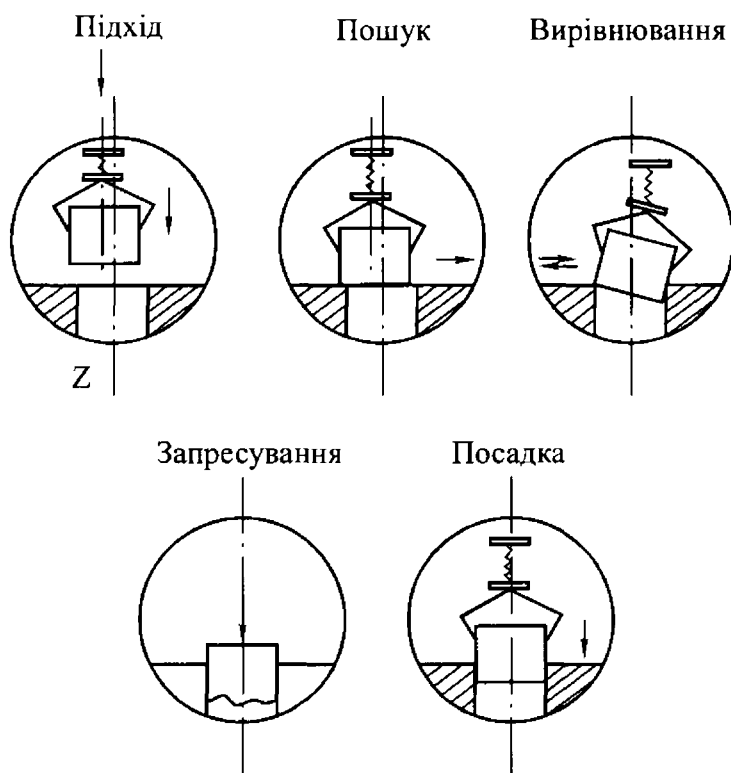


Рис.36. Послідовність проведення виконавчих рухів робота при складанні.

Через це останнім часом організацію роботизованого виробництва також відносять до роботизованої технології, розширюючи тим самим склад цього поняття. Крім того, необхідно забезпечити повне завантаження РТК, вважаючи, що перерви в роботі ПР порушують нормальне функціонування робототехнічного комплексу. Роботизоване виробництво має два підходи: системний, на основі загальних принципів функціонування всього комплексу обладнання, і модульний, на основі розглядання комплексу по частинах системи. Перший підхід є найсприятливішим при вивченні, проектуванні та експлуатації РТК - потокового виробництва, другий - при проектуванні предметно-замкнених ділянок, побудованих на основі типових рішень технологічних модулів. При розробці робототехнології раціонально використати обладнання з вертикальним розташуванням шпинделів, оскільки обладнання горизонтального типу займає значні площі.

Один ПР може обслуговувати три малогабаритних верстати. Великі верстати обслуговуються персональним стаціонарним роботом. У компонованнях РТК з верстатами вертикального типу немає жорсткого обмеження на число одиниць обладнання. З обладнанням вер-

неможливістю заміни універсальності людини роботом та недостатньою надійністю ПР порівняно з людиною, яка часто в одній особі суміщає функції оператора, наладчика та технолога. Відсутність цих функцій у ПР повинна компенсуватися підвищеною надійністю інструментальних засобів. Робототехнологія передбачає крім способу поділу технології обробки на операції та переходи раціональне використання технологічного та допоміжного обладнання, яке обслуговує спосіб обробки (скла-

тикального типу першість віддається коловим компонуванням РТК, а з обладнанням горизонтального типу – лінійним.

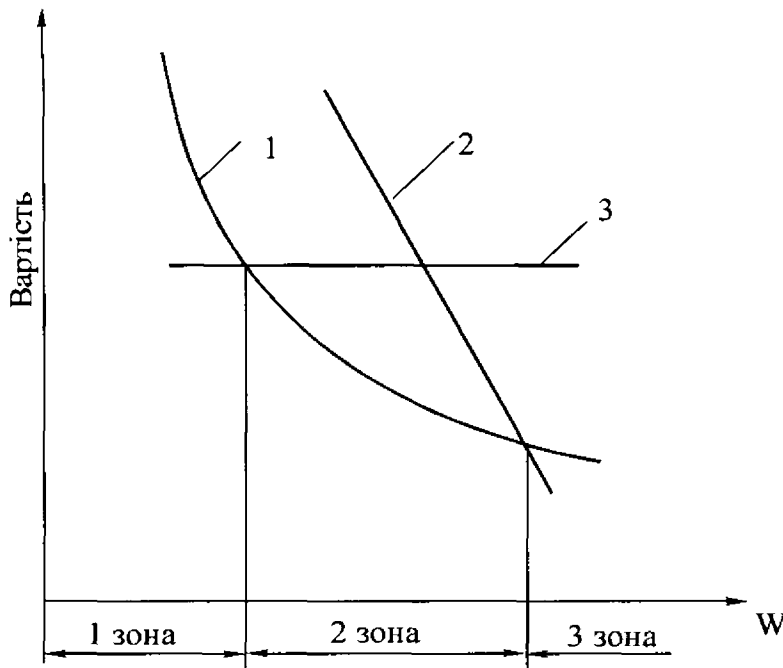


Рис. 37. Залежність вартості виготовлення деталей від обсягу випуску при роботизованому складанні (крива 1), ручній (крива 3) та на спеціалізованій складальній лінії (крива 2).

Вартість складання того самого виробу з допомогою роботів (крива 1) або спеціалізованої лінії (крива 2) є функцією річного об'єму випуску виробів [12, 13].

Точки перерізу кривих дозволяють виділити три зони. При малому об'ємі випуску найбільш ефективним є застосування ручного складання. В другій зоні доцільно застосовувати роботи, а при дальшому збільшенні серії вельми ефективно застосовувати спеціалізовані складальні лінії.

Складальні роботи в машинобудівному виробництві за трудомісткістю сьогодні посідають друге місце (після механічної обробки деталей). Частка складальних робіт у загальній трудомісткості складає: у автомобілебудуванні - 20%, у транспортному та сільськогосподарському машинобудуванні - 22%, у важкому машинобудуванні - 30%, у електромашинобудуванні - 40% [14].

Існують різні види з'єднань окремих деталей при складанні виробів. У практиці машино- та приладобудування застосовують гладкі циліндричні, різбові, шліцьові, шпонкові та інші види з'єднань.

Встановлено, що близько 60% з'єднуваних поверхонь мають циліндричну гладку та різбову форму, причому значна частина з них

Економічний аналіз вартості складальної операції з допомогою ПР та складальної спеціалізованої автоматичної лінії показує, що залежно від розмірів серії кожний з перелічених способів має переважну область застосування. Наприклад, вартість ручного складання (рис.37, крива 3) деякого вузла або виробу складає одну умовну одиницю і не залежить від об'єму випуску  $W$ . У цей самий час

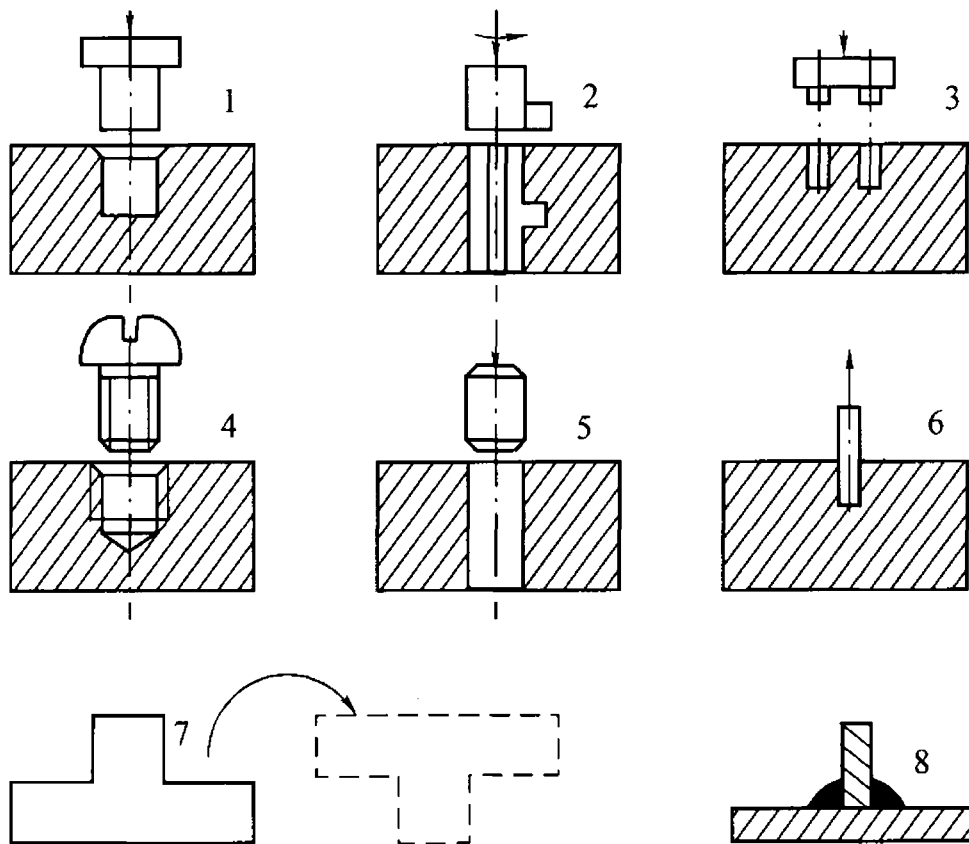


Рис.38. Найрозповсюджені види з'єднань при складанні.

встановлюється впродовж вертикальної осі виробу. При складанні найчастіше зустрічаються такі види з'єднань (рис. 38):

1. Встановлення циліндричного стержня в отвір.
2. Встановлення та поворот стержня з фіксуючим виступом.
3. Одночасно встановлення кількох стержнів.
4. Різьбове з'єднання.
5. Запресування стержня.
6. Виймання стержня з отвору.
7. Перевертання деталі.
8. Зварювання або паяння.

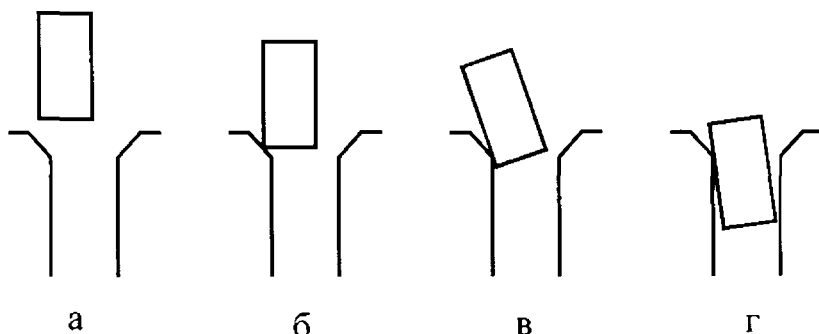


Рис. 39. Схема запресування циліндричного стержня: а – підведення стержня; б – торкання зенківки; в – однокотковий контакт стержня; г – двоточковий контакт.

Процедура складання, наприклад, встановлення циліндричного стержня в отвір, має чотири стадії (рис. 39): підведення, торкання зенківки, одно- та двоточковий кон-

такт. У процесі складення відбувається кутове та лінійне пересування сполученої деталі. Успішне з'єднання деталі визначається співвідношенням сил і моментів, що виникають при двоточковому контакті. Якщо вони виконуються, виключається заклинювання деталей. При

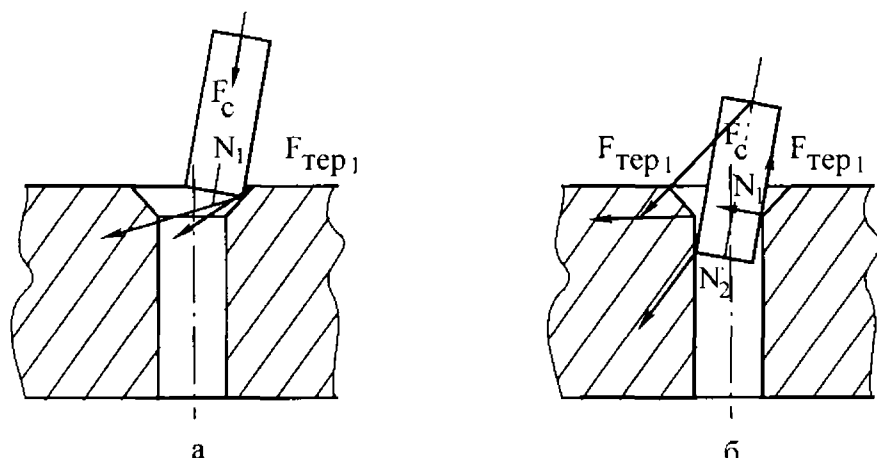


Рис.40. Силова схема при запресуванні стержня.

зануренні стержня в отвір охоплюючої деталі, внаслідок похибок позиціонування, торць стержня торкається фаски отвору. Виникає односточковий контакт. Зусилля  $F_c$ , що напрямлене

вздовж стержня та піднімає деталі одна до одної, викликає появу сили реакції  $N_1$ , напрямленої перпендикулярно до поверхні фаски (рис. 40,а). При подальшому пересуванні стержня вздовж фаски виникає протидіюча сила тертя  $F_{тер}$  (рис.40,б).

Після зісковзування торця стержня в гирлі отвору з'являється нова точка зі своїми силами реакції на тертя. Цей стан називають двоточковим контактом. Якщо не зменшити складальне зусилля або не ліквідувати перекіс деталей, при двоточковому контакті з'являється небезпека заклинювання, яка може бути необоротним, якщо в контактних точках під дією зусиль виникає пластична деформація. Для успішного проведення складальної операції потрібно забезпечити траєкторію пересування верхнього кінця стержня в межах допустимої воронки. Діапазон кутових і лінійних положень стержня відносно осі отвору залежить від зазору сполучуваних деталей. Кут допустимої воронки зменшується із зменшенням зазору.

Перекіс стержня відносно отвору при складанні може бути усунений пасивною та активною корекцією їхнього стану.

Робот, оснащений пасивним centruючим механізмом, здійснює зміщення та оберт стержня при centruванні з допомогою пневматичних циліндрів, які при односточковому контакті отримують команду від датчиків сил і моментів. Слід зазначити, що пасивні centruючі пристрої прості та дешеві, однак вони є пристроями спеціального призначення та не забезпечують достатньої гнучкості при переході на складання іншого виробу.



Робот, оснащений активною корекцією стану та орієнтації приєднаних деталей, має пристрій з шістьма незалежними приводами із сило-моментними датчиками. Цей пристрій забезпечує пересування захватного пристрою за лінійними і кутовими координатами для зменшення компонент контактних сил і моментів сил, що викликають заклинювання деталей.

### **3.6. СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТАМИ**

Системи управління роботами мають багато спільного із системами програмного управління верстатами. Тут використовується позиційне та контурне управління. При позиційному управлінні не регламентується траєкторія руху захвата та позиціонування робота. При контурному управлінні вимоги до точності позиціонування незначні, але необхідна висока точність рухів.

Більшість роботів мають жорстке програмне управління. Програма реалізується як неперервна траєкторія або кінцева послідовність позицій, заданих програмою. Залежно від типу приводів відроблення рухів може здійснюватися неперервно (в контурних системах управління) та дискретно (в позиційних системах).

У позиційних системах забезпечується сувора логічна послідовність відроблення програми, причому на кожному кроці програми задається конкретна величина пересування виконавчих органів робота по кожній з координат. Порядок відновлення команд встановлюється при програмуванні або навчанні та не змінюється при неодноразовому повторенні одного й того самого циклу.

Позиційні системи управління непридатні для виконавчих ПР, наприклад, для дугового зварювання, газового різання, плазменних покриттів тощо.

Контурне управління реалізується у вигляді великої кількості програмованих точок позиціонування, що близько лежать відносно одна одної. При контурному управлінні програмуються тільки опорні точки відтвореної траєкторії, а проміжні визначаються інтерполяванням з допомогою спеціальних логічних пристроїв - лінійних або колових інтерполяторів. У випадках, коли за окремими ступенями рухомості ПР використовуються різні типи систем управління, застосовують змішані системи контурно-позиційного типу. Ці системи управління використовуються в тих випадках, коли вимагається, на-

приклад, застосовувати для основних технологічних операцій контурне управління, а для допоміжних - позиційне.

За типом сигналів, що надходять в управляючий пристрій, розрізняють системи неперервної та дискретної дії.

У системах неперервної дії всі ланки характеризуються неперервними вхідними та вихідними сигналами. У системах дискретної дії сигнали мають дискретну форму. Наприклад, в аналого-цифровій системі управління ПР система управління його приводами є аналоговою, а система управління датчиками зворотного зв'язку - цифровою. Такий розподіл функцій між аналоговими та цифровими системами дозволяє найповніше використати переваги вказаних систем управління.

Розрізняють п'ять рівнів управління роботами.

Перший рівень управління являє собою виконавчу систему приводів, яка реалізує управління з окремими функціональними ступенями рухливості робота. Виконавчий рівень цієї системи управління має внутрішні зв'язки за швидкістю, станом, моментами (зусиллям) та за іншими параметрами, що забезпечують динамічні та статистичні характеристики.

Другий рівень управління - це система локального управління ПР. До завдань цього рівня входить розрахунок управляючих дій та реалізація програмного управління приводами. В загальному випадку на цьому рівні можуть вирішуватися такі завдання:

1. Планування елементарних рухів робочих органів ПР, наприклад захватних пристроїв, інструмента та ін.
2. Поділ цих рухів на погоджені рухи приводів (слідкуючих систем) та розрахунок управляючих дій на ці приводи з урахуванням обмежень.

На третьому рівні синтезуються управляючі дії з урахуванням отриманої інформації про зовнішнє середовище. На цьому рівні управління вноситься корекція у жорстке програмування з урахуванням стану зовнішнього середовища, тобто реалізується принцип адаптивного управління.

На четвертому рівні управління синтезуються закінчені складні дії для досягнення конкретної остаточної мети. Відбувається розбиття операції на ряд технологічних переходів, які реалізуються нижнім рівнем управління ПР, наприклад, орієнтування зварювальної головки, розрахунок траєкторії пересування, контроль якості зварювального шва та ін. На даному рівні управління застосовується отримана інфо-

рмація від пристроїв згугливлення ПР та стану зовнішнього середовища для корекції планів дій, які формуються на більш високому рівні управління. При цьому траєкторія пересування може синтезуватися та коригуватися як до початку роботи ПР, так і в процесі його експлуатації.

До алгоритмічного забезпечення четвертого рівня входить розклад планів дій на типові операції для третього та четвертого рівнів з використанням методів евристичного програмування, лінгвістичних методів, а також діалогового спілкування з людиною-оператором на проблемно-орієнтованій мові.

На п'ятому рівні управління ПР застосовуються засоби штучного інтелекту: засоби сприйняття обстановки та моделювання середовища за тією чи іншою формою. П'ятий рівень складається з аналізу інформації, що надходить у вигляді завдання від людини-оператора, а також з обробки даних про зовнішнє середовище та його моделювання. Модель середовища в процесі функціонування системи управління роботом може вдосконалюватися шляхом побудови формальних структур - простору станів або дерев цілі.

П'ятий рівень управління вимагає забезпечення високої надійності роботи маніпуляційної та інформаційної систем, а також систем управління алгоритмами роботи окремих елементів ПР. Це забезпечується за рахунок централізованого контролю підсистем роботи ПР у вигляді програмних тестів. Спілкування ПР з оператором здійснюється в діалоговому режимі за наявності відповідних алгоритмів розпізнавання та мовного управління роботом. Мова спілкування оператора з роботом повинна мати мнемонічні властивості, які полегшують засвоєння оператором правил користування мовою. Мова спілкування орієнтується на клас задач, які розв'язуються на даному рівні управління.

На нижньому рівні управління спілкування оператора з роботом зводиться до кодування. Оператор формулює завдання роботи у вигляді окремих пристроїв пересування робочих органів. Наявність сенсорних пристроїв управління дозволяє організувати двобічне спілкування людини-оператора з ПР. За цих умов (третій рівень) система управління роботом набуває властивості адаптації. На пульті управління від сенсорних пристроїв надходять сигнали про стан зовнішнього середовища і робота. На основі цієї інформації оператор приймає рішення, вводячи до системи управління коригуючу програму.

На четвертому рівні управління людина-оператор взаємодіє з

роботом шляхом видавання директивних завдань на проблемно-орієнтованій мові, наприклад, *EHOS* і *POKOL* [11]. Мови п'ятого рівня управління володіють значно меншою визначеністю для формування завдання і мають менше число знаків. Мовою високого рівня є мова *ЯДРО* [11]. Оператори цієї мови визначають задачу, а робот здійснює стратегію її розв'язання. На машинобудівних заводах найбільш розповсюджені роботи з дискретним управлінням, які працюють за жорсткими циклами управління з незначними елементами адаптації. Ці системи легко стикуються із сучасними системами управління технологічного обладнання та допускають швидке перепрограмування.

У ПР для транспортно-завантажувальних робіт та складальних операцій найбільш ефективно використовується логіко-програмне управління. Послідовність виконання робіт зі створення логіко-програмного управління транспортуючими та орієнтуючими рухами робочих органів ПР складається з таких етапів [11]:

1. Аналізуються режими та умови експлуатації ПР з дискретним управлінням траєкторії пересування виконавчих органів.
2. Визначаються обмеження на необхідну послідовність дій приводів, що забезпечують задану траєкторію пересувань, причому вона повинна мати форму кусково-неперервної кривої, кожна ділянка якої відповідає пересуванню тільки по одній координаті.
3. Складається послідовність дій виконавчих приводів робота, враховуючи обмеження.
4. Розроблюється функціональна модель і алгоритм функціонування системи логіко-програмного управління.
5. Розроблюється послідовність управляючих команд - дискретних сигналів, які викликають спрацювання виконавчого привода.
6. Розроблюються системи логічних управлінь послідовності управляючих команд. Будь-яка команда зображується у вигляді логічно взаємозв'язаної множини сигналів, які характеризують стан робочих органів ПР.
7. Розроблюється загальний алгоритм логіко-програмного управління транспортуючими та орієнтуючими рухами робота, враховуючи обмеження.
8. Розроблюється комплекс програм на ЕОМ, які реалізують загальний алгоритм логіко-програмного управління, котрий забезпечує аналіз масиву даних та отримання послідовності управляючих команд.

### 3.7. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИЗАЦІЇ

Мета роботизації - не просто копіювання наявних технологій із заміною людей роботами, а створення інтегрованих виробничих систем нового типу, які забезпечують технологічну гнучкість, підвищення продуктивності праці, зниження експлуатаційних витрат, підвищення якості продукції, поліпшення умов праці.

Оцінка економічної ефективності визначає процедуру оцінки переваг, які забезпечує автоматизація із застосуванням робототехніки, порівняно з існуючими виробничими системами або альтернативними варіантами автоматизації виробництва.

Затрати на створення роботів принципово нічим не відрізняються від затрат, вкладених у будь-яке обладнання, однак між ними є істотна відміна. По-перше, робототехніка поряд із зменшенням затрат на оплату праці значно скорочує затрати на сервісне обслуговування. По-друге, роботи забезпечують високу технологічну гнучкість. По-третє, будучи складовою частиною автоматизованих виробничих систем, вони спонукають до більш ретельного здійснення планування організації виробництва та оптимізації технологічних процесів.

При обґрунтуванні економічної ефективності застосування роботизованої технології необхідно враховувати:

- скорочення витрат на оплату праці;
- підвищення якості продукції;
- підвищення продуктивності обробки та гнучкості виробництва;
- скорочення збитків матеріалів і текучості кадрів.

Послідовність оцінки економічних показників від застосування технології роботизованого виробництва зображена на рис.41.

На першому етапі порівнюються альтернативні варіанти технологічних процесів за вартістю одиниці продукції залежно від об'єму виробництва.

На другому етапі аналізується технічна здійсненність. Оцінюється можливість виконання операцій запропонованим способом за час, що вимагається, та з достатньо високою надійністю системи в цілому, а також забезпечення необхідної безпеки та необхідного рівня якості продукції.

Якщо за вказаними критеріями запропонований варіант виявився здійсненним, відбувається подальший аналіз. Але якщо варіант не забезпечує відповідності поставленим вимогам, слід шукати нові, більш перспективні технологічні конструкції роботів, або розроблю-

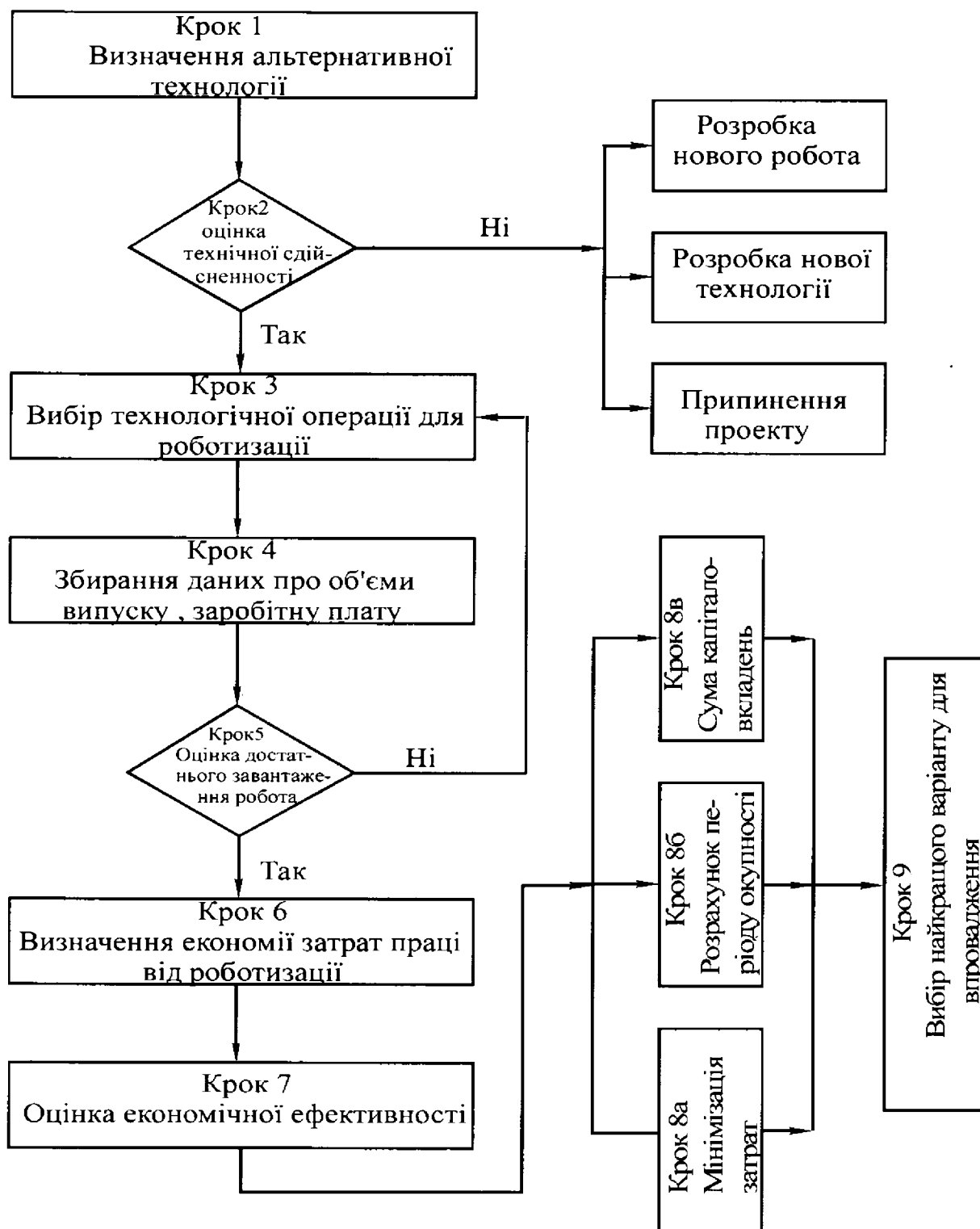


Рис. 41. Схема визначення альтернативних варіантів обробки.

вати проект, який не передбачає застосування роботів.

На третьому етапі вибирається об'єкт роботизації, а також операція, на якій деталь завантажуватиметься роботом. Деталі повинні мати просту конструкцію та належати до одного конструктивно-технологічного класу.

На четвертому етапі аналізуються поточні та перспективні пла-

ни підприємства: визначаються обсяги виробництва, потреба в деталях, завантаження робота, можливість збільшення програми випуску виробів.

Через значні витрати в період підготовки роботизованого виробництва та високими затратами на оплату праці програмістів і наладчиків, експлуатація робота з малим завантаженням є економічно невигідною. Тому на п'ятому етапі аналізується завантаження робота. Якщо технологічні можливості його використовуються максимально, доцільно далі проведення аналізу ефективності процесу, а якщо завантаження робота є недостатнім, то відбувається повернення до вибору нового об'єкта реалізації.

Подальша оцінки ефективності альтернативних варіантів відбувається за критеріями мінімізації приведених затрат та окупності капітальних вкладень. Мінімізація затрат звичайно використовується під час розрахунку приведеної вартості. Чиста приведена вартість проекту

$$PV = \sum_{k=0}^n \frac{(-A \cdot C_k + S_k - R \cdot C_k)}{(1+i)^k} + \frac{L}{(1+i)^n}, \quad (20)$$

де  $A \cdot C_k$  - затрати на придбання на  $k$ -й рік;  $S_k$  - потенціальна економія протягом  $k$ -го року;  $R \cdot C_k$  - експлуатаційні витрати протягом року;  $L$  - прогноз ліквідаційної вартості;  $i$  - норма в процентах;  $n$  - строк служби (в роках).

Приведена вартість зіставляється з прибутками, що припускаються, і перевага віддається варіанту з найбільшою приведеною вартістю. Якщо строк служби робота невідомий, можна скористатися формулою

$$\sum_{k=0}^n \frac{A \cdot C_k}{(1+i)^k} \leq \sum_{k=0}^n \frac{(S_k - R \cdot C_k)}{(1+i)^k}. \quad (21)$$

Обчислюється мінімальне значення  $n$ , за яким справедливою є нерівність, а потім вибирається варіант з найменшим строком окупності.

Якщо невідома потенціальна економія за рік -  $S_k$ , то витрати за весь строк служби для альтернативних варіантів можна розраховувати так:

$$LC = \sum_{k=0}^n \frac{(-A \cdot C_k + R \cdot C_k)}{(1+i)^k} + \frac{L}{(1+i)^k}. \quad (22)$$

Перевага віддається варіанту з мінімальними витратами. Для

економічного аналізу альтернативних варіантів важливо знати час, протягом якого окупаються капіталовкладення. Період окупності капітальних затрат, років [18]

$$P = \frac{I}{(S - E)},$$

де  $I$ - розмір капіталовкладень в обладнання та оснащення;  $S$ - економія оплати праці за рік;  $E$ - експлуатаційні витрати за рік, пов'язані із завантаженням робота, в тому числі витрати на оплату праці по його обслуговуванню та ремонту.

Для зменшення строку окупності слід збільшувати завантаження робота, наприклад, за рахунок виконання цим самим роботом інших операцій технологічного процесу або скорочення витрат на прилади та оснащення, які використовуються на етапі введення роботизованої технології в експлуатацію.

Перша рекомендація дозволяє збільшити очікувану економію протягом всього строку служби робота, однак ця можливість обмежена вимогою підтримання затрат на обладнання та оснащення на низькому рівні. Друга рекомендація, навпаки, може сприяти скороченню затрат на впровадження за рахунок притягнення власних спеціалістів до проектування та виготовлення необхідного оснащення. Успішне проведення аналізу економічної ефективності роботизованої технології не гарантує від помилок. Наприклад, помилковим вважається прийняття рішень на основі підвищених оцінок ефективності нового обладнання порівняно з базовим або використання джерел фінансування з високою процентною ставкою.

Інфляція та спад виробництва також значно впливають на достовірність обґрунтування проекту роботизованої технології, тому урахування їх впливу повинно бути складовою частиною процедури оцінювання економічної ефективності. Враховуючи інфляцію, треба оцінити майбутню вартість товару. Для цього суму капіталовкладень на даний момент слід привести до відповідної майбутньої суми на рік при заданому збільшенні інфляції.

Економічний спад виробництва призводить до зниження попиту на продукцію, внаслідок чого виробничі потужності працюють з неповним завантаженням. Це призводить до зниження прибутку.

### **Запитання для самостійного контролю**

1. Дати характеристику програмним, адаптивним і інтелектуальним роботам.



2. Класифікація робіт за родом виконуваних операцій, ступенем спеціалізації, конструктивним виконанням та за виконуваними функціями.
3. Область застосування промислових робіт, функціональні та технологічні можливості.
4. Особливості технології роботизованого виробництва.
5. Дати характеристику позиційним і контурним системам управління роботами.

## ГЛАВА 4

# КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

### 4.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

З розвитком обчислювальної техніки та засобів автоматизації технологічних процесів сформувалися два напрями в автоматизації виробництва: перший - автоматизація обробки інформації, який набув умовну назву САПР, тобто система автоматизованого проектування технологічної підготовки виробництва, другий - автоматизація технології в технічній літературі, називається АСУТП (автоматизовані системи управління технологічними процесами).

Перший напрям охоплює сферу організації та управління виробничою структурою, а також сферу проектування та технологічної підготовки виробництва, тобто він спрямовує на автоматизацію отримання та обробки інформації про технологію та пов'язаних з нею виробничих функцій.

Другий напрям націлений безпосередньо на автоматизацію технології.

Автоматизація творчих дій людини здійснюється по моделях штучного інтелекту. Математичні моделі будуються за оптимізаційними принципами.

Слід, однак, зазначити, що не можна розділяти ці два напрями автоматизації, тому що вони нерозривно взаємозв'язані, оскільки перший напрям доповнює другий.

Об'єднання обох напрямів створило змішану концепцію автоматизації -САПР/АСУТП або САД/САМ. У цій концепції система створює, відображує, аналізує, заповнює, маніпулює всілякою графічною інформацією та автоматично перетворює графічну інформацію у команди управління засобами виробництва, здійснює контроль точності, якості та надійності обладнання і продукції.

Однак системи САПР/АСУТП мають деяку частку ручної праці при управлінні технологічними процесами і є достатньо жорсткими, оскільки орієнтовані на специфіку певного проекту.

Внаслідок цього останніми роками виникла нова концепція, до складу якої крім САПР та АСУТП входить ще й робототехніка. Таке об'єднання називається гнучкою виробничою системою (ГВС).

Гнучка виробнича система - це сукупність взаємопов'язаних ав-

томатизованих систем, що забезпечують проектування виробів, технологічну підготовку їхнього виробництва (АСТПВ), автоматичний контроль (САК), автоматичне пересування предметів виробництва та технологічного оснащення, функціонування автоматизованої транспортно-складської системи та автоматизованої системи інструментального забезпечення (АСІЗ).

До складу ГВС входять гнучкі виробничі модулі (ГВМ) - це автономно функціонуючі автоматичні системи, які здійснюють всі функції, пов'язані з виготовленням деталей, та мають спроможність вбудовуватися в ГВС. За організаційними ознаками ГВС поділяють на два види: гнучка автоматизована лінія (ГАЛ) та гнучкий автоматизований цех (ГАЦ).

Проблема створення ГВС має глибоко системний характер і ставить перед наукою та промисловістю взаємопов'язаний комплекс задач як технічного, так і соціального значення. Системний підхід до розвитку гнучкого автоматизованого виробництва (ГАВ) не є абстрактною формою переходу від елементарної гнучкої технології до комплексної.

Головною особливістю ГВС є висока її гнучкість, яка дозволяє: обробляти заготовки різних конфігурацій в будь-якому розмірі партій та які чергуються в довільному порядку. Наприклад, після обробки заготовок у кількості 580 шт. може оброблятися партія деталей в кількості 5-8 шт. тощо; слідкувати за точністю виготовлення деталей в процесі обробки та повертати їх на наступне доопрацювання; у будь-який момент може припиняти виготовлення однієї продукції та з мінімальними затратами коштів і часу переходити до випуску нової продукції.

Залежно від призначення та конкретних умов роботи ГВС мають різну структуру і конструктивне оформлення. Їх класифікують за типом вбудованих верстатів, технологічними ознаками, за видом транспортних пристроїв, за розташуванням обладнання та зв'язком між верстатами.

ГВС складається з таких моделей: верстатів з ЧПУ, контрольно-вимірального пристрою, промислових роботів для завантаження обладнання, ЕОМ, міжопераційного транспорту, автоматизованого складу інструментів, автоматизованої системи видалення стружки.

Проектування ГАВ здійснюється на основі математичного та імітаційного моделювання. Математичне моделювання засноване на непрямому описі об'єкта за допомогою набору математичних формул.

Математична модель складається з цільової функції та системи обмежень.

Імітаційне моделювання засноване на прямому описі модельованого об'єкта. Імітаційні моделі описують закони функціонування кожного елемента, технологічного процесу, який проектується, та функціональні зв'язки між ними.

Імітаційне моделювання визначає технологічні та організаційні фактори, які мають значний вплив на показники функціонування системи, і виконує оцінку різних варіантів технічних рішень під час пошуку оптимальної структури ГАВ.

Однак проведення імітаційного експерименту - тривала, трудомістка і дорога процедура. Тому на практиці при розв'язуванні задач аналізу та синтезу ГАВ аналітичне та імітаційне моделювання об'єднують у комплексну процедуру.

Аналітичне моделювання дозволяє наближено, але досить швидко оцінювати функціонування основних характеристик ГАВ, а імітаційне уточнює окремі характеристики з більш високим ступенем точності.

#### **4.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ГВС ТА ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

За технологічними ознаками ГВС поділяють на три класи: для виготовлення деталей, збірні для виконання агрегатного або загального складання та комбіновані, призначені для виготовлення деталей та складання вузлів.

Конструктивні характеристики ГВС дозволяють використовувати їх для виготовлення деталей типу тіл обертання та обробки корпусних деталей.

За видом технологічних меж ГВС застосовують для заготівельних операцій (штампувальні, ливарні та ін.), механообробних операцій, хіміко-термічної обробки та для покриттів.

За структурою виконання операції й ГВС поділяють на вузько та широко номенклатурні. У вузькономенклатурних ГВС кількість найменувань виробів, що одночасно запускаються, є незначною (не більше п'яти). Номенклатура виробів у таких ГВС звичайно заздалегідь відома. Вони використовуються у крупносерійному та масовому переналагоджуваних виробництвах.

У широкономенклатурних ГВС кількість найменувань виготовлених виробів досягає кількох сотень за рік, причому вся номенклатура до початку проектування може бути невідомою.

Від традиційних виробничих систем технологія ГВС відрізняється безлюдним або малолюдним режимом виробництва, швидкою переналагоджуваністю, високою продуктивністю та багатомноменклатурністю виробництва.

Оброблювальні системи, що задовольняють сукупність перерахованих вимог, створюються на основі верстатів з ЧПУ та промислових роботів, систем автоматичного регулювання технологічними та виробничими процесами, ЕОМ та управляючих обчислювальних комплексів, а також систем автоматизації технологічної підготовки виробництва.

Перехід до безлюдної технології можливий тільки за умови створення високонадійних технічних засобів і комп'ютерної технології.

Принцип комп'ютерної технології вимагає розробки нових методів проектування та управління технологічними процесами, до яких в першу чергу належить алгоритмізація всіх етапів підготовки та управління на основі розроблених математичних моделей.

#### **4.3. ПРИНЦИП ІНТЕГРАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА УПРАВЛІННЯ БАГАТОМНОМЕНКЛАТУРНИМ ВИРОБНИЦТВОМ**

Комп'ютеризація технології вимагає наявності достатньої інформаційної бази про закономірності зміни технологічних параметрів (складових сил різання, витраченої на різання потужності, температури, вібрацій, якості поверхневого шару тощо), а також наявності технічних засобів контролю цих параметрів.

Управління технологічним процесом у ГВС відбувається не тільки на основі програмних, раніше розрахованих алгоритмів на стадії технологічної підготовки виробництва, але також на основі інформації, що отримується безпосередньо з датчиків зворотного зв'язку в процесі обробки. При цьому коригуються як технологічні параметри, які формуються на етапі управління, так і вихідні дані на етапі технологічної підготовки виробництва.

У традиційних виробничих системах таке коригування здійснює оператор-верстатник. При цьому слід зазначити, що робітник, внося-

чи відповідні корективи до процесу обробки, не має достатньої інформації про змінювані параметри процесу, тому прийняті ним рішення мають суб'єктивний характер. За допомогою інформаційної системи ГВС виконуються функції, притаманні людині в умовах звичайної людино-машинної системи. Людина отримує інформацію про стан виробничої системи за допомогою органів чуття та засобів технічного контролю. На основі цієї інформації формуються сигнали, що впливають на елементи технологічної системи.

Однак багатофакторність процесу та несталість умов механічної обробки не дозволяють встановити однозначну відповідність між вхідними та вихідними параметрами процесу виготовлення деталей. Тому для забезпечення надійності та ефективності роботи ГВМ необхідно мати інформацію про стан кожної заготовки, пристосування та ріжучого інструмента відносно системи координат верстата перед початком обробки; мати інформацію про вихідний стан робочих органів основного та допоміжного обладнання, досягну точність та жорсткість пружної системи, точність позиціонування виконавчих органів верстата; мати уявлення про закономірності зміни зносу та ріжучої здатності інструментів і зміни податливості пружної системи під дією сил різання й температури.

Комплексна автоматизація технологічних процесів заснована на принципі інтеграції, тобто об'єднанні систем технологічної підготовки виробництва, управління технологічними процесами та проектування, конструювання виробів на загальній інформаційній основі. Тут з'являється можливість розв'язувати задачі на кожному з етапів технологічної підготовки виробництва та управління, використовувати загальний критерій оптимальності.

На основі принципу оптимальності можливе однозначне та взаємопов'язане розв'язання технологічних задач, однак для практичної його реалізації потрібен новий методичний підхід та достатньо повне інформаційне забезпечення.

#### **4.4. ТИПІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

Одним з методів підвищення ефективності багатономенклатурного виробництва є типізація технологічних процесів. Згідно з ГОСТ 14.301-83 типовий технологічний процес розробляється для виготов-

лення певної групи виробів, що володіють загальними конструктивно-технологічними ознаками.

Процес типізації технологічних процесів починається з класифікації, основним завданням якої є приведення всієї різноманітності заготовок до мінімальної кількості типів, для яких можна розроблювати типові технологічні процеси обробки у кількох варіантах.

Ознаками класифікації заготовок є конфігурація заготовок, її розміри, точність обробки, якість оброблюваних поверхонь і матеріал заготовки. Крім вказаних ознак, які визначають характер і склад технологічного процесу, на побудову останнього значно впливають умови його здійснення. До таких умов належать об'єм виробничого завдання та розміри окремих партій оброблюваних заготовок.

Розвитком ідеї типізації стосовно серійного виробництва є метод групової технології, розроблений проф. С.П.Мітрофановим [22]. Основною ознакою для об'єднання заготовок у групи виступає спільність оброблюваних поверхонь або їх сполучень.

Груповим технологічним процесом називається сукупність групових технологічних операцій, які забезпечують обробку різних заготовок за загальним технологічним маршрутом.

Груповий технологічний процес розробляється для заготовки, яка складається з усіх поверхонь, що зустрічаються у всіх заготовках групи. Така складна заготовка називається комплексною. На рис.42 показано схему створення комплексної заготовки штучним об'єднанням окремих поверхонь, що входять до заготовок даної групи.

Настроювання верстата для обробки комплексної деталі дозволяє без суттєвого підналагодження оброблювати всі заготовки, які входять у дану групу. Однак створення комплексних заготовок є зручним для здійснення групового налагодження верстатів токарно-револьверної групи. При проектуванні групової технології на фрезерних або шліфувальних верстатах поняття комплексної заготовки губить своє значення.

Групування виробів широко використовується при створенні та експлуатації ГВС. Однак, виходячи з особливостей гнучкої технології, групування заготовок у ГВС має певні особливості порівняно з традиційною технологією.

Для умов ГВС групування здійснюється, як правило, на рівні технологічного процесу. Це пов'язано з тим, що відповідно до принципу завершеності всі підрозділи ГВС створюються для виконання або всього технологічного процесу виготовлення виробу, або його за-

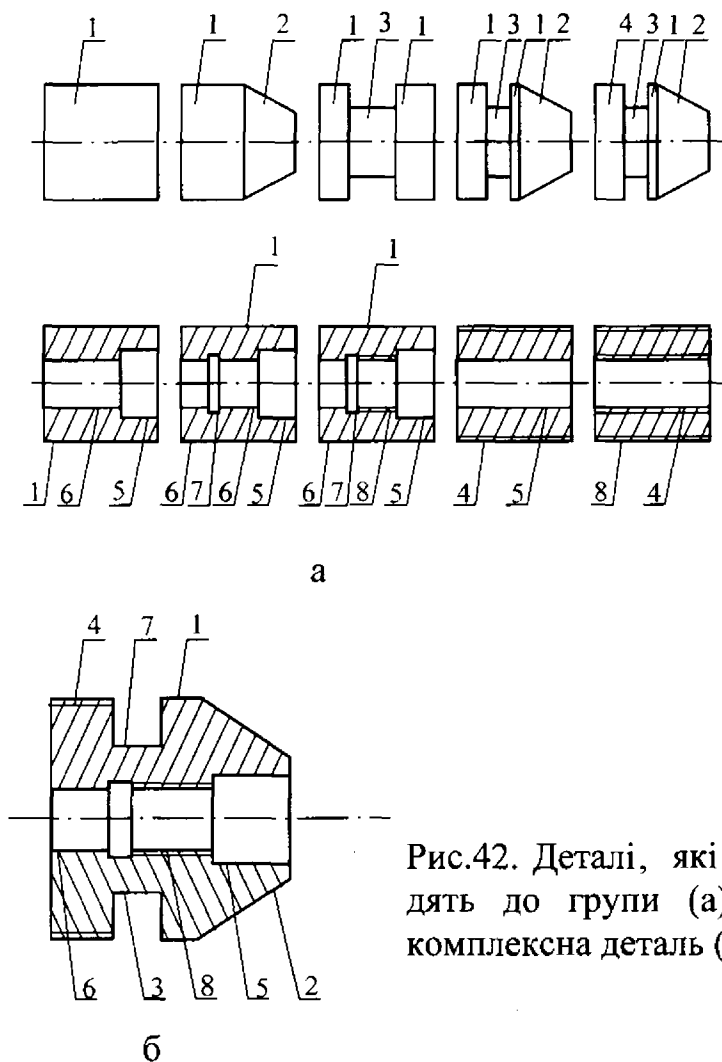


Рис.42. Деталі, які входять до групи (а), та комплексна деталь (б).

кінченої частини, яка визначається найчастіше технологічною переробкою (штампування, механообробка, складання та ін.)

У ГВС не вимагається групових єдиних маршрутів обробки та жорсткого закріплення операцій за модулями. При розробці групової технології створюються класи виробів за ознаками, що відповідають цільовій спрямованості ГВС, наприклад, клас корпусних деталей або тіл обертання. Для обробки деталей класу корпусних деталей використовуються верстати багатопільові або багатоінструментальні.

Для обробки класу деталей тіл обертання використовують токарні оброблювані центри.

Деталі поділяють на групи та класи з урахуванням технологічної та виробничої структури ГВС. Так, враховуючи габарити деталей, форми поверхонь і якісні показники, формують групи першого рівня. Деталі першого рівня мають загальний склад базових елементів ГВС: обладнання, транспорту, промислових роботів.

Враховуючи спільність базових установчих поверхонь, та їхнє взаємне розташування, а також інструментальні переходи, в рамках кожної первинної групи створюються групи другого рівня, які мають загальний склад технологічного оснащення і загальне інформаційне та програмне забезпечення.

Виготовлення деталей цієї групи орієнтовано на певний комплект інструментів та пристроїв. Всередині цієї групи, враховуючи спільність маршрутів обробки, створюються групи деталей третього рівня. Наявність груп третього рівня значно полегшує проектування



технологічних процесів, однак таке групування можливе за наявності великої кількості деталей, що мають конструктивно-технологічну спільність.

Для кожного конструкторсько-технологічного рішення створюється спеціальне програмно-математичне забезпечення.

Програмно-технологічні групові модулі створюються для обробки елементів деталей, геометрична форма яких відповідає формі ріжучого інструмента, наприклад, при обробці різного роду канавок, різьб, отворів, пазів та ін.

Метод модульно-групової технології заснований на зображенні технологічних процесів виготовлення деталей у вигляді сукупності уніфікованих технологічних рішень, кожне з яких дає можливість отримати певний конструктивний елемент.

Метод модульно-групової технології дозволяє розв'язувати задачі синтезу технологічних процесів із наперед сформованого набору уніфікованих конструктивно-технологічних елементів. Задачі структурного аналізу та параметричної оптимізації розв'язуються значно простіше при використанні САПР-Т, оскільки програмно-технологічні модулі мають необхідне програмно-математичне забезпечення для розв'язування цих задач.

На рис.43 наведено каталог програмно-технологічних модулів. Показано деякі стандартні схеми різних видів обробки з позначенням траєкторії пересування інструментів, геометричні параметри оброблюваних поверхонь і технологічні ескізи.

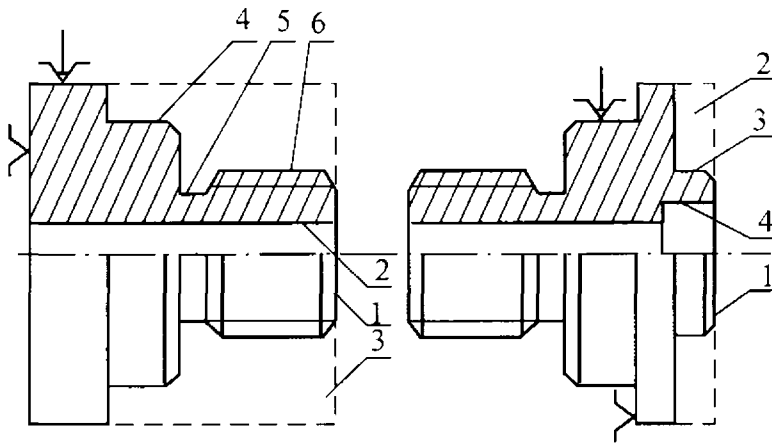
Програмно-технологічні модулі дозволяють здійснювати пошук оптимальних рішень та алгоритмів вибору схем обробки поверхонь.

Деталь поділяється на окремі елементарні поверхні, для обробки яких необхідні певні формоутворюючі рухи інструментів.

Для кожного конструкторсько-технологічного рішення створюються спеціальні програмно-математичні модулі, які об'єднуються в бібліотеку та використовуються при структурному синтезі операцій. Для їхньої обробки в ряді систем ЧПУ є типові підпрограми для автоматизованого проектування траєкторій ріжучого інструмента та управляючих програм. Для ефективного впровадження модульної технології недостатньо мати бібліотеку модулів, треба створити умови для її реалізації. На рис.43 показано приклад синтезу плану операцій з використанням бібліотеки ПТМ відповідно до певної послідовності інструментальних переходів.

На основі каталога програмно-технологічних модулів форму-

ються управляючі програми.



Максимальна уніфікація окремих елементів поверхонь деталі дозволяє обробляти їх з мінімальною кількістю типорозмірів стандартного інструмента та використати типові цикли обробки, створені раніше.

Номер зони	Назва переходу	Номер модуля
1	Підрізування торця 1	21
2	Свердління отвору 2	11
3	Чорнова обточка 3	22
4	Чистова обточка 4	24
5	Прорізання канавки 5	31
6	Нарізування різьби 6	41

Номер зони	Назва переходу	Номер модуля
1	Підрізування торця 1	21
2	Чорнова обточка 2	22
3	Чистова обточка 3	24
4	Розточка виїмки 4	23

Рис.43. Операційні ескізи обробки деталі та синтез плану операції.

Принцип модульної технології дозволяє формалізувати та прискорити проектування технологічних процесів. У сполученні з методом групової технології він полегшує отримання альтернативних варіантів технології.

#### 4.5. ПРИКЛАД ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДЛЯ ГВС

На рис.44 показано креслення деталі “втулка”. Не вказані граничні відхилення розмірів поля допуску  $\pm \frac{IT14}{2} 2$ . Матеріал - сталь 45

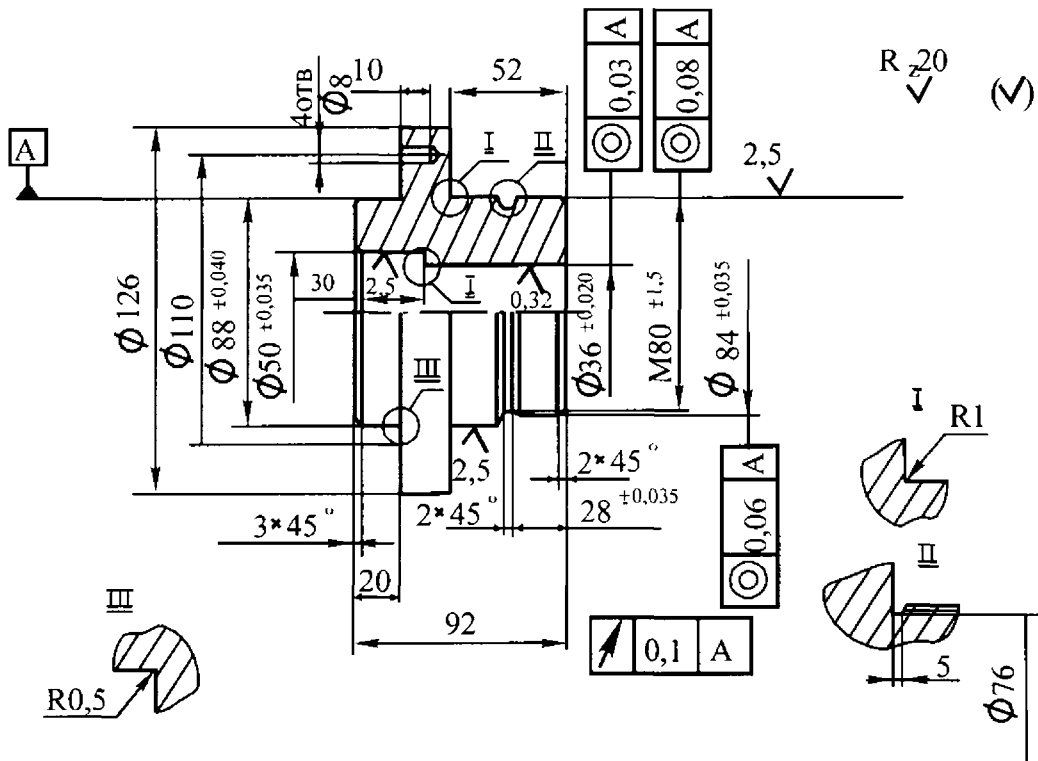


Рис.44. Креслення деталі "штулка".

(ГОСТ 1050-742); HB200±30. Для обробки цієї деталі використовують гнучкий технологічний модуль, призначений для виготовлення деталей типу тіл обертання.

Гнучкий технологічний модуль (рис. 45), який забезпечує точність за 7-8-м квалітетом та шорсткість поверхні до  $R_z=1,25$  мкм, складається з двох токарних верстатів мод. 16К20Ф3 1, 9 з пристроями ЧПУ 2, 10, промислового робота 6 з пристроєм ЧПУ 4, приймальних столів 3, 7 для розміщення на них палет із заготовками і деталями, проміжного стола 5, технологічного оснащення та загальної системи управління.

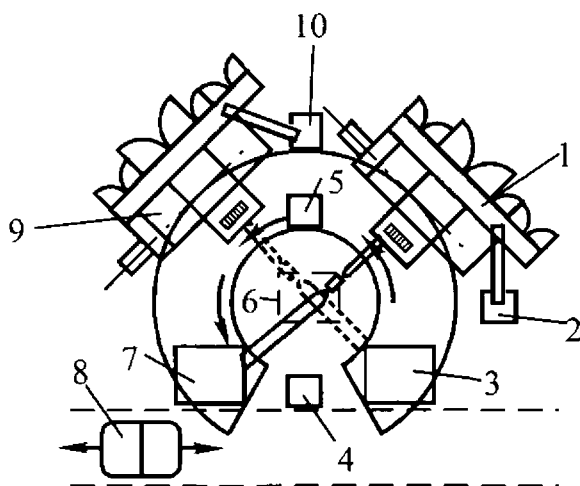


Рис.45. Гнучкий технологічний модуль.

Палети із заготовками доставляються транспортним візком 8 та перевантажуються автоматично.

Заготовка з приймального стола 3 роботом передається для обробки на верстат. Потім робот знімає оброблювану з одного боку заготовку та, повернувши її на  $180^\circ$ , завантажує у другий верстат 9. Якщо цей верстат зайнятий, то заготовка тимчасово встановлю-

ється на проміжний стіл, а робот знову завантажує верстат 1 наступною заготовкою з приймального столу 3. Оброблена з другого боку на верстаті 9 заготовка передається роботом на приймальний стіл 7.

Заготовка на верстатах затискується у трикулачкових патронах із змінним набором сирих кулачків.

Технологічний процес для виготовлення деталі "втулка" на гнучкому технологічному модулі розроблюється у такій послідовності.

Складання плану обробки. Для складання та аналізу можливих планів обробки конструктивним елементам деталі з каталогу типових технологічних модулів бібліотеки САПР-Т [23] присвоюються умовні індекси (рис. 46), Наприклад, профільній канавці для виходу різьби присвоюється індекс Е1, а різьбовій поверхні - індекс Е2.

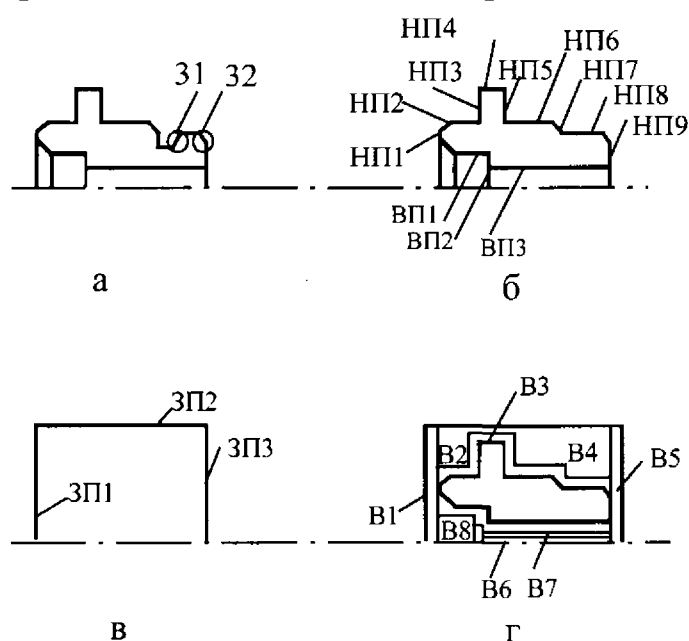


Рис.46. Ідентифікація деталі та заготовки при проектуванні.

Елементом зовнішнього контура деталі "втулка" присвоюються індекси НП1, НП2,...,НП9, а для поверхонь внутрішнього контура – ВП1, ВП2, ВП3. Контури заготовки позначаються ЗП1, ЗП2, ЗП3. Фаски, галтелі, радіуси округлень окремо не виділяються, оскільки кожна з них належить одній з елементарних поверхонь основного контура (рис. 46,б,в).

План обробки кожної поверхні визначається залежно від вимог за її точністю та шорсткістю. Рекомендується при формуванні плану обробки орієнтуватися на задану шорсткість із наступним уточненням за точністю. Наприклад, для забезпечення шорсткості  $R_z < 20$  мкм необхідно виконувати чистову обробку. Отже, в плані обробки треба передбачити чорнову та чистову обробки.

Масиви металу між поверхнею заготовки та деталі, що видаляються відповідно до плану обробки, називаються зонами вибірки та відповідно до типових циклів системи ЧПУ або програмних технологічних модулів САПР-Т позначаються В1, В2... (рис. 46,г). Наприклад, індексам В1 та В5 відповідають типові цикли обробки торців, В9 -свердління отворів, В3, В4, В7, В8 – типові цикли багатопрохід-

ного точіння.

Для уніфікованих програмних технологічних модулів вже відомі рекомендований склад інструментів та схеми видалення припуску кожним інструментом.

Для розглядуваного варіанта обробки втулки необхідно вісім інструментів: для зовнішнього і внутрішнього чорнового та чистового точіння, підрізання торців, свердління отвору, обробки канавки та різьби.

Формування маршрутного технологічного процесу та розробка складу операцій починаються з визначення можливих варіантів базування заготовки.

У табл. 19 вказані поверхні, які можуть використовуватися як установчі бази.

На першому чорновому етапі обробки базування може здійснюватися за одним із двох варіантів:

У1 (центрування заготовки за поверхнею ЗП2 з упором у торець ЗП1);

У2 (центрування заготовки за поверхнею ЗП2 з упором у торець ЗП3) (табл. 19).

Таблиця 19

У2	При У1=(ЗП2, ЗП1)				При У1=(ЗП2, ЗП3)			
	НП4	НП6	НП8	ВП3	У2	НП2	НП4	ВП1
НП5	1				НП3		9	
НП7	2	4			НП1	8	10	11
НП9	3	5	6	7				

Із аналізу наведених у табл. 19 даних виходить, що при формуванні маршруту обробки може бути одинадцять різних варіантів базування деталі.

Для скорочення об'єму обчислювальних процедур треба на початковій стадії аналізу відсіяти варіанти, які не відповідають основним принципам проектування технологічного процесу для ГВС. До них можна віднести варіанти, при яких не забезпечується потрібна точність обробки та застосовувані схеми базування не відповідають наявним пристосуванням або не мають надійного кріплення деталі, для яких використовуються маршрути, що потребують ручного підналагодження або зміни інструмента та ін. Наприклад, базування за варіантом 6, тобто центрування за поверхнею №8 з упором у торець НП8, вимагає використання для базування різьбової поверхні, що не є

прийнятним в умовах ГВС.

Базування за варіантами 1, 2, 3, 9, 10 небажана, оскільки поверхня НП4 має малу довжину (15 мм). За даними схемами базування виникатимуть значні похибки установа.

Використання для базування внутрішніх поверхонь (варіанти 7, 11) на токарних верстатах з ЧПУ застосовувати нераціонально. Переважним є базування в патроні. Таким чином, для подальшого аналізу слід розглядати три варіанти базування:

1.  $У1 = (ЗП2, ЗП1), \quad У2 = (НП6, НП9).$
2.  $У1 = (ЗП2, ЗП1), \quad У2 = (НП6, НП7).$
3.  $У1 = (ЗП2, ЗП3), \quad У2 = (НП2, НП1).$

Кращий варіант вибирається за критерієм мінімального часу циклу обробки на гнучкому технологічному модулі  $T_{ц}$ . Для цього будують циклограми роботи робота та верстатів.

На рис.47 показана схема роботи промислового робота. Після завершення обточування заготовки на токарному верстаті **A** робот переносить її за траєкторією 1-2 на проміжний стіл **D**, де вона знаходиться доти, поки не завершиться робота на верстаті **B**. В період очікування рука робота пересувається за траєкторією 3-4, щоб з приймального столу захопити знову заготовку та за траєкторією 5-6 завантажити її у верстат **A**.

Після закінчення обробки на верстаті **B** робот за траєкторією 7-8 пересувається за готовою деталлю. Захопивши деталь у позиції **B**, робот за траєкторією 9-10 пересуває її на приймальний стіл **G**. На проміжному столі **D** знаходиться деталь у стадії очікування моменту, коли звільниться верстат **B**. Робот пересувається за траєкторією 11-12, захоплює з проміжного столу деталь та пересуває її за траєкторією 13-14 для завантаження у верстат **B**. До цього часу закінчується обробка на верстаті **A** і робот знову пересувається в позицію **A** за траєкторією 15-16. На цьому цикл обробки деталі закінчується.

При формуванні плану обробки деталі в патроні верстата **A** рекомендується така послідовність операцій: центрування, свердління, підрізання торця, чорнова обробка зовнішньої поверхні, чорнова обробка внутрішньої поверхні, чистова обробка зовнішньої поверхні, чистова обробка внутрішньої поверхні і, нарешті, обробка канавки та різьби.

Наступний етап проектування технологічного процесу – відлагодження та коригування УП для верстатів з ЧПУ, вивчення промислових роботів та коригування технологічної документації.

Відлагодження УП починається з виявлення грубих помилок. Фіксуються пересування за цифровою індексацією системи ЧПУ по шкалах, які є на робочих органах верстата.

Контролюється вихід робочих органів за межі робочої зони, можливість зіткнення інструментів з елементами оснащення та перевіряється послідовність зміни інструмента.

Наступний етап - перевірка виконання УП на розрахованих режимах. Здійснюється прив'язка системи координат пристосування до системи координат ріжучого інструмента. Відбувається пробна обробка.

Промислові роботи навчаються за окремими позиціями. Особлива увага приділяється контролю точок траєкторії, в яких можливе зіткнення схоплювача з елементами верстата або пристосування.

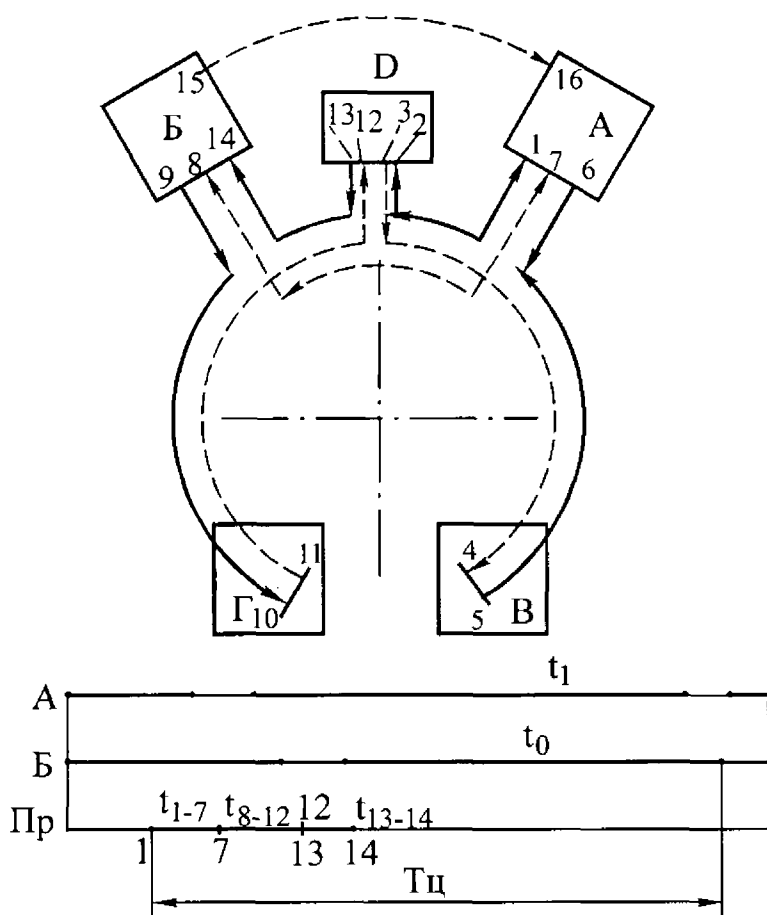


Рис.47. Схема обслуговування ГТМ промисловим роботом і циклограма роботи обладнання.

На закінчення перевіряється взаємодія всіх елементів гнучкого технологічного модуля та обробка дослідної партії деталей під наглядом оператора.

При переході до обробки нової партії деталей в ГТМ виконується підналагодження, яке полягає в зміні установчо-затискного пристосування або його налагоджувальних елементів. Здійснюється прив'язка нуля відліку системи координат пристосування до системи координат верстата; захоплювача промислового робота; ріжучих інструментів; управляючих програм для верстатів з ЧПУ, гнучкого технологічного модуля ГТМ.

Після виконання перерахованих робіт наладчик перевіряє правильність функціонування ГТМ в автоматичному режимі роботи.

#### 4.6. ВИМОГИ, ЩО СТАВЛЯТЬСЯ ДО ПРОСТАВЛЯННЯ РОЗМІРІВ НА КРЕСЛЕННЯХ ДЕТАЛЕЙ, ОБРОБЛЮВАНИХ НА ВЕРСТАТАХ, НАСТРОЮВАНИХ НА РОЗМІР

Проставляння розмірів і допусків на кресленнях деталей повинно задовольняти вимоги, що ставляться до умов експлуатації машини, та забезпечувати виготовлення деталей простими технологічними методами.

Перша умова забезпечується виявленням розмірних зв'язків на основі розмірного аналізу; друга умова - призначенням максимальних гранично допустимих допусків на операційні технологічні розміри з урахуванням раціонального вибору баз та методів обробки, які забезпечують досягнення точності замикаючої ланки. Тому проставляння розмірів і допусків на робочих кресленнях деталей, оброблюваних на ГВС, вимагає диференційного підходу.

Для проставляння розмірів і допусків на робочих кресленнях деталей існують такі правила [33].

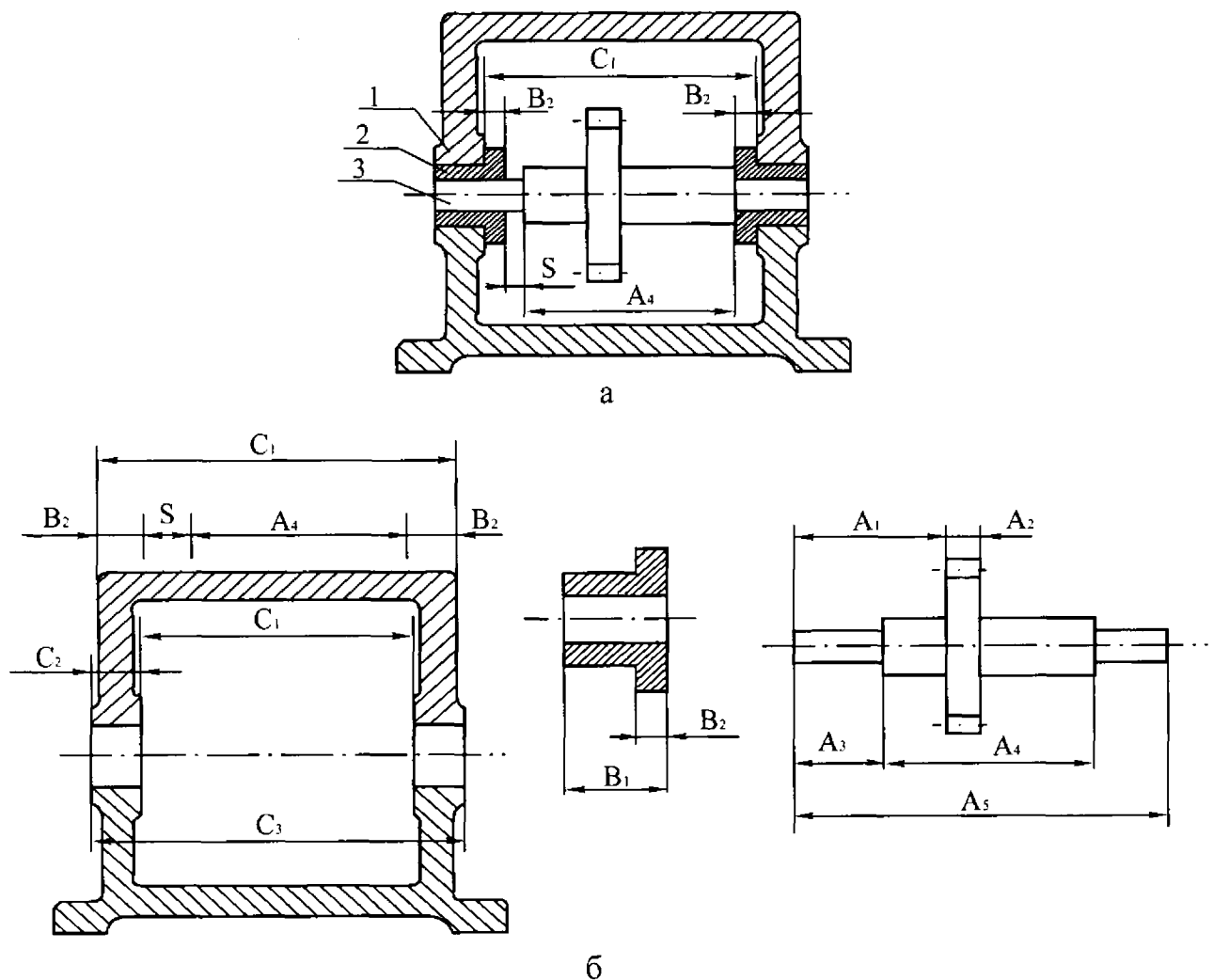


Рис.48. Розріз редуктора та креслення деталей, які входять у вузол.



**Правило 1.** На кресленні деталі повинні обов'язково проставлятися розміри, що входять до складальних розмірних ланцюгів. Решта розмірів проставляється, виходячи з умов можливості забезпечення цих розмірів при обробці.

На рис.48,а показано розріз вузла редуктора та складальний розмірний ланцюг. Нормальні умови роботи вузла залежать від зазора між торцями вала 3 і торцями втулок 2. Можна по-різному проставляти розміри на кресленнях деталей, що входять до складального розмірного ланцюга.

Складальні розмірні ланцюги повинні мати найменшу протяжність. Щоб забезпечити цю умову, на кресленні деталі вала треба обов'язково проставляти розмір між торцями  $A_4$ , на втулках обмежувати розмір буртика  $B_2$ , а на кресленні корпусу проставляти розмір між торцями  $C_1$  (рис. 48,б).

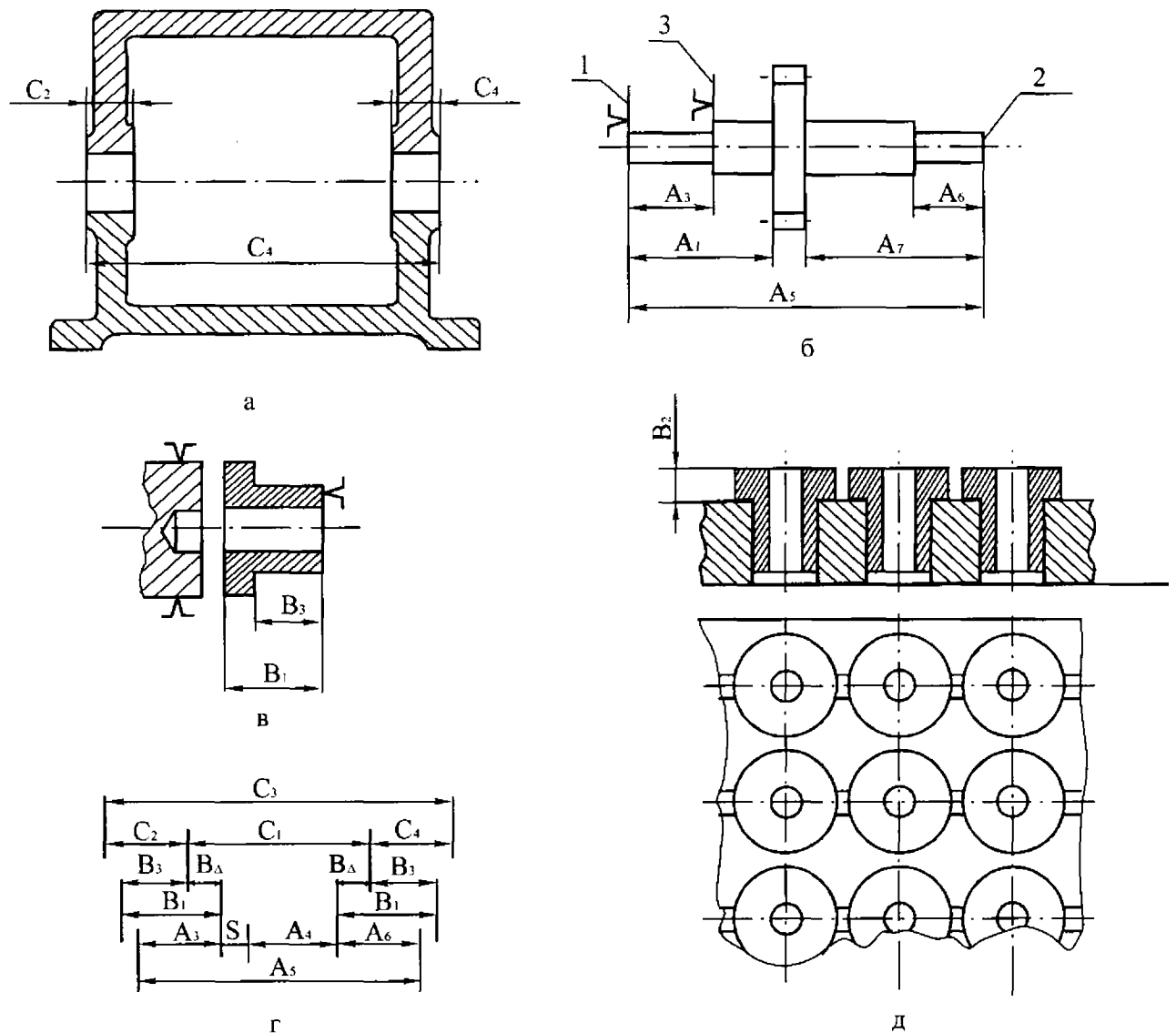


Рис.49. Креслення деталей (а-в), розмірний ланцюг (г) та налагодження на операцію плоского шліфування торців втулок (д).

При такому проставлянні розмірів допуск замикаючої ланки (зазора) визначається:

$$TS=TA_4+TC_1+TB_2+TB_2.$$

Однак слід зауважити, що таке проставляння розмірів, яке забезпечує найкоротший складальний розмірний ланцюг, не повною мірою забезпечує дотримання технологічних умов виготовлення. Наприклад, обробка вала на верстатах з ЧПУ вимагає координатного проставляння розмірів від торців 1 та 2 (рис.49, б). При обробці втулки на токарному автоматі настроювання різців відбувається відносно торця упору, який обмежує висування прутка (рис.49, в).

Втулка оброблюється в такій послідовності:

- свердління отвору;
- розвертання отвору;
- обточування зовнішнього діаметра;
- чорнове обточування посадочного діаметра втулки;
- чистове обточування посадочного діаметра;
- відрізування.

За такою схемою обробки розміри проставляються від настроювальної бази, тобто від торця малого діаметра втулки.

Розточувати отвори в корпусі та підрізувати внутрішні та зовнішні торці слід на розточних верстатах з ЧПУ, використовуючи поворотний стіл. За даною схемою обробки забезпечуються налагодженням розміри  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  (рис.49,а). Для вимірювання цих розмірів не потрібні спеціальні дорогі пристосування. З позиції технології виготовлення дані технологічні процеси, а відповідно й проставляння розмірів на кресленнях–найкращі. Однак якщо проставляння розмірів на кресленнях виконати, враховуючи тільки раціональну технологів обробки деталей, що входять в цей вузол, то при визначенні замикаючої ланки  $S$  розмірний ланцюг складатиметься не з чотирьох, а з десяти складових ланок (рис.49,г). За цих умов забезпечення точності замикаючої ланки в межах заданого допуску вимагає підвищення жорсткості допусків усіх десяти складових ланцюгів:

$$TS=TA_3+TA_5+TA_6+2TB_3+TC_2+TC_3+TC_4.$$

Підвищення жорсткості допусків на технологічні розміри при обробці деталей на верстатах, настроєних на розмір (в тому числі на верстатах з ЧПУ), різко збільшує собівартість. Зауважимо, що на автоматичних верстатах реалізувати обробку з допусками, що мають підвищену жорсткість, практично неможливо.

Для того щоб задовольнити вимоги конструктора та з мінімаль-

ними затратами виконати обробку деталей без підвищення жорсткості допусків на розміри, необхідні наступні заходи.

Втулка оброблюється на автоматі з економічно прийнятними допусками на розміри  $B_3$  та  $B_1$  (рис. 49, в), але після обробки її на токарному верстаті вводиться додаткова операція - шліфування торця (рис.49, д). Підвищувати жорсткість допуску на розмір буртика втулки  $B_2$  тут не потрібно.

Плоске шліфування торця виконують на багатомісному пристосуванні. Це плита з великою кількістю отворів, що складається з окремих рухомих елементів, скріплених двома болтами для кріплення втулок (рис. 49, д).

Для забезпечення розміру  $A_4$  на валу при обробці необхідно змінити спосіб базування. За установчу базу вибрати торець 3 і настроювання різців багаторіздевого верстата виконувати відносно цього торця. Для забезпечення розміру  $C_1$  треба ввести додаткову операцію - підрізання торців оправки з двома розсувними різцями.

Правило 2. Кожний розмір слід показувати на кресленні тільки один раз.

Правило 3. Ланцюг розмірів на кресленні не повинен бути замкненим. Замикаючий розмір визначається внаслідок виконання всіх технологічних розмірів. У цьому розмірі накопичуються похибки складових розмірів, що виникають при виготовленні деталей. Тому замикаючою ланкою вибирають менш відповідальний розмір деталі, який на кресленні деталі не проставляється, і розмірний ланцюг залишається незамкнутим.

Правило 4. Кількість розмірів повинна бути достатньою для виготовлення та контролю деталі. Для кожної деталі існує суворо визначена кількість розмірів, що визначають її повну розмірну характеристику. Можна по-різному змінювати проставляння розмірів, однак необхідна їхня кількість для конкретної деталі завжди залишається постійною. Наприклад, для стакана (рис. 50) існує дев'ять різних варіантів проставляння осьових лінійних розмірів, але число розмірів для кожного варіанта залишається постійним і дорівнює семи. На рис.50 різні варіанти проставляння розмірів позначені порядковими номерами.

Правило 5. Розміри, що визначають геометричні параметри деталей, можуть бути трьох видів: зв'язуючі дві необроблювані поверхні та оброблювану поверхню з необроблюваною і розміри обробленої деталі.

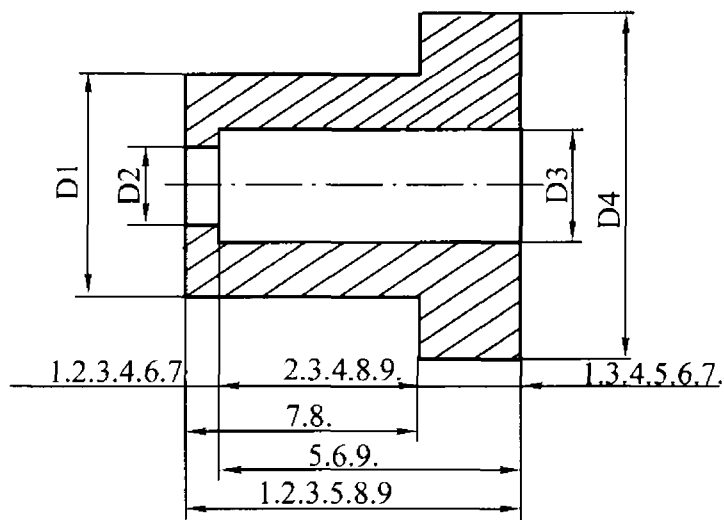


Рис.50. Креслення деталі "стакан" з різними варіантами проставляння розмірів [33].

Розміри першого виду створюють систему розмірів вихідної заготовки, другого виду- систему розмірів обробленої деталі, третього виду- координують обидві системи відносно одна одної.

Системи розмірів необроблюваних і оброблюваних поверхонь повинні бути пов'язані тільки одним розміром за кожною з координатних осей.

#### 4.7. ТЕХНОЛОГІЧНА НАДІЙНІСТЬ ГВС

Надійність виробничої системи досягається внаслідок вибору високопродуктивного обладнання та надійних систем управління. Крім того, надійність ГВС залежить від функціонування системи діагностики та від стану інформаційного забезпечення, що дозволяє швидко визначати причини відказів, їх місце та призначати шлях усунення. Для підвищення надійності роботи виробничих систем структура ГВС повинна у своєму складі мати децентралізовані системи управління, які дозволяють ГВМ автономно функціонувати протягом часу, необхідного для усунення відказів у системі управління ГВС.

Надійність технологічного процесу - це здатність системи забезпечувати виготовлення продукції за заданими умовами протягом встановленого напрацювання з потрібними показниками якості та ритму випуску. За показником якості надійність значно залежить від режимів технологічного процесу. Зниження режимів у деяких випадках сприяє збільшенню часу безвідмовної роботи, але одночасно з цим зменшується продуктивність. З підвищенням режимів технологічного процесу обробки скорочується стійкість ріжучого інструменту і як результат - зростає потік відказів та збільшується дисперсія показників якості.

Таким чином, показнику надійності відповідає оптимальний ре-

жим роботи ГВС. Надійність технологічного процесу значно залежить від інформаційного та програмного забезпечення спеціальних підсистем ГВС, що забезпечують підтримання на постійному рівні параметрів технологічного процесу. Кількісна оцінка надійності технологічних процесів пов'язана з кількістю відказів оброблювальної системи. На практиці надійність ГВС оцінюється за коефіцієнтом часу простою [30]:

$$k_n = 1 + t_{\Sigma e} / (t_{\Sigma p} + t_{\Sigma e}),$$

де  $t_{\Sigma p}$  - загальний час неперервної роботи;  $t_{\Sigma e}$  - сума часу простоїв до відновлення роботоздатності.

При проектуванні технологічних процесів вибір методів обробки, пристосування та схеми базування вирішується суб'єктивно на основі особистого досвіду технолога.

У технічній літературі наведені рекомендації щодо жорсткості пружної системи, вібростійкості та точності не відповідають конкретним характеристикам верстатів або пристроїв. Використовувані при розрахунках меж технічних обмежень залежності в ряді випадків лише приблизно відображають взаємозв'язок параметрів, оскільки вони отримані емпірично для обмеженого діапазону зміни параметрів.

Враховуючи це, технологи для забезпечення працездатності проектних рішень вводять запас міцності та назначають режими різання за найнесприятливішими умовами. Наприклад, назначають максимально можливі припуски, максимально можливу твердість матеріалу оброблюваних деталей, мінімальну стійкість ріжучих інструментів та мінімальну жорсткість технологічної системи. Ці обмеження знижують продуктивність у 2-3 рази.

Другий шлях збільшення працездатності проектних рішень вимагає уточнення вихідних даних, які використовуються при проектуванні та програмуванні, на основі результатів вхідного та вихідного контролю параметрів заготовок, деталей, інструмента, діагностики технологічного обладнання. Цей шлях можливий за умови оперативного розрахунку та корекції УП при інтеграції систем управління та проектування, а також наявності системи автоматизованого контролю. В цьому випадку можливі такі види корекції УП:

- зміна числа чорнових проходів і як висновок - глибин різання, враховуючи фактичну геометрію заготовок, тобто коливання припуску;
- зміна швидкості різання, враховуючи фактичну твердість матеріалу

заготовки;

- зміна управляємих параметрів режимів різання з урахуванням фактичного стану технологічної системи та стійкості ріжучого інструмента, отриманої експрес-контролем.

Такий підхід дозволяє скоротити на стадії проектування кількість технологічних параметрів і вести уточнений розрахунок режимів з використанням даних вхідного контролю. В результаті цього з'являється можливість адаптації УП на кожен конкретну заготовку та ріжучий інструмент.

#### **4.8. КОМПОНУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ГНУЧКИХ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ З УНІФІКОВАНИХ ВУЗЛІВ**

Гнучкі автоматичні лінії (ГАЛ) з різними структурно компоновальними схемами створюються з уніфікованих вузлів за агрегатно-модульним принципом. Кожний уніфікований вузол має певне призначення.

Агрегативання дозволяє створювати обладнання за найвигіднішим (оптимальним) варіантом технологічного процесу. Спочатку розробляється оптимальний технологічний процес обробки деталі, а потім за короткі строки компонується обладнання з готових вузлів. Такий принцип створення ГАЛ дозволяє багаторазово використати уніфіковані вузли при створенні різних її компоновань. Це забезпечує швидке перекомпонування обладнання та сприяє вдосконаленню конструкцій верстатів, оскільки в цьому випадку треба модернізувати не весь верстат, а лише вузол, який морально застарів або зносився. Наприклад, замінивши старі силові головки (вузли) агрегатних верстатів новими, більш швидкохідними та високоточними, можна на базі колишніх станин створити більш вдосконалені верстати з підвищеною продуктивністю та гнучкістю.

Агрегатно-модульний принцип створює сприятливі умови для ремонту вузлів верстатів. Вузол, що вийшов з ладу, можна швидко замінити новим, отриманим зі складу, а потім відремонтувати несправний вузол.

Агрегатні верстати та лінії мають велику надійність, оскільки уніфіковані вузли, що входять до їхнього складу, перед монтажем ретельно та всебічно перевіряються.

Уніфіковані вузли в різних компонованнях ГАЛ забезпечують

необхідну гнучкість та можливість пересування їх за різними координатами з необхідною точністю позиціонування, а також паралельну, послідовну та паралельно-послідовну концентрацію операцій на одній позиції.

Гнучкість автоматичних ліній при обробці корпусних деталей забезпечують силові головки з ЧПУ. Наприклад, до комплекту уніфікованих вузлів ГАЛ входять силові головки, які можуть пересуватися за трьома координатами ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) з управлінням від ЧПУ. Силові головки мають індивідуальні приводи подачі від електродвигуна постійного струму та пристрою, що контролюють пересування.

У ГАЛ модуль, що складається із силової головки з ЧПУ, інструментального магазину та пристрою з автоматичною зміною інструмента, є принципово новим компонованням. Модуль з контурною трикоординатною системою ЧПУ дозволяє не тільки виконувати позиціонування шпинделя при обробці отворів, а й здійснювати фрезерування за криволінійним контуром. Натискні пристрої для обробки аналогічних деталей можуть переналагоджуватися. Переналагодження пристосувань і транспортних систем ГАЛ здійснюється дуже рідко, тому автоматизувати цей процес економічно недоцільно.

Аналіз процесу обробки корпусних деталей в машинобудуванні показав, що основну частку в технологічних операціях займають свердлильні та розточні роботи (до 60-70%) загального обсягу обробки, що свідчить про необхідність автоматизації перш за все цих операцій. У серійному та крупносерійному виробництвах у ГАЛ застосовують верстати із змінними шпиндельними коробками (ЗШК).

Компонувальні рішення автоматичного агрегатного обладнання із ЗШК відрізняються великою різноманітністю, оскільки залежать від технологічного маршруту, видів і точності обробки, розмірів шпиндельних коробок, кількості типорозмірів оброблюваних деталей та ін.

Всю різноманітність компоновальних рішень автоматичного агрегатного обладнання із змінними шпиндельними коробками можна розділити на дві великі групи: в першій рух подачі здійснюється шпиндельною коробкою, а в другій - деталлю.

Комплект шпиндельних коробок для обробки всіх типорозмірів деталей розташовується на роликовому конвейєрі неперервної дії в порядку технологічного маршруту обробки. При заміні шпиндельної головки вхідний вал за допомогою спеціальної муфти автоматично вводиться в зачеплення з приводом головного руху силової головки.

При обробці отворів під різними кутами деталь встановлюють на дільно-поворотному столі. При виконанні фрезерних операцій деталь встановлюється на силовому столі.

Магазин шпindelних коробок можна поділити на чотири типи: у вигляді поворотного пристрою на поздовжньо-силовому столі, барабана, конвейера та оперативного складу.

Магазин першого типу являє собою кільцеві поворотні пристрої, змонтовані на силовому столі. Місткість таких магазинів - звичайно від 2 до 8 коробок. Поздовжньо-поворотні столи призначені для послідовного пересування шпindelних коробок у робочий стан відповідно до технологічного маршруту обробки деталей. Такі столи застосовуються як в окремих переналагоджуваних агрегатних верстатах, так і в складі ГАЛ.

Магазини другого типу - це поворотні столи або барабани з вертикальною або горизонтальною віссю обертання. В центрі поворотного стола монтується привод головного руху шпindelних коробок. На верстатах такого типу обробка деталей відбувається з різних боків. У магазинах звичайно розміщується від 4 до 12 коробок середніх розмірів (до 500x500мм). Спеціальний автооператор змінює коробку, захопивши її та перемістивши в зону обробки. Після закінчення обробки коробка повертається в попередню позицію, магазин подає (згідно з технологією) наступну коробку і процес повторюється.

Магазини третього типу являють собою роликові та ланцюгові конвейери, за якими переміщуються шпindelні коробки в послідовності, заданій технологічним маршрутом обробки.

Магазин-конвейер, розрахований на 6-12 коробок, є оперативним складом. Решта коробок розташовуються поруч з верстатом. Це місце збереження називається пасивним складом.

Магазин четвертого типу - оперативний склад, встановлений поруч з верстатом. Він має стелажі в один або кілька ярусів, розташовані або на підлозі цеху, або над верстатом на колонах. Стелажі підлогового варіанта використовують для коробок великих розмірів - 1000x1000 або 1250x1250 мм. Для зміни таких коробок застосовують автооператори, які видаляють коробку та одночасно ставлять на силовий вузол нову. Відпрацьована коробка транспортується на стелаж на своє місце. Перевага такого магазину - незалежність вибору коробок та швидкий перехід на обробку чергової деталі.

Модульний принцип у конструкціях верстатів із змінними шпindelними головками дозволяє в найкоротший строк поставити за-



мовнику потрібну модифікацію ГАЛ.

Однак зміна шпindelьних головок впливає на точність обробки деталей. Оцінити похибку обробки дуже складно. При обробці багатошпindelьною головкою одночасно діють сили різання, які неперервно змінюються за величиною та напрямом, оскільки кожний інструмент працює з різними режимами, що залежать від геометричних параметрів оброблюваних поверхонь та величин припусків, що знімаються. Крім того, заміна шпindelьної коробки на силовому вузлі викликає похибку стану центрів оброблюваних отворів відносно баз, причому в балансі точності стану основну частку займає похибка виготовлення шпindelьної коробки (до 60% балансу) і тільки 40% - похибка базування шпindelьної коробки на силовому вузлі ( $\pm 0,01$  мм) [30].

Верстати із змінними шпindelьними коробками, враховуючи обмеження відношень вильоту інструмента до діаметра оброблюваного отвору, забезпечують розточування отворів за 7-м квалітетом точності.

Точність обробки на верстатах із ЗШК можна підвищити за рахунок традиційних прийомів (зменшення биття шпindelів та збільшення їх жорсткості, встановлення більш точних підшипників та ін.), а також точнішого виготовлення базових плит під шпindelні коробки та зменшення похибок їхнього базування на силовому вузлі.

На верстатах із ЗШК рекомендується виконувати свердлильно-різьбонарізні та чорнову операції, напівчистове розточування отворів.

Чистові операції слід виконувати на обробно-розточувальних верстатах або на багатоопераційних верстатах з ЧПУ.

#### **4.9. ТРАНСПОРТНО-НАКОПИЧУВАЛЬНІ СИСТЕМИ ГВС**

Функції, які виконуються транспортно-накопичувальними системами, дуже різноманітні. Це транспортування та накопичення заготовок, виробів, попередньо настроюваних інструментів, технологічних пристосувань, усунення відходів стружки із зони обробки та ін. Традиційні рішення в транспортно-накопичувальних системах, які застосовуються в автоматичних лініях і агрегатних верстатах, є непридатними для гнучкого виробництва. Вони розраховані на застосування автоматизованого обладнання, призначеного для одного або кількох конкретних варіантів продукції.

Перехід до нового варіанта продукції практично означає його повне оновлення.

У гнучких виробничих системах обладнання легко переналагоджується при переході з одного виду виробів на інші. При зміні об'єкта обробки транспортно-накопичувальні системи доставляють до верстатів пристосування та ріжучий інструмент. Накопичувальні системи являють собою стелажі-накопичувачі з краном-штабелером і конвейєри-накопичувачі.

У стелажі-накопичувачі зберігаються заготовки для кількох змін роботи обладнання, готові деталі, змінний ріжучий інструмент та пристосування. Конвейєр-накопичувач доставляє у робочу позицію верстатів оброблювані заготовки, ріжучий інструмент та пристосу-

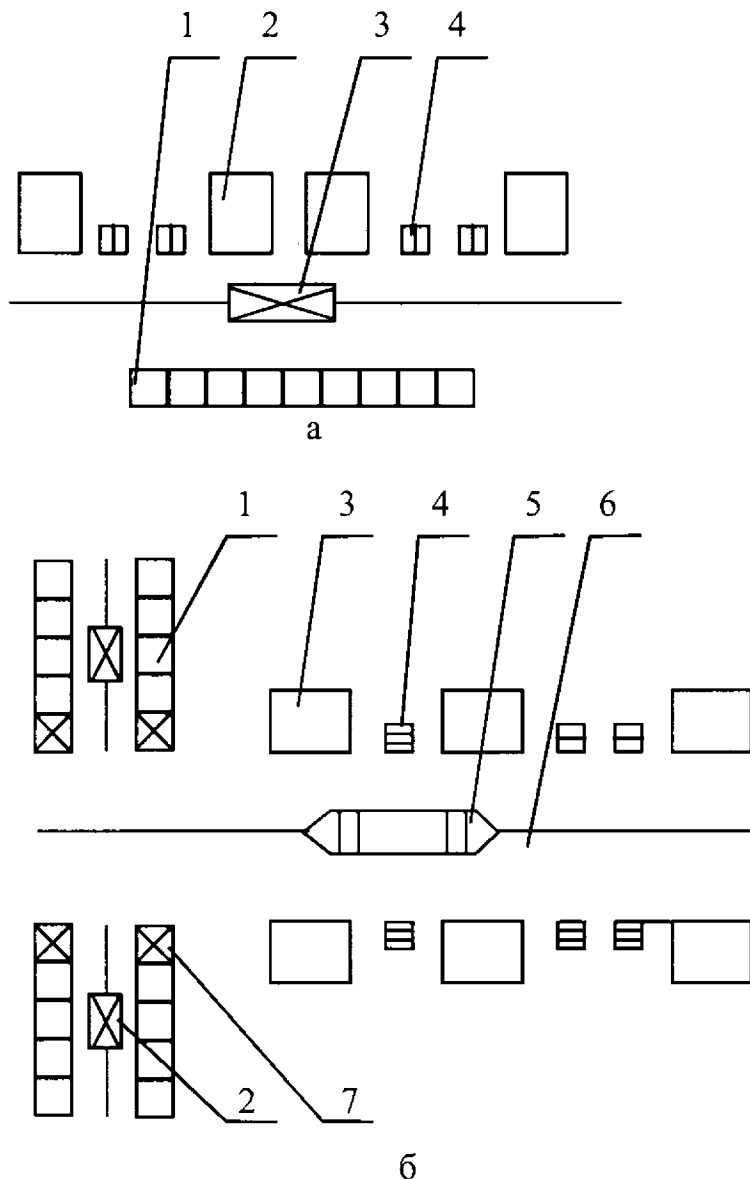


Рис.51. Сполучена (а) та розділена (б) транспортно-накопичувальні системи.

вання при зміні об'єкта виробництва, а також повертає на склад готові деталі, оброблений інструмент та пристосування. В умовах гнучкого виробництва є два види автоматизованих транспортно-накопичувальних систем: із суміщеними та поділеними транспортними і складськими підсистемами.

На рис.51,а показано суміщену транспортно-накопичувальну систему ГВС. Паралельно стелажу-накопичувачу 1 розташовані верстати з ЧПУ 2. Кран-штабелер 3 пересувається вздовж фронту верстатів і обслуговує як стелаж-накопичувач, так і верстати. За командою від системи управління

штабелер забирає з певної комірки стелажа заготовку і пересуває її в перевантажувальний стіл 4 відповідного верстата. Готові деталі штабелер забирає з перевантажувального стола і переносить до вільних комірок стелажа-накопичувача. Кран-штабелер здійснює також установлення заготовки в робочу позицію верстата для обробки та знімання її після закінчення обробки.

Схему поділеної транспортно-накопичувальної системи з чотирма стелажми-накопичувачами 1 та двома кранами-штабелерами 2 показано на рис. 5.1,б. В даній системі автоматичний транспортний візок 5, переміщуючись по рельсовому шляху 6, обслуговує шість металорізальних верстатів з ЧПУ 3. Із стелажів-складів крани-штабелери передають заготовки в тарі на перевантажувальні столи. Далі транспортний візок 5 згідно з програмою транспортує тару із заготовками з перевантажувального столу до накопичувачів 4. Завантажувальний пристрій транспортного візка забирає тару з готовими деталями і транспортує її на перевантажувальний стіл складу. Потім кран-штабелер за командою від системи управління встановлює тару з готовими деталями у вільну комірку стелажа. Залежно від регламенту роботи обладнання ГВС транспортно-завантажувальна система може здійснювати послідовне або вибіркоче обслуговування верстатів.

Схему транспортної системи із замкненим потоком показано на рис. 52. Із стелажного складу 1 краном-штабелером 2 заготовки в тарі подаються на перевантажувальний стіл 10. Візок 7 транспортує їх по трасі 8 для подачі на локальні накопичувачі 9 верстатів 5 згідно з технологічним процесом обробки деталей. Оброблені деталі транспоруються також візком по замкненій трасі на перевантажувальний стіл 3 для контролю їхніх розмірів і передачі на подальшу обробку або до комірок стелажного складу.

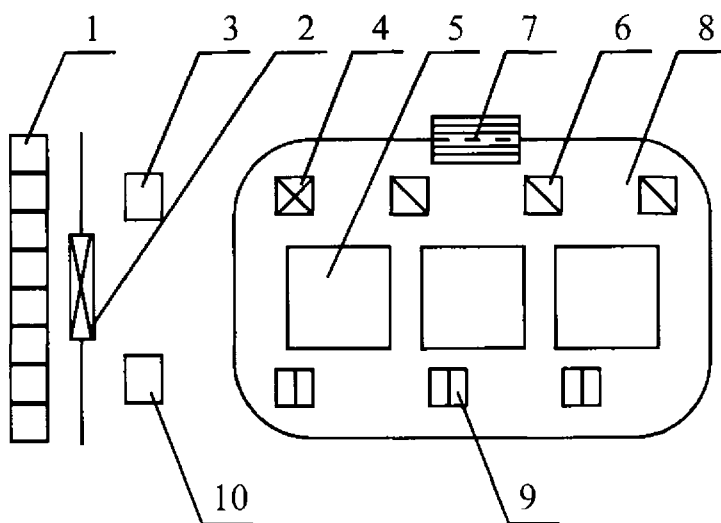


Рис.52. Схema транспортної системи із замкненим потоком [24].

Стружка збирається у контейнери 6 і візок 7 перевантажує її на майданчик 4, призначений для збирання стружки.

Налагодження ріжу-

чих елементів відбувається в спеціальних відділеннях. Інструменти, що застосовуються в багатоцільових верстатах, закріплюються в спеціальних оправках з конічним хвостовиком. Кожному виду ріжучого інструмента, який виконує певні технологічні переходи, присвоюється цифровий код. Комплекти настроєних інструментів установлюють на піддони спеціальних пристосувань і розміщують у комірці стелажа-склада ГВС.

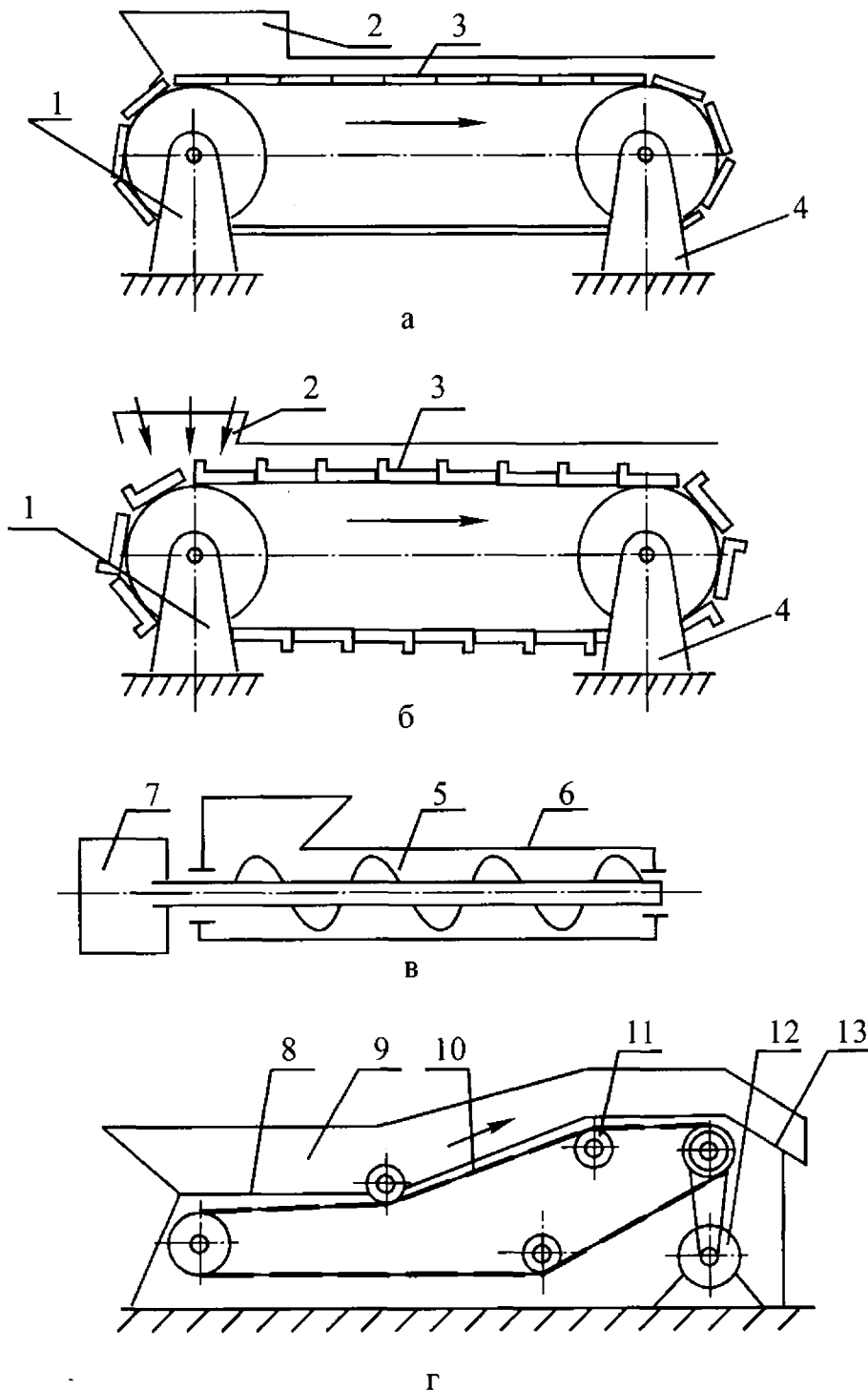


Рис.53. Конструкції стружкових конвейерів: пластинчастий(а), скребковий(б), шнековий(в), магнітний(г).

Із комірки стелажа штабелер подає інструмент на стіл видачі і далі транспортує його на верстат.

Інструмент встановлюється на шпиндель верстата за допомогою спеціальних транспортних пристосувань і керованих ЧПУ, котрі відповідно до програми забирають інструмент з касети, яка транспортує його до верстата, і за допомогою подвійного автооператора замінюють інструмент у шпинделі. Інструмент, який знаходився в шпинделі до його заміни, по-

вертається в касету на своє місце. Робочий простір інструментального магазину ізолюється від зони обробки. При заміні інструмента відкривається спеціальний щиток, який після закінчення заміни автоматично закривається.

Форма стружки значно впливає на спосіб її відведення. Наприклад, при обробці сталевих деталей утворюється зливна стружка, спосіб транспортування якої дуже утруднений. Тому при обробці деталей на багатоцільових верстатах застосовують різні способи дроблення стружки.

Стружка із зони різання видаляється за допомогою струменя СОР або струменя стисненого повітря. У ряді випадків установчу площину робочого столу, на якому закріплюється пристрій-супутник з оброблюваною деталлю, розташовують вертикально. Внаслідок цього стружка за рахунок власної ваги вільно падає у приймач струмкового конвейєра.

При обробці чавунних деталей для видалення стружки застосовують централізовану систему відсмоктувача. Деякі принципальні схеми відвантажувальних конвейєрів показані на рис. 53. Пластинчастий та скребковий конвейєри мають привод 1 та натяжну опору 4. Стружка, яка потрапляє до приймача 2, транспортується несучими елементами 3 із зони різання. Ці конвейєри застосовуються для транспортування тільки дробленої елементоподібної стружки.

Шнекові конвейєри (рис. 53,в) застосовуються для транспортування зливної та дробленої стружки. Шнек 5 є робочим органом. Він поміщений у закриті з усіх боків корито 6. Обертання гвинтоподібного шнека від привода 7 пересуває стружку вздовж корита. За конструкцією шнекові конвейєри поділяються на одно- та двогвинтові. Вони можуть відводити стружку в горизонтальному, похилому і вертикальному напрямках.

На деяких верстатах застосовують магнітний конвейєр (рис. 53, г). Він має вигляд нескінченної стрічки 8 з постійними магнітами 10. Через натяжні ролики 11 та ремінну передачу від двигуна 12 стрічка отримує рух за напрямом стрілки. Верхня вітка конвейєра розташована під приймальною воронкою 9 і нерухомою несучою поверхнею 13, виготовленою з листової нержавіючої сталі аустенітного класу.

Між магнітами, що рухаються, та поверхнею, яка несе стружку, залишається зазор з урахуванням глибини розповсюдження магнітного поля. Стружка, потрапляючи до воронки, притягується магнітами та ковзає по несучій поверхні.

Область застосування магнітних конвейєрів обмежена. Вони застосовуються тільки для феромагнітних матеріалів (сталь, чавун).

#### 4.10. АВТОМАТИЗОВАНІ СКЛАДИ

У складі ГВС автоматизовані склади виконують функції зберігання заготовок і комплектів технологічного оснащення, а також готових деталей для забезпечення складання виробів.

Автоматизовані склади залежно від типу та конструкції стелажів класифікуються на стелажні та конвейєрні. З урахуванням штабелюючих пристроїв стелажні склади поділяють на склади з блочними або клітковими стелажимами, із стелажними кранами-штабелерами та з підлоговими роботами.

Конвейєрні склади поділяють на елеваторні, прохідні (гравітаційні) та підвісні. На рис.54 показано деякі принципові схеми автоматизованих складів. Однорядний стелаж 1 (рис.54,а) обслуговується краном-штабелером 2, який залежно від програми може встановлюватися в першому або другому проході між стелажимами.

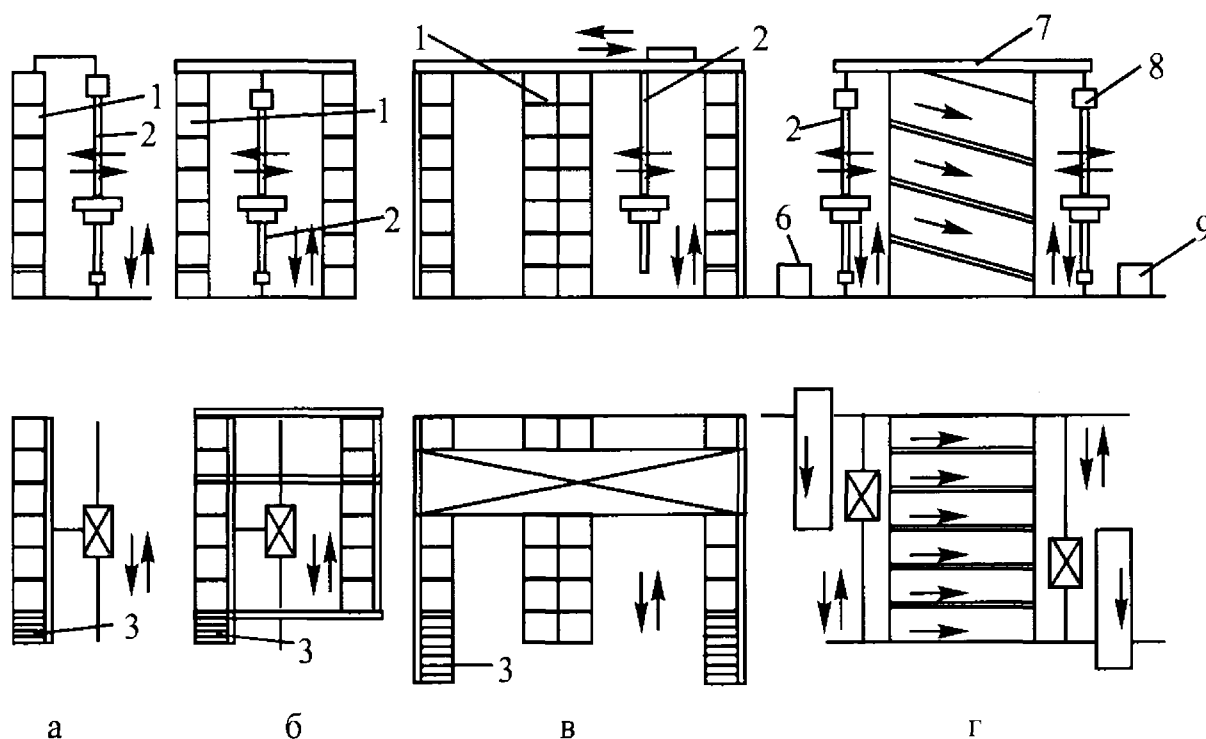


Рис.54. Принципові схеми автоматизованих складів: а - з одним однорядним стелажем; б - із двома однорядними стелажимами; в - стелажний склад, який обслуговується мостовим краном-штабелером; г - прохідний (гравітаційний) склад [24].

У стелажах передбачені перевантажувальні столи 3. Склади з одним однорядним стелажем (рис.54,а) розміщують уздовж виробничої ділянки верстатів ГВС. Склади з лінійним компонованням кількох стелажних накопичувачів та з автоматичним стелажним краном-штабелером (рис.54,б) або з мостовим краном-штабелером (рис.54,в) застосовують при лінійних компонованнях ГВС.

У випадках, коли при незначній номенклатурі вантажів необхідні порівняно великі запаси матеріалів, застосовують автоматизовані гравітаційні склади.

До такого складу (рис.54,г) входить транспортер 6 подавання вантажів на склад, кран-штабелер 2 для подавання вантажів у стелажі, кран-штабелер 8 для видачі вантажів зі стелажів складу та транспортер 9 подавання заготовок до верстатів ГВС. Потік вантажів тут іде тільки в одному напрямі - або на склад, або зі складу.

Автоматизовані склади мають стелажі для зберігання виробів, штабелюючі машини, транспортери, підйомно-видавальні пристрої. Заготовки транспортуються та зберігаються на складі в спеціальних піддонах. Штабелюючі машини завантажують піддони із заготовками у комірки накопичувачів та видають їх для обробки за командою, отриманою від ЕОМ.

Для виконання міжділянкових та міжопераційних транспортних операцій застосовують безрейкові самодіючі транспортні візки - роботокари. Вони малогабаритні, мають великий діапазон швидкостей пересування з автономним управлінням.

Роботокари - це автоматично адресовані візки з електронним управлінням, що пересуваються по підлозі. Маршрут руху візка визначається трасою електричного кабелю, прокладеного в підлозі на глибині 2 см. Змінний струм, який проходить по кабелю, збуджує магнітне поле, що сприймається котушкою, встановленою на роботокарі, далі цей сигнал перетворюється наступною системою для управління напрямом руху роботокари. Встановлені в ґрунті та на карі датчики здійснюють взаємний обмін інформацією між карами та ЕОМ. Швидкість пересування електрокари по трасі з вантажем 1500 кг складає 0,75 м/с [24].

Деталі встановлюються звичайно на супутнику. Супутники мають спеціальні поверхні для базування та кріплення, погоджені з відповідними елементами транспортно-завантажувальної системи. Базування супутника відбувається по двох упорах, розташованих на взаємно перпендикулярних площинах.

Кодові гребінки мають номери супутників. Залежно від того, яка деталь встановлюється на супутник, автоматично викликається відповідна програма обробки.

### **Запитання для самостійного контролю**

1. Сформулювати основні принципи побудови технологічних процесів в умовах ГВС.
2. Сформулювати принципи типізації технологічних процесів у багатономенклатурному виробництві.
3. Сформулювати вимоги, які ставляться до вказання розмірів на кресленнях.
4. Сформулювати критерії надійності ГВС.
5. Сформулювати принципи компонування гнучких автоматичних ліній.
6. Основні складові елементи ГВС.
7. Класифікація ГВС за видом технологічних переділів та за структурою виконання операцій.



## **ГЛАВА 5**

### **ЗАДАЧІ ТА МЕТОДИ СИНТЕЗУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ**

В існуючих технологічних автоматизованих системах (ТАС) алгоритми і програми синтезу займають незначну частку порівняно з алгоритмами та програмами розрахунку, аналізом і оптимізацією схем. Пояснюється це в основному двома причинами: труднощами формалізації методів синтезу, у більшості випадків заснованих на евристичних прийомах, застосовуваних лише для конкретних окремих випадків синтезу, та величезними обчислювальними затратами, необхідними для успішного розв'язування задач синтезу. Однак останнім часом внаслідок успішної розробки ефективних алгоритмів оптимізації, які значно скорочують затрати на пошук, та розширення взаємодії розробників з ЕОМ з'явилася можливість автоматизації деякого класу задач синтезу, що привело до розробки методів синтезу ТАС.

#### **5.1. ЗАДАЧІ СТРУКТУРНОГО ТА ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ**

Задачі синтезу розв'язуються звичайно у два етапи: перший спрямований на створення структури проєктованого об'єкта і називається структурним синтезом, другий - на пошук параметрів спроектованої структури, за якими об'єкт функціонуватиме при дії всіх дестабілізуючих факторів, і називається параметричним синтезом.

Структурний аналіз незрівнянно складніший від параметричного, він займає в загальному процесі проєктування об'єктів різного роду особливе місце та виконується в першу чергу.

Структурний синтез складається з трьох основних етапів: генерації або пошуку варіанта структури, оцінювання згенерованого або знайденого варіанта та прийняття рішення про його придатність або непридатність, а також про продовження або припинення дальшого пошуку варіантів.

Діяльність людини на етапі структурного синтезу має творчий характер, отримувані рішення в багатьох випадках розглядаються як винаходи. Пояснюється це надзвичайною різноманітністю структур як таких, достатньо невизначеним об'ємом врахованих вихідних даних і факторів, великим об'ємом евристики.

Відмітною рисою структурного аналізу синтезу є дискретний характер, тому дискретна оптимізація є змістом будь-якого структурного синтезу. Значний розвиток методів дискретної оптимізації вселяє надію на успішне застосування методів автоматизації для задач структурного синтезу.

Мета параметричного синтезу - визначити область працездатності в просторі внутрішніх і вихідних параметрів, у якій об'єкт правильно функціонуватиме протягом необхідного строку за наявності дестабілізуючих факторів. Параметричний синтез, таким чином, дає можливість уточнити і остаточно сформулювати технічне завдання на об'єкт, яке до цього носило ескізний характер.

Пошук же оптимальних параметрів знайденої структури в даній області працездатності з формалізованими критеріями оптимальності та обмеженнями є задачею вже наступного етапу проектування - параметричної оптимізації.

Для розв'язання задач структурного синтезу необхідно:

1. Формалізувати структурний бізнес, тобто визначити різноманітність типових структурних елементів, на конкретному наборі яких може бути визначена проектована структура. Наприклад, структурним базисом найпростіших автоматичних ліній для обробки корпусних деталей є агрегатні верстати, а для ГВС - багатоопераційні верстати і транспортні роботи тощо. Опис елементів структурного базису представляє моделі елементів, використовувані для формування математичної синтезованої структури.
2. Формалізувати структурні зв'язки, тобто визначити обмеження на можливості з'єднань елементів структурного базису в синтезованій структурі. Результат формалізації зображується у вигляді орієнтованого графа, ребра якого являють собою дозволені з'єднання або матриці допустимих зв'язків, або списків парних сполучень.
3. Формалізувати структурну або цільову функцію. Структурні функції як свої змінні, крім структурних елементів, можуть мати цілу систему функцій – обмежень, пов'язаних із складністю структури або затратами на її функціонування, які можуть бути в складній нелінійній залежності від структури, що значно утруднює формалізацію даного етапу. Якщо звичайні цільові функції при схемотехнічному проектуванні формалізуються за допомогою узагальнених критеріїв оптимальності, то структурні функції можна описати за допомогою деякого числення (алгебри), заснова-

ного на певному алфавіті. Використовуючи операції над словами даного алфавіту, отримаємо в явному вигляді залежність функції від структури.

4. Формалізувати вихідне завдання на структуру. Цей процес істотно залежить від проведення трьох попередніх етапів формалізації, а також від використовуваного методу синтезу. Чим досконаліший метод синтезу, тим меншим буде об'єм попередньої розробки вихідного завдання.

За рівнем складності всі задачі структурно-дискретного синтезу можна поділити на кілька груп.

До першої групи відносять найпростіші задачі, в яких вибір структури або однозначний, або виробляється з кінцевої множини варіантів, які піддаються повному перегляду та порівнянню за прийнятний час. Повний перелік варіантів структури в даному випадку задається в інформаційному забезпеченні ТАС і ГВС у вигляді каталогів типових варіантів, наприклад, перелік типових ТС, використовуваних у підсистемі проектування для синтезу будь-якого ТАС.

До другої групи відносять задачі, для яких неможливим є пряме перебирання варіантів. Синтез таких задач вимагає зниження рівня складності ще на стадії формування вихідних даних. Це тягне за собою виключення можливості отримання принципово нового варіанта структури.

Припустимим, є застосування методів спрямованого перебору. Прикладом задач другої групи складності служить задача компоновання  $m$  елементів на  $n$  конструктивних блоків ГВС. Тут типове значення  $m$  - десятки та сотні елементів, а  $n$  - одиниці та десятки, причому елементи можуть мати різні типи та розміри, а розподіл може мати нерівномірний характер.

І, нарешті, до третьої групи складності відносять задачі, засновані на застосуванні теорії евристичних рішень, яка використовується у випадках, коли вихідної інформації недостатньо для точного рішення. Такі методи погано піддаються формалізації, а тому поки що не знайшли широкого практичного застосування в синтезі ТАС та ГВС. Тому для розв'язання задач третьої групи необхідна активна участь розробника в процесі проектування, яка реалізується в діалоговому режимі обміну інформацією між людиною та ЕОМ. Прикладом задачі третьої групи складності є проектування функціональної схеми ГВС з найобширнішим переліком використовуваних елементів. При цьому з'являється безліч варіантів пристрою, які різняться між собою кількі-

стю елементів та їх структурними зв'язками один з одним.

Для полегшення синтезу задач третьої групи складності намагаються формалізувати використовувані у процесі творчості евристичні прийоми, які можуть бути покладені в основу каталогу творчих прийомів для подальшого їх застосування в ТАС і ГВС. Це прийоми поділу об'єкта на деякі частини, суміщення в одне ціле окремих елементів об'єкта, перенесення розв'язку з іншої області техніки, спрощення елементів або з'єднання їх один з одним, змінення умов роботи та навколишнього середовища, прийоми кількісних змін тощо.

Крім зниження рівня складності задачі при структурному синтезі та зменшення числа розглядуваних варіантів за рахунок цілеспрямованого перебирання, ще одним із підходів до розв'язання задач синтезу є використання спрощених математичних моделей об'єктів, які дозволяють прискорити аналіз об'єкта на етапі розглядуваного варіанта структурного синтезу.

Для строгого розв'язування задачі структурного дискретного синтезу необхідний повний перебір всіх варіантів проекрованої структури, однак це можливо лише для задач, що належать до першої групи складності. Для більш складних задач треба скоротити кількість спроб при перебиранні, що здійснюється завдяки ієрархічному підходу до дискретного синтезу. Ієрархічний підхід полягає в поділі всього складного процесу синтезу на кілька рівнів, на кожному з яких синтезується певний ранг складної системи. Наприклад, при синтезі ГВС на I рівні синтезується структурна схема, на II рівні - функціональні зв'язки між структурними блоками, на III рівні - функціональна схема та конструкції блоків, на IV рівні - найдрібніші функціональні та конструктивні одиниці - елементи.

Найефективнішим методом, що застосовується при розв'язанні задач дискретного структурного синтезу, є метод віток і границь, який органічно пристосований для розв'язування задач ієрархічного виду. Другим розповсюдженим підходом до розв'язування задач структурного дискретного синтезу є послідовні еволюційні алгоритми, засновані на поступовому послідовному нарощуванні структури від першого основного елемента додаванням нових елементів. Послідовні методи належать до класу евристичних, вимагають активної участі людини (звичайно у формі діалогового режиму спілкування з ЕОМ), як правило, не приводять до оптимальної структури, зате більш економічні, оскільки не вимагають багатократного прорахунку багатьох варіантів структури.

Прикладами задач, розв'язуваних у процесі проектування за допомогою послідовних алгоритмів, є задачі трасування промислового робота, розміщення обладнання та компоновання всіх елементів ГВС або автоматичних ліній (АЛ).

Параметричний синтез об'єктів з неперервно змінюваними параметрами базується на методах, які є основою також для параметричної оптимізації. Основна відмінність цих двох процесів проектування полягає в тому, що в процесі параметричного синтезу об'єкт є ще погано вивченим, нема достовірної інформації про вид цільової функції, її диференційованості, наявності та вид обмежень на внутрішні і вихідні параметри, характер взаємозв'язків між параметрами. Всі ці причини значно утруднюють вибір ефективного методу оптимізації та підбір правильних параметрів цього методу, наприклад, початкової точки та початкового кроку пошуку. Внаслідок цього для параметричного неперервного синтезу найбільш придатними є методи випадкового пошуку, а серед детермінованих - методи нульового порядку, що не вимагають обчислення похідних цільової функції, є найменш критичними до вибору параметрів та дозволяють досить ефективно знаходити якщо не оптимальні, то досить прийнятні рішення з реальними затратами.

У цьому випадку, коли не всі елементи проектного об'єкта характеризуються неперервними параметрами, застосування неперервних методів оптимізації для параметричного синтезу стає неможливим. Як уже зазначалося, при проектуванні ТАС та ГВС часто треба враховувати дискретні шкали дозволених номіналів, наприклад, для агрегатних або багатоопераційних верстатів, транспортерів, роботів, у яких набір геометричних розмірів активних елементів значно відрізняється, тощо. Задачі параметричного синтезу такого роду вирішуються методами дискретного математичного програмування.

Якщо частина параметрів об'єкта є неперервною, а частина носить дискретний характер, то задача параметричного синтезу вирішується методами частково дискретного програмування. Задачі дискретного структурного параметричного синтезу є незмірно складнішими від задач математичного програмування, внаслідок чого задачі дискретного синтезу вимагають для свого розв'язання більш складних програм, заснованих на евристичних методах, значних обчислювальних затрат та важче піддаються формалізації.

Системне ж проектування технологічних автоматизованих комплексів (ТАК) являє собою структурування та моделювання етапів

проектування технологічних процесів і реалізуючих їх технічних засобів, включаючи систему автоматичного управління.

Структурному моделюванню піддаються технологічний об'єкт, набори технологічних операцій, маршрутів технологічного процесу, типи і характеристики технологічних і транспортних засобів. Всі ці моделі генерують альтернативні варіанти технічних рішень і дозволяють виконати оптимальний відбір технічних засобів, необхідних для здійснення технічної задачі. Подальшою системною задачею є реалізація алгоритму функціонування та компонування технічних засобів з метою отримання заданої продуктивності на визначеному раніше наборі технологічного і транспортного обладнання.

Наступний етап системного проектування складається з розробки оптимальної структурної схеми технічної системи, а багатоваріантний її аналіз отримуваних рішень дозволяє враховувати надійність проектного варіанта.

Реалізація алгоритму моделювання етапів системного проектування виконується на основі технологічного знання, дозволяє отримати оптимальне технічне рішення за кількома критеріями, що регламентують якість та ефективність спроектованого технологічного автоматизованого комплексу.

## 5.2. КОНСТРУКТИВНИЙ ОБ'ЄКТ

Конструктивний об'єкт - матеріальне тіло, яке для зручності будемо зображувати набором елементів. Найпростіший конструктивний об'єкт (КО) має набір, складений з одного елемента, наприклад,  $\langle a_{i1} \rangle$ . Для позначення елементів КО прийнято буквене позначення з двома індексами: перший визначає стан, а другий означає власне конструктивний елемент. Складний КО має кілька елементів, наприклад:

$$a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in} = |a_{ij}|, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Можна фіксувати набір елементів КО, який визначає його остаточний стан. Звичайно такий стан задається конструктором, тоді перший індекс повинен вказувати число (відоме технологю), яке відповідає досягнутій, часто необхідній остаточній властивості КО:

$$a_{m1}, a_{m2}, \dots, a_{mn} = |a_{ij}|, \quad i = m; \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Більш наочне зображення об'єктів отримується, якщо незалежні елементи позначати різними буквами латинського алфавіту:  $a_{i1} = a_i$ ,  $a_{i2} = b_i, a_{i3} = c_i$  тощо.

Окрім збільшення наочності це зменшує число індексів при позначенні, оскільки залишається тільки індекс, який характеризує властивість елементів об'єкта після останньої операції.

Розглянемо кілька прикладів зображення КО у вигляді набору елементів.

Приклад 1. Деталь "кришка" складена з двох елементів:  $a_i$  - верхньої поверхні, що має отвори і бобишки (виточки, фаски), та  $b_i$  - нижньої поверхні. Іноді деталь цього виду виконують штампуванням з листа. У цьому випадку її елементами (вони не підлягають обробці) є отвори  $a_i$  та контур  $b_i$ .

Приклад 2. Деталь "вал" можна позначити двома елементами:  $a_i, b_i$  - різні його кінці, а можна й трьома елементами:  $a_i, b_i$  - різні кінці,  $c_i$  - середня частина (шийка). Перший варіант є переважним для позначки коротких валів, а другий - для валів, у яких за будь-яких причин необхідно виділити середню частину, наприклад, через наявність на ній шліців або за будь-яких причин, обумовлених технічними умовами.

Приклад 3. Деталь "шестірня" позначають трьома елементами (частіше всього, враховуючи зручність обробки) і обов'язково виділяють зубчасті елементи деталі. Тут  $a_i$  - правий торець і отвір,  $b_i$  - лівий торець і зовнішня поверхня,  $c_i$  - зубчаста поверхня.

Приклад 4. Деталь "корпус" можна позначити за бічними стінками, тобто за поверхнями, в яких розташовані отвори. Найзручніше зображувати корпусну деталь кубом з необхідним набором елементів:  $a_i, b_i, c_i$  тощо.

Наведене позначення елементів КО опирається на емпіричне правило: розмітку елементів КО слід починати:

- а) з базових поверхонь;
- б) з поверхонь, володіючих найменшою конструктивною складністю;
- в) з поверхонь, які мають менше значення  $i$ , тобто стан, який підлягає найменшим змінам.

Доцільно виділяти окремо специфічні елементи КО; дрібні деталі елементів (фаски, канавки, галтелі) входять до основних елементів КО.

### 5.3. КОНСТРУКТИВНІ ОБ'ЄКТИ В ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ

Конструктивні об'єкти автоматизованого виробництва є набором деталей, для обробки яких проектується або використовується технологічна система (ТС). Головна особливість цього набору - належність деталей до різних номенклатур одного класу. Склад набору можна організувати за так званим предметним або за груповим принципом. Якщо набір КО відповідає предметній організації, то він складається тільки з набору деталей, на які власне спроектована ТС. Наприклад, деталі кількох номенклатур повинні оброблюватися в ТС:  $\langle a_i \rangle, \langle b_i \rangle, \langle c_i \rangle$ . Це і є повним набором об'єктів даного ГАВ. Інша справа – реалізація групового принципу. Якщо ТС передбачає обробку деталей  $\langle a \rangle, \langle b \rangle, \langle c \rangle, \langle d \rangle$ , то, дотримуючись принципу “групової” обробки С.П.Митрофанова, необхідно створити так звану комплексну деталь  $\langle abcd \rangle$  і за цим КО здійснювати проектування, розробляти систему та налагодження і організувати експлуатацію. Налагодження на комплексну деталь в ряді випадків показує, що ТС може обробляти деталі, не передбачені в початковому переліку деталей групи. Це підтверджується декомпозицією комплексної деталі:

$$\begin{aligned} & \langle a \rangle, \langle b \rangle, \langle c \rangle, \langle d \rangle \\ & \langle ab \rangle, \langle ac \rangle, \langle ad \rangle, \langle bc \rangle, \langle bd \rangle, \langle cd \rangle \\ & \langle abc \rangle, \langle abd \rangle, \langle acd \rangle, \langle bcd \rangle \\ & \langle abcd \rangle \end{aligned} \tag{23}$$

Таким чином, організована ТС може обробляти більшу кількість нових КО. Їх загальне число можна визначити так:

$$N_{(j)} = 2^j - 1, \tag{24}$$

де  $j$  - число вихідних КО або оригінальних поверхонь, які створюють комплексну деталь.

Для даного прикладу при  $j=4$ :  $N_{(4)} = 2^4 - 1 = 15$ .

### 5.4. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ОБ'ЄКТ

Конструктивний об'єкт, що знаходиться в ТС, де набуває свої задані властивості, буде називатися технологічним об'єктом (ТО). Початковий набір властивостей елементів ТО визначає властивості вихідного стану заготовки:



$$a_{01}, a_{02}, \dots, a_{0n} = |a_{ij}|, \quad i = 0, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Досвід технологів підказує процедуру, яка переводить ТО з початковими властивостями елементів у ТО з кінцевими. Така процедура називається операцією обробки. Згадувана процедура - операція являє собою дію технічного засобу (знаряддя праці, засобу виробництва, інструмента) на технологічний об'єкт. Технологічна операція (ТОП) може бути зображена у найпростішому:

$$A_{11} : a_{01} \rightarrow a_{11}$$

або в загальному вигляді:

$$A_{ij} : a_{i-1} \rightarrow a_{ij}.$$

Після кожного етапу обробки формується новий набір властивостей елементів ТО. Набір властивостей ТО можна зобразити як матрицю:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{vmatrix} = |a_{ij}|, \quad (25)$$

$$i=1, 2, \dots, m;$$

$$j=1, 2, \dots, n,$$

де  $i$  - етапи обробки;  $j$  - елементи ТО.

Приклад. Множина "властивостей елементів" - ( $i \times j = 3 \times 3$ ) для технологічного об'єкта, в якому  $j = a, b, c$  зображується таблицею (матрицею):

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}.$$

У рядках цієї матриці записують незалежні властивості елементів ТО, а у стовпцях - залежні. Наприклад, властивості  $b$  не залежать від  $a$ , а властивості  $a_2$  залежать від  $a_1$ . Тому матриця властивостей елементів ТО має таку особливість: переставлення рядків заборонено, а стовпців - можливе. Така модель описує як "комплексну деталь" - найбільш складний технологічний об'єкт, до складу якого входить решта, так і всю технологічну групу ТО. Загальна кількість ТО є ні що інше, як "міцність" множини ТО, побудованою за наведеною вище схемою та визначаємої за формулою

$$N_{(ij)} = (i+1)^j - 1, \quad (26)$$

де  $i$  - число залежних властивостей - елементів;  $j$  - число незалежних властивостей - елементів ТО.

Тут  $N_{(ij)}$  визначає число номенклатур, розраховане за принципом "деталь-операція", оскільки деталь має елементи, які змінюють свої властивості при виконанні відповідних операцій, існуючих на наборі елементів ( $i \times j$ ).

Приклад. Нехай технологічні об'єкти ГАВ створюють упорядкований набір

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & a_2 \end{vmatrix}.$$

Визначити загальне число ТО і, перерахувавши їх, вказати їх склад. За формулою (26) знаходимо загальне число номенклатур:

$$N_{(ij)} = (i+1)^j - 1 = (2+1)^2 - 1 = 8.$$

Перерахуємо їх:

$$\langle a_1 \rangle, \langle b_1 \rangle, \langle a_1 b_1 \rangle, \langle a_1 a_2 \rangle, \langle b_1 b_2 \rangle, \langle a_1 a_2 b_1 \rangle, \langle a_1 b_1 b_2 \rangle, \langle a_1 a_2 b_1 b_2 \rangle.$$

Звернемо увагу на їхній склад: ТО з одним елементом - 2; з двома - 3; з трьома - 2; з чотирма - 1.

Набір властивостей ТО може визначатися неповною матрицею, наприклад, такого виду:

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ 0 & b_2 & c_2 \\ 0 & 0 & c_3 \end{vmatrix}.$$

Для знаходження складу серії ТО, що розрізняються властивостями та елементами, використаємо загальну формулу:

$$N_{(i,j,0)} = (i_a + 1) \cdot (i_b + 1) \cdot (i_c + 1) - 1. \quad (27)$$

В даному прикладі  $i_a = 1$ ,  $i_b = 2$ ,  $i_c = 3$ ; таким чином,

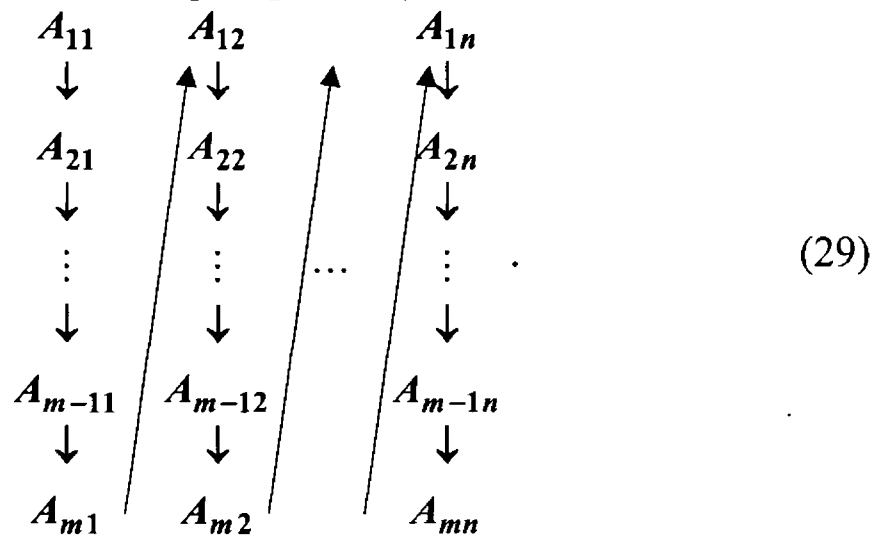
$$N_{(i,j,0)} = (1+1)(2+1)(3+1) - 1 = 2 \times 3 \times 4 - 1 = 23.$$

Перерахуємо ці ТО:

$$\begin{aligned} & \langle a_1 \rangle, \langle b_1 \rangle, \langle c_1 \rangle \\ & \langle a_1 b_1 \rangle, \langle a_1 c_1 \rangle, \langle b_1 c_1 \rangle, \langle b_1 b_2 \rangle, \langle c_1 c_2 \rangle \\ & \langle a_1 b_1 c_1 \rangle, \langle a_1 b_1 b_2 \rangle, \langle a_1 c_1 c_2 \rangle, \langle b_1 c_1 c_2 \rangle, \langle b_1 b_2 c_1 \rangle, \langle c_1 c_2 c_3 \rangle \\ & \langle a_1 b_1 c_1 c_2 \rangle, \langle b_1 c_1 c_2 c_3 \rangle, \langle a_1 c_1 c_2 c_3 \rangle, \langle a_1 b_1 b_2 c_1 \rangle, \langle b_1 b_2 c_1 c_2 \rangle \\ & \langle b_1 b_2 c_1 c_2 c_3 \rangle, \langle a_1 b_1 b_2 c_1 c_2 \rangle, \langle a_1 b_1 c_1 c_2 c_3 \rangle \\ & \langle a_1 b_1 b_2 c_1 c_2 c_3 \rangle. \end{aligned}$$



останнього, потім перехід до оператора наступного стовпця:



Упорядкований набір технологічних операцій часто називають технологічним маршрутом (ТМ). Він дозволяє змістовно розглянути технологічний процес на макрорівні.

Перший варіант маршруту передбачає однократну ( $i = 1$ ) зміну властивостей елементів: послідовно  $j = 1, 2, \dots, n$ ; другий варіант передбачає багатократну (дію) зміну ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) властивостей одного елемента ( $j = 1$ ), потім другого ( $j = 2$ ) тощо.

Практично  $[A_{1j}]$  є чорновими операціями,  $[A_{2j}]$  – напівчистовими,  $[A_{3j}]$  – чистовими тощо. Тому перший варіант передбачає спочатку чорнове відроблення над усіма поверхнями, потім напівчистові та чистові. Другий варіант передбачає повне оброблення (чорнове, напівчистове та чистове) кожного елемента (поверхні).

## 5.6. ЗАКОНИ ТЕХНОЛОГІЇ

Зважаючи на особливості реалізації технологічних процесів, можна вказати на існування двох основних законів технології:

1-й закон - про незалежність операцій, які реалізують вплив на різнойменні елементи ТО.

Незалежні операції можуть мінятися місцями:

$$[A_{i,j}] \rightarrow [A_{i,j+1}] = [A_{i,j+1}] \rightarrow [A_{i,j}];$$

2-й закон - про залежність операцій, які реалізують вплив на однойменні елементи ТО.

Залежні операції не можна міняти місцями:

$$[A_{i,j}] \rightarrow [A_{i+1,j}] \neq [A_{i+1,j}] \rightarrow [A_{i,j}].$$

Для більш наочного зображення технологічних об'єктів позна-

чимо їх різними буквами латинського алфавіту:  $a_{i1} = a_i$ ;  $a_{i2} = b_i$ ;  $a_{i3} = c_i$  тощо. Таке зображення зменшує число індексів при позначенні. Числові індекси тут характеризують властивості елемента об'єкта після останньої операції. При позначенні операцій у вигляді  $A_{i1} = A_i$ ;  $A_{i2} = B_i$ ;  $A_{i3} = C_i$  тощо перший закон набуває виду:

$$A_i \rightarrow B_i = B_i \rightarrow A_i,$$

а другий закон можна записати так:

$$A_i \rightarrow A_{i+1} \neq A_{i+1} \rightarrow A_i.$$

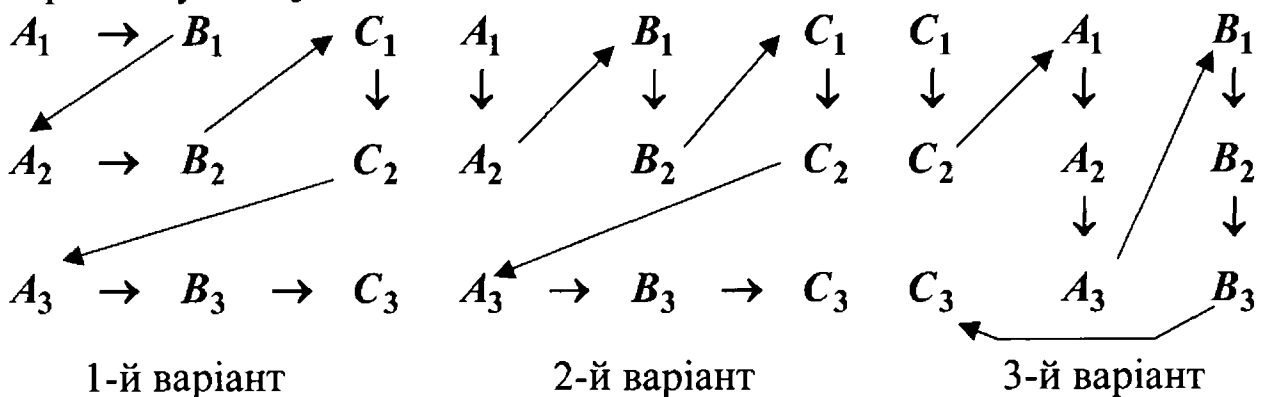
Оператори, записувані однаковою буквою, називаються однойменними, різними буквами – різнойменними. Наприклад,  $A_1, A_2, A_3$  – однойменні оператори,  $A, B, C$  – різнойменні.

При розробці технології звичайно число операцій практично не перевищує чотирьох: чорнові, напівчистові, чистові, дуже чисті (останні зустрічаються в надзвичайних ситуаціях), тому при розробці маршрутів використовують букви з числовим індексом  $i = 3$ .

## 5.7. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МАРШРУТ

Набір елементів ТО звичайно визначає тільки склад набору операцій, але не маршрут, за яким розвертається можливий, допустимий або раціональний процес. На характер маршруту та його вибір впливає ряд факторів: серійність виробництва, наявність того чи іншого виду обладнання тощо. Розглянемо деякі випадки формування маршрутів при обробці шестерні.

Перший варіант характерний для традиційного масового виробництва: груба обробка в патроні торця та отвору  $A_1$ , потім з другого боку також чорнова  $B_1$ , далі повторення напівчистових операцій  $A_2, B_2$ , після їх виконання обробка зубчастого вінця  $C_1$ , термообробка зубів  $C_2$ , шліфування отвору і торця  $A_3$ , обробка торця  $B_3$  та остаточно обробка зубів  $C_3$ .



Другий варіант є типовим для серійного виробництва, в якому застосовуються револьверні верстати, тому можливе виконання чорнових та напівчистих обробок одна за одною, потім виконуються операції зубоутворення та обробні (чистові) операції.

Звернемо увагу на формальну особливість цих двох маршрутів. Початок - операція  $A_1$ , закінчення - операція  $C_3$ . Це типовий перехід із "північно-західного" кута до "південно-східного".

Всі розглянуті приклади не вичерпують можливі варіанти. Число можливих варіантів, які можна скласти, розраховують таким чином:

$$M = \frac{(ij - 2)!}{(i_1 - 1)! i_2! i_3! \dots (i_{j-1})! (i_j - 1)!} \quad (30)$$

Для маршрутів, організованих за першим та другим варіантами, коли початок і кінець маршруту відповідають випадку "північ - захід - південь - схід". Число маршрутів для схеми третього варіанта "північ - захід - південь - схід":

$$M = \frac{(ij - 2)!}{(i_1 - 2)! i_2! \dots i_j!} \quad (31)$$

Ця формула дає дійсні значення числа маршрутів для будь-яких  $j > 1$ . При  $j = 1$  та будь-яких  $i \gg 1$  утворюється один-єдиний варіант за формулою  $M = 1$ .

У технологічній практиці, де ідеї масового виробництва проникають у серійне, та навпаки, кожний варіант перевіряють на допустимість.

Допустимі варіанти відбираються з числа можливих на основі введених (накладаємих) обмежень. У ряді випадків цим обмеженням стає наявне обладнання, іноді – "консервативний досвід" підприємства (його формула: "У нас так не роблять"). Найчастіше використовують як допустимі такі варіанти:

$A_1 \rightarrow B_1 \rightarrow C_1$

$A_2 \rightarrow B_2 \rightarrow C_2$

$A_3 \rightarrow B_3 \rightarrow C_3$

1-й варіант

$A_1 \rightarrow B_1 \rightarrow C_1$

$A_2 \rightarrow B_2 \rightarrow C_2$

$A_3 \rightarrow B_3 \rightarrow C_3$

2-й варіант

$A_1 \rightarrow B_1 \rightarrow C_1$

$A_2 \rightarrow B_2 \rightarrow C_2$

$A_3 \rightarrow B_3 \rightarrow C_3$

3-й варіант

Перший варіант означає для технолога маршрут, у якому мак-

симальне навантаження на деталь припадає на перші три операції ( $A_1, B_1, C_1$ ) – чорнова обробка, отже, найбільший зйом металу – деформація, нагрівання; на інших трьох операціях ( $A_2, B_2, C_2$ ) – напівчистова обробка, яка зменшує деформації та похибки; нарешті, на трьох операціях ( $A_3, B_3, C_3$ ) – чистове оброблення елементів ТО.

Другий варіант характеризує обробку поверхонь від початку до кінця. Такий маршрут має найменші похибки у зв'язку з малим числом переставлянь деталей в пристроях. Він рекомендується при обробці корпусних деталей на багатоопераційних верстатах і в гнучких технологічних системах.

Третій варіант – це деяка комбінація перших двох. В ньому чорнові та напівчистові операції виконуються за схемою другого варіанту, а чистові – за схемою першого: таким чином, певною мірою зберігаються переваги обох варіантів.

Ці три варіанти технологічних маршрутів зустрічаються найчастіше, їх загальне число

$$M = \frac{(3 \cdot 3 - 2)!}{(3 - 1)!3!(3 - 1)!} = 210.$$

Із збільшенням числа технологічних операцій збільшується число можливих маршрутів, тому надзвичайно важливо дослідити можливі обмеження і перейти до допустимої (скороченої) множини технологічних маршрутів.

Множинний аналіз маршрутизації технологічних процесів є необхідним при проектуванні та експлуатації технологічних систем гнучкого автоматизованого виробництва (ТС ГАВ).

Формальним критерієм оптимізації ТМ є кількість зв'язків (у графі маршруту), що з'єднують стовпці матриці ТМ. Число таких зв'язків розраховують за трьома варіантами: 1-й варіант  $n = 8$ ; 2-й варіант  $n = 2$ ; 3-й варіант  $n = 5$ . Оптимальним відповідно буде 2-й варіант ТМ. Коли матриця ТМ неповна, тобто

$$\begin{vmatrix} A & B & C \\ 0 & B_2 & C_2 \\ 0 & 0 & C_3 \end{vmatrix},$$

формула для визначення числа ТМ:

$$M = \frac{(\sum X - 2)!}{(L_A - 1)!i_6!(i_c - 1)!} = \frac{4!}{1 \cdot 2 \cdot 2} = 6,$$

де  $\sum X$  – число операцій.

## 5.8. РОЗМІЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ЗА ЕЛЕМЕНТАМИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

Як зазначалось, ТС - комплекс верстатів, магазинів-накопичувачів і транспортних засобів. Головним елементом цього комплексу є верстати, оскільки на них виконуються задані технологічні операції згідно з прийнятим ТМ. Вище було показано, що маршрут обробки має велике число варіантів, з яких виділяється технологічно прийнятний, тобто допускаємий або, що цінніше, оптимальний. Однак, якщо навіть знайдено оптимальний ТМ, не можна стверджувати, що побудована за ним ТС буде також оптимальною.

Дослідження в рамках структуризації етапів проектування ТАС показали, що дуже важливим етапом, який ні за яких обставин не можна ігнорувати, є розподіл технологічних операцій по верстатах.

Розглянемо для ілюстрації третій варіант маршруту. Припустимо, що він повинен бути реалізований на трьох верстатах. Це формально може мати вигляд як комбінація трьох незалежних елементів (знаходячись у рамках маршрутних зв'язків) із дев'яти, якими є весь набір ТОП, тобто  $i_{xj}$ :

$$G_{(ixy,j)} = \frac{(\sum X)!}{n!(K!)^n}. \quad (32)$$

У даному випадку таких можливостей буде:

$$G_{(9,3)} = \frac{9!}{3!(3!)^3} = 280.$$

Однак одразу слід вказати, що це є можливим числом варіантів розподілу трьох ТОП з дев'яти на трьох верстатах. Існує одне технічне обмеження, яке зв'язане з особливостями організації потоку та із заборонаю виконувати початок (першу операцію) та кінець (останню операцію) маршруту на одному і тому самому верстаті. Тому з числа можливих варіантів треба відняти число недопустимих. Розглядаючи поле варіантів, можна зробити висновок, що число недопустимих варіантів дорівнює  $9 - 2 = 7$ ; таким чином, загальне число допустимих буде  $C_0 = 280 - 70 = 210$ .

## 5.9. ГНУЧКІСТЬ ТС ГАВ ЗА НОМЕНКЛАТУРОЮ

Технологічні системи ГАВ володіють властивістю гнучкості по відношенню до номенклатур оброблюваних об'єктів, що дозволяє об-



робляти різноманітні вироби в одній ТС. Показником гнучкості ТС ГАВ за номенклатурами є відношення числа  $n$  номенклатур оброблюваних виробів в системі до загального числа  $N$  можливих номенклатур, визначаємих за формулами (30) та (31):

$$\Gamma(N) = \frac{n}{N}. \quad (33)$$

Цей показник змінюється в границях  $(N)^{-1} \leq \Gamma(N) \leq 1$ ; нижня границя відповідає ТС, орієнтованій на випуск одиничного виробу, а верхня – ТС ГАВ, в якому повністю використовується потенціал гнучкості.

У практиці допустимо вести розрахунок не на повне число можливих номенклатур, а на необхідне, яке забезпечує комплектацію складання. Таким чином, множина необхідних номенклатур стає базовою величиною для визначення показника гнучкості.

Приклад. Припустимо, що число можливих номенклатур визначається множиною  $N = 25$ , число необхідних номенклатур  $N_H = 10$ , число використовуваних в обробці на даній ТС ГАВ  $W = 5$ . Визначити гнучкість ТС ГАВ за номенклатурами:

$$\Gamma(N) = \frac{n}{N} = \frac{5}{25} = 0,2; \quad \Gamma(N_H) = \frac{n}{N} = \frac{5}{10} = 0,5.$$

В багатьох випадках у ТС доводиться запускати на обробку ТО різних номенклатур, об'єднані в серії. Серія ТО характеризується числом номенклатур, складом об'єкта кожної номенклатури та загальною кількістю поверхонь обробки у об'єктів серії, числом технологічних операцій на серію об'єктів, в тому числі однойменних та різноіменних. Найбільш загальним показником серії є число "властивостей елементів", які необхідно обробити на даному наборі технологічних об'єктів, об'єднаних у серію.

### 5.10. ГНУЧКІСТЬ ТС ГАВ ЗА МАРШРУТАМИ

Технологічні системи ГАВ володіють властивістю гнучкості по відношенню до маршрутів обробки. Ця властивість дозволяє змінювати маршрути, вибираючи їх з множини можливих. Таким чином, відношення числа використовуваних можливостей до потенціальних є "гнучкістю за маршрутами":

$$\Gamma(M) = \frac{m}{M}. \quad (34)$$

Цей показник змінюється в границях  $(M)^{-1} \leq \Gamma(M) \leq 1$ ; нижня границя відповідає тактовим автоматичним системам верстатів, а верхня – гнучкому автоматизованому комплексу. Знаменник показника визначається за формулою (20), якщо розрахунок ведуть за всією множиною можливих варіантів маршрутів. Ця величина може визначатися на основі множини допустимих варіантів, а також на множині оптимальних. У кожному конкретному випадку повинна бути вказана визначальна множина.

Приклад. Припустимо, що множина можливих маршрутів визначається числом  $M = 24$ , допустимих маршрутів  $M_D = 8$ , оптимальних  $M_0 = 4$ , тоді як число використовуваних можливостей  $m = 4$ . Визначимо гнучкість ТС ГАВ за маршрутами:

$$\Gamma(M) = \frac{m}{M} = \frac{4}{24}; \quad \Gamma(M_D) = \frac{m}{M_D} = \frac{4}{8}; \quad \Gamma(M_0) = \frac{m}{M} = \frac{4}{4}.$$

Використання цих показників гнучкості може сприяти попередній оцінці ГАВ на стадії проектування або оцінці його ефективного використання на стадії експлуатації. Останнє є суттєвим для застосування систем при значній організаційній перебудові ТС з багатомономенклатурним випуском виробів.

### Задачі для самостійного контролю

1. Визначити серію для ТО:  $\langle a \rangle$ ,  $\langle b \rangle$ ,  $\langle c \rangle$ .
2. Визначити серію ТО для умови  $i = 4$ ,  $j = 2$ .
3. Визначити серію ТО, властивості якої записуються матрицею:

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & d_2 \\ 0 & 0 & c_3 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & d_4 \end{vmatrix}.$$

4. Визначити число технологічних операцій для задачі 1.
5. Визначити число ТОП для задачі 2 та записати матрицю ТОП.
6. Визначити число можливих маршрутів для задачі 2, якщо ТМ має початок  $A_1$ , а кінець  $B_3$ .
7. Визначити число можливих маршрутів для задачі 3, якщо перша операція  $A_1$ , а остання  $D_4$ .

## ГЛАВА 6

# ТЕХНОЛОГІЧНІ АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ОБЛАСТІ РАЦІОНАЛЬНОГО ЗАСТОСУВАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ

### 6.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

У машинобудуванні широко застосовуються поточні лінії, які складаються з кількох верстатів (для обробки) або машин (для складання) та транспортів, що їх з'єднують.

Якщо така поточна лінія має автоматичне управління, звичайно централізоване, то вона є автоматичною лінією (АЛ).

Потреба в АЛ обумовлюється, по-перше, вимогою випуску великих партій деталей; по-друге, тим, що трудомісткість обробки та складання їх є порівняно великою, і, по-третє, бажанням швидшого випуску продукції. Внаслідок цього спочатку вважалось економічно виправданим будувати АЛ для деталей трудомістких, випускаємих масово, з вельми коротким ритмом. Такі АЛ призначалися в основному для обробки призматичних (корпусних) деталей автотракторної промисловості. В цій галузі річний випуск склав  $10^4 \dots 10^6$  шт, продуктивність  $10^0 \dots 5 \cdot 10^0$  шт./хв при загальній трудомісткості  $10^2 \dots 10^4$  хв. АЛ, відповідна цим вимогам, складається з агрегатних верстатів і крокових транспортів (рис. 55, область 4).

У деяких галузях промисловості продуктивність АЛ повинна бути на один або два порядки вище, тобто  $10^2 \dots 10^3$  шт /хв при тому ж самому річному випуску. А це значить, що АЛ повинна мати особливу конструкцію, яка дозволяє розвивати цю продуктивність. Прикладом такої АЛ є роторні автоматичні лінії або багатопотокові АЛ з дублерами, які здатні забезпечити великий випуск (рис.55, область 5).

У випадках, коли продуктивність складає  $10^{-1} \dots 10^0$  шт./хв, а випуск коливається в межах  $10^2 \dots 10^4$  шт, що характеризує великосерійне виробництво, АЛ повинні допускати виробництво різних технологічно та конструктивно подібних об'єктів. Такі АЛ звичайно складаються з агрегатних верстатів з револьверними інструментальними силовими головками та універсальних транспортних засобів.

Вони допускають групову обробку деталей або випуск серій при відповідній перебудові робочих і транспортних пристроїв (рис. 55, область 3 ).

Зменшення річного випуску на порядок приводить до серійного виробництва. Це виробництво має своїм арсеналом автоматично дію-

чі засоби. До них в першу чергу відносяться маневрені технологічні системи, що являють собою гнучкі автоматичні лінії (ГАЛ). Вони складаються з кількох багатоцільових, багатоопераційних верстатів, об'єднаних в ГАЛ транспортними засобами.

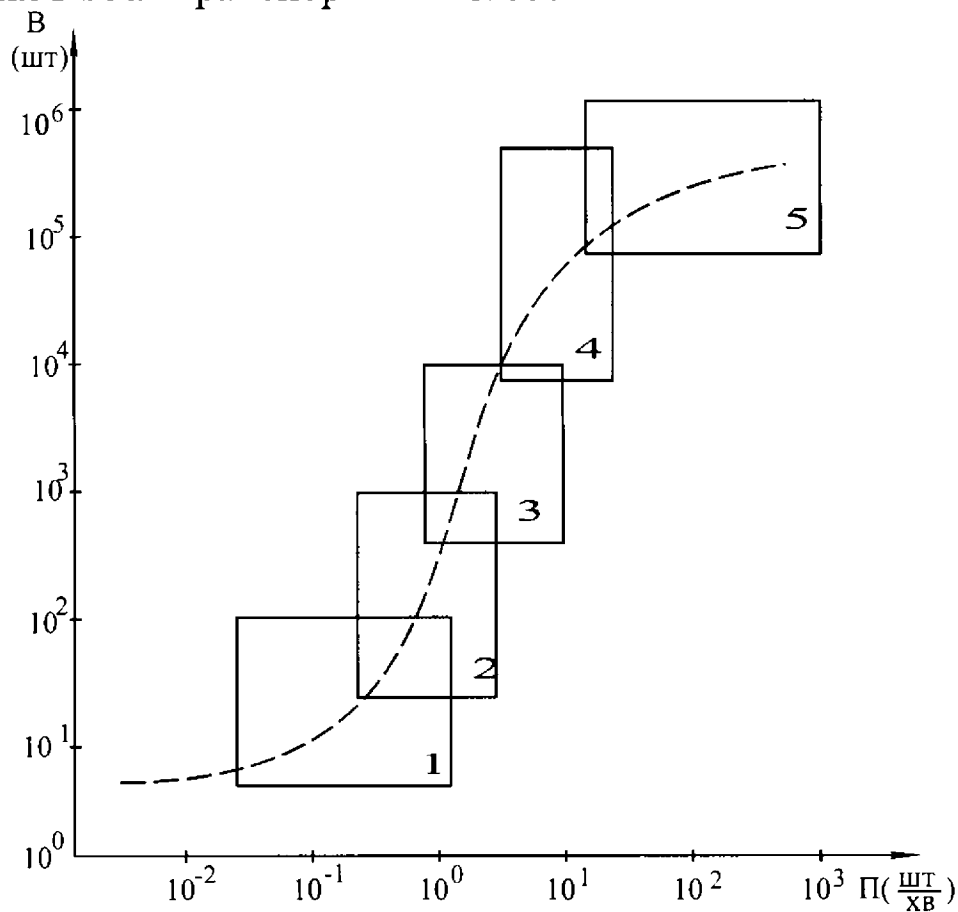


Рис. 55. Раціональні області застосування різних технологічних систем з урахуванням об'єму випуску та необхідної продуктивності.

Ці ГАЛ досить універсальні і тому вельми ефективні навіть при випуску серії  $3 \cdot 10^1 \dots 10^3$  шт. Крім усього, вони збільшують продуктивність в межах  $10^{-1} \dots 10^0$  шт./хв. (рис. 55, область 2). В такій ГАЛ верстатами та транспортерами управляє міні-ЕОМ.

В області випуску серій  $(5 \cdot 10^0) \dots 10^2$  шт. при загальній трудомісткості виробництва до  $5 \cdot 10^1$  хв. та продуктивності  $10^{-2} \dots 5 \cdot 10^{-1}$  шт./хв найбільш доцільно використовувати гнучкі автоматичні ділянки (ГАЛ), складені з двох-трьох багатоцільових верстатів (рис. 55, область 1).

Всі наведені міркування дозволили приписати область застосування різним ТС, вказати раціональний підхід до вибору обладнання для розв'язання технологічних задач з урахуванням обсягу випускаємих виробів, трудомісткості та необхідної продуктивності. На рис. 55

за віссю абсцис вказана продуктивність (2), за віссю ординат – випуск (В), похилі прямі на графіку позначають трудомісткість (Т).

### **Класифікація автоматичних ліній**

Питанню класифікації АЛ, застосовуваних в машинобудуванні, вітчизняними вченими приділено достатньо уваги. Були розглянуті різні принципи, загальні властивості та характеристики.

У класифікації проф. А.П.Владзієвського [44] головну увагу приділено двом питанням: технологічній спеціалізації АЛ та обліку впливу міжопераційних запасів виробів на її продуктивність. Основним напрямом класифікації проф. Г.А.Шаумяна [45] було встановлення залежності між ступенем агрегування та продуктивністю АЛ. Класифікація акад. Л.І.Кошкіна [27] передбачає особливості узгодження між собою швидкостей робочого та транспортного обладнань АЛ. Класифікація проф. Ф.С.Дем'янюка [47] встановлює ступінь концентрації операцій в АЛ. Крім цих концепцій, висунутих видатними вченими-машинобудівниками, пропонуються різні принципи класифікації автоматичних систем технологічного призначення. Аналіз принципів, покладених в основу визначення областей застосування АЛ (див, рис. 55), показує, що вони (принципи) визначають класифікацію.

Якщо відійти від окремих питань, що супроводжують кожную класифікацію, то найбільш загальною, що має абстрактне уявлення, яке припускає вивчення різних автоматичних систем технологічного призначення, буде класифікація робочих машин проф. С.І.Артоболевського [34]. Ця класифікація визначає поділ ТАС за видом продукції (штучної та нештучної) і за способом робочої (технологічної) дії (при нерухомому та рухомому об'єкті). Вивчення різних ТАС дозволило вченому запропонувати визначаючий критерій для класифікації технологічних систем машин, яким є циклова продуктивність. Далі було показано, що циклова продуктивність ТАС визначається такими властивостями процесу, як багатоопераційність та багатопотоковість, а також можливістю суміщення в робочому циклі основних (технологічних) та допоміжних (транспортних) дій. Значним вдосконаленням класифікації С.І.Артоболевського стосовно обробляючих верстатів є роботи проф. Д.В.Чарнко [35] та складальних машин - проф. І.А.Клусова [36]. В їх класифікаціях сформульовано ідеї, які зв'язують структуру циклу роботи із структурою технологічного обладнання.

## 6.2. ЕЛЕМЕНТИ СТРУКТУРИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

Успішне вивчення ТАС можливе тільки в тому випадку, якщо їхні складні конструкції будуть зображені за допомогою простих засобів. З цією метою виділимо основні функціональні елементи, із яких складаються різні ТАС, наприклад, багатопозиційні багатоопераційні верстати та автоматичні лінії.

Елементарні дії, виконувані над технологічним об'єктом у ТАС, будемо називати операцією. Елемент системи, виконуючий операцію, назовемо оператором.

Існують оператори, які, впливаючи на об'єкт, змінюють його властивості, наприклад, розміри, механічні характеристики, фізичний та хімічний стан, тощо. Такі оператори називаються технологічними. В схемі вони позначаються стрілкою, напрямленою в бік технологічного об'єкта, показаного зачорненим чотирикутником. Привод робочого пристрою показується кружком, з якого виходить стрілка-оператор. Оскільки робочих операторів може бути кілька, їх треба розрізняти за сторонами дії. Наприклад, *A*–оператор діє з боку *a*, *B*–оператор з боку *b*, тощо. Якщо на один бік об'єкта, наприклад *a*, діє послідовно кілька *A*–операторів, звичайно їх розрізняють за цифровим індексом, який відповідає номеру виконуваної операції. Наприклад, обробка отвору *a<sub>i</sub>*: спочатку було виконано свердління *A<sub>1</sub>*, потім зенкерування *A<sub>2</sub>*, нарешті, розвертання *A<sub>3</sub>*. Індекс вказує на технологічний порядок дії на *a*–поверхню об'єкта:

$$A_1(a_1), A_2(a_2), A_3(a_3).$$

У тих випадках, коли орієнтація об'єкта прийнята в системі координат (*x, y, z*), позначати робочі оператори можна літерами *X, Y, Z* з позначенням порядку їхньої технологічної дії.

На рис. 56 показано компоновку агрегатних верстатів та їхні типові схеми, на яких зображено різні типові оператори зсуву. Внаслідок того, що оператори зсуву можуть здійснювати пересування об'єктів (деталей) та робочих операторів (інструментів), їх треба розрізняти.

Оператори зсуву об'єктів позначають стрілкою, яка проходить через об'єкт, при цьому поруч приписують літеру *P* з індексом, що визначає вид руху:  $\alpha, \beta, \gamma$ .

Оператори зсуву інструментів позначають стрілкою, траєкторія якої проходить через кружок технологічного оператора, при цьому

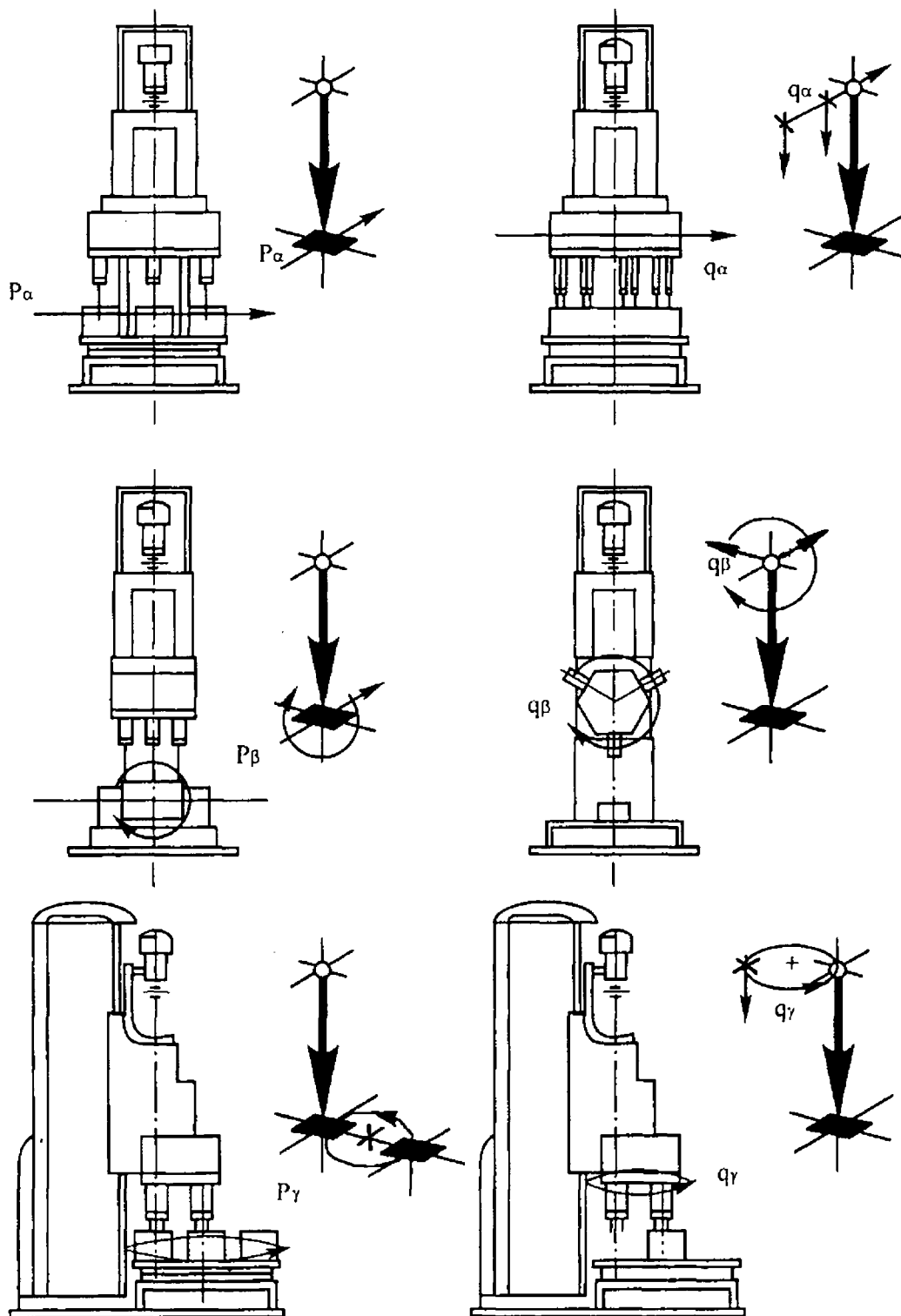


Рис. 56. Компонування агрегатних верстатів та їхні типові оператори зсуву.

приписують літеру  $q$  з відповідним індексом.

В автоматичній системі, будь-то окремий верстат або автоматична лінія, крім технологічної та транспортної дій виконуються операції встановлення (введення) об'єкта в систему та знімання (виведення). Ці дії (та діючі елементи системи) позначають літерами:  $U$ –

введення;  $V$ —виведення.

Таким чином, елементи-оператори, які утворюють будь-яку ТАС, будуть:

технологічними:  $A, B, \dots K$  (або  $X, Y, Z$ );

транспортними:  $P_\alpha, P_\beta, P_\gamma; q_\alpha, q_\beta, q_\gamma;$

введення та виведення:  $U$  та  $V$ .

Кількість і порядок дії залежать від конкретного процесу та об'єкта.

Приклад 1. Нехай в АЛ обробляється картер коробки передач. Установлення деталі виконується на транспортер, яким вона пересувається для обробки по всіх позиціях АЛ. Число сторін обробки - чотири:  $a, b, c, d$ .

Технологічний процес передбачає таке виконання операцій по сторонах ТО:

$a_i : A_1, A_2, A_3.$

$b_i : B_1, B_2.$

$c_i : C_1, C_2, C_3.$

$d_i : D_1, D_2, D_3.$

Внаслідок вказаних вимог ТАС являє собою АЛ. На рис. 57 показано АЛ, яка складається з агрегатних верстатів з лінійною транспортною системою, а також її структурна схема, яка показує напрям дії всіх операторів.

АЛ складена з дев'яти позицій:

1. Установлення картера  $U$ .
2. Обробка бічних отворів  $a_1$  та  $c_1$  (чорнове розточування  $A_1$  та  $C_1$ ).
3. Вторинна обробка бічних отворів  $a_2$  та  $c_2$  (напівчистове розточування  $A_2$  та  $C_2$ ).
4. Остаточна обробка отворів  $a_3$  та  $c_3$  (позиція  $A_3$  та  $C_3$ ).
5. Поворот ( $P_\beta$ ) стола з деталлю на  $90^\circ$ .
6. Фрезерування ( $D_1$  та  $B_1$ ) майданчиків бобишок  $d_1$  та  $B_1$ .
7. Свердління ( $D_2$ ) отворів у майданчиках  $d_2$ .
8. Підрізання торця ( $D_3$ ) та обробка  $B_2$ .
9. Позиція ( $V$ ) для знімання обробленої деталі.

У даній АЛ застосовано дві системи зсуву:  $P_\alpha, P_\beta$ . Тут  $P_\alpha$  – основна для транспортування за позиціями;  $P_\beta$  – орієнтуючий механізм (поворотний стіл) для зміни стану деталі та більш зручної її обробки. Частина верстатів у АЛ є багатопиндельними (для обробки отворів



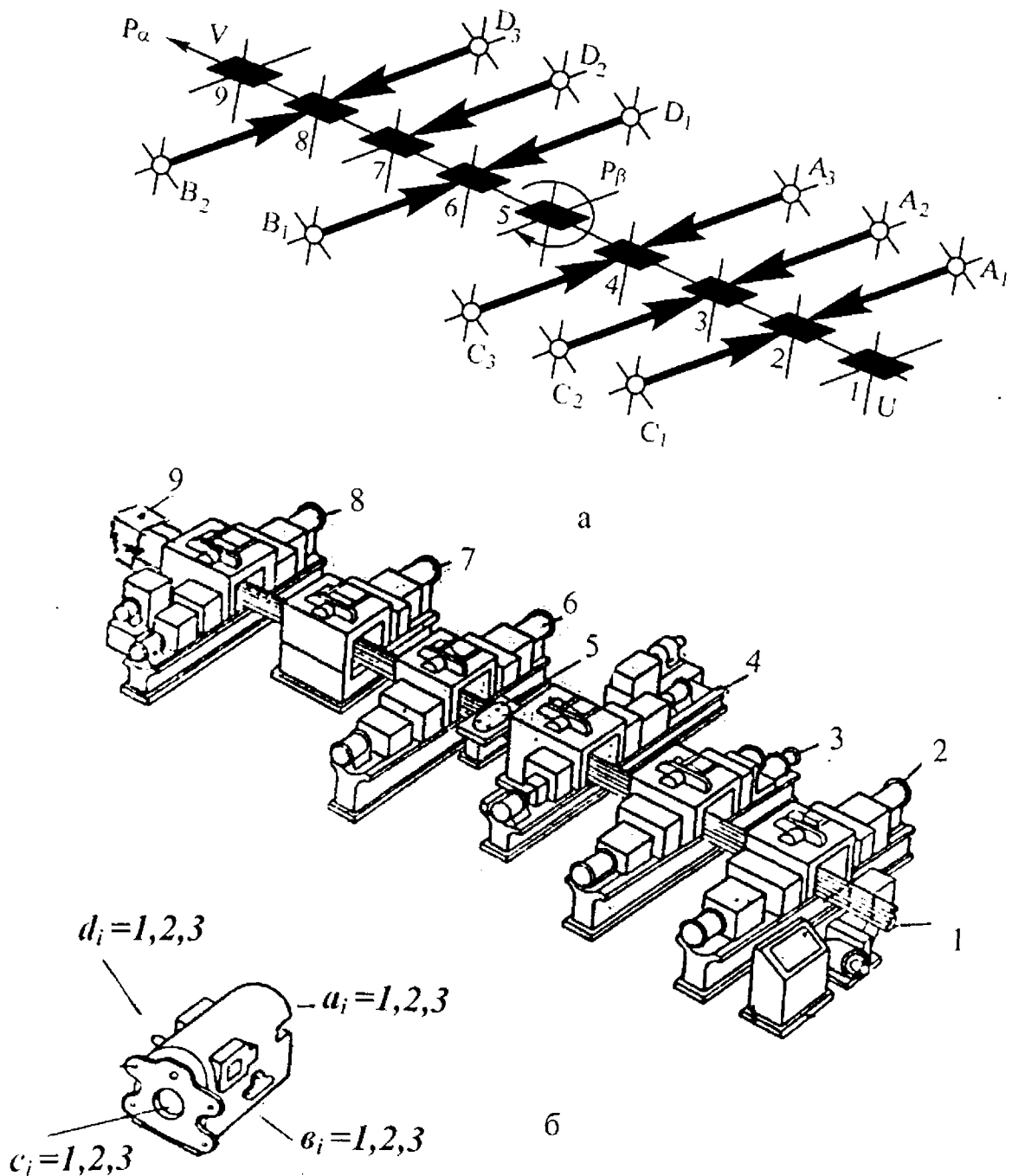


Рис. 57. Операторна схема АЛ, яка складається з агрегатних верстатів.

у бобишках), решта – одношпindelьні та багаторіздеві.

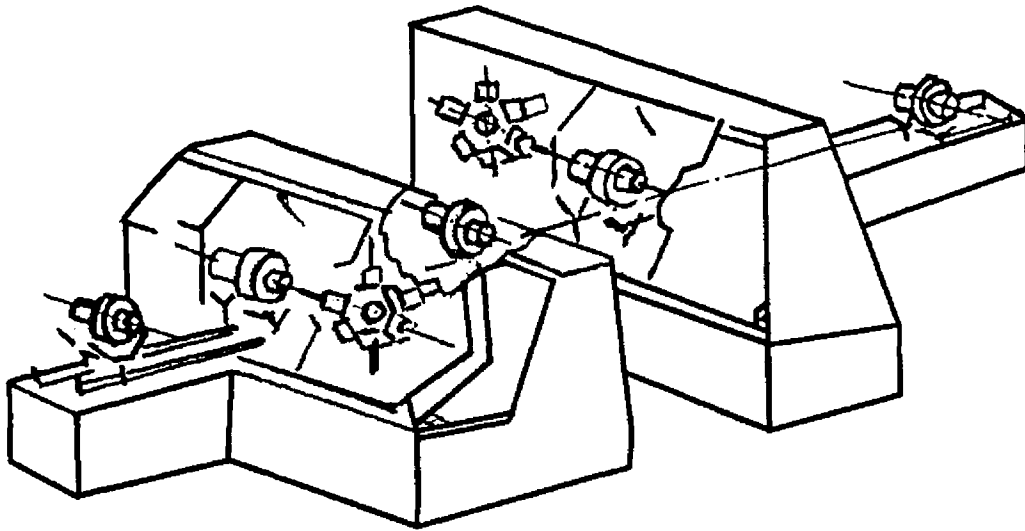
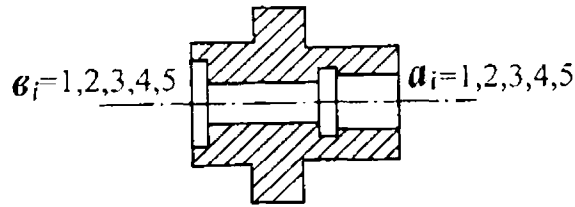
Розглянутий приклад АЛ, складеної з агрегатних верстатів і показаної у вигляді оперативної схеми, ілюструє її технологічні та конструктивні особливості. Треба мати на увазі, що операторною схемою можна зобразити ТАС будь-якого виду.

Приклад 2. Нехай обробці в АЛ підлягає: втулка (вал) (рис. 58, а). Число сторін обробки – дві:  $a_i$  та  $b_i$ ; технологічний процес передбачає п'ять операцій на кожній стороні ( $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ).

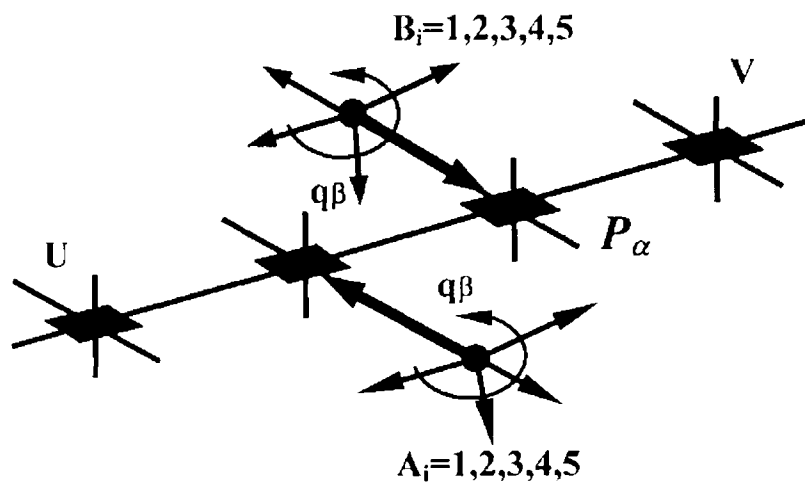
Верстати АЛ - токарно-револьверні, транспортер проходить че-

рез зону обробки.

АЛ складається з двох верстатів (див. рис. 58, а), які мають револьверні головки  $q_{\beta(1)}$  та  $q_{\beta(2)}$  відповідно для операторів (інструментів)  $A_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ), які виконують обробку з однієї сторони, та  $B_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ) – для обробки з другої. Операторна схема зображена на рис. 58, б. Як видно, АЛ має чотири позиції:



а



б

Рис. 58. Операторна та монтажна схеми револьверних верстатів для обробки втулки.

1. Завантаження заготовки  $U$ .
2. Обробка сторони  $a$  послідовно операторами (інструментами)  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$ .
3. Обробка деталі зі сторони  $b$  послідовно  $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ .
4. Вивантаження  $V$  деталі з транспортера  $P_\alpha$ .

Даний приклад показує, що можливості операторного зображення не вичерпуються обробкою корпусних деталей на АЛ, складеної із агрегатних верстатів, і чітко реалізують технологічну систему для деталей циліндричних на токарно-револьверних верстатах.

Операторною схемою можна зобразити будь-яку структуру ГАС без яких-небудь обмежень. Це може бути АЛ як для обробки деталей, так і для складання виробів.

### 6.3. ПРИНЦИПИ АНАЛІТИЧНОГО ОПИСУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

Для аналітичного опису дії операторів у АЛ слід визначити умови порядку.

Якщо оператори діють одночасно (разом), то їхня композиція позначається знаком " $\circ$ " (коло). Наприклад,  $A$  діє одночасно з  $B$  і це записується так:  $A \circ B$ .

Якщо оператори діють послідовно (один за одним), то їхня композиція позначається знаком " $\cdot$ " (крапка), яка може при записі опускатися, тобто при дії  $A$ , а потім  $B$  спочатку пишуть перший, потім другий оператор:  $AB$ .

Якщо діє операторів є невизначеною або байдужою, користуються об'єднаним знаком композиції " $\bullet$ " а запис дії операторів в цьому випадку буде:  $A \bullet B$ .

Якщо оператори діють в одній композиції, то їх символи та знаки композиції беруть у дужки. Наприклад, для опису дії операторів  $A$  і  $B$  в одній позиції запис буде таким:  $(A \circ B)$ .

Якщо в ТАС крім технологічних операторів діє оператор  $P_\alpha$  або  $P_\gamma$ , то така система стає багатопозиційною, а ці оператори здійснюють зсув об'єкта за позиціями ТАС. Запис їхньої дії виконується таким чином:

$$A_{P_\alpha} \circ B_{P_\alpha} \circ C_{P_\alpha},$$

якщо система з трьома технологічними операціями, розташованими в

різних позиціях, при цьому застосовується транспортер прямолінійний  $P_\alpha$ , і так:

$$A_{P_\gamma} \circ B_{P_\gamma} \circ C_{P_\gamma},$$

якщо застосований транспортер колового пересування  $P_\gamma$ .

Під час складання аналітичного опису структури ТАС слід чітко уявляти собі, як і де виконуються дії операторів  $U$  та  $V$ . Вони можуть діяти в різних позиціях перед і після обробки, тоді їх дія є послідовною. Наприклад, спочатку встановлюється (деталь) об'єкт у позицію, а потім оброблюється аналітичний запис –  $UA$ . Якщо знімання буде відбуватися після обробки, то слід писати, наприклад,  $BV$ .

Однак ці оператори можуть мати спеціальні позиції на початку і в кінці АЛ (див. рис. 57 та 58). У цьому випадку спочатку виконується операція  $U$ , а потім  $P$  (зсув у наступну позицію), тобто  $U_P \circ A_P$ .

Природно, що при лінійному наскрізному транспортуванні ТО, який проходить через зону обробки (рис. 58), останню позицію має тільки оператор, дія якого  $V$ . При обробці ТО на супутнику, який після розвантаження необхідно пересувати у вихідне положення, у передостанній та останній позиціях дією операторів буде  $A_m P_\gamma \circ V P_\gamma$ .

У тих позиціях, де стан об'єкта змінюється за допомогою оператора  $P_\beta$ , після чого відбувається зсув у наступну позицію, дія операторів записується так:  $P_\beta P$ .

Якщо в позиції застосовується пристрій  $q$  для заміни операторів, то він діє послідовно з кожним із них, наприклад:  $A_1 q A_2 q \dots A_m q$ .

Дія  $q$  після останнього оператора  $A_m$  необхідна для відновлення вихідного стану технологічних операторів.

Приклад 3. Нехай є агрегатний однопозиційний верстат для обробки деталі з трьох боків.

Операції виконуються в такому порядку: установка  $U$  деталі, одночасна обробка з трьох боків ( $A \circ B \circ C$ ) і потім знімання ( $V$ ).

Операторна формула:

$$U(A \circ B \circ C)V. \quad (35)$$

Приклад 4. АЛ для обробки технологічного об'єкта з чотирьох боків (рис. 57, б).

Операторна формула:

$$UP_\alpha \circ (A_1 \circ C_1) P_\alpha \circ (A_2 \circ C_2) P_\alpha \circ (A_3 \circ C_3) P_\alpha \circ \\ \circ P_\beta P_\alpha \circ (B_1 \circ D_1) P_\alpha \circ D_2 P_\alpha \circ (B_2 \circ D_3) P_\alpha \circ V. \quad (36)$$

Приклад 5. АЛ для обробки деталі, установленій на супутнику, з

чотирьох боків. АЛ має сім позицій в технологічному потоці  $P_{\alpha(1)}$  та дві порожні позиції (ячеї) у транспортному потоці  $P_{\alpha(2)}$ ,  $P_{\alpha(3)}$ ,  $P_{\alpha(4)}$ .

Операторна формула АЛ:

$$UP_{\alpha(1)} \circ (A_1 \circ B_1) P_{\alpha(1)} \circ (A_2 \circ B_2) P_{\alpha(1)} \circ P_{\beta} P_{\alpha(1)} \circ \\ \circ (C_1 \circ D_1) P_{\alpha(1)} \circ (C_2 \circ D_2) P_{\alpha(1)} \circ VP_{\alpha(2)} \circ LP_{\alpha(3)} \circ LP_{\alpha(4)}.$$

Таким чином, у позиціях 2 та 3 відбувається одночасна обробка з двох боків:  $A_1 \circ B_1$  та  $A_2 \circ B_2$ ; у позиціях 5 та 6 - одночасна обробка з двох боків:  $C_1 \circ D_1$ , та  $C_2 \circ D_2$ . У позиціях 1 і 7 - установка та знімання, в позиції 4 - поворот деталі.

Приклад 6. АЛ складається із токарно-револьверних верстатів (рис. 58). Обробка з боку  $a$  та з боку  $b$ . П'ять інструментів на кожному верстаті діють послідовно, а верстати працюють одночасно.

Операторна формула:

$$UP_{\alpha} \circ (A_1qA_2q\dots A_5q) P_{\alpha} \circ (B_1qB_2q\dots B_5q) P_{\alpha} \circ V. \quad (37)$$

Слід звернути увагу на те, що після операції знак дії оператори зсуву  $P_{\alpha}$  не ставлять, якщо він реалізований системою зсуву  $\alpha$  і деталь обробляється без супутника.

### Завдання для самостійного контролю

1. Намалюйте схему однопозиційного верстата. Обробка деталі з двох боків:  $a$  та  $b$ .
2. Запишіть операторну формулу (див. завдання п. 1) для обробки:
  - а) одночасної;
  - б) послідовної.
3. Намалюйте схему однопозиційного верстата, який має револьверну головку прямолінійного пересування на три інструменти. Обробляється бік  $c$ .
4. Запишіть операторну формулу за умовою завдання п. 3.

## 6.4. СТРУКТУРА ОКРЕМИХ ПОЗИЦІЙ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ



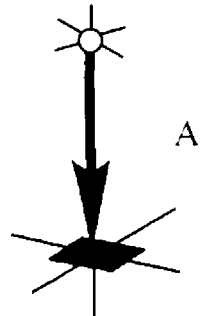
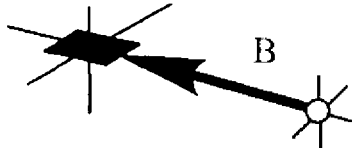
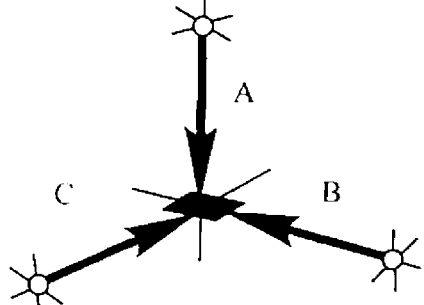

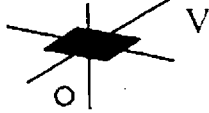
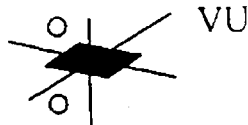
Будь-яка АЛ складається з набору позицій, з'єднаних між собою транспортерами. Ці позиції функціонально є різними. Одні з них – технологічні, інші – нетехнологічні, треті – зовсім "порожні". Умовні позначення ячеїв ТАС показані в табл. 20.

"Пуста" позиція являє собою елементарну ячею АЛ (табл. 20, поз. 1.1), у якій відсутні будь-які оператори: технологічні або зсуву

(транспортери), а також відсутній ТО. Якщо "пуста" позиція має ТО, вона стає "непустою" (табл. 20, поз. 1.2).

Таблиця 20

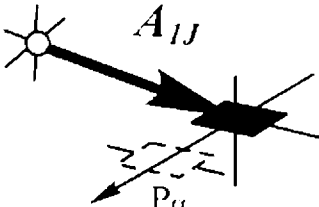
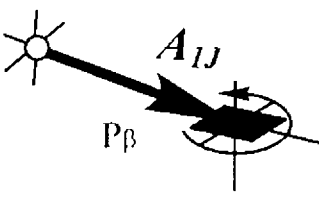
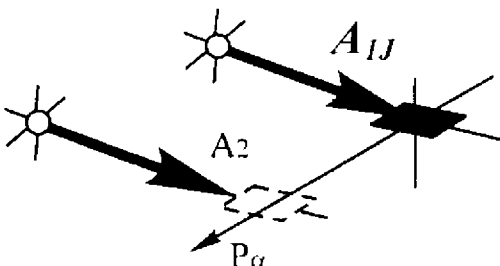
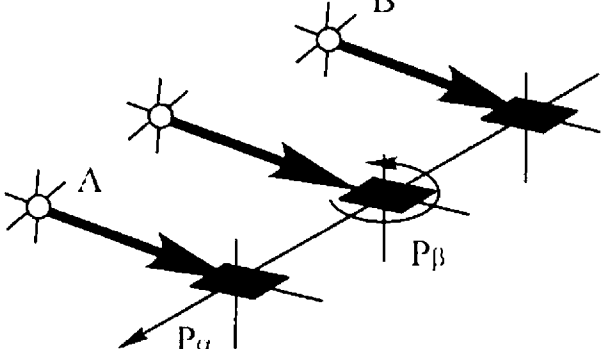
Основні ячей технологічних автоматизованих систем

	Позначення	Пояснення
1.1		Ячей технологічної системи (пуста)
1.2		Ячей ТС (непуста), зайнята технологічним об'єктом
1.3.1		Ячей з технологічним оператором вертикальним
1.3.2		Ячей з технологічним оператором горизонтальним
1.4		Ячей з багатостороннім розташуванням технологічних операторів
1.5.1		Ячей для введення технологічного об'єкта в систему
1.5.2		Ячей для виведення технологічного об'єкта із системи
1.6		Ячей, яка об'єднує введення та виведення ТО

Найпростіша технологічна ячея (табл. 20, поз. 1.3) має один технологічний оператор, довільно розташований у просторі, але орієнтований в бік поверхні дії (обробки).

Таблиця 21

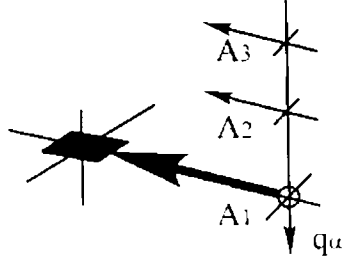
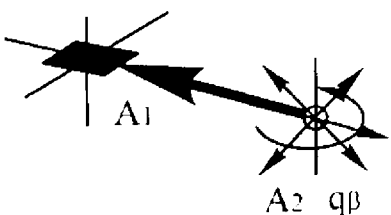
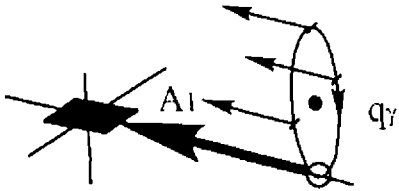
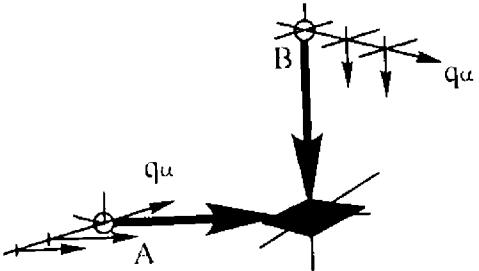
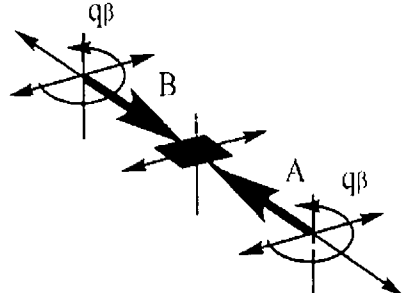
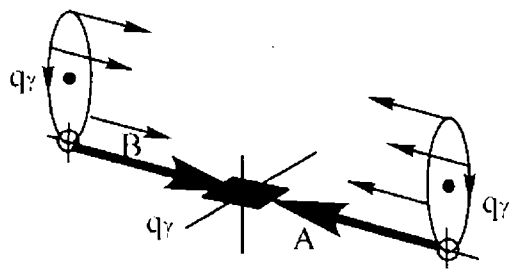
Технологічні ячеї з зсувом технологічного об'єкту

	Позначення	Пояснення
2.1		Ячея з оператором $P_{\alpha}$ для лінійного зсуву технологічного об'єкта
2.2		Ячея з оператором $P_{\beta}$ для повороту технологічного об'єкта
2.3		Ячея з оператором зсуву $P_{\alpha}$ для послідовної дії кількома однойменними технологічними операторами
2.4		Ячеї з операторами зсуву $P_{\alpha}$ та $P_{\beta}$ для забезпечення дії різнойменними технологічними операторами

Більш складна ячея припускає багатостороннє розташування технологічних операторів (табл. 20, поз. 1.4). Зрозуміло, що їхня композиція є комутативною, тобто допускає переставляння разом з переорієнтацією об'єкта. Позичії для встановлення та зняття деталі можуть бути окремими (табл. 20, поз. 1.5.1 та 1.5.2) і об'єднаними (табл. 20, поз. 1.6).

Структури позицій, наведені в табл. 20, мають позначення й необхідні пояснення. Тут, як і далі, якщо це не обумовлює ніяких допоміжних вимог на розташування операторів не накладається.

## Технологічні ячеї з зсувом технологічного оператора

	Позначення	Пояснення
3.1		Ячея, що має механізм лінійного зсуву $q_\alpha$
3.2.		Ячея, що має механізм колового зсуву $q_\beta$ (зірчаста револьверна головка)
3.3		Ячея, що має механізм орбітального зсуву $q_\gamma$ (барабанна револьверна головка)
3.4		Ячея, що має кілька механізмів лінійного зсуву $q_\alpha$
3.5		Ячея, що має кілька механізмів колового зсуву $q_\beta$
3.6		Ячея, що має кілька механізмів орбітального зсуву $q_\gamma$



Відсутність у позиціях оператора зсуву визначає наперед властивість нерухомості, що відповідає 1-му класу 2-го виду класифікації робочих машин С.І.Артоболевецького [29]. Однак цей клас машин може бути розширений введенням зсуву об'єкта в самій позиції. Це особливо необхідно зробити в тих випадках, коли обробка ведеться однаковими частинами, які так чи інакше повторюються.

У табл. 21 розглянуто різні випадки утворення позицій із зсувом об'єкта. Цей зсув може бути або прямолінійно поступальним  $P_\alpha$ , або обертальним  $P_\beta$ .

Якщо необхідно виконати одну й ту саму операцію  $A$  або  $B$  над  $m$  елементами однієї поверхні, застосовують оператор зсуву (табл. 21, поз. 2.1, 2.2). Якщо діє кілька технологічних операторів, що дозволяє діяти на різні поверхні об'єкта, то обробці послідовно підлягають  $n$  елементів і оператори зсуву пересувають об'єкт або вздовж, або навколо його осі (табл. 21, поз. 2.3 і 2.4).

У такий спосіб утворюються позиції АЛ для обробки об'єктів з елементами, що повторюються. Прикладом можуть бути АЛ холодної штамповки з листа, обробка різанням зубів шестерень за методом копіювання, складання кількох однакових деталей, які повторюються, з однією основою тощо.

Більш складні процеси часто вимагають послідовної дії різними технологічними операторами на один і той самий елемент ТО без зміни його стану (див. табл. 21). Для цього необхідно застосувати оператор зсуву, який замінює інструмент. Найпростішим зсувом є лінійний; він застосовується в токарних верстатах, обробляючих центрах та холодно-висаджувальних автоматах (табл. 22, поз. 3.1). Металоріжучі верстати оснащуються револьверними головками двох видів: типу зірки (табл. 22, поз. 3.2) та барабанної (поз. 3.3). Якщо застосовують барабанну головку, то осі інструментів незмінно залишаються паралельними осі повороту, тому тут використовують оператор зсуву  $P_\gamma$ . Дія на різні поверхні вимагає застосування кількох револьверних головок з інструментами (технологічними операторами). Відповідні випадки, коли інструменти працюють послідовно, а самі головки – одночасно, наведені в табл. 22, поз. 3.4-3.6. Тут розглянуто сполучення головок однакової конструкції, але можлива і різноманітність, якщо це викликано технічною необхідністю.

Розглянуті в таблицях структури мають основну рису - єдиність позиції.

## 6.5. НАЙПРОСТІШІ ВИПАДКИ КОМПОНУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ

Найрозповсюдженіше компонування АЛ поєднує в собі однотипні верстати і транспортер, що проходить через них.

Рівноможливими є два варіанти АЛ з прямолінійним  $P_\alpha$  та з коловим  $P_\gamma$  транспортними пристроями.

На рис. 59 показано компонування та схему АЛ. Ця АЛ складається з вертикальних верстатів ( $A_1, A_2, \dots$ ) і транспортера  $P_\alpha$ , є позиції для установлення  $U$  та знімання  $V$  деталі. Дії операторів у позиціях відбуваються одночасно, після їх закінчення відбувається зсув об'єктів на один крок. Особливістю цієї системи є те, що вона має дві позиції - для завантаження і вивантаження, при цьому технологічний об'єкт транспортується без супутника.

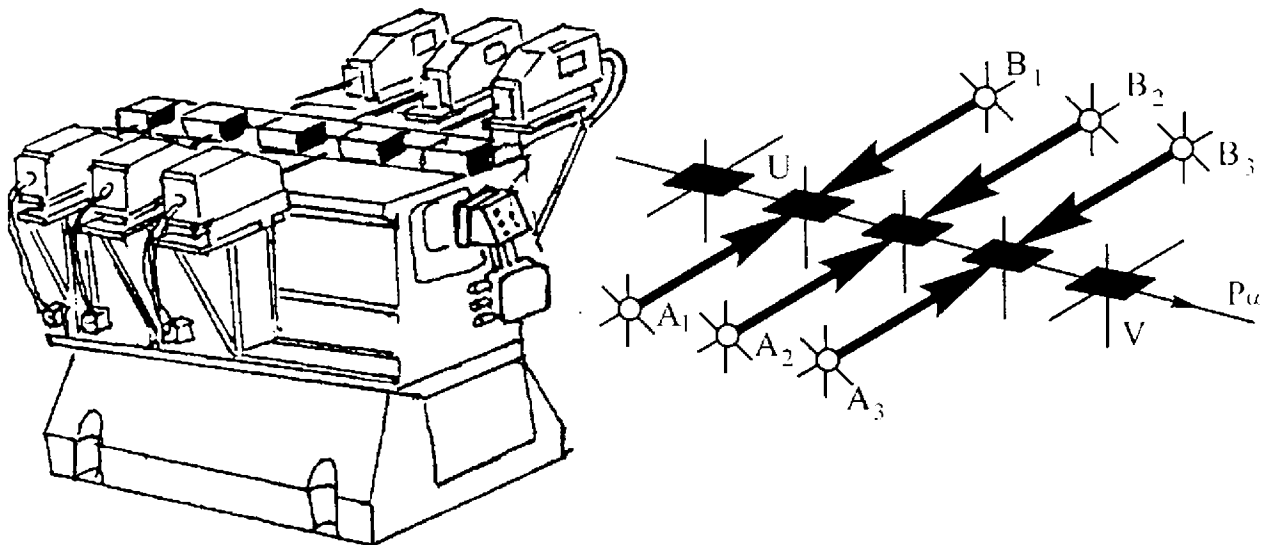


Рис. 59. Компонування та схема АЛ 218.

Операторна формула цієї АЛ:

$$U P_\alpha \circ (A_1 \circ B_1) P_\alpha \circ (A_2 \circ B_2) P_\alpha \circ (A_3 \circ B_3) P_\alpha \circ V. \quad (38)$$

На рис. 60 показано компонування та схему АЛ з орбітальним пересуванням об'єкта  $P_\gamma$ .

Як бачимо, і тут є дві позиції для встановлення і знімання деталей. Особливістю АЛ є те, що технологічний об'єкт – деталь транспортується разом з пристроєм – супутником.

Операторна формула цієї АЛ:

$$U P_\gamma \circ A_1 P_\gamma \circ A_2 P_\gamma \circ \dots \circ A_6 P_\gamma \circ V P_\gamma. \quad (39)$$

Порівняємо операторні формули двох АЛ.

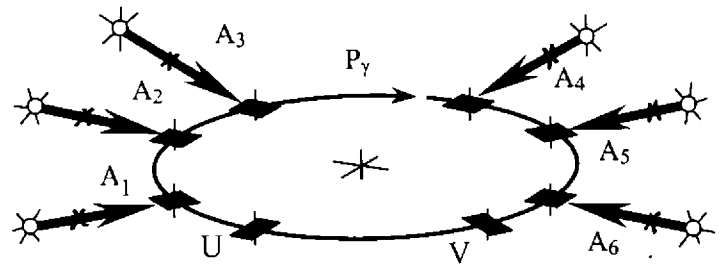
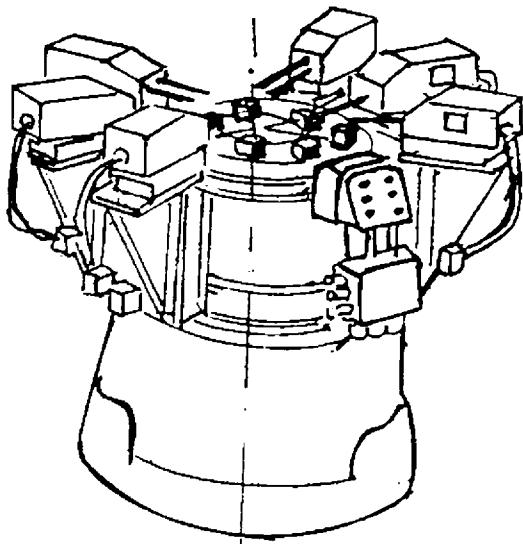


Рис. 60. Компонування та схема АЛ.

У формулі (35) після оператора  $V$  не слід писати зсув  $P_\alpha$ , оскільки він не відбувається.

У формулі (36) слід записувати зсув  $P_\gamma$  після оператора  $V$ , оскільки далі відбувається зсув порожньої ячеї у позицію завантаження.

АЛ прямолинійної компоновки звичайно застосовують для обробки деталей великих і середніх габаритів.

Кількість позицій у лініях такого типу може бути дуже значною. АЛ з орбітальною системою зсуву застосовують для дрібних деталей, число позицій не менше 2, але не більше 12.

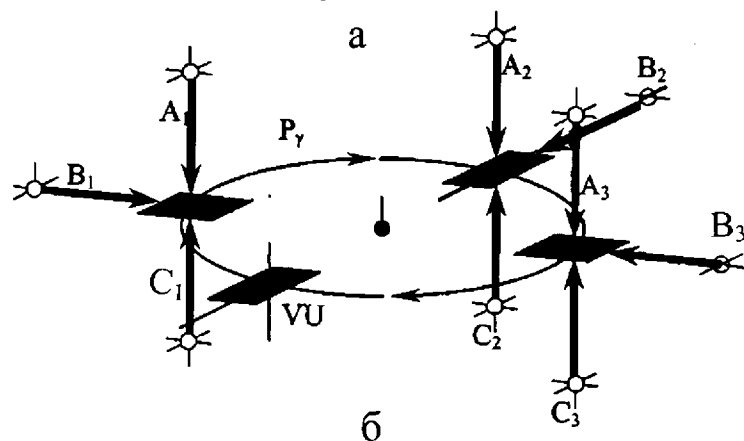
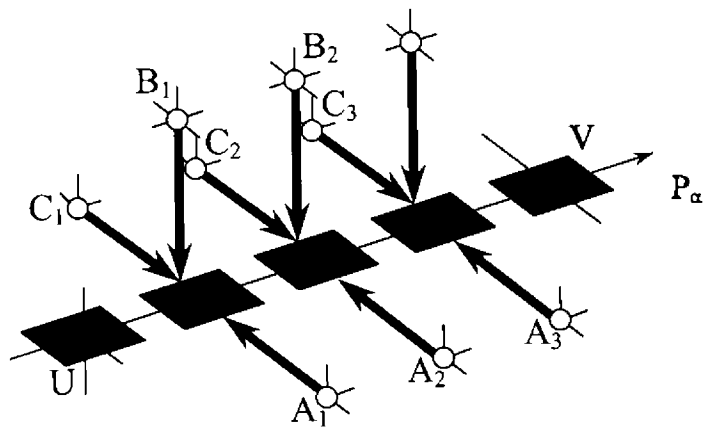


Рис. 61. Операторні схеми АЛ з прямолинійним (а) та орбітальним (б) пересуваннями об'єкта обробки.

Багатопозиційні системи дуже часто створюються з верстатів, розташованих по різні боки об'єкта.

На рис. 61 показані схеми АЛ з прямолинійним та орбітальним пересуванням

об'єкта, але з різнобічним станом операторів обробки.

Перша ТАС являє собою АЛ, яка звичайно застосовується в масовому виробництві для обробки корпусних деталей, друга часто використовується для обробки дрібних деталей типу фітінгів. Для економії місця завантаження та вивантаження у другій ТАС виконують в одній і тій самій позиції. Спочатку її розвантажують, а потім завантажують, тому в операторній формулі іде запис  $VU$ , що відповідає цій позиції. Як в першому випадку, так і в другому дія технологічних операторів з різних боків відбувається одночасно, тобто  $A \circ B \circ C$ .

### Задачі для самостійного контролю

1. АЛ складається з двох верстатів, які з'єднані прямолінійним транспортером, що проходить через робочі позиції. Обробка на верстатах виконується з боків  $a$  і  $b$  (на першому),  $b$  і  $c$  (на другому):
  - а) складіть схему;
  - б) запишіть операторну формулу за умови, що обробка з різних боків виконується одночасно.
2. Складіть схему за умовою задачі п. 1, враховуючи те, що АЛ має завантажувальну та розвантажувальну позиції.
3. Запишіть операторну формулу для умови задачі п. 2.
4. Запишіть операторну формулу для АД за умовою задачі п. 2:
  - а) якщо транспортер кільцевий;
  - б) якщо транспортер кільцевий і позиції завантаження та вивантаження сполучені.
5. Дана операторна формула АЛ:

$$UP \circ (A_1 \circ B)P \circ (B_2 \circ C_2)P \circ VP. \quad (40)$$

Покажіть її схему.

6. АЛ має кільцевий транспортер і її операторна формула:

$$(VU) P_\gamma \circ (A_1 q A_2 q \dots A_m q) P_\gamma \circ (B_1 q B_2 q \dots B_m q) P_\gamma, \quad (41)$$

$m=1,2,3,4,5$ .

Укажіть, з кількох боків і у скільки операцій, на скількох позиціях обробляється деталь.

7. Накресліть схему за умовою задачі п. 6.
8. Система має операторну формулу

$$\begin{aligned} AP_\gamma \circ UP_\gamma \circ (A_1 \circ B_1)P_\gamma \circ B_2 P_\gamma \circ \overline{LP}_\gamma \circ \\ \circ A_2 P_\gamma \circ (A_3 \circ B_3)P_\gamma \circ VP_\gamma. \end{aligned} \quad (42)$$

Скільки вона має позицій, зайнятих деталями, а скільки позицій,

- які мають оператори?
9. Чи може існувати система, якщо в умові задачі замінити  $P_\gamma$  на  $P_\alpha$ ?
  10. Накресліть схему за умовою задачі п. 8.
  11. Чи можна зобразити АЛ за умовою задачі п. 9? Спробуйте.

### 6.6. ЗАКОНИ КОМПОЗИЦІЇ (КОМПОНУВАННЯ) АГРЕГАТНИХ ВЕРСТАТІВ ТА АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ

Крім верстатів і автоматів АЛ дуже часто мають поворотні механізми, які орієнтують деталі певним чином відносно (робочих) інструментальних головок (робочих операторів). Відповідно до цього розглянемо АЛ, показану на рис. 62, яка обробляє ту саму деталь, що й АЛ, зображену на рис. 58. Вона має два однакових верстата, механізм повороту  $P_\beta$  і транспортер  $P_\alpha$ , що проходить через ці верстати (порівняй рис. 58 та рис. 62).

У випадках, коли робочі оператори не відповідають дійсному (вимагаемому деталю) стану, вони позначаються крапкою над символом. Наприклад, якщо оператор  $B$  у структурі не відповідає стану, що надається обробкою деталі, то він одержує позначення  $B^*$ . Для виконання операції  $B^*$  перед ним повинен стояти оператор зсуву  $P_\beta$ .

Таким чином, операторна формула структури АЛ, показаної на рис. 62,

$$UP_\alpha \circ (A_1qA_2q\dots A_mq) P_\alpha \circ P_\beta P_\alpha \circ (B_1^*qB_2^*q\dots B_m^*q) P_\alpha \circ V. \quad (43)$$

У загальному вигляді це правило буде виражене:

для різнойменних робочих операторів

$$AP \circ P_\beta P \circ B^* P$$

або для однойменних робочих операторів

$$A_1P \circ P_\beta P \circ A_2^*P.$$

Якщо необхідно привести оператори (з крапкою) до нормального вигляду, то це звичайно супроводжується виключенням в ячії оператора орієнтації  $P_\beta$ , або виключенням ячії з цим оператором:

$$AP \circ P_\beta P \circ B^*P = AP \circ BP;$$

$$A_1P \circ P_\beta P \circ A_2^*P = A_1P \circ A_2P.$$

Структури АЛ допускають винесення за дужки дії оператора зсуву  $P$ , якщо робочі оператори при ньому різнойменні та нормальні:

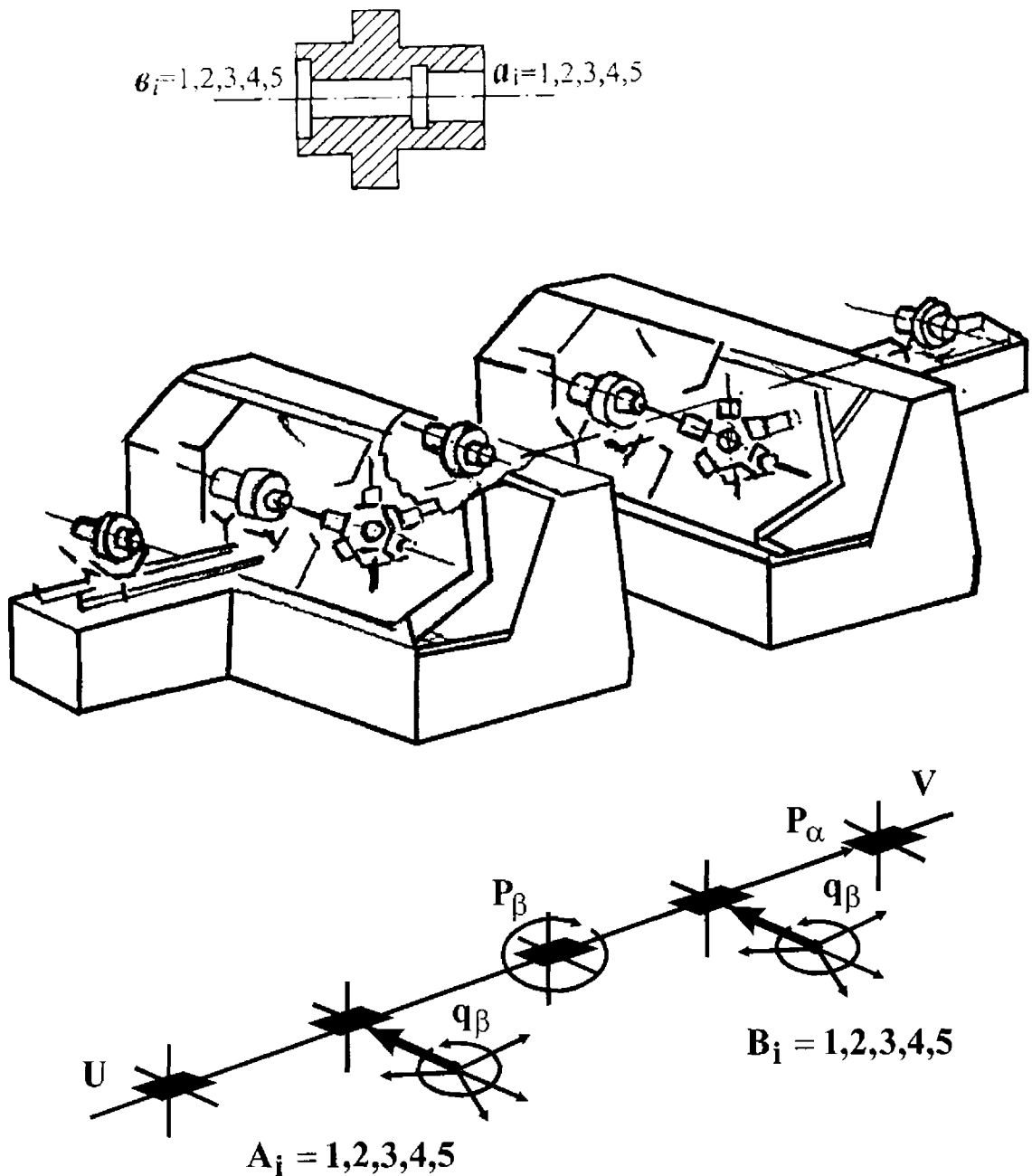


Рис. 62. Операторна схема автоматичної лінії для обробки втулки.

$$AP \circ BP = (A \circ B)P.$$

Допускається і зворотне перетворення за тих самих умов:

$$(A \circ B)P = AP \circ BP.$$

У зв'язку з цим у структурі діє комутативний закон композиції:

$$(A \circ B) = (B \circ A).$$

Цей закон не діє серед однойменних операторів:

$$(A_1 \circ A_2) \neq (A_2 \circ A_1).$$

Сформулюємо закони переходу від послідовної дії (.) операторів до одночасної ( $\circ$ ).

Нехай послідовно виконується дія операторів  $A_1, A_2, \dots, A_n$ . Тут

заміна їх здійснюється оператором  $q$

$$({}^{i=.n}A_i)q = A_1qA_2q\dots A_nq.$$

Далі необхідно замінити оператори  $q$  на  $P$ , тобто записати вирази

$$\begin{aligned} A_1qA_2q\dots A_nq &\approx A_1PA_2P\dots A_nP; \\ A_1PA_2P\dots A_nP &= ({}^{i=.n}A_i)P. \end{aligned}$$

Порівнюючи ці вирази, можна записати їх еквівалентність ( $\sim$ ), оскільки вони складаються з одних і тих самих робочих операторів  $A_i$ , тобто

$$({}^{i=.n}A_i)q \approx ({}^{i=.n}A_i)P.$$

Однак треба пам'ятати, що еквівалентність далі не розповсюджується, оскільки, з одного боку, обробка виконується в одній позиції (ячейі), а з другого – ведеться в  $n$  ячеях АЛ, яка має транспортер та ін.

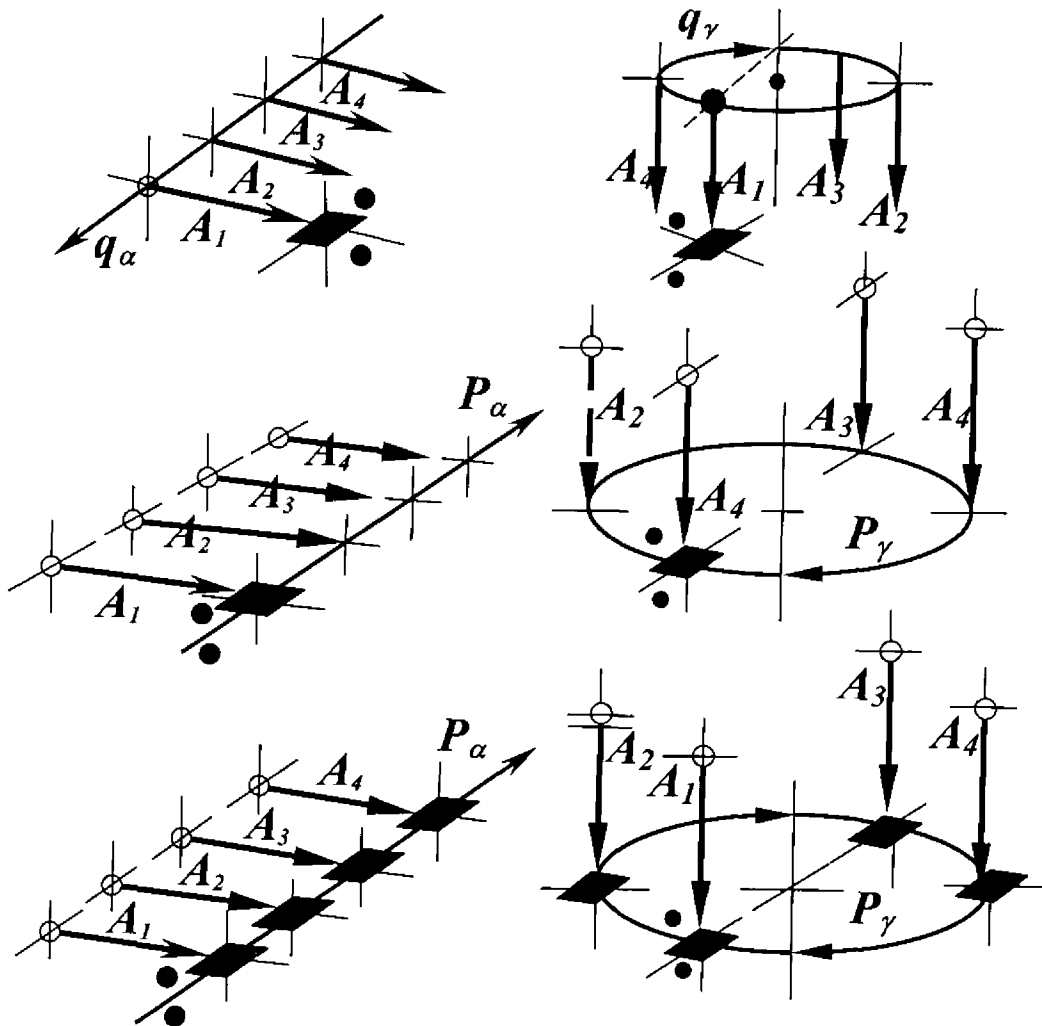


Рис. 63. Різні види операторів зсуву системами руху  $\alpha$  та  $\gamma$ .

На доповнення до цього зазначимо, що однозначна відповідність виразів, що мають  $q$  і  $P$ , зберігається за умови реалізації операторів

зсуву системами руху  $\alpha$  і  $\gamma$  (рис. 63).

Цьому міркуванню відповідають вирази:

$$A_1 q_\alpha A_2 q_\alpha \dots A_n q_\alpha \sim A_1 P_\alpha \circ A_2 P_\alpha \circ \dots \circ A_n P_\alpha$$

для реалізації системою  $\alpha$  операторів  $q$  і  $P$ ;

$$A_1 q_\gamma A_2 q_\gamma \dots A_n q_\gamma \sim A_1 P_\gamma \circ A_2 P_\gamma \circ \dots \circ A_n P_\gamma$$

для системи руху  $\gamma$ , що відноситься до  $q$  і  $P$ .

Заміна знаків ( $\bullet$ ) на ( $\circ$ ) та операторів зсуву з  $q$  на  $P$  в цих випадках приводить до зміни структури агрегатного верстата (АС), оскільки в першому випадку є тільки одна робоча позиція, а у другому утворюється багатопозиційна система.

Багатопозиційна система допускає одночасну дію робочих операторів (робочих головок, супортів, інструментів).

Однак у випадку використання системи руху  $\beta$  таке перетворення стає неможливим, тому що оператор зсуву об'єкта  $P_\beta$  тільки змінює просторовий стан об'єкта, але не переносить його в іншу позицію.

Внаслідок цього записуємо вираз

$$A_1 q_\beta A_2 q_\beta \dots A_n q_\beta \sim A_1 P_\beta A_2^* P_\beta \dots A_n^* P_\beta,$$

пам'ятаючи, що використання  $P_\beta$  спонукає перейти до "ненормальних" робочих операторів (з крапкою)  $A_2^*$ ,  $A_3^*$ , ...,  $A_n^*$ .

Зрозуміло, що така система як була однопозиційною, так однопозиційною послідовної дії і залишилася.

Для того щоб систему зробити багатопозиційною, треба після дії кожного оператора  $A_i$  ввести дію  $P_\alpha$  або  $P_\gamma$  і замінити знак ( $\bullet$ ) на знак ( $\circ$ ), тобто

$$[A_1(P_\beta A_2^*) \dots (P_\beta A_n^*)] P_\alpha = A_1 P_\alpha \circ (P_\beta A_2^*) P_\alpha \circ \dots \circ (P_\beta A_n^*) P_\alpha;$$

$$[A_1(P_\beta A_2^*) \dots (P_\beta A_n^*)] P_\gamma = A_1 P_\gamma \circ (P_\beta A_2^*) P_\gamma \circ \dots \circ (P_\beta A_n^*) P_\gamma.$$

Природно, в цих виразах, користуючись правилом приведення операторів до нормального вигляду шляхом виключення  $P_\beta$ , що стоїть перед оператором  $A_{i+1}^*$ , отримаємо:

$$A_1(P_\beta A_2^*) \dots (P_\beta A_n^*) P_\alpha = A_1 P_\alpha \circ (P_\beta A_2^*) P_\alpha \circ \dots \circ (P_\beta A_n^*) P_\alpha$$

для реалізації системою руху  $\alpha$ ,

$$A_1(P_\beta A_2^*) \dots (P_\beta A_n^*) P_\gamma = A_1 P_\gamma \circ (P_\beta A_2^*) P_\gamma \circ \dots \circ (P_\beta A_n^*) P_\gamma$$

для реалізації системою руху  $\gamma$ . Таким чином, здійснено перехід від систем  $q(\alpha, \beta, \gamma)$  до систем  $P(\alpha, \beta, \gamma)$ .



### Задачі та запитання для самостійного контролю

1. Однопозиційна АС має пристрої для завантаження і розвантаження деталей, пересування її навколо своєї осі  $P_\beta$ , робочі револьверні головки  $q$  з інструментами  $A_i, B_i, C_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ).  
Запишіть операторну формулу для обробки деталі, яка має поверхні  $a_i, b_i, c_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ), маючи на увазі, що робочі головки розташовані з відповідних боків і можуть діяти одночасно.
2. Запишіть операторну формулу для дії системи при обробці деталі з поверхнями  $a_i, b_i, c_i$  ( $i = 1, 2$ ) за умови, що всі необхідні інструменти зосереджені в одній револьверній головці, а орієнтація об'єкта здійснюється поворотним пристроєм.
3. Складіть структурну схему АС за умовою задачі п. 2 та поясніть, який принцип дії операторів реалізовано у ньому.
4. Накресліть структурну схему АЛ за умовою задачі п. 2, якщо кожний з операторів введення та виведення, робочі оператори та поворотні пристрої діють в окремих позиціях.  
Якими правилами композиції слід скористуватися для того, щоб отримати схему АЛ?
5. Складіть структурну схему АС за умовою задачі п. 1, якщо  $q_\gamma$ .
6. Накресліть структурну схему АС за умовою задачі п. 5, прирівнявши додатково, що завантаження та розвантаження відбуваються окремо від обробки. Транспортна система  $P_\gamma$ .
7. Запишіть операторну формулу, яка відповідає структурній схемі АС із задачі п. 6.
8. У структурній схемі та операторній формулі перетворіть оператори  $q - P$ , прийнявши для останнього систему руху  $\gamma$ .
9. Структуру, отриману в п. 8, доповніть операторами  $c_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ), замініть оператор  $P_\gamma$  на  $P_\alpha$ , об'єднайте різнойменні робочі оператори та запишіть операторну формулу.
10. Порівняйте структуру АЛ із задач пп. 4 і 9. Накресліть обидві структурні схеми.
11. Розгляньте схеми АЛ, в яких можна обробляти деталі за умовою задач пп. 2 і 9. Визначте необхідний набір операторів для виконання цих задач.
12. Дослідіть різницю структурних схем і операторних формул, реалізованих операторами (зсуву)  $P_\alpha$  та  $P_\gamma$  відповідно до умов задач пп. 8 і 9.

## 6.7. СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГІЧНИХ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ З НАКЛАДЕНИМИ ПОТОКАМИ

Автоматичні лінії з накладеними потоками мають два самостійних види: структури, в яких оператори не дублюють самі себе, і структури, в яких є оператори-дублери.

Розглянемо структуру АЛ з накладеними потоками без дублерів. Ці схеми можуть мати у своєму складі однойменні оператори переробки, наприклад,  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , або різнойменні:  $A_1, B_1, C_1 \dots$

Структури ТАС з накладеними потоками та однойменними операторами  $A_1, A_2, \dots, A_n$  реалізуються у більшості випадків за допомогою операторів зсуву  $P_\alpha$  і  $P_\gamma$ .

Оператор  $P_\gamma$  служить для пересування об'єктів з одного сектора в другий, тобто виконує свої функції по зовнішніх зв'язках різних секторів ТАС.

Оператор  $P_\alpha$ , призначений для пересування об'єктів (зсуву по ячеях, які належать різним потокам) всередині сектора введення і виведення.

Операторна формула такої системи:

$$[(V \circ V \circ \dots \circ V) P_\alpha (U \circ U \circ \dots \circ U)] P_\gamma \circ (A_1 \circ A_2 \circ \dots \circ A_n) P_\gamma. \quad (44)$$

На рис. 64,а показані операторні схеми технологічних автоматизованих систем АЛ з накладеними потоками, зображені в двох варіантах.

Порівняння обох варіантів схеми наочно пояснює походження назви системи з накладеними потоками.

Тут умовно будемо вважати, що кожний потік має свій оператор  $P_\gamma$ , далі число потоків дорівнює числу операторів переробки, тобто  $n$ . Оператор  $P_\alpha$  зв'язує всі потоки, зсуваючи всі об'єкти на одну ячею після кожного циклу. При цьому в ячею першого потоку вводиться об'єкт, а з ячеї  $n$ -го потоку він виводиться.

Схеми з накладеними потоками можуть мати різнойменні оператори переробки ( $A_i, B_i, \dots, K_i$ ).

Можлива схема, аналогічна попередній, і в кожному її потоці діють різнойменні оператори (з однаковим індексом). Наприклад, у першому потоці  $A_1, B_1, C_1$ ; в другому потоці  $A_2, B_2, C_2$ ; в  $n$ -му потоці  $A_n, B_n, C_n$ .

У такій схемі кожний потік має крім операторів переробки ще оператори зсуву  $P_\beta$ .

Оператори  $P_\beta$  знаходяться в ячеях, які стоять між різнойменними операторами переробки:

$$[(V \circ V \circ \dots \circ V) P_\alpha (U \circ U \circ \dots \circ U)] P_\gamma \circ (A_1 \circ A_2 \circ \dots \circ A_n) P_\gamma \circ \\ \circ (P_\beta \circ P_\beta \circ \dots \circ P_\beta) P_\gamma \circ (B_1^* \circ B_2^* \circ \dots \circ B_n^*) P_\gamma \circ \dots$$

Оператори  $(P_\beta \circ P_\beta \circ \dots \circ P_\beta)$  можуть бути виключені, при цьому оператори переробки замінюються на нормальні:

$$[(V \circ V \circ \dots \circ V) P_\alpha (U \circ U \circ \dots \circ U)] P_\gamma \circ (A_1 \circ A_2 \circ \dots \circ A_n) P_\gamma \circ \\ \circ (B_1^* \circ B_2^* \circ \dots \circ B_n^*) P_\gamma \circ \dots$$

Природно, що схеми з накладеними потоками можуть мати ячеї з об'єднаними операторами, причому об'єднання можливе окремо в кожному потоці:

$$[(V \circ V \circ \dots \circ V) P_\alpha (U \circ U \circ \dots \circ U)] P_\gamma \circ \\ \circ [(A_1 \circ B_1) \circ (A_2 \circ B_2) \circ \dots \circ (A_n \circ B_n)] P_\gamma .$$

У всіх цих схемах число потоків дорівнює найбільшому індексу при робочих операторах, тобто  $n$ .

Схеми з накладеними потоками та різнойменними операторами переробки  $(A, B, C)$  можуть бути побудовані за таким принципом. У кожному потоці діють тільки однойменні оператори, незалежно від їхнього індексу. Наприклад, в першому потоці  $A_1, A_2, \dots, A_n$ ; в другому потоці  $B_1, B_2, \dots, B_n$ ; в  $k$ -му потоці  $K_1, K_2, \dots, K_n$ .

Звідси виходить, що число потоків буде дорівнювати числу видів операторів переробки, тобто  $k$ .

Якщо в кожному потоці діють однойменні оператори, то оператори зсуву  $P_\beta$  знаходяться в зоні введення та виведення. Вони стоять в ячеях всіх потоків, крім першого, їх загальне число дорівнює  $k-1$ .

У схемах цього вигляду крім операторів переробки є оператори зсуву  $P_\gamma, P_\beta, P_\alpha$ . Оператори  $P_\gamma$  пересувають об'єкт за потоком, оператори  $P_\beta$  змінюють стан об'єкта при переході з одного потоку на другий, оператор  $P_\alpha$  знаходиться тільки в зоні введення та виведення для пересування об'єкта з одного потоку на другий.

Схеми розглядуваного виду мають окремий випадок (рис. 64,б), коли число видів рівнойменних операторів дорівнює двом ( $m=2$ ). Тоді в зоні введення та виведення замість двох операторів ( $P_\alpha$  та  $P_\beta$ ) застосовують один:  $P_{\gamma(1)}$ . Орбіта, за якою цей оператор пересуває

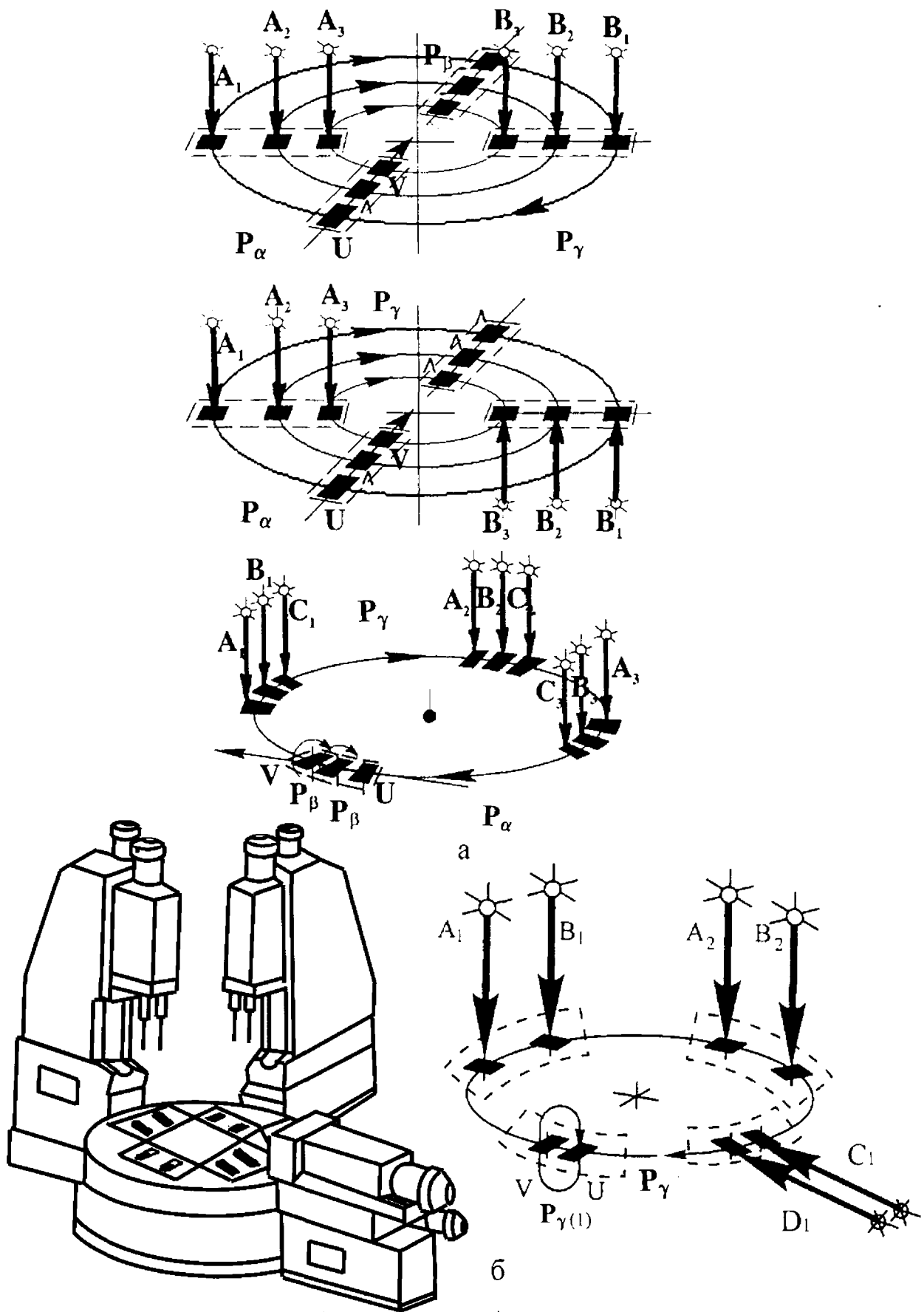
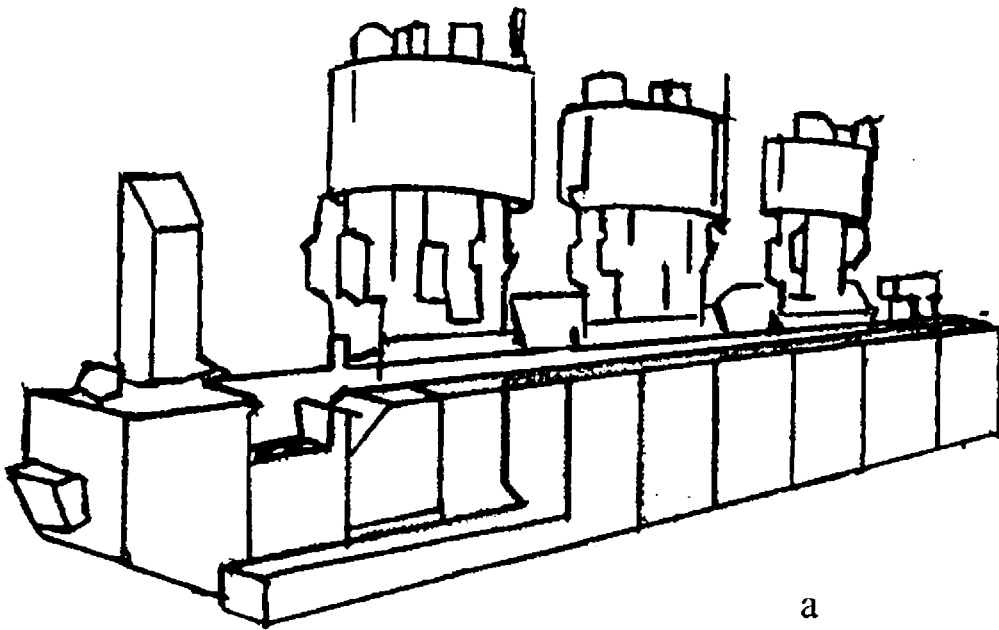


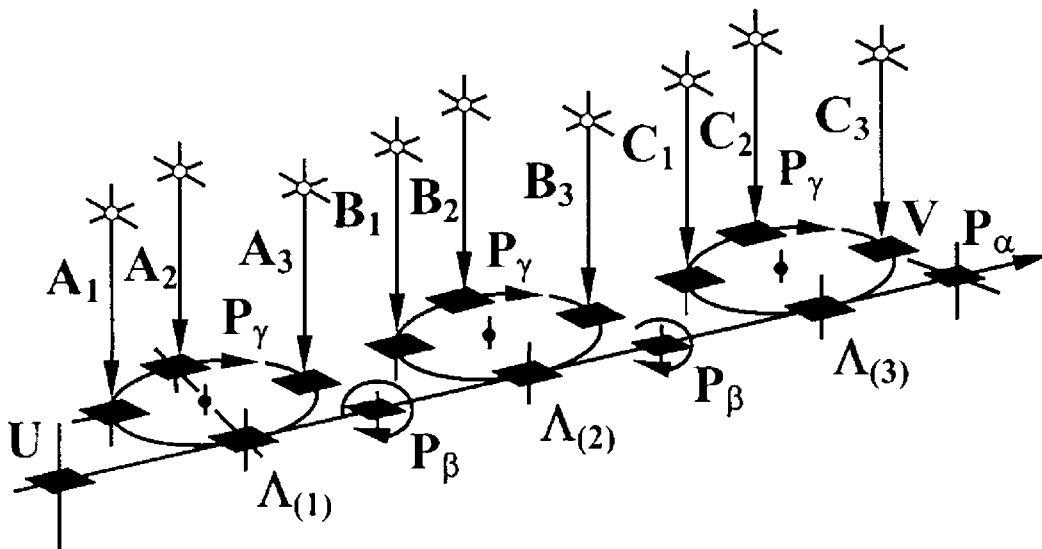
Рис. 64. Операторні схеми технологічних автоматизованих систем з накладеними потоками.

об'єкт, не повинна розміщуватися в площині дії оператора  $P_\gamma$ , який пересуває об'єкт по ячеях у потоках. Операторна формула для цього випадку:

$$[(V \circ V) P_\gamma (1) (U \circ U)] P_\gamma \circ [(A_1 \circ B_1) P_\gamma \circ (A_2 \circ B_2) P_\gamma \circ \dots \circ (C_1 \circ D_1)] P_\gamma. \quad (45)$$



а



б

Рис. 65. Автоматична лінія, яка складається з трьох вертикальних токарних автоматів (а), та операторна схема (б).

У схемах з накладеними потоками не обов'язково, щоб потоки пересування об'єктів лежали в одній площині або, щоб число ячеїв в

них було однаковим. Для цих схем необхідним і достатнім є наступне:

- а) потоки повинні бути реалізовані на операторах зсуву, які мають замкнену орбіту пересування об'єктів;
- б) потоки повинні з'єднуватися між собою оператором зсуву, наприклад, типу  $P_\alpha$ .

На рис. 65,б зображено схему цієї автоматичної лінії, на ній виконується обробка маховика тракторного двигуна. Дана АЛ має три потоки: перший - з операторами  $A_1, A_2, \dots, A_5$ ; другий - з операторами  $B_1, B_2, \dots, B_5$ ; третій - з операторами  $C_1, C_2, \dots, C_5$ . Пересування об'єкта у всіх потоках відбувається по орбітах, розташованих у горизонтальній площині.

Перехід об'єкта з одного потоку на інший виконано за допомогою оператора  $P_\alpha$ . Операторна формула:

$$UP_\alpha \circ (\Delta P_\gamma \circ A_1 P_\gamma \circ \dots \circ A_n P_\gamma) P_\gamma \circ P_\beta P_\alpha \circ (\Delta P_\gamma \circ B_1 P_\gamma \circ \dots \circ B_n P_\gamma) P_\gamma \circ P_\beta P_\alpha \circ (\Delta P_\gamma \circ C_1 P_\gamma \circ \dots \circ C_n P_\gamma) P_\alpha \circ V. \quad (46)$$

Тут розглянуто нетиповий приклад схеми з накладеним, але не суміщеним потоком.

## 6.8. СТРУКТУРА АГРЕГАТНИХ ВЕРСТАТІВ ТА АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ З ОПЕРАТОРАМИ-ДУБЛЕРАМИ

Припустимо, що структура АВ має кілька накладених потоків. У кожному потоці оператори переробки повторюють самі себе, наприклад:

у першому потоці  $A_1, A_2, \dots, A_n$ ;

у другому потоці  $A_1, A_2, \dots, A_n$ ;

у  $n$ -му потоці  $A_1, A_2, \dots, A_n$ .

Такі схеми називається ТАС з дублерами. Вони часто застосовуються в тих випадках, коли треба інтенсифікувати вихід об'єктів з АВ або АЛ за кожний цикл.

Схеми з дублерами можуть будуватися як для однойменних, так і для різнойменних операторів переробки. В останньому випадку в потоках крім операторів  $A, B, C$  повинні бути оператори зсуву  $q$  і  $P$ . Особливістю схем з дублерами є відсутність оператора  $P_\alpha$  (або  $P_\gamma$ ), що з'єднує окремі потоки, оскільки перехід об'єктів з потоку на потік не відбувається. Окремі потоки можуть мати як замкнені, так і розі-

мкнені траєкторії пересування об'єктів.

Якщо об'єкти в кожному потоці пересуваються по ячеях за допомогою оператора  $P_\alpha$ , то їх траєкторії є розімкненими. Схеми з дублерами будуються або з одним загальним транспортером  $P$ , який обслуговує зони з ячеями, або з кількома операторами  $P$ , причому число цих операторів дорівнює числу потоків.

Операторна формула для схеми з одним транспортером (рис. 66,а):

$$(U \circ U \circ \dots \circ U) P_\alpha \circ (A_1 \circ A_1 \circ \dots \circ A_1) P_\alpha \circ (A_2 \circ A_2 \circ \dots \circ A_2) P_\alpha \circ \dots \circ (A_n \circ A_n \circ \dots \circ A_n) P_\alpha \circ (V \circ V \circ \dots \circ V). \quad (47)$$

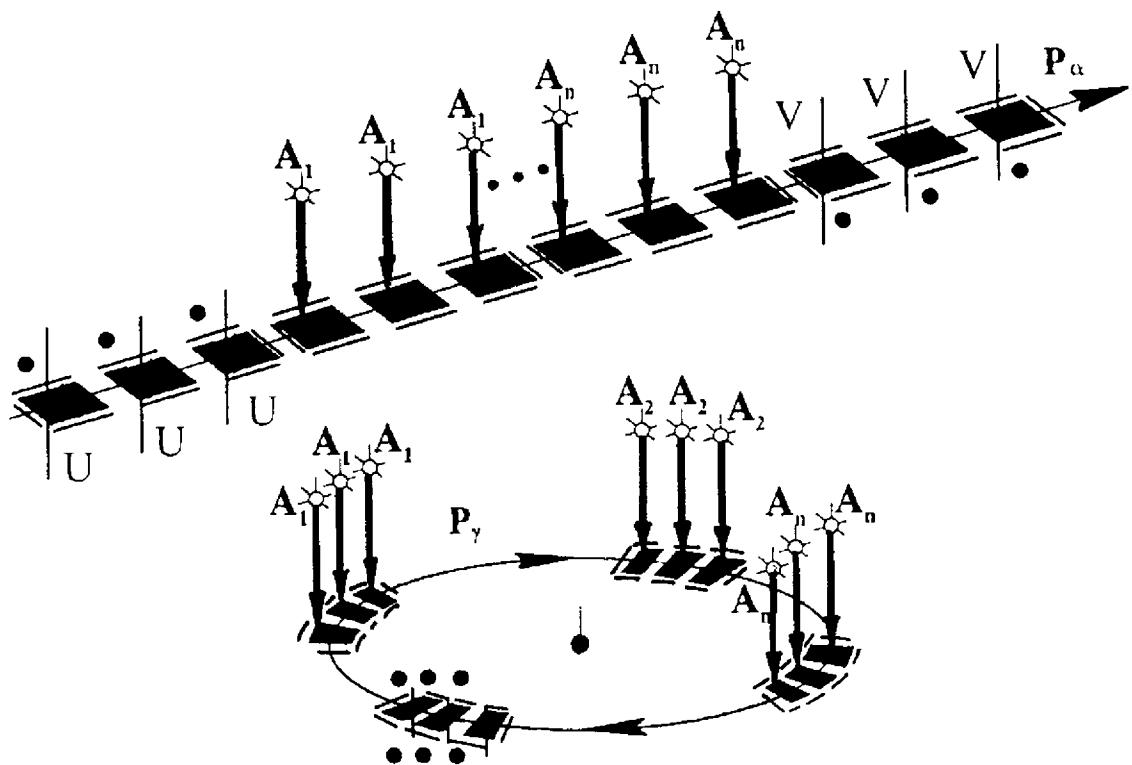


Рис. 66. Операторні схеми автоматичних ліній з дублерами з прямолінійним транспортером (а) та із замкненим круговим транспортером (б).

Ця операторна формула може бути записана в загальному вигляді:

$$\left( \begin{matrix} m \\ \circ U \end{matrix} \right) P_\alpha \circ \left( \begin{matrix} m \\ \circ A_1 \end{matrix} \right) P_\alpha \circ \left( \begin{matrix} m \\ \circ A_2 \end{matrix} \right) P_\alpha \circ \dots \circ \left( \begin{matrix} m \\ \circ A_n \end{matrix} \right) P_\alpha \circ \left( \begin{matrix} m \\ \circ V \end{matrix} \right). \quad (48)$$

Тут у дужках стоять знаки одночасності з указанням числа операторів кожної зони. В скороченому запису формули індекси вказують на число операторів даного виду в зоні. Знак  $\circ$  перед символом

оператора означає, що всі оператори в зоні працюють одночасно, кожний в своїй ячеї.

Операторна формула для схеми з  $m$  операторами  $P_\alpha$  у скороченому вигляді така:

$$\circ \left( UP_\alpha \circ A_1 P_\alpha \circ A_2 P_\alpha \circ \dots \circ A_m P_\alpha \circ V \right)_i. \quad (49)$$

У цій схемі є кілька операторів  $P_\alpha$ . При скороченому запису операторної формули, крім символів операторів в круглих дужках вказують індекс  $i$ , маючи на увазі, що запис у круглих дужках повторюється  $i=m$  разів.

Для зсуву по ячеях можуть використовуватися оператори  $P_\gamma$  із замкненою траєкторією пересування об'єкта. Ці схеми відрізняються від попередніх тим, що введення та виведення об'єктів відбувається в одній і тій самій ячеї (рис. 66,б). Тому в операторних формулах символи операторів виведення  $V$  пересуваються до першого члена формули та записуються перед оператором введення  $U$ . Зв'язок між  $VU$  у в цьому випадку отримується за допомогою знака послідовності ( $\circ$ ).

Операторна формула для схеми з  $m$  - операторами  $P_\gamma$ :

$$\circ \left( VUP_\gamma \circ A_1 P_\gamma \circ A_2 P_\gamma \circ \dots \circ A_n P_\gamma \right)_i. \quad (50)$$

Операторна формула для схеми з одним оператором у скороченому запису:

$$\left( \begin{matrix} i=k \\ \circ (VU) \end{matrix} \right) P_\gamma \circ \left( \begin{matrix} i=k \\ \circ A_1 \end{matrix} \right) P_\gamma \circ \left( \begin{matrix} i=k \\ \circ A_2 \end{matrix} \right) P_\gamma \circ \dots \circ \left( \begin{matrix} i=k \\ \circ A_n \end{matrix} \right) P_\gamma. \quad (51)$$

Всі ці схеми характерні тим, що побудовані з використанням тільки однойменних операторів.

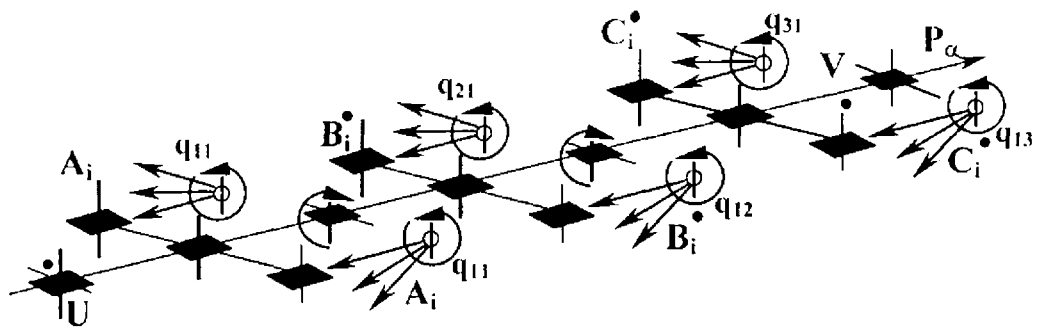
Розглянемо структури АЛ з дублерами, в яких працюють різноіменні оператори. Такі схеми можуть бути складені з кількох АС послідовної дії. В цьому випадку виконується кілька послідовних операцій в одній ячеї, тобто без пересування об'єкта по ячеях.

На рис. 67,а зображено лінію для обробки деталей типу фітінгів на револьверних автоматах. Тут три пари верстатів, кожна пара - дублери. Пересування відбувається за допомогою загального вібраційного транспортера, на якому деталі можуть приймати потрібну орієнтацію за допомогою  $P_\beta$ . Після виконання ряду операцій  $A_1, A_2, A_3$  на одному з автоматів-дублерів деталі передаються на автомат, який виконує операції  $B_1, B_2, B_3$  та ін. В лінії є поперечні транспортери, на

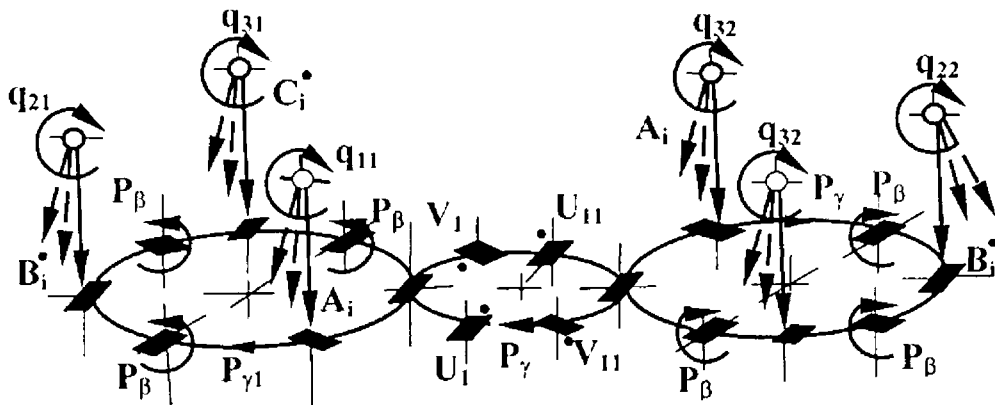


які об'єкти подаються в автомати та видаляються після обробки. Операторна формула:

$$\begin{aligned}
 & UP_{\alpha} \circ \left( \left\langle \begin{matrix} i=2 \\ \circ (A_1 q A_2 q A_3 q) P_{\alpha_1} \circ V \end{matrix} \right\rangle_i \right) P_{\alpha} \circ P_{\beta} P_{\alpha} \circ \\
 & \circ \left( \left\langle \begin{matrix} i=2 \\ \circ (B_1 q B_2 q B_3 q) P_{\alpha_2} \circ V \end{matrix} \right\rangle_i \right) P_{\alpha} \circ P_{\beta} P_{\alpha} \circ \\
 & \circ \left( \left\langle \begin{matrix} i=2 \\ \circ (C_1 q C_2 q C_3 q) P_{\alpha_3} \circ V \end{matrix} \right\rangle_i \right) P_{\alpha} \circ V. \tag{52}
 \end{aligned}$$



а



б

Рис. 67. Операторні схеми двох автоматичних ліній: а - з трьох пар револьверних автоматів-дублерів; б - з двох спеціальних агрегатних автоматів.

Така автоматична лінія побудована на базі універсальних револьверних верстатів. Схема виконана з оператором  $P_{\alpha}$ , що застосову-

ється для передачі об'єкта з одного автомата на інший.

Можливим є рішення цієї самої задачі з використанням оператора  $P_{\delta}$ .

Структурна схема АЛ, виконаної на базі спеціальних агрегатних автоматів, показана на рис. 67,б.

Ця лінія складається з двох центроколонних агрегатних автоматів-дублерів, об'єднаних спільним пристроєм введення та виведення об'єктів.

Схема побудована із застосуванням операторів  $P_{\gamma(1)}$  та  $P_{\gamma(2)}$  для пересування об'єктів по робочих ячеях та одного оператора  $P_{\gamma(3)}$  для засилання об'єкта в ТАС.

Всі три оператори пересувають об'єкти по замкненій траєкторії. У кожному автоматі є оператори  $P_{\beta}$  для переорієнтації об'єктів безпосередньо перед обробкою.

Операторна формула:

$$\circ \left( UP_{\gamma} \left\langle AP_{\gamma} \circ A_1 q A_2 q A_3 q P_{\gamma} \circ P_{\beta} P_{\gamma} \circ B_1^* q B_2^* q B_3^* q P_{\gamma} \circ \dots \circ P_{\beta} P_{\gamma} \right\rangle \right) \times \quad (53) \\ \times P_{\gamma} \circ VP_{\gamma}.$$

У розглянутих двох системах оператори  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) знаходяться в різних позиціях. Якщо за вимогами процесу обробки така роздільна дія операторів не допускається, то схеми з дублерами повинні будуватися з АВ послідовної дії, які в одній позиції мають: робочі оператори  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$ , оператори переорієнтації об'єкта  $P_{\beta}$  і оператори зсуву  $q$ . Оператор  $q$  реалізується однією з систем рухів:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

## 6.9. СИНТЕЗ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ ТА АГРЕГАТНИХ ВЕРСТАТІВ ЯК ТЕХНОЛОГІЧНИХ АВТОМАТІВ

Різні види АЛ і АВ, розглянуті раніше, характеризуються в першу чергу структурою. "Статика" структури досить повно відображується структурними схемами АЛ або АВ, а "динаміка" - операторною формулою (що фактично являє собою алгоритм функціонування АЛ та АВ).

Як видно з розглянутих випадків, структура АЛ та АВ може бути дуже простою, складатися з одного потоку. Структуру ТАС цього виду звичайно називають примітивною, а її модель - П-автоматом.

Структура з накладеними потоками називається непримітивною, а її модель – НП - автоматом; структура з рознесенням технологічних потоків у площині або в просторі створює псевдонакладені потоки; модель структури такої ТАС буде ПНП - автоматом.

При застосуванні дублюючих технологічних операторів або дублюючих потоків, об'єднаних в одній ТАС, модель такої багатопотокової структури буде представляти МП - автомат.

Синтез АЛ та АВ кожної із згаданих структур має багато спільного, але в деяких випадках наявні особливості, характерні для певних видів ТАС. Синтез ТАС виконується у кілька формальних кроків, внаслідок чого на кожному кроці перетворюється схема вихідної структури, при цьому зберігається прийнятий ТМ. Кожна схема, отримана внаслідок покрокового застосування правил перетворення структури, має самостійне значення і може бути прийнята для дальшої технічної реалізації. Число варіантів структур залежить від виду моделі автомата. Розглянемо синтез ТАС, застосовуючи покрокове правило перетворення схем і операторних формул для різних видів П-, НП-, ПНП - автоматів. Результатом такого формального перетворення буде гомологічний ряд структур ТАС, якими є автоматичні лінії машинобудівного виробництва П - автоматів.

З попереднього виходить, що структура П - автомата залежить від таких факторів: системи рухів технологічного об'єкта; способу і місця розташування операторів введення та виведення.

Розглянемо послідовну схему П - автомата. Можна вказати на її чотири базові різновиди, визначувані способом виконання операцій  $U$  та  $V$ .

Перший варіант (рис. 68,а) передбачає розміщення операторів  $U$  та  $V$  в одній ячеї з технологічними операторами  $A_i, B_i, \dots, K_i$  та операторами  $P_\beta$  та  $q$ .

Операторна формула:

$$U \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet \\ (A_i q) \end{matrix} \right) P_\beta \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet \\ (B_i^* q) \end{matrix} \right) P_\beta \cdot \dots \cdot \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet \\ (K_i^* q) \end{matrix} \right) P_\beta V. \quad (54)$$

Другий варіант (рис. 68,б) передбачає розміщення операторів  $U$  та  $V$  окремо від операторів переробки  $A_i, B_i, \dots, K_i$  та оператора  $P_\beta$ . Це можливо тільки при послідовному виконанні  $VU$  в одній ячеї. Для цього структура повинна мати оператор  $P_\gamma$  для зсуву об'єкта по ячеях.

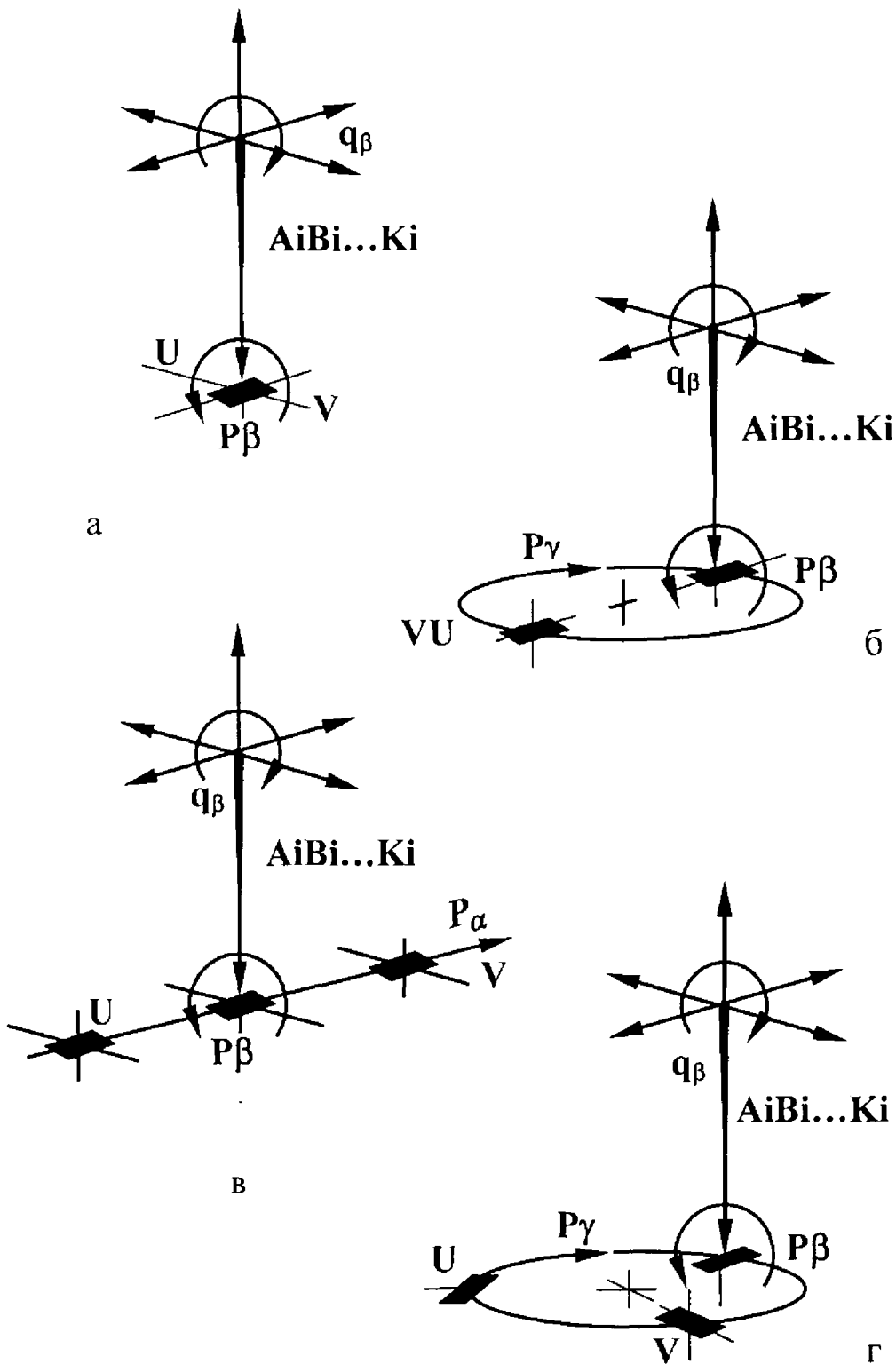


Рис.68. Базові різновиди П-автомата, які враховують спосіб руху об'єкта та спосіб його розміщення.

Операторна формула:

$$(VU)P_\gamma \circ \left( \bullet (A_i q) \right) P_\beta \left( \bullet (B_i^* q) \right) P_\beta \dots \left( \bullet (K_i^* q) \right) P_\beta P_\gamma. \quad (55)$$

Третій варіант (рис. 68,в) передбачає дальше розширення струк-

тури розщепленням на дві ячеї з операторами  $U$  та  $V$ . В них виконуються окремо дії цих операторів, а решта - аналогічно попередньому.

Операторна формула:

$$UP_\gamma \circ \left( \bullet (A_i q) \right) P_\beta \left( \bullet (B_i^* q) \right) P_\beta \cdot \dots \cdot \left( \bullet (K_i^* q) \right) P_\beta P_\alpha \circ V. \quad (56)$$

Тут як оператор зсуву використано  $P_\alpha$ .

Четвертий варіант (рис. 68,г): структурна побудова аналогічно попередньому, але із зсувом об'єкта по ячехах за допомогою оператора  $P_\gamma$ .

Операторна формула:

$$UP_\gamma \circ \left( \bullet (A_i q) \right) P_\beta \left( \bullet (B_i^* q) \right) P_\beta \cdot \dots \cdot \left( \bullet (K_i^* q) P_\beta \right) P_\gamma \circ VP_\gamma. \quad (57)$$

Різниця в структурі цієї схеми тільки в додатковій дії оператора зсуву  $P_\gamma$  після  $V$ , яке в реальній ТАС повертає порожню ячею в позицію (завантаження) введення об'єкта.

На основі теореми про перетворення схем автоматів можна перетворити структури автомата з операторами переробки на основі будь-якого з базисних схем автоматів, наведених раніше. Докладно розглянемо гомологічний ряд, отриманий на основі четвертої базисної схеми, тобто з кільцевим оператором  $P_\gamma$ , для переадресації об'єктів і двома ячехами відповідно для  $U$  та  $V$ . Ця базова схема може мати кілька програмних реалізацій. Пояснимо це.

Нехай після введення об'єкта та зсуву його в ячею з технологічними операторами останні працюють за програмою:

$$A_1 q P B_1^* q P \cdot \dots \cdot K_1^* q P A_2 q P B_2^* q P \cdot \dots \cdot K_2 q P \cdot \dots \cdot A_n q P B_n^* q P \cdot \dots \cdot K_n^* q P,$$

після чого об'єкт зсувається у ячею виведення.

Однак автомат може працювати і за іншою програмою:

$$(A_1 q A_2 q) P_\beta (B_1^* q B_2^* q) P_\beta \cdot \dots \cdot (K_1^* q K_2^* q) P_\beta \cdot \dots \cdot (A_{n-1} q A_n q) P_\beta (B_{n-1} q B_n q) P_\beta \cdot \dots \cdot (K_{n-1} q K_n q) P_\beta.$$

Характерною особливістю цієї програми є те, що число дій оператора  $P_\beta$  скоротилося в 2 рази за рахунок об'єднання однойменних операторів "по два".

Якщо "об'єднати" всі однойменні оператори та забезпечити їх

послідовну роботу, то програма буде:

$$(A_1qA_2q \cdot \dots \cdot A_nq)P_\beta (B_1^*qB_2^*q \cdot \dots \cdot B_n^*)P_\beta \cdot \dots \cdot (K_1^*qK_2^*q \cdot \dots \cdot K_n^*)P_\beta. \quad (58)$$

Тут число дій оператора  $P$  дорівнює  $K$  проти  $(kn)$  у першому варіанті.

Згадані перетворення операторних формул нічого не змінять у структурній схемі ТАС:

$$UP_\gamma \circ \left( \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet \\ A_iq \end{matrix} \right) P_\beta \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet \\ B_iq \end{matrix} \right) P_\beta \cdot \dots \cdot \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet \\ K_iq \end{matrix} \right) P_\beta \right) P_\gamma \circ VP_\gamma, \quad (59)$$

але обов'язково повинні бути враховані при виборі програми його роботи, оскільки впливають на його технічні показники (про показники див. далі).

ТАС зі схемою (рис. 69,а) має структуру, в основу якої покладено останню програму. Кожна її робоча ячея має у своєму складі різнойменні технологічні оператори.

Операторна формула:

$$UP_\gamma \circ \left( \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet \\ A_iq \end{matrix} \right) P_\beta \right) P_\gamma \circ \left( \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet \\ B_i^*q \end{matrix} \right) P_\beta \right) P_\gamma \circ \dots \circ \left( \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet \\ K_i^*q \end{matrix} \right) P_\beta \right) P_\gamma \circ VP_\gamma. \quad (60)$$

Подальше перетворення структури зв'язане з виділенням дії оператора  $P_\beta$  у окрему ячею. Число таких ячей буде дорівнювати числу різнойменних технологічних операторів. У результаті такого перетворення отримаємо ТАС зі схемою (рис. 69,б), яка має окремі ячеї з операторами орієнтації  $P_p$ .

Операторна формула:

$$UP_\gamma \circ \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet \\ A_iq \end{matrix} \right) P_\gamma \circ P_\beta P_\gamma \circ \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet \\ B_i^*q \end{matrix} \right) P_\gamma \circ P_\beta P_\gamma \circ \dots \circ \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet \\ K_i^*q \end{matrix} \right) P_\gamma \circ P_\beta P_\gamma \circ VP_\gamma. \quad (61)$$

Наступне перетворення структури переводить стаціонарно зміщені оператори  $B^*, \dots, K^*$ , до нормального виду  $B, \dots, K$ , що дозволяє позбутися операторів  $P_\beta$ , які служать для орієнтації технологічного об'єкта. Перетворення структури ТАС виконується за правилом:

$$AP \circ P_\beta P \circ B^*P = AP \circ B^*P.$$

Операторна формула має ячеї з нормальними технологічними операторами (рис. 69,в):

$$UP_{\gamma} \circ \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet A_i q \end{matrix} \right) P_{\gamma} \circ \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet B_i^* q \end{matrix} \right) P_{\gamma} \circ \dots \circ \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet K_i^* q \end{matrix} \right) P_{\gamma} \circ VP_{\gamma}. \quad (62)$$

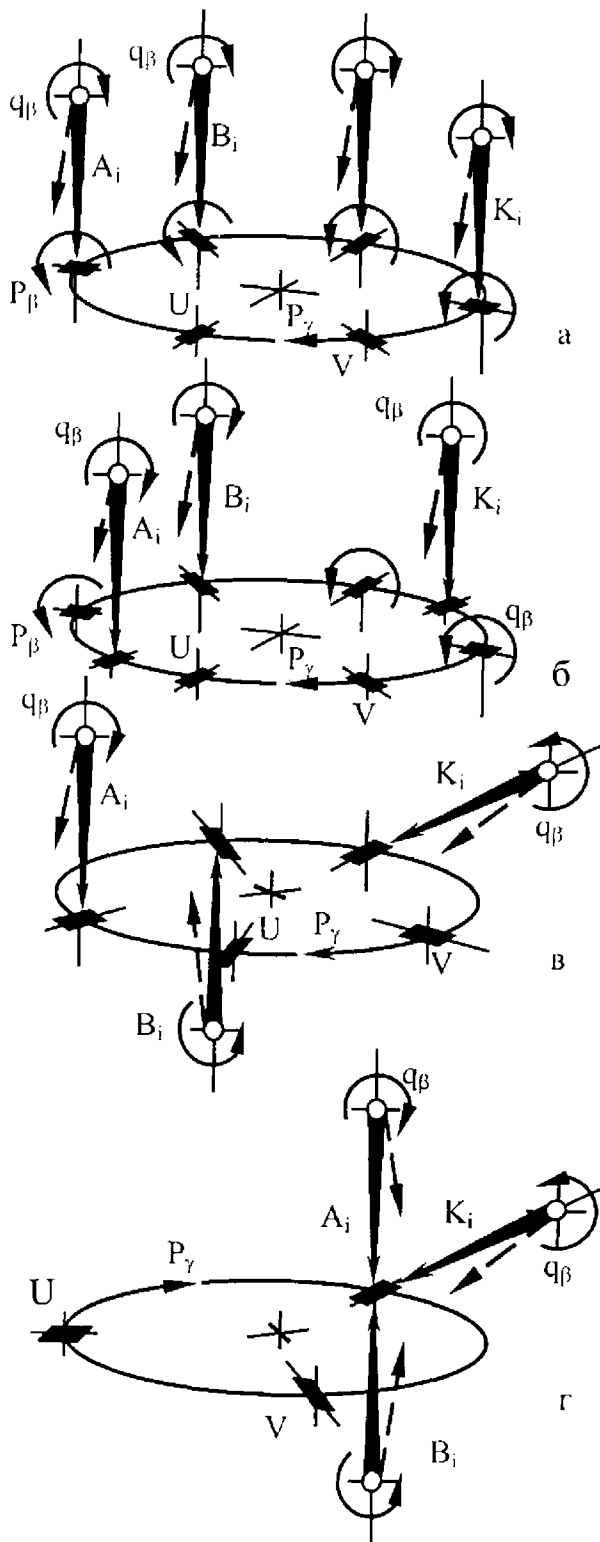


Рис. 69. Структури II - автомата з робочими ячеями, які складаються з різнойменних технологічних операторів.

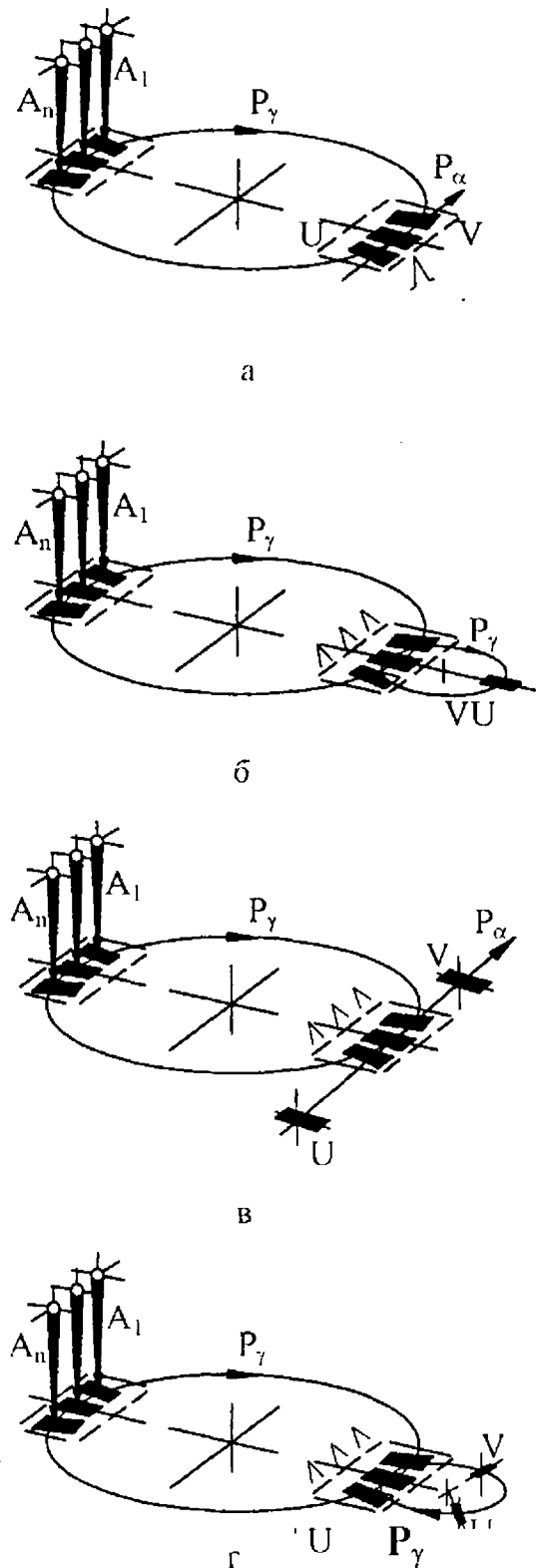


Рис. 70. Структури ПН - автомата з ячеями переадресації технологічних об'єктів.

Об'єднання різнойменних операторів на основі правила

$$AP \circ BP = (A \circ B)P$$

дозволяє отримати черговий варіант структури ТАС (рис. 69,г). Це вельми економічна структура, як і базисна, має однакове число ячеїв. При цьому робоча ячея має максимальну концентрацію операторів переробки. Операторна формула:

$$UP_{\gamma} \circ \left( \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet \\ A_i q \end{matrix} \right) \circ \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet \\ B_i q \end{matrix} \right) \circ \dots \circ \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet \\ K_i q \end{matrix} \right) \right) P_{\gamma} \circ VP_{\gamma}. \quad (63)$$

Наступне перетворення структури виконується таким чином. Береться базисний автомат, послідовна структура якого розкладається повністю в автомат одночасної структури. Дальші перетворення аналогічні попередньому, тобто використовуються ті самі правила і в тому самому порядку.

Розглядаючи гомологічний ряд з четвертою базисною схемою, можна зробити такі висновки:

ТАС виду  $\Pi$  може бути скінченним числом, визначуваним програмою роботи, числом операцій та елементів ТО. Крім того, довжина ряду, визначаєма числом схем структур послідовної та одночасної дії - число скінчене, яке залежить від алгоритму перетворення, тобто від числа та порядку застосування правил перетворення структур.

Решта гомологічних рядів відрізняються від аналізованих характеристиками базисних структур.

### НП-автомати

НП - автомати являють собою кілька різновидів структур АЛ і АВ з накладеними потоками. Формально вкажемо на основні способи конструювання структурних схем ТАС. Ці ТАС мають два самостійних оператора переадресації: один - за потоками, другий - за ячеями. Базисні структури цих автоматів відрізняються:

- а) способом переадресації технологічних об'єктів за потоками;
- б) наявністю спеціальних ячеїв для операторів  $U$  (введення) та  $V$  (виведення).

Варіант перший (рис. 70,а). Автомат має оператор переадресації за ячеями  $P_{\gamma}$  та оператор переадресації за потоками  $P_{\alpha}$ . Спеціальні ячеї  $U$  та  $V$  у схемі відсутні, а оператори  $VU$  розміщуються в різних потоках.

Операторна формула:



$$\left( \begin{array}{c} P_\gamma(A_1 \circ A_2 \circ A_3) \circ \\ P_\gamma(UP_\alpha \circ LP_\alpha \circ V) \end{array} \right). \quad (64)$$

Варіант другий (рис. 70,б) передбачає виділення ячеї для операторів  $U$  та  $V$ , дії яких проходять у спеціальній (одній) ячеї послідовно, однак при цьому з'являються порожні ячеї  $A_1, A_2, \dots$  у всіх потоках в тих випадках, коли переадресацію за потоками робить оператор  $P_\gamma$ .

Операторна формула:

$$VUP_\gamma \circ \left( \begin{array}{c} P_\gamma(A_1 \circ A_2 \circ A_3) \circ \\ \circ P_\gamma(A_1 P_{\gamma \circ} A_2 P_{\gamma \circ} A_3 P_{\gamma \circ}) \end{array} \right). \quad (65)$$

Варіант третій (рис. 70,в) передбачає одночасну дію операторів  $U$  та  $V$  в різних ячеях при використанні для переадресації за потоками оператора  $P_\alpha$ .

Операторна формула:

$$UP_\alpha \circ \left( \begin{array}{c} P_\gamma(A_1 \circ A_2 \circ A_3) \circ \\ \circ P_\gamma(LP_\alpha \circ AP_\alpha \circ AP_\alpha) \end{array} \right) \circ V. \quad (66)$$

Варіант четвертий (рис. 70,г) відрізняється від попереднього оператором  $P_\gamma$ , який використовується для переадресацій технологічного об'єкта за потоками. В структурі цієї ТАС оператор  $P_\gamma$  забезпечує додатковий рух повертання порожньої ячеї - супутника після повернення у вихідний стан.

Операторна формула:

$$UP_\gamma \circ \left( \begin{array}{c} P_\gamma(A_1 \circ A_2 \circ A_3) \circ \\ \circ P_\gamma(LP_{\gamma \circ} LP_{\gamma \circ} LP_{\gamma \circ}) \end{array} \right) \circ VP_{\gamma \circ}. \quad (67)$$

Наведені базові структури можуть бути піддані розкладанню та об'єднанню відповідно до раніше розроблених прийомів. Ряди структур НП - автомата, отримувані внаслідок перетворення, дозволяють з'ясувати характер і порядок зміни структури від варіанта до варіанта. Це, як і раніше, допоможе побудувати гомологічні ряди структур для кожної базисної схеми, взятої за вихідну.

Розглядаючи гомологічний ряд НП - автоматів, можна зробити такі висновки.

Число можливих структур - скінчене і визначається програмою роботи, числом операцій та потоків НП - автомата.

Ця кількість структур значно залежить від алгоритму перетво-

рення базисної структури.

Число НП - автоматів послідовної та одночасної дії в загальному випадку є однаковим.

### ПНП – автомати

Структури ПНП - автоматів значно відрізняються від НП- та П- автоматів, проте формальні ознаки, до яких відносять присутність всіх елементів схеми, вказують на деяку спорідненість НП- та ПНП - автоматів. Так, якщо розрізняти траєкторії всіх потоків у НП - автоматах і забезпечити їх просторову незалежність, можна отримати приблизну модель ПНП - автомата.

Як і в розглянутих раніше гомологічних групах НП - автомати мають чотири базисні структури, які розрізняються способом дії операторів переадресації за потоками і наявністю спеціальних ячеїв для операторів введення та виведення.

Варіант перший: ПНП - автомат (рис. 71.а) має оператори переробки  $A_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , оператори переадресації за ячеями  $P_\gamma$  та оператор переадресації за потоками  $P_\alpha$ .

Ячеї введення та виведення одночасно належать обом операторам.

Операторна формула:

$$\begin{pmatrix} P_\gamma U \\ \circ P_\gamma A_1 \end{pmatrix} P_\alpha \circ \begin{pmatrix} P_\gamma \Lambda \circ \\ \circ P_\gamma A_2 \end{pmatrix} P_\alpha \circ \dots \circ \begin{pmatrix} P_\gamma V \\ \circ P_\gamma A_n \end{pmatrix}.$$

Варіант другий (рис. 71, б) передбачає використання для переадресації за потоками оператора  $P_\gamma$ , решта - елементи ПНП - структури аналогічні попередньому, але при цьому є ячея для послідовної роботи операторів  $U$  та  $V$ .

Операторна формула:

$$VUP_{\gamma^\circ} \circ \begin{pmatrix} P_\gamma \Lambda \\ \circ P_\gamma A_1 \end{pmatrix} P_{\gamma^\circ} \circ \begin{pmatrix} P_\gamma \Lambda \\ \circ P_\gamma A_2 \end{pmatrix} P_{\gamma^\circ} \circ \dots \circ \begin{pmatrix} P_\gamma \Lambda \\ \circ P_\gamma A_n \end{pmatrix} P_\gamma.$$

В цій структурі є порожні ячеї, що належать двом операторам переадресації.

Варіант третій (рис. 71,в) передбачає наявність спеціальних ячеїв (окремих) для операторів  $U$ ,  $V$  та їх одночасну дію. Переадресація за потоками виконується оператором  $P_\alpha$ , а всередині потоку, як і раніше, - оператором  $P_\gamma$ . Операторна формула:

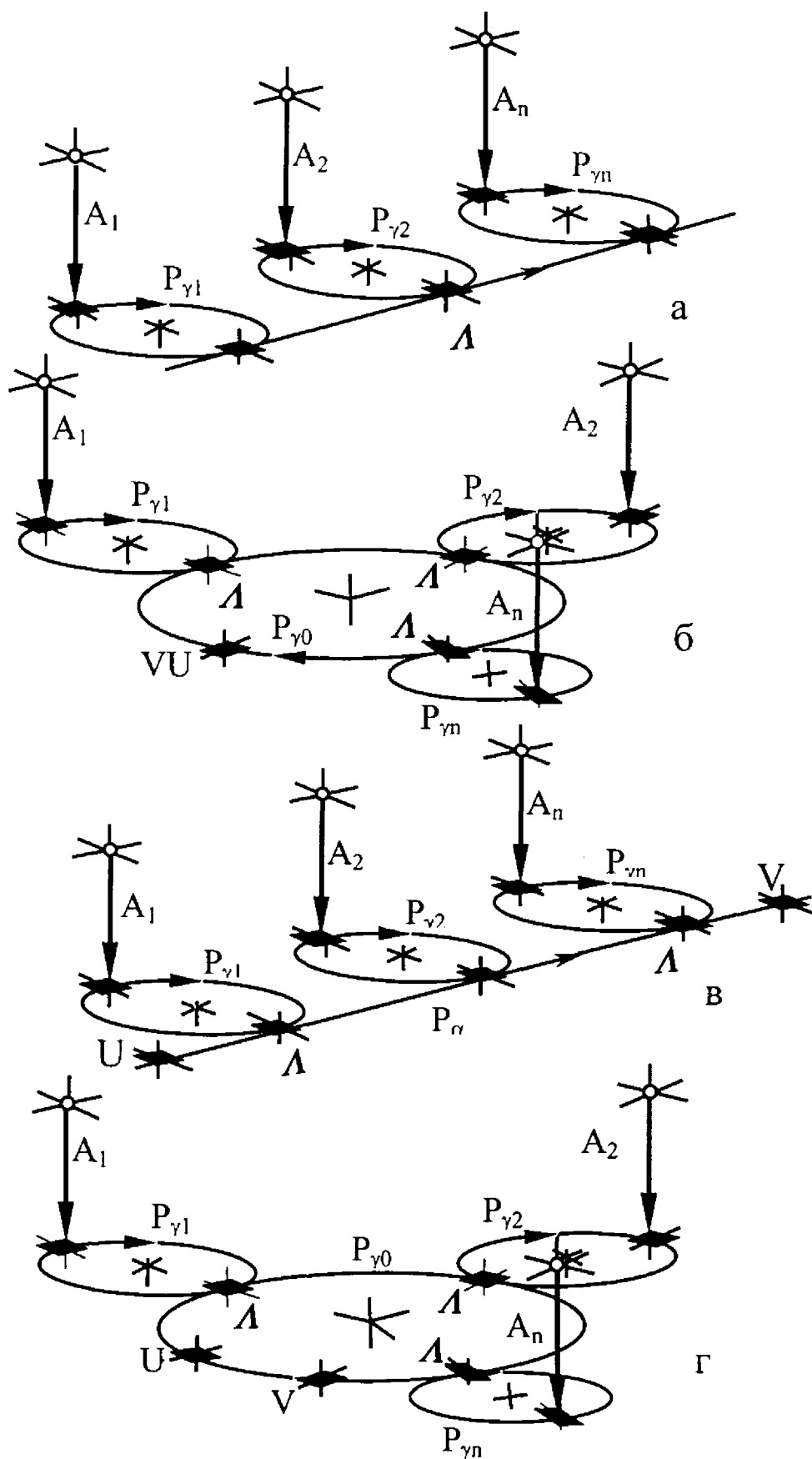


Рис.71. Структури ПНП-автомата послідовної дії, що мають оператори переробки  $A_i$ , переадресації по ячках  $P_\gamma$  і переадресації по потоках  $P_\alpha$ .

$$UP_{\alpha} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \\ \circ P_{\gamma} A_1 \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \\ \circ P_{\gamma} A_2 \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ \dots \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \\ \circ P_{\gamma} A_n \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ V.$$

Тут є порожні ячеї за числом потоків.

Варіант четвертий (рис. 71,г) відрізняється від попереднього використанням для переадресції об'єкта за потоками оператора  $P_{\gamma}$ ; внаслідок чого структура його описується операторною формулою:

$$UP_{\gamma \circ} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \\ \circ P_{\gamma} A_1 \end{pmatrix} P_{\gamma \circ} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \\ \circ P_{\gamma} A_2 \end{pmatrix} P_{\gamma \circ} \circ \dots \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \\ \circ P_{\gamma} A_n \end{pmatrix} P_{\gamma \circ} \circ VP_{\gamma \circ}.$$

На відміну від попереднього ПНП - автомата в його структурі іде додатковий рух повертання порожньої ячеї оператором  $P_{\gamma}$  після виконання виведення об'єкта.

Розглянуті способи утворення базисних структур можуть бути піддані розкладанню та об'єднанню відповідно до розроблених правил і прийомів. Ряди структур, отримуваних внаслідок перетворення, дозволяють з'ясувати характеристики структур при переході від однієї до другої. Це дозволяє побудувати гомологічні ряди структур для кожної базисної схеми, взятої як вихідної.

Як приклад розглянемо гомологічний ряд, отриманий на основі третьої базисної схеми, тобто з кільцевими операторами для переадресції об'єктів за позиціями всередині потоку та прямолінійними операторами для пересування об'єкта за потоками, якими є агрегатні модулі. У цій ТАС передбачені спеціальні ячеї для введення і виведення об'єкта.

ТАС може мати кілька різних реалізацій. У наведеній схемі передбачається дія операторів переробки  $A_i, B_i, \dots, K_i; i = 1, 2, \dots, n$ , є оператори їх переадресції  $q$ ; оператори орієнтації  $P_{\beta}$  і зсуву об'єкта  $P_{\gamma}$  і  $P_{\alpha}$ , передбачені окремі ячеї для введення  $U$  і виведення  $V$ .

Операторна формула:

$$UP_{\alpha} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \\ \circ P_{\gamma} \begin{pmatrix} i=n \\ \bullet A_i q \end{pmatrix} P_{\beta} \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \\ \circ P_{\gamma} \begin{pmatrix} i=n \\ \bullet B_i q \end{pmatrix} P_{\beta} \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ \dots \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \\ \circ P_{\gamma} \begin{pmatrix} i=n \\ \bullet K_i q \end{pmatrix} P_{\beta} \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ V.$$

У ТАС перенесені оператори  $P_{\beta}$  в порожні ячеї, а в ячехах з технологічними операторами залишені оператори  $q$  для їхньої переадресції. В цій ТАС, як і в попередній, число ячеїв залишилось незмінним.

Операторна формула:

$$UP_{\alpha} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} P_{\beta} \\ \circ P_{\gamma} \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet A_i q \end{matrix} \right) \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} P_{\beta} \\ \circ P_{\gamma} \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet B_i q \end{matrix} \right) \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ \dots \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} P_{\beta} \\ \circ P_{\gamma} \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet K_i q \end{matrix} \right) \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ V.$$

Використовуючи правило переносу операторів в окремі ячеї, можна отримати ТАС з порожніми ячеями, які обслуговують оператори  $P_{\gamma}$  та  $P_{\alpha}$ , і з робочими, що у своєму складі мають технологічні оператори  $A_i, B_i^*, \dots, K_i^*$ ;  $i = 1, 2, \dots, n$ . В цій схемі число ячеїв збільшилось на  $k$  одиниць.

Операторна формула:

$$UP_{\alpha} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \\ \circ P_{\gamma} \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet A_i q \end{matrix} \right) \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ P_{\beta} P_{\alpha} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \\ \circ P_{\gamma} \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet B_i^* q \end{matrix} \right) \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ V.$$

ТАС може бути звільнена від зайвих операторів  $P_{\beta}$ , при цьому всі технологічні оператори приведені до нормального виду, а структура описується операторною формулою:

$$UP_{\alpha} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \\ \circ P_{\gamma} \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet A_i q \end{matrix} \right) \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \\ \circ P_{\gamma} \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet B_i^* q \end{matrix} \right) \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ \dots \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \\ \circ P_{\gamma} \left( \begin{matrix} i=n \\ \bullet K_i q \end{matrix} \right) \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ V.$$

Якщо в ТАС об'єднати в накладених потоках різнойменні оператори переробки, то отримаємо структуру НП - автомата.

Далі, якщо виконати об'єднання різнойменних операторів  $A_i, B_i, \dots, K_i$  в одному потоці, отримаємо схему НП - автомата. Якщо ж відкинути оператори зсуву об'єкта за потоками, а залишити в структурі тільки оператори переробки, сконцентровані за правилом  $A_i q \circ B_i q \circ \dots \circ K_i q$ , отримаємо ТАС, яка відповідає структурі П - автомата. Таким чином, ПНП - автомат змінив свою структуру, внаслідок чого отримав структуру НП - автомата при найбільшій концентрації операторів переробки, а потім перейшов до структури П - автомата.

Залишаючись в межах гомологічного ряду ПНП - автоматів, можливе перетворення структури ТАС послідовної дії в структуру одночасної дії, виконуваної за правилами, розглянутими раніше.

У ТАС, показаній на рис. 72,а, оператори переробки по одному розташовані в ячеях кожного сектора. В першому секторі є оператори

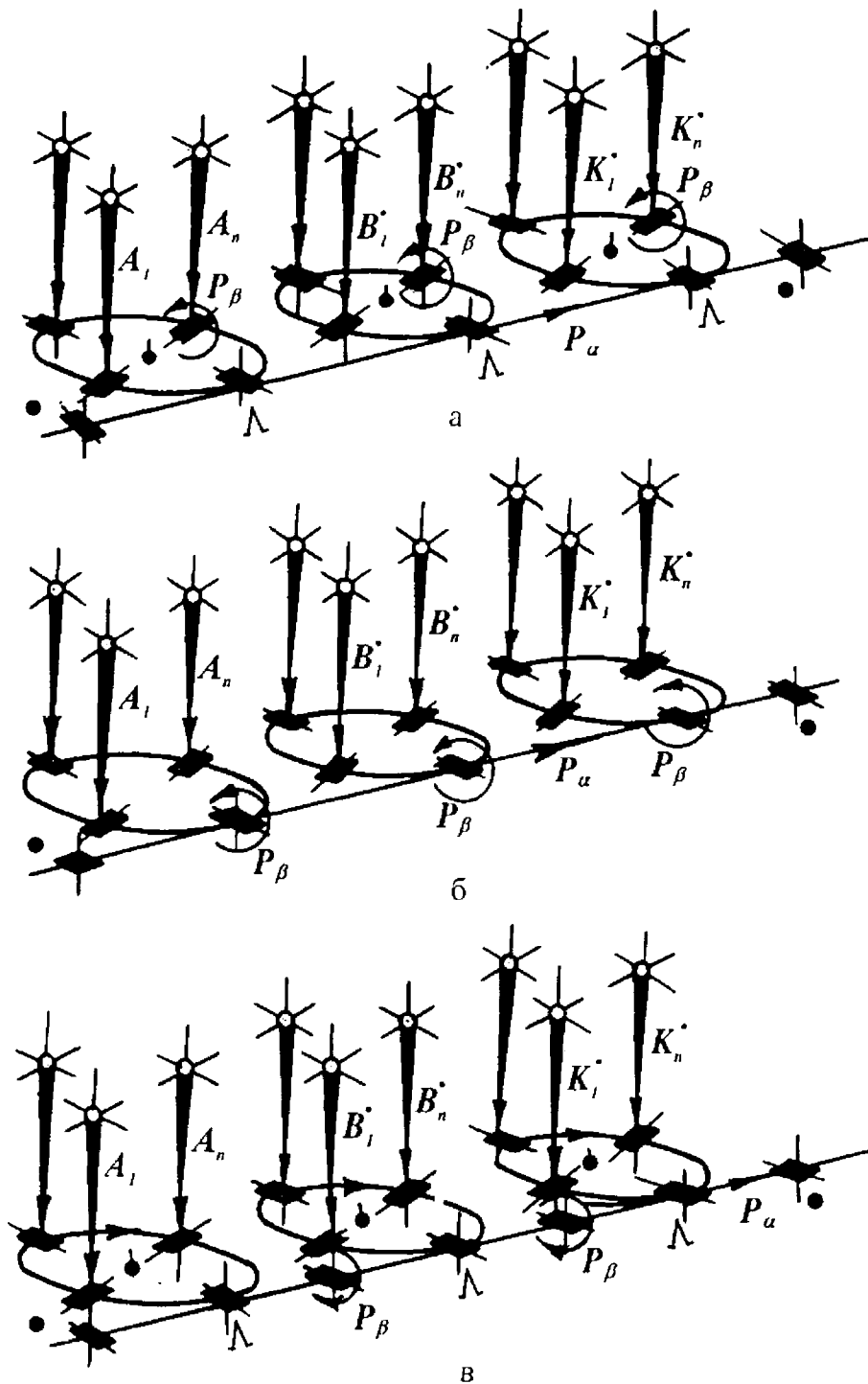


Рис. 72. Структури ПНП – автоматів.

орієнтації  $P_\beta$ , решта операторів - як у базовій структурі.

Операторна формула:

$$UP_\alpha \circ \begin{pmatrix} P_\gamma \Lambda \circ \\ \circ P_\gamma A_1 \circ \\ \dots \\ \circ P_\gamma A_n P_\beta \end{pmatrix} P_\alpha \circ \begin{pmatrix} P_\gamma \Lambda \circ \\ \circ P_\gamma B_1 \circ \\ \dots \\ \circ P_\gamma B_n P_\beta \end{pmatrix} P_\alpha \circ \dots \circ \begin{pmatrix} P_\gamma \Lambda \circ \\ \circ P_\gamma K_1 \circ \\ \dots \\ \circ P_\gamma K_n P_\beta \end{pmatrix} P_\alpha \circ V. \quad (68)$$

У ТАС, показаній на рис. 72, б, є в різних ячеях оператори переробки, а оператори переадресації перенесені в порожні ячеї, тому їхня дія виконується одночасно з операторами введення та виведення об'єктів із системи.

Операторна формула:

$$UP_{\alpha} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} P_{\beta} \circ \\ \circ P_{\gamma} A_1 \circ \\ \dots \\ \circ P_{\gamma} A_n \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} P_{\beta} \circ \\ \circ P_{\gamma} B_1^{\bullet} \circ \\ \dots \\ \circ P_{\gamma} B_n \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ \dots \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} P_{\beta} \circ \\ \circ P_{\gamma} K_1^{\bullet} \circ \\ \dots \\ \circ P_{\gamma} K_n^{\bullet} \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ V. \quad (69)$$

Якщо розмістити оператори орієнтації в ячеях відповідно між різнойменними операторами переробки, можна отримати нову структуру ТАС (рис. 72, в).

Операторна формула:

$$UP_{\alpha} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \circ \\ \circ P_{\gamma} A_1 \circ \\ \dots \\ \circ P_{\gamma} A_n \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ P_{\beta} \ P_{\alpha} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \circ \\ \circ P_{\gamma} B_1^{\bullet} \circ \\ \dots \\ \circ P_{\gamma} B_n \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ P_{\beta} \ P_{\alpha} \circ \dots \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} \Lambda \circ \\ \circ P_{\gamma} K_1^{\bullet} \circ \\ \dots \\ \circ P_{\gamma} K_n^{\bullet} \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ V. \quad (70)$$

### МП - ( ПНП ) – автомати

МП (ПНП) - автомати представляють собою комбінацію із НП і ПНП структур. Базові структурні схеми наведені на рис. 72.0.

Розглянемо операторні форми для МП (ПНП) – автоматів.

Для схеми (рис.72.0 а):

$$\begin{pmatrix} P_{\gamma} (U \circ U) \circ \\ \circ P_{\gamma} (A \circ A) \circ \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} (\Lambda \circ \Lambda) \circ \\ \circ P_{\gamma} (A_2 \circ A_2) \circ \end{pmatrix} P_{\alpha} \circ \dots \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} (V \circ V) \circ \\ \circ P_{\gamma} (A_n \circ A_n) \circ \end{pmatrix}.$$

Слідуючий варіант (рис. 72.0, б) передбачає оператор для переадресації  $P_{\gamma}$  і оператори  $U$  і  $V$ :

$$(VU \circ VU) P_{\gamma} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} (\Lambda \circ \Lambda) \circ \\ \circ P_{\gamma} (A_1 \circ A_1) \circ \end{pmatrix} P_{\gamma} \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} (\Lambda \circ \Lambda) \circ \\ \circ P_{\gamma} (A_2 \circ A_2) \circ \end{pmatrix} P_{\gamma} \circ \dots \circ \begin{pmatrix} P_{\gamma} (V \circ \Lambda) \circ \\ \circ P_{\gamma} (A_n \circ A_n) \circ \end{pmatrix}.$$

В цій структурі ячеї  $\Lambda \circ \Lambda$  - обслуговуються операторами  $P_{\gamma}$ .

Варіант третій (рис.72.0,в) - оператори  $U$  і  $V$  в окремих ячеях. Переадресація оператором  $P_{\gamma}$ , крім того в схемах накладені потоки:

$$(U \circ U) P_{\alpha} \circ \left( \begin{array}{c} P_{\gamma}(\Lambda \circ \Lambda) \circ \\ \circ P_{\gamma}(A_1 \circ A_1) \end{array} \right) P_{\alpha} \circ \left( \begin{array}{c} P_{\gamma}(\Lambda \circ \Lambda) \circ \\ \circ P_{\gamma}(A_2 \circ A_2) \end{array} \right) P_{\alpha} \circ \dots \circ \left( \begin{array}{c} P_{\gamma}(\Lambda \circ \Lambda) \circ \\ \circ P_{\gamma}(A_n \circ A_n) \end{array} \right) P_{\alpha} \circ (V \circ V).$$

Тут кількість пустих ячей дорівнює числу потоків. Варіант четвертий (рис 72.0,г) має замкнутий оператор  $P_{\gamma}$  для переадресації по верстатах і по потоках, операції  $U$  и  $V$  виділені:

$$(U \circ U) P_{\gamma} \circ \left( \begin{array}{c} P_{\gamma}(\Lambda \circ \Lambda) \circ \\ \circ P_{\gamma}(A_1 \circ A_1) \end{array} \right) P_{\gamma} \circ \left( \begin{array}{c} P_{\gamma}(\Lambda \circ \Lambda) \circ \\ \circ P_{\gamma}(A_n \circ A_n) \end{array} \right) P_{\gamma} \circ (V \circ V) P_{\gamma}.$$

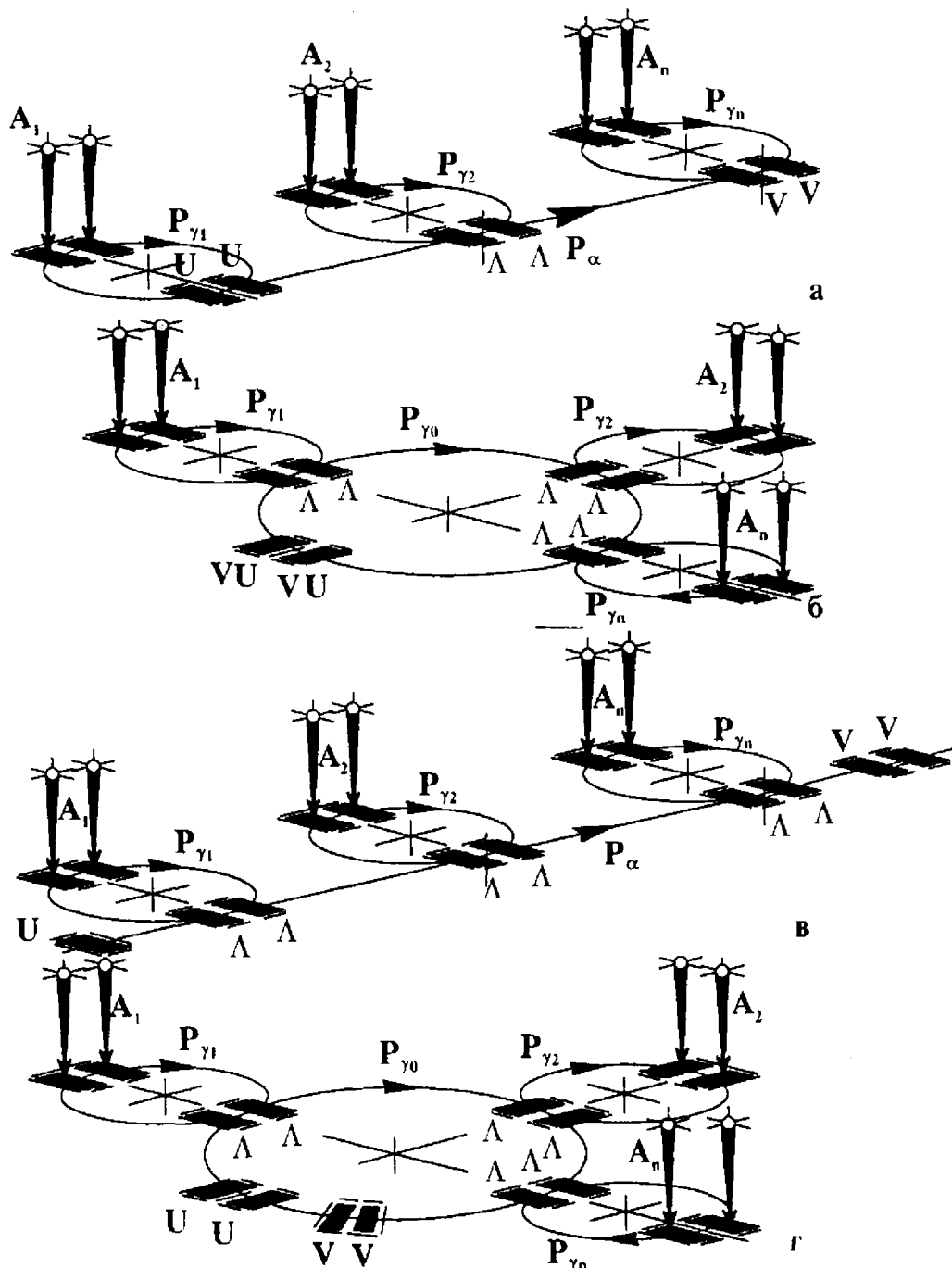


Рис. 72.0 Структури МП - ПНП - автоматів (багатолоткові системи).



На основі цих базових схем, застосовуючи правила перетворення, одержуємо повний набір структур гомологічного ряду МП – автоматів.

### 6.10. АЛГОРИТМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СТРУКТУРНИХ СХЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Запропонований порядок дії технологічних і транспортних операторів (блоків інструментів, транспортерів та ін.) є алгоритмом функціонування структурної схеми ТС. У даному випадку алгоритм функціонування являє собою аналітичну модель дії операторів. Запис аналітичної моделі виконуємо за допомогою символів операторів  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i, \dots, q, P, U, V$  та знаків-зв'язок:  $(\bullet)$  послідовності,  $(\circ)$  одночасності,  $( )$  дужок, що об'єднують оператори, але діють одночасно в одній або в різних ячеях.

Приклад послідовної дії операторів (рис. 72.1,а):

$$U A_1 q P_\beta B_1 * q P_\beta C_1 * \dots V.$$

Тут послідовно виконуються технологічна операція  $A_1$ , заміна  $A_1$  на  $B_1$  механізмом  $q$  та поворот (орієнтація) ТО механізмом  $P_\beta$  тощо.

Одночасна дія технологічних операторів в одній ячеї (рис.72.1,б)

$$U (A_1 \circ B_1 \circ C_1) V.$$

Одночасне сполучення дій операторів  $A$  та  $P$  в різних ячеях (рис 72.1,в)

$$U P \circ A_1 P \circ B_1 P \circ C_1 P \dots \circ V.$$

Алгоритм функціонування дозволяє продивитись, з одного боку. особливості реалізації заданого технологічного маршруту ТС, а з іншого - розрахувати при певних допущеннях тривалість робочого циклу та інші технічні характеристики системи.

Нехай для структурної схеми АЛ алгоритм функціонування такий (рис. 72.1,г)

$$U P_\alpha \circ (A_1 q A_2 q P_\beta B_1 * q P_\beta) P_\alpha \circ (B_2 q P_\beta C_1 * q P_\beta C_2 * q P_\beta) P_\alpha \circ \\ \circ (A_3 q P_\beta B_3 \bullet q P_\beta C_3 \bullet q P_\beta) P_\alpha \circ V.$$

У алгоритмі, як АЛ, є п'ять ячеїв, в кожній з яких виконуються послідовно по кілька технологічних і транспортних операцій. Дії в ячеях між собою виконуються одночасно.

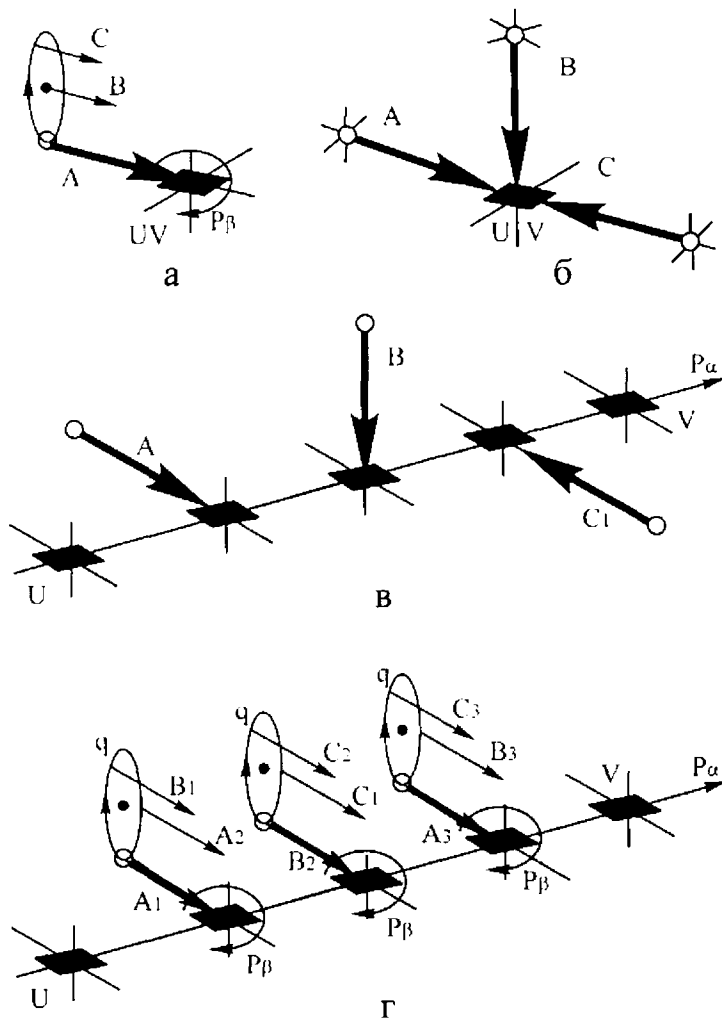


Рис.72.1. Приклади ТС з різними сполученнями (послідовним (а), одночасним (б,в) і комбінованим (г)) технологічних операцій.

перетворення структур і алгоритмів ТС, необхідно слідкувати за збереженням складу технологічних операцій.

### Тривалість робочого циклу та продуктивність системи

Будь-яка ТС, виконавши всі запропоновані дії, випускає ТО. Інтервал між випуском двох ТО з ТС будемо називати тривалістю робочого циклу ( $\tau_c$ ). Нас повинна цікавити тривалість роботи операторів у кожній ячеї. З'ясувавши тривалість функціонування по ячеях, визначимо ячею з максимальною тривалістю роботи. Її називають лімітуючою позицією за часом роботи. Звичайно вона визначає тривалість циклу, тобто

$$\max \tau_1 = \tau_c.$$

Визначення тривалості роботи операторів у кожній ячеї (позиції) виконують за алгоритмом функціонування, застосувавши  $\tau$ -перетворення:

Структура схем і алгоритмів перевіряється на подібність і еквівалентність на основі правил перетворення схем і алгоритмів (СА). Перетворення СА можуть змінювати структуру ТС, при цьому можливі два напрями в перетвореннях: перший не приводить, а другий приводить до змін зв'язку між операторами. Приклад подібності (перший напрям):

$$A_1 qP B_1 * qP C_1 * qP \approx \approx A_1 \bullet B_1 \bullet C_1;$$

приклад еквівалентного перетворення (другий напрям):

$$A \bullet B \bullet C \sim A \circ B \circ C.$$

Виконуючи перетворення

$\tau$  - перетворення для послідовної дії операторів

$$\tau(U A V) = \tau U + \tau A + \tau V; \quad (71)$$

$\tau$  - перетворення для одночасної дії операторів

$$\tau(A \circ B) = \begin{cases} \tau A, & \text{якщо } \tau A \geq \tau B; \\ \tau B, & \text{якщо } \tau A < \tau B. \end{cases}$$

Перше правило переводить тривалість послідовності дій в суму тривалостей цих дій, друге - виділяє лімітуючу (найбільш тривалу) дію за часом з кількох дій, що виконуються одночасно.

Для порівнювання співставляємих дій за часом звичайно задаються одиницею вимірювання. Для структурного аналізу можна сформулювати системну одиницю часу (1 0Ч).

Природно, якщо відомі тривалості виконання відповідних операцій, можна розрахувати тривалість циклу.

Наприклад, якщо прийняти тривалість будь-якої операції такою, що дорівнює 1 0Ч, то можна визначити значення затрат часу по кожній ячії АЛ.

Для даного прикладу:

$$\tau(UP_{\alpha} \circ (A_1 q A_2 q PB_1^* q P) P_{\alpha} \circ (B_2 q PC_1^* q PC_2^* P) P_{\alpha} \circ$$

$$(A_3 q PB_3^* q PC_3^* q P) P_{\alpha} \circ V =$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \tau(UP_{\alpha}) \\ \tau(A_1 q A_2 q PB_1^* q PP_{\alpha}) \\ \tau(B_2 q PC_1^* q C_2^* q PP_{\alpha}) \\ \tau(A_3 q PB_3^* q PC_3^* q PP_{\alpha}) \\ \tau V \end{array} \right\} =$$

$$= \tau A_3 + \tau q + \tau P + \tau B_3^* + \tau q + \tau P + \tau C_3 + \tau q + \tau P + \tau P_{\alpha} = 10 \text{ 0Ч}. \quad (72)$$

Далі, на основі відомих формул знаходимо циклову продуктивність:

$$\Pi_c = k(\tau_c)^{-1},$$

фізичну (робочу) продуктивність

$$\Pi_f = 60k(\tau_c)^{-1}, \quad (73)$$

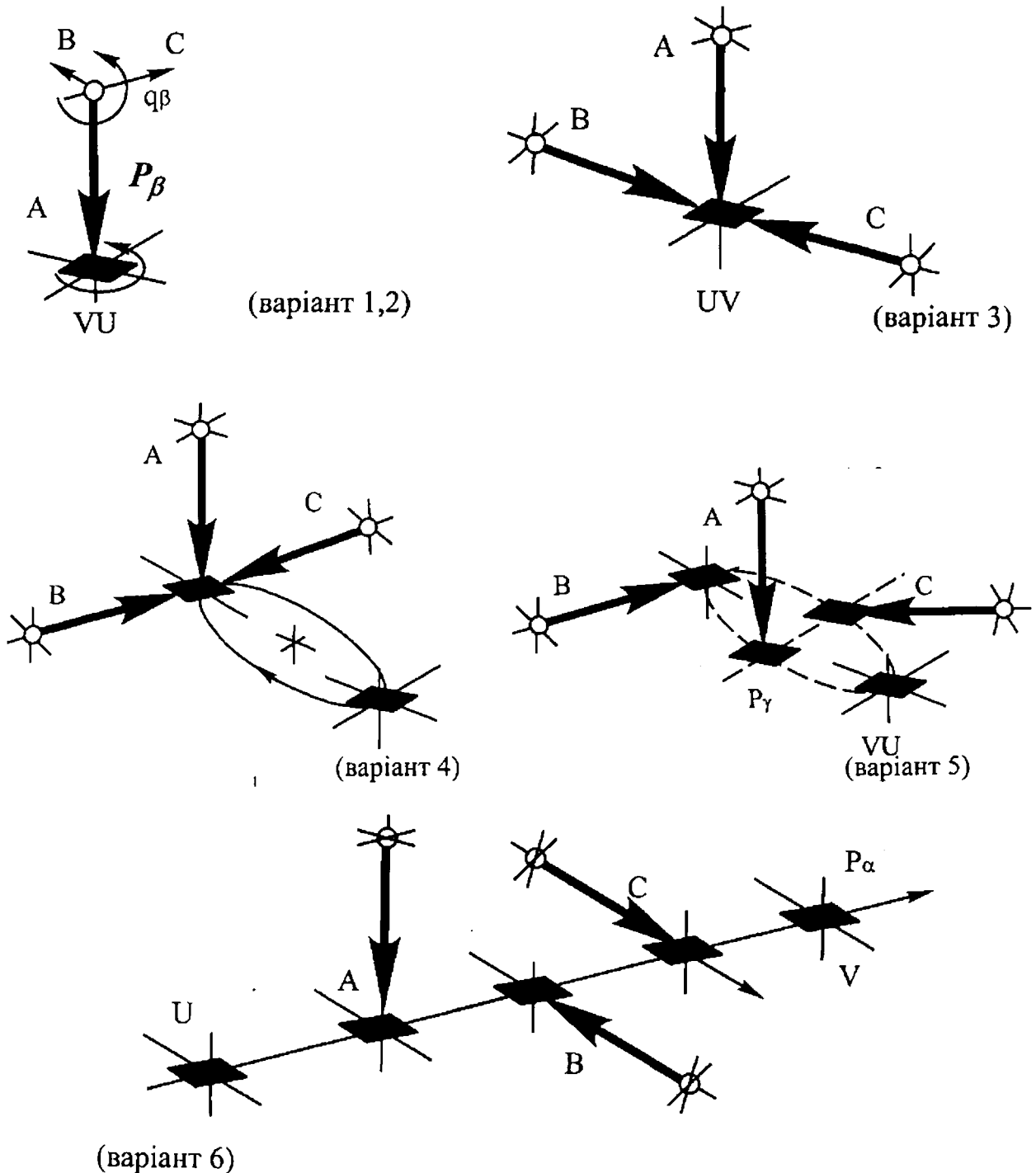
де  $k$  - число (дублюючих) потоків, у розглядуваному випадку одного потоку  $F = k = 1$ .

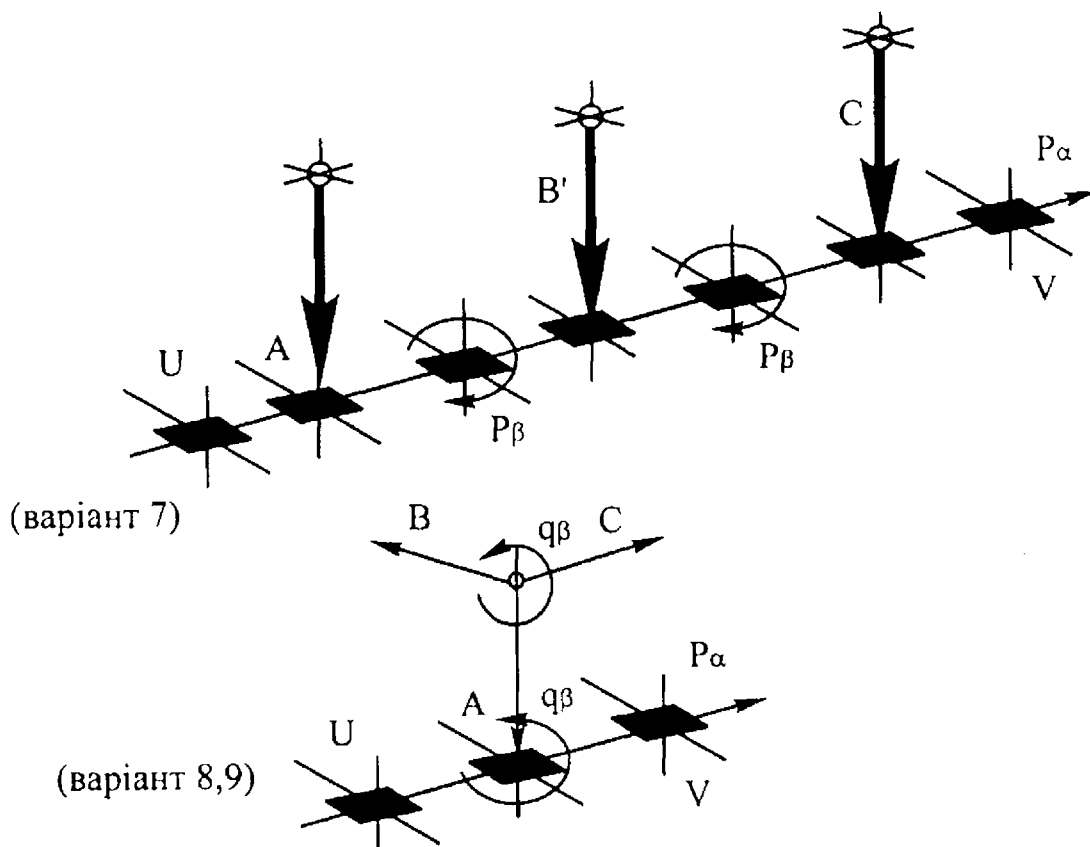
Таким чином,  $\Pi_f = 60 \times 1 \times (10)^{-1} = 6$  шт /год, якщо прийняти, що 1 0Ч = 1 хв.

## 6.11. ТИПОВИЙ ПРИКЛАД РОЗРОБКИ СТРУКТУРИ ТС ТА АЛГОРИТМУ ЇЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Нехай завдання на проектування вимагає складання різноманітних варіантів ТС для обробки ТО за ТМ:  $\langle A_1 B_1 C_1 \rangle$ . Припустимим є застосування різних пристроїв для скорочення тривалості циклу крім збільшення числа потоків ( $F=1$ ). Вважати тривалість абсолютно елементарної дії (операції) такою, що дорівнює 1 0Ч.

Розглянемо ТС, у якій послідовно виконуються всі, як технологічні, так і транспортні дії (9 варіантів).





№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E	1	1	1	2	4	5	7	3	3
G	7	7	5	6	6	6	8	8	8
H	11	11	5	7	9	9	13	13	13
$\tau_c$	11	8	3	3	3	2	2	10	7

кількість ячей  
кількість операторів (мех.)  
кількість дій  
тривалість циклу.

Алгоритм функціонування такої системи (варіант 1):

$$UA_1qP_\beta B_1 * qP_\beta C_1 * qP_\beta V.$$

Визначимо тривалість циклу системи, переходячи від виразу алгоритма до тимчасового його відображення, використовуючи  $\tau$  - перетворення:

$$\tau_c = \tau(\tau A_1 q P_\beta B_1 * q P_\beta C_1 * q P_\beta V) =$$

$$\tau U + \tau A_1 + \tau q + \tau P + \tau B_1 * + \tau q + \tau P + \tau C_1 * + \tau q + \tau P + \tau V = 11 \text{ 0Ч.} \quad (74)$$

У алгоритмі функціонування можна допустити частково одночасне виконання операцій, наприклад, транспортних ( $q \circ P$ ), тоді отримаємо таке рішення (варіант 2):

$$UA_1(q \circ P_\beta) B_1 * (q \circ P_\beta) C_1 * (q \circ P_\beta) V. \quad (75)$$

Виконуючи  $\tau$  - перетворення цього виразу, отримаємо:

$$\tau_c = \tau(UA_1 (q \circ P) B_1 * (q \circ P) C_1 * (q \circ P) V) = \tau U + \tau A_1 + \tau q + \tau B_1 * + \tau q + \tau C_1 * + \tau q + \tau V = 8 \text{ 0Ч.} \quad (76)$$

Дальше перетворення системи можливо, якщо допустити одночасну обробку ТО з різних боків, при цьому, природно, необхідність у спеціальних транспортних засобах для інструменту і ТО відпадає.

Алгоритм функціонування системи (варіант 3):

$$U(A_1 \circ B_1 \circ C_1)V,$$

а тривалість циклу:

$$\tau_c = \tau(U(A_1 \circ B_1 \circ C_1^*)V) = \tau U + \tau A_1 + \tau V = 3 \text{ 0Ч.}$$

Дальше вдосконалення системи досягається за рахунок збільшення числа ячеїв ( $E > 1$ ) для виконання функцій  $U$  та  $V$  незалежно від обробки. Однак для реалізації цієї умови необхідно ввести транспортний засіб для переміщення ячеїв з ТО чи окремо ТО.

Алгоритм функціонування:

$$VUP_\gamma \circ (A \circ B \circ C) P_\gamma, \quad (77)$$

тривалість циклу  $\tau_c = 3 \text{ 0Ч.}$

Наведений алгоритм функціонування та структура ТС передбачають дії у двох ячеях: в першій - для операцій  $VU$ , в другій - для одночасного виконання операцій  $(A \circ B \circ C)$ .

У ряді практичних випадків суміщення дії технологічних операторів виконати неможливо, тому їхні дії (кожного окремо) виконують незалежно один від одного в окремих ячеях. Алгоритм функціонування, який описує дії операторів у новому варіанті структури (варіант 5):

$$\begin{aligned} & \tau(U P_\gamma \circ A_1 P_\gamma \circ B_1 P_\gamma \circ C_1 P_\gamma), \\ \tau_c = & \tau(V U P_\gamma \circ A_1 P_\gamma \circ B_1 P_\gamma \circ C_1 P_\gamma) = \\ & = \left\{ \begin{array}{l} \tau(V U P_\gamma) \\ \tau(A_1 P_\gamma) \\ \tau(B_1 P_\gamma) \\ \tau(C_1 P_\gamma) \end{array} \right\} = \tau(V U P_\gamma) = \tau V + \tau U + \tau P_\gamma = 3EB. \quad (78) \end{aligned}$$

Звернемо увагу на те, що тривалість циклу ТС, як і в двох наведених раніше випадках, буде дорівнювати 3 0Ч. Тут з'являється поняття лімітуючої ячеї, тобто ячеї, яка визначається найбільшою тривалістю виконання своїх операцій, та цикл функціонування ТС. Такою є ячея завантаження - вивантаження  $VU$ .

Природно, виникає бажання спростити складну функцію першої ячеї. Це досягається розподілом операцій  $U$  та  $V$  в різні ячеї. Утворюється ТС у вигляді автоматичної лінії з лінійним транспортером  $P_\gamma$

(варіант б).

Алгоритм функціонування ТС

$$UP_{\alpha} \circ A_1 P_{\alpha} \circ B_1 P_{\alpha} \circ C_1 P_{\alpha} \circ V.$$

Тривалість такої АЛ циклу дорівнює 2 0Ч.

Особливістю такої автоматичної лінії є застосування технологічних операторів (станків), спеціально орієнтованих на даний технологічний об'єкт (ТО).

Якщо застосувати типове агрегатне обладнання, розташоване з одного боку транспортера  $P_{\alpha}$ , то у зв'язку з необхідністю відроблення різних поверхонь ТО  $\langle a, b, c \rangle$  слід передбачити у відповідних місцях автоматичної лінії оператори  $P_{\beta}$ , які надають ТО необхідну орієнтацію перед виконанням відповідної технологічної дії.

Алгоритм згадуваної структури ТС

$$UP_{\alpha} \circ A_1 P_{\alpha} \circ P_{\beta} P_{\alpha} \circ B_{\bullet 1} P_{\alpha} \circ P_{\beta} P_{\alpha} \circ C_{\bullet 1} P_{\alpha} \circ V. \quad (79)$$

Нагадаємо, що тривалість циклу функціонування системи - 2 0Ч. Структура ТС являє собою згортку попередньої за ТОП з допомогою револьверної головки  $q$ .

Алгоритм функціонування такої ТС:

$$UP_{\alpha} \circ A_1 q P_{\beta} \circ B_1^* q P_{\beta} \circ C_1^* q P_{\beta} P_{\alpha} \circ V,$$

$$\tau_c = \tau(UP_{\alpha} \circ A_1 q P_{\beta} B_1^* q P_{\beta} C_1^* q P_{\beta} P_{\alpha} \circ V) =$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \tau(UP_{\alpha}) \\ \tau(A_1 q P_{\beta} B_1^* q P_{\beta} C_1^* q P_{\beta} P_{\alpha}) \\ \tau V \end{array} \right\} =$$

$$= \tau A_1 + \tau q + \tau P + \tau B_1^* + \tau q + \tau P + \tau C_1^* + \tau q + \tau P + \tau P_{\alpha} = 10 \text{ EB}. \quad (80)$$

У цій системі тривалість циклу буде визначатися діями технологічних і транспортних операторів у другій ячеї (позиції) АЛ. Якщо кожна дія має стандартну тривалість 1 0Ч, то  $\tau_c = 10$  0Ч. Зауважимо, що транспортні дії  $q$  та  $P$  можуть виконуватися одночасно ( $q \circ P$ ). Вони мають незалежні приводи. Тому алгоритм функціонування може бути записаний так:

$$UP_{\alpha} \circ A_1 (q \circ P) B_1^* (q \circ P) C_1^* (q \circ P) P_{\alpha} \circ V,$$

тоді тривалість циклу функціонування  $\tau_c = 7$  0Ч. Зауважимо, що якщо провести ще одне перетворення, за яким ячеї з операторами  $U$  та  $V$  сумістити з роботою ячеєю, то отримаємо перший варіант ТС, з якого почалося розв'язування поставленої задачі.

### Задачі для самостійного контролю

1. Визначити тривалість циклу функціонування АЛ, зображеної на рис. 57.
2. Визначити  $\tau_c$  для ТАС, показаної на рис. 58.
3. Визначити  $\tau_c$  для ТАС, показаної на рис. 62.
4. Визначити  $\tau_c$  для автоматизованих систем, показаних на рис. 64.
5. Визначити  $\tau_c$  для автоматичної лінії (див. рис. 65).
6. Визначити  $\tau_c$  за таким алгоритмом функціонування  

$$UP_\alpha \circ (A_1 q A_1 q) P_\gamma \circ (B_1 q B_2 q B_3 q) P_\gamma \circ VP_\gamma.$$
7. Визначити тривалість циклу АЛ за її алгоритмом функціонування:

$$UP_\alpha \circ \left( \begin{array}{c} P_\gamma \Lambda \\ \circ P_\gamma (A_1 \circ B_1) \end{array} \right) P_\alpha \circ \left( \begin{array}{c} P_\gamma \Lambda \\ \circ P_\gamma (A_2 \circ B_2 \circ C_1) \end{array} \right) P_\alpha \circ V.$$

### 6.12. АНАЛІЗ РОБОТИ РОБОТОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ (РТК)

Нехай РТК складається з п'яти одиниць обладнання, з яких "вхідний стіл" –  $U$ , перший верстат –  $A_1$ , другий –  $A_2$ , третій –  $A_3$ , "вихідний стіл" –  $V$ , ПР –  $R$ . Такому складу РТК буде відповідати компоновка як з вертикальними верстатами (рис. 73, а), так і з горизонтальними (рис. 73.б). ПР виконує ряд дій, послідовність яких, побудована в певному порядку, буде визначати алгоритм функціонування ПР. Якщо при цьому як вимогу висунути його 100% завантаження, отримуємо умову дії робота, яка продовжується.

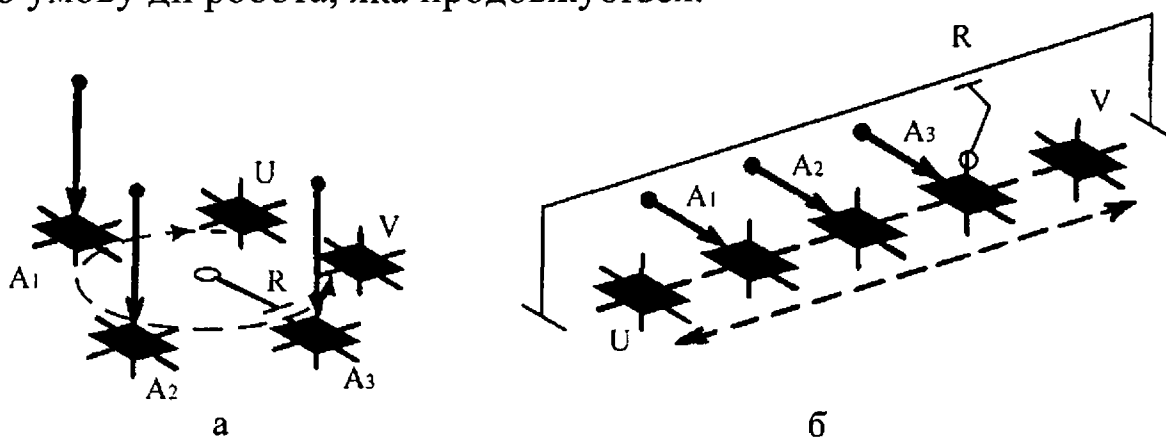


Рис. 73. Компоновання РТК з розташуванням шпинделів: а - вертикальним, б – горизонтальним.

Запропонована послідовність дій ПР наочно зображується напрямленим графом, в ньому вершини - відповідне обладнання, а зв'я-



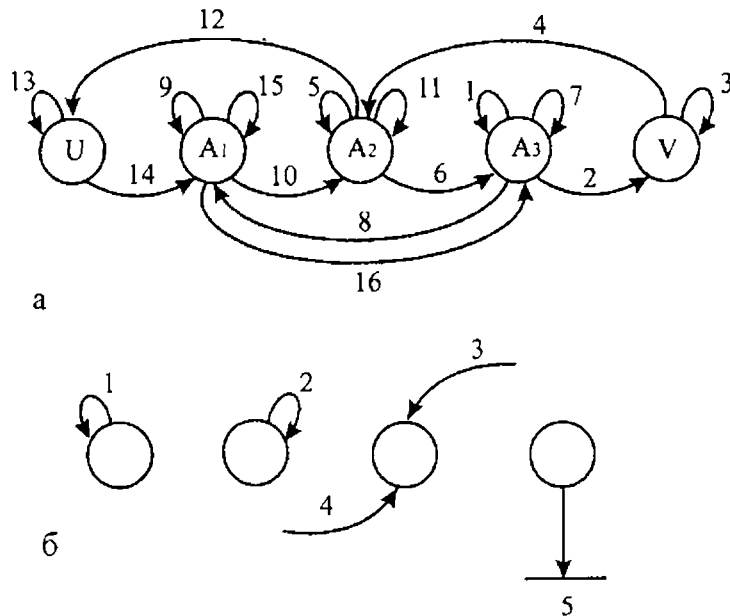


Рис. 74. Граф-схема роботи РТК (а) та окремі елементи графа (б).

(верстати). Граф-схему роботи РТК показано на рис. 74,а. Початкова дія (позначаємо цифрою 1 - вказуємо в розриві (або поруч) стрілки) приходить на четверту одиницю обладнання ( $A_3$ ), решту дій також позначаємо цифрами в розриві стрілок (зв'язків) напрямленого графа. Для того щоб здійснити рух ТО відповідно до маршруту

$$U \rightarrow A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_3 \rightarrow V,$$

робота ПР повинна виконуватися в зворотному напрямі за умови, що всі перші 4 одиниці обладнання зайняті, а остання - "вихідний стіл" може завжди прийняти ТО.

Дії ПР у зв'язку з цією умовою будуть починатися з розвантаження останнього верстата  $A_3$  у такій послідовності: взяти (1) - перенести (2) - покласти (3) - вернутися до  $A_2$  (4) - взяти (5) - перенести (6) - покласти (7) - вернутися до  $A_1$  (8) - взяти (9) - перенести (10) - покласти (11) - вернутися до  $U$  (12) - взяти (13) - перенести (14) - покласти (15) - вернутися до  $A_1$  (16) .

Як виходить з переліку дій та їхнього числа, цикли роботи ПР відбуваються за  $HR = 16$  ОД (одиниць дій). Аналізуючи склад дій, можна відмітити, що всі рухи зліва направо (крім останнього - 16) здійснюються ПР з ТО, а рухи справа наліво - без ТО. Всі дії, позначені петлями, характеризують взаємодію ПР з ТО та обладнанням. Найбільш складними в смислі надійності будуть взаємодії триелементні, потім двохелементні і зовсім простими - одноелементні. Граф-

зми дії -ПР. Різноманітність дій вимагає такої самої різноманітності зв'язків: на рис. 74,б зображені елементи граф-схеми: 1 - петля ліва відповідає дії "взяти", 2 - петля права - "покласти", 3 - стрілка вхід - направо - "вернутися", 4 - стрілка вхідна ліва "перенести", 5 - стрілка "зупинка".

У розглянутих схемах (рис. 73) РТК застосовуються однотипні, однойменні оператори

схему можна показати матрицею зв'язку. В її ячеях записані цифри, що зображують зв'язки.

Матриця зв'язку, яка частіше називається матрицею суміжності, може бути представлена кількома способами. Щоб скласти її, необхідно записати у верхньому рядку в першому стовпчику однойменні позначення технічних засобів:  $U, A_1, A_2, A_3, V$ . На перерізі рядка та стовпчика ставлять номер стрілки (петлі або дуги), яка виходить з рядка і входить у стовпець. Ці номери стрілок позначають, як вказувалося вище, відповідні дії ПР. Таким чином, маємо:

Матриця зв'язку						Матриця суміжності					
	$U$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$V$		$U$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$V$
$U$	13	14	∅	∅	∅	$U$	1	1	0	0	0
$A_1$	∅	9,15	10	16	∅	$A_1$	0	11	1	1	0
$A_2$	12	∅	5,11	6	∅	$A_2$	1	0	11	1	0
$A_3$	∅	8	∅	1,7	2	$A_3$	0	1	0	11	1
$V$	∅	∅	4	∅	3	$V$	0	0	1	0	1

Місця перерізів рядків і стовпців, які звичайно залишаються порожніми, позначаються ∅. Матриці зв'язку перетворюються в матрицю суміжності, заповнену бульовими змінними, якщо замість номерів дуг поставити одиницю (1), а замість ∅ записати нуль (0).

Число одиниць у бульовій матриці суміжності дорівнює числу рухів ПР. Дії, зображені петлями, розташовані в головній діагоналі, а решта записані в ячеях, утворених перерізом рядка (який вказує вихід стрілки та стовпця, вхід стрілки). Таким чином, у головній діагоналі зібрані всі триелементні дії, праворуч від діагоналі - двоелементні, ліворуч від діагоналі, а також в останній (16) – одноелементні дії.

Для цієї схеми обслуговування характерним є те, що  $HR$  та  $H$  залежать від числа верстатів, які обслуговуються одним ПР, а  $H_0$  залишається постійним. Аналіз схеми РТК дозволяє записати загальну формулу для числа дій ПР, який обслуговує однотипні верстати:

$$HR = H_0 + (S-1)H + 1,$$

де  $HR$  - загальне число дій ПР;  $H_0$  - число дій ПР, необхідне для забезпечення завантаження-вивантаження одного верстата;  $S$  - число верстатів, які обслуговуються одним ПР;  $H$  - число дій ПР по обслуговуванню верстатів у РТК.

Одиниця у формулі передбачає дію ПР, яка відновлює його вихідний стан перед початком циклу (на графі це 16 – дуга).

У розглядуваному прикладі, коли ТАС, що має вигляд РТК, яка працює за поточним принципом та обслуговується одноруким, односхватним ПР, відповідними величинами будуть:  $H_0=7$  ОД,  $H = 4$  ОД,  $S = 3$ , при цьому  $HR = 16$  ОД, що відповідає орграфу та матриці суміжності РТК (див. рис. 74). Таким чином, загальне число рухів

$$HR = 7+(S-4) \cdot 4+1. \quad (81)$$

Якщо РТК є поточною ТАС, наприклад, для обробки корпусних деталей, яка обслуговується візком-роботом, то граф-схема, матриця суміжності, а отже, і формула для визначення числа рухів ПР, будуть іншими:

$$HR = 2+(S-1) \cdot 3+5, \quad (82)$$

Слід відзначити, що введення та виведення ТО за дві дії можливо, якщо в структурі верстатів для цієї мети передбачаються дві ячеї. Якщо верстат має одну ячею для введення та виведення ТО, то після її звільнення від обробленої деталі відбувається дія зсуву ПР і тільки після цього можливе введення у верстат заготовки. Число дій ПР

$$HR = 3+(S-1) \cdot 4+5. \quad (83)$$

Тут, як і у всіх раніше розглянутих випадках, РТК є поточною ТАС, яка крім технологічного обладнання (верстатів) має по одному магазину на вході (для заготовок) та на виході (для оброблених деталей).

### 6.13. АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РТК

Визначення характеру та кількості дій ПР у РТК при обслуговуванні верстатів і магазинів дозволяє розробити алгоритм і програму управління. Функціонування РТК визначається алгоритмом функціонування, який представляється орграфом або матрицею суміжності. Аналізуючи функціонування РТК, можна вивчити вплив її структури, алгоритму функціонування на продуктивність (або тривалість циклу роботи) та надійність технологічної автоматизованої системи, яким є робототехнічний комплекс. У зв'язку з цим вкажемо на можливість двох напрямів у дослідженні граф-схем роботи ПР. Перший напрям дозволяє визначити тривалість циклу ПР і РТК; другий - перейти до визначення надійності роботи РТК, в якому найбільш вузьким місцем є робота ПР як комутатора роботи РТК.

Розглянемо перший напрям на прикладах. Тривалість роботи ПР можна визначити за числом рухів  $HR$ , якщо вважати тривалість кожної дії однаковою і такою, що дорівнює одній одиниці часу (1 0Ч).

Тоді для одноручного схвату ПР будемо мати  $\tau_c = \tau R = 16$  0Ч.

Для РТК з обслуговуванням двомісним візком-роботом  $\tau_c = \tau R = 13$  0Ч, для РТК з однойменним введенням-виведенням ТО у верстат та візком-роботом  $\tau_c = \tau R = 16$  0Ч. У всіх розрахунках використувалась формула для визначення  $HR$ , згідно з якою тривалість дії ПР буде

$$\tau_c = \tau R = \tau_0 + (S-1)\tau + 1, \quad (84)$$

де  $S$  - число обслуговуваних верстатів.

Тривалість циклу  $\tau_c$  буде визначатися тривалістю роботи ПР, тобто  $\tau_c = \tau R$ .

У свою чергу, знаючи  $\tau R$ , можна визначити  $\tau_0$  - час очікування верстатом початку роботи і  $\tau S$  - час роботи верстата.

Користуючись цим методом розрахунку тимчасових компонентів циклу, визначимо продуктивність РТК, час очікування, який є постійним для даного типу РТК і не залежить від числа обслуговуваних верстатів, і час роботи окремого верстата, який залежить від числа верстатів у РТК.

Згаданий розрахунок тривалості циклу дозволяє визначити його залежно від числа обслуговуваних верстатів, припускаючи, що всі дії ПР дорівнюють одній одиниці часу (1 0Ч). Як вказано раніше, при розгляданні матриці суміжності з бульовими змінними дії ПР мають різну міру складності. Найпростіші - одновимірні дії ПР без ТО, з ТО - двовимірні, а дії ПР з ТО і технологічним обладнанням - тривимірні.

Якщо за аналогією розрізняти час і надійність дії ПР у РТК, то можна записати матриці тривалості та надійності дії:

	$U$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$V$		$U$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$V$
$U$	$\tau_3$	$\tau_2$	$0$	$0$	$0$	$U$	$r_3$	$r_2$	$0$	$0$	$0$
$A_1$	$0$	$\tau_3\tau_3$	$\tau_2$	$\tau_1$	$0$	$A_1$	$0$	$r_3r_3$	$r_2$	$r_1$	$0$
$A_2$	$\tau_1$	$0$	$\tau_3\tau_3$	$\tau_2$	$0$	$A_2$	$r_1$	$0$	$r_3r_3$	$r_2$	$0$
$A_3$	$0$	$\tau_1$	$0$	$\tau_3\tau_3$	$\tau_2$	$A_3$	$0$	$r_1$	$0$	$r_3r_3$	$r_2$
$V$	$0$	$0$	$\tau_1$	$0$	$\tau_3$	$V$	$0$	$0$	$r_1$	$0$	$r_3$

У цих матрицях:  $\tau_i$  - тривалість дії ПР;  $r_i$  - надійність дії ПР. Індекс 1 - проста одновимірна, 2 - двовимірна, 3 - тривимірна дія.

Для визначення тривалості циклу ТАС - РТК необхідно підсумувати час дії по кожному елементу циклу з урахуванням числа ( $S$ ) обслуговуваних верстатів. Після незначних перетворень формули для визначення тривалості циклу ПР, функціонуючого в РТК, будуть:

$$\tau_c = \tau R = (S+1)(\tau_1 + \tau_2 + 2\tau_3) \quad (85.1)$$

для обслуговування верстатів одноруким односхватним ПР;

$$\tau_c = \tau R = \tau_1 + (S+1)(\tau_2 + 2\tau_3) \quad (85.2)$$

для двомісного (або дворукого) ПР;

$$\tau_c = \tau R = \tau_1 + (2S+1)\tau_2 + 2(S+1)\tau_3 \quad (85.3)$$

для двомісного візка-робота з послідовним виконанням операцій завантаження та розвантаження.

Визначення тривалості циклу  $\tau_c$  за цими формулами дозволяє врахувати особливості в структурі застосовуваних ПР, що, як видно, враховують ці формули.

Розглянемо другий напрям дослідження РТК - визначення надійності функціонування системи обслуговуванні ПР. Загальна надійність системи буде дорівнювати добутку надійності кожного окремого елемента (дії) ПР. Відомо, що дії ПР не є рівноцінними по відношенню до надійності РТК. Існують дії одноелементні - рух ПР без ТО, двоелементні - рух ПР з ТО і триелементні дії ПР з ТО у ТС. Покладаючи надійність одноелементної дії -  $r_1$ , двоелементної дії -  $r_2$ , триелементної дії -  $r_3$ , отримаємо загальну формулу надійності системи:  $r = \prod r_{i1}^k \cdot \prod r_{i2}^l \cdot \prod r_{i3}^p$ ; якщо вважати, що надійності відповідних видів є однаковими, то отримаємо  $r = r_1^k \cdot r_2^l \cdot r_3^p$ .

Враховуючи три схеми обслуговування ПР у РТК, отримаємо формули для визначення надійності:

$$r = (r_1 \cdot r_2 \cdot r_3)^{s+1}; \quad (86.1)$$

$$r = r_1 \cdot (r_2 \cdot r_3)^{s+1}; \quad (86.2)$$

$$r = r_1 \cdot r_2^{2s+1} \cdot r_3^{2(s+1)}. \quad (86.3)$$

Для даного випадку виконується умова:  $r_1 > r_2 > r_3$ , однак для нормального функціонування повинна бути виконана нерівність  $r_1 < r_2 < r_3$ , тобто треба більш складну дію виконувати з більшою ймовірністю безвідмовної роботи. Виходячи з цього, нормативною вимогою, наприклад, можуть бути такі надійності:  $r_1 = 0,99$ ;  $r_2 = 0,999$ ;  $r_3 = 0,9999$ .

Тоді для даного прикладу (86.1):

$$r = 0,99^4 \cdot 0,999^4 \cdot 0,9999^8 = 0,9559,$$

тобто із  $10^4$  циклів 441 цикл буде мати відмову.

Якщо система реалізована так, що надійність функціонування визначається за формулою (86.2)

$$r = 0,9900 \cdot 0,9990^4 \cdot 0,9999^8 = 0,9852,$$

то за цих умов 146 циклів з  $10^4$  будуть мати відмову.

Для третьої системи надійність функціонування буде визначатися за формулою (86.3):

$$r = 0,99 \cdot 0,999^7 \cdot 0,9999^8 = 0,9823.$$

Тут також у 177 циклах роботи з  $10^4$  будуть відмови ПР.

Природно, у цей розрахунок не входять дійсні ймовірності безвідмовної роботи обладнання: вхідного та вихідного столів верстатів. Якщо врахувати їхню безвідмовність  $r^s$ , то загальна надійність системи зміниться і, найімовірніше, буде менше тієї, яка визначена раніше:

$$r_{заг} = r_1^k \cdot r_2^l \cdot r_3^p \cdot r^s. \quad (87)$$

### Задачі для самостійного контролю

1. Формула для визначення надійності РТК:  $r = r_1 \cdot (r_2 \cdot r_3^2)^{s+1}$ . Накресліть матрицю надійності для даної системи, якщо  $S = 3$ .
2. За умовою задачі п. 1 визначте тип ПР, який обслуговує РТК, та накресліть граф - схему (орграф) системи.
3. Тривалість циклу роботи РТК визначається за формулою  $\tau = (S+1)(\tau_1 + \tau_2 + 2\tau_3)$ . Накресліть матрицю тривалості дії ПР у РТК. Покажіть орграф РТК при  $S = 2$ .
4. Визначте тривалість циклу роботи для РТК, якщо його матриця суміжності з бульовими змінними має вигляд:

$$\begin{vmatrix} I & I & 0 & 0 \\ 0 & III & I & 0 \\ 0 & 0 & III & I \\ I & 0 & 0 & I \end{vmatrix}$$

5. Що являє собою РТК за умовою задачі п. 4? Запишіть формулу для визначення надійності роботи ПР і визначте її, якщо  $r_1 = r_2 = r_3 = 0,999$ .
6. Накресліть структурну схему РТК, якщо ПР стаціонарного типу, а верстати вертикальні, решта умов - за задачею п. 3.

### 6.14. СТРУКТУРА ТА АЛГОРИТМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ РТК

Алгоритм функціонування РТК задається технологічним маршрутом та порядком дій ПР, який передбачається граф - схемою або ма-

трицею зв'язку.

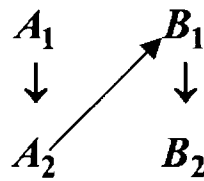
Проведемо дослідження порядку дії ПР в різних структурних варіантах РТК для обробки ТО, заданого набором властивостей:

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix},$$

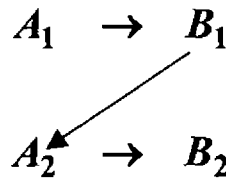
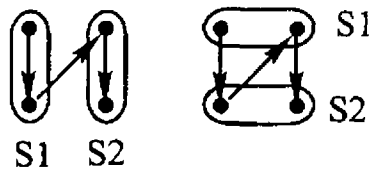
якому відповідає набір операторів:

$$\begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix}.$$

Як відомо, тут можливі такі варіанти маршруту:



Варіант 1



Варіант 2

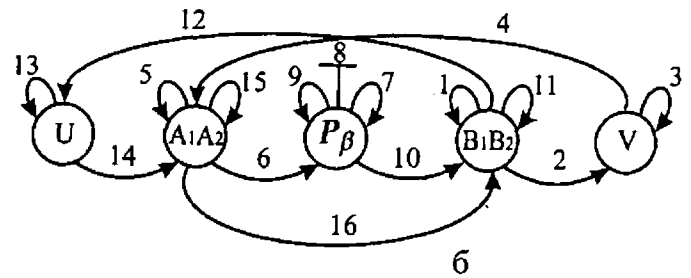
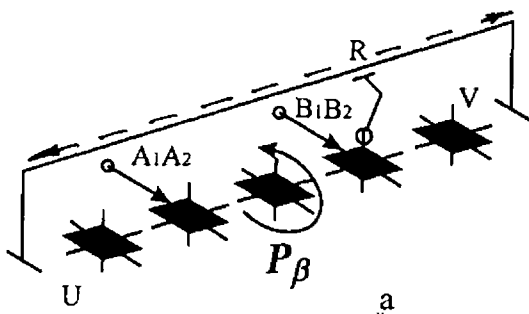
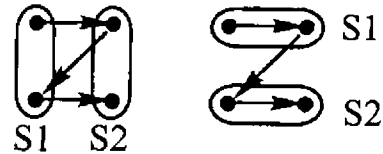


Рис. 75. Структура РТК з поворотним столом (а) та граф - схема РТК, що реалізує варіант маршруту  $A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow B_1 \rightarrow B_2$  (б).

Перші три дії зв'язані з обслуговуванням верстата  $B_1B_2$  аналогічній схемі, розглянутій раніше (рис. 75). На четвертій дії відбувається перехід ПР до верстата  $(A_1A_2)$ , обминаючи поворотний стіл, на якому відсутній ТО. З верстата ТО переноситься на поворотний стіл, на якому повертається, і далі в повернутому стані подається на верстат  $(B_1B_2)$ . Після цього ПР пересувається в бік  $U$ , бере ТО і переносить його на  $(A_1A_2)$ , потім вертається у вихідний стан до верстата  $(B_1B_2)$ .

Характеристика роботи РТК. Число рухів  $HR = 16$  0Д; трива-

лість циклу  $\tau_c = 16$  0Ч, очікування  $\tau_0s = 11$  0Ч; роботи верстата  $[\tau_s] = 5$  0Ч. Надійність функціонування РТК:

$$r = r_1^4 \cdot r_2^4 \cdot r_3^8 \cdot r^s \cdot r_p.$$

Тут  $r_p$  - надійність спрацювання поворотного столу. У прикладі  $k = 4$ ;  $l = 4$ ;  $p = 8$ ;  $s = 2$ , якщо покласти  $r_1^k \cdot r_2^l \cdot r_3^p = 0,9558$ , то  $r = 0,9558 r^2 r_p$ . Роботу РТК з поворотним столом можна організувати інакше, так, щоб на поворотному столі  $P$  була деталь і поверталася незалежно від дій ПР. Це можливо, якщо поворот  $P$  відбувається в той самий час, коли на верстатах  $A_i$  та  $B_i$  також є ТО, які піддаються або обробці, або дії з боку ПР (рис. 76,а).

ПР виконує дії за граф-схемою, обслуговуючи обладнання:  $B_i \rightarrow V \rightarrow P \rightarrow B_i \rightarrow A_i \rightarrow P \rightarrow U \rightarrow A_i \rightarrow B_i$  (рис. 76,б). Характеристика роботи РТК  $HR = 16$  0Д, тривалість  $\tau R = 16$  0Ч,  $\tau_0s = 7$  0Ч,  $[\tau_s] = 9$  0Ч.

Ця система при тому самому обладнанні забезпечує великий фонд часу для верстатів. Якщо виключити поворотний стіл  $P$  із схеми та розвернути ТО за рахунок ротації руки ПР так, щоб вона забезпечувала обробку  $(a_i, b_i)$ , то прийдемо до нової структури.

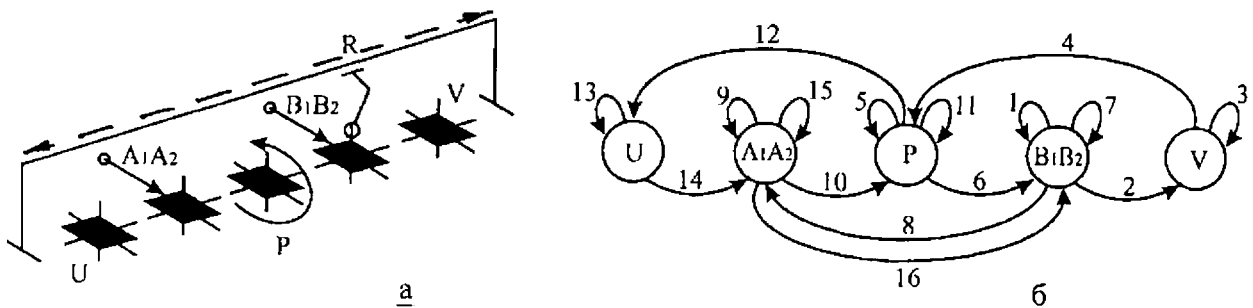


Рис. 76. Структура РТК з поворотним столом (а) та граф-схема РТК, реалізуючого варіанта маршруту  $A_1A_2 \rightarrow P \rightarrow B_1B_2$  (б).

Структура РТК та її граф - схема показані на рис. 77. Характеристика роботи РТК  $HR = 14$  0Д, з них  $HR = 2$  виконуються одночасно з іншими діями: цикл ПР  $\tau R = 12$  0Ч, очікування  $\tau_0s = 7$  0Ч, робота верстатів  $[\tau_s] = 5$  0Ч. Як видно, число дій ПР не дорівнює числу одиниць часу, оскільки ротація руки 7 (в один бік) і 10 (у зворотний бік) відбувається одночасно з його переміщеннями 6 та 9.

Надійність аналогічна попередній.

Можна модифікувати структури РТК, відмовившись від ротації руки, для обробки ТО з двох боків  $(a_i, b_i)$ , якщо другий верстат поставити відповідним чином (рис. 78, а).



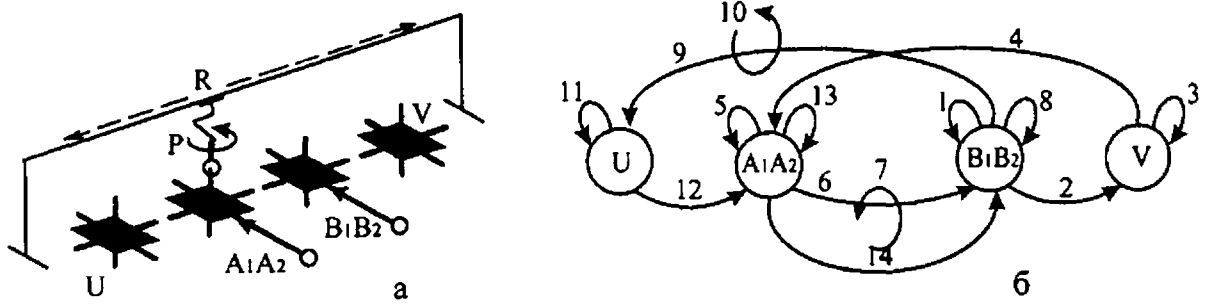
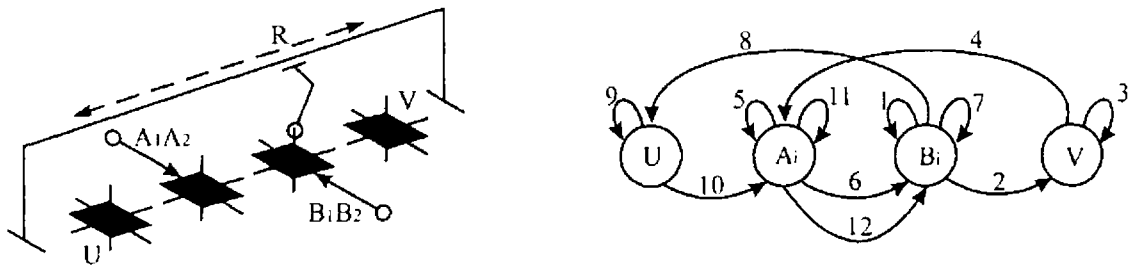


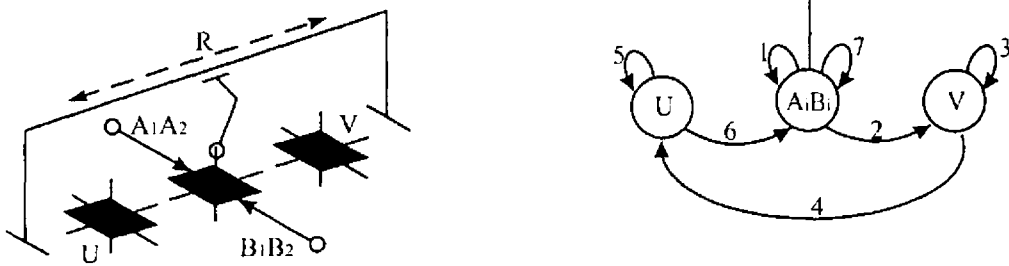
Рис. 77. Структура РТК бесповоротного стола (а) та граф - схема РТК (б).

Пересування ПР відповідає граф - схемі (рис. 78, а ), тут показано як ТО передається з верстата на верстат.

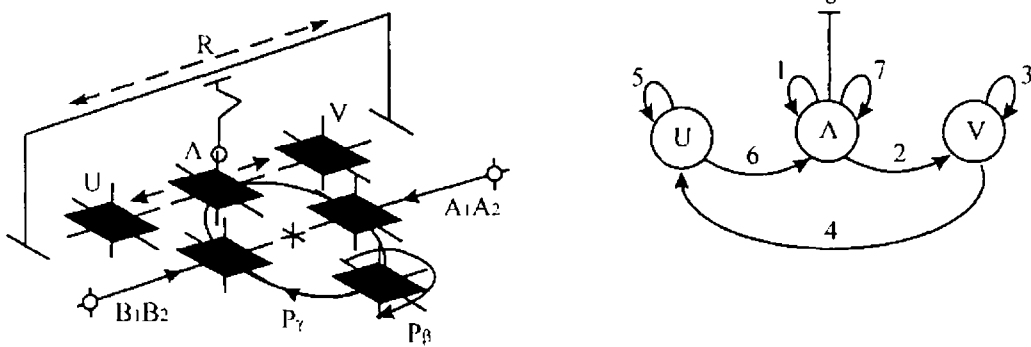
Характеристика роботи РТК:  $HR = 12$  0Д; тривалість циклу  $\tau R =$



а



б



в

Рис. 78. Різні модифікації структури РТК та відповідні їм граф - схеми руху робота: обробка технологічного об'єкта на двох верстатах (а), обробка на одному верстаті з двох боків (б) та обробка на спеціальному верстатному модулі (в).

12 0Ч, очікування  $\tau_0 s = 7$  0Ч, роботи верстата  $[\tau] = 5$  0Ч. Дальше вдосконалення структури РТК теоретично можливе за рахунок об'єднання верстатів в один для двобічної обробки (рис. 78.б).

Характеристика роботи РТК:  $HR = 8$  0Д, тривалість циклу  $\tau_c = \tau R = 8$  0Ч;  $\tau_0 s = 7$  0Ч;  $[\tau] = 1$  0Ч.

Дана система має значний недолік і повинна мати вельми продуктивний (спеціальний) верстат, оскільки він повинен справитися з роботою за  $\tau = 1$  0Ч, в той час як у попередньому варіанті РТК для цієї мети відводилося 5 0Ч. ("Суєта ПР не окупає можливостей!").

Остання система обслуговує вхідний та вихідний столи та всього один верстат. Якщо верстат однопозиційний, як у розглядуваному випадку, його робота змушує простоювати ПР. Тому найменший простий ПР, що дорівнює часові роботи верстата, дорівнює 1 0Ч. У протилежному разі очікування ПР буде набагато більшим.

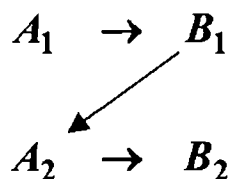
Схема РТК розібраного типу носить спеціальну назву "верстатний модуль", у ньому один ПР припадає на один верстат.

Більш ефективною будова системи згаданого типу буде, якщо в РТК застосовано верстат багатопозиційний (рис. 78,в). У цій схемі в кожній позиції можлива обробка тільки  $(A_1 A_2)$  та  $(B_1 B_2)$ , у проміжку виконується поворот  $P$  на поворотному пристрої. Обслуговування позицій верстата виконується кільцевим столом  $P_\gamma$ , який пересуває ТО по позиціях після виконання обробки  $A_1 A_2$  ( $B_1 B_2$ ) та повороту  $P$ . Введення (як і виведення) ТО до верстата відбувається ПР у позицію  $A$ . Таким чином, ПР обслуговує РТК за граф - схемою.

Характеристика роботи РТК: число рухів  $HR = 8$  0Д; цикл ПР  $\tau R = 7$  0Ч; очікування  $\tau_0 s = 1$  0Ч; робота верстата  $[\tau] = 8$  0Ч. (Виключний випадок!).

Це відбувається тому, що доки кільцевий стіл верстата стоїть, у всіх його позиціях виконуються відповідні дії, час їх дорівнює часу завантаження (розвантаження) ПР позиції  $A$ , тобто  $\tau R = \tau_0 = \tau_A = \tau_A = \tau_p = \tau_\beta = 7$  0Ч; ПР очікує  $\tau_0 R = \tau p_\gamma = 1$  0Ч; таким чином,  $\tau_c = \tau R + \tau_0 R = 7$  0Ч + 1 0Ч = 8 0Ч.

Розглянемо можливості другого варіанту маршруту, в якому повинні виконуватися операції одна за одною над різними елементами ТО:



Нехай РТК складається із вхідного стола  $U$ , верстатів для виконання операцій  $A_1B_1$  та  $A_2B_2$  і вихідного стола  $V$ . При цьому необхідний поворот ТО відбувається за рахунок ротації руки ПР. Така робототехнічна система та схема функціонування показана на рис. 79, а.

ПР здійснює 20 дій, серед яких схват і перенос; поворот ТО та обробка відбуваються як на верстаті  $A_i$ , так і на верстаті  $B_i$ . На першому верстаті чорнові ( $i = 1$ ) операції, на другому - чистові ( $i = 2$ ).

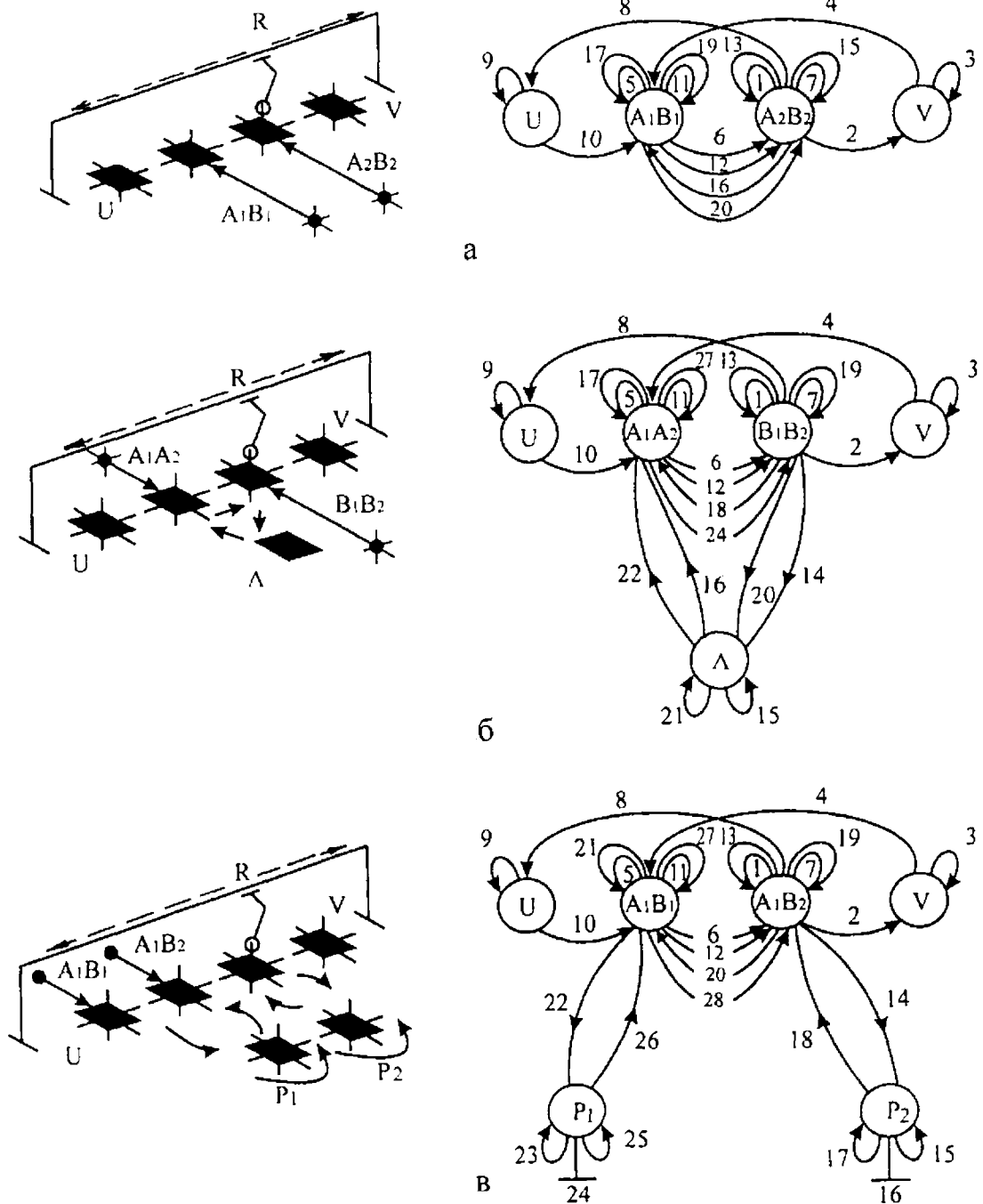


Рис. 79. Різні модифікації структури РТК та відповідні їм граф - схеми руху робота.

Матриця суміжності для такого РТК, який складається з двох магазинів і двох верстатів, буде:

	<i>U</i>	<i>A<sub>1</sub>B<sub>1</sub></i>	<i>A<sub>2</sub>B<sub>2</sub></i>	<i>V</i>		<i>U</i>	<i>A<sub>1</sub>B<sub>1</sub></i>	<i>A<sub>2</sub>B<sub>2</sub></i>	<i>V</i>
<i>U</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	0	0	<i>U</i>	$\tau_3$	$\tau_2$	0	0
<i>A<sub>1</sub>B<sub>1</sub></i>	0	III	III	0	<i>A<sub>1</sub>B<sub>1</sub></i>	0	$\tau_3\tau_3\tau_3\tau_0\tau_3$	$\tau_2\tau_1\tau_1$	0
<i>A<sub>2</sub>B<sub>2</sub></i>	<i>I</i>	<i>I</i>	III	<i>I</i>	<i>A<sub>2</sub>B<sub>2</sub></i>	$\tau_1$	$\tau_1$	$\tau_3\tau_3\tau_3\tau_0\tau_3$	$\tau_2$
<i>V</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	0	<i>I</i>	<i>V</i>	<i>I</i>	$\tau_1$	0	$\tau_3$

Виконуючи підстановку в ячєї матриці значення тривалості, які відповідають виконуваним діям, отримаємо матрицю, що виражає визначувані величини.

З аналізу дій ПР в цьому РТК можна зробити висновок, що тривалість циклу ТАС буде визначатися циклом роботи ПР:

$$\tau_e = \tau R = s \tau_0 + (2S+1) \tau_1 + (S+1) \tau_2 + 2(2S+1) \tau_3,$$

тут  $\tau_0$  - поворот ТО промисловим роботом.

Після підстановки  $s = 2$ :

$$\tau_e = 2 \tau_0 + 5 \tau_1 + 3 \tau_2 + 10 \tau_3.$$

Час, затрачуваний верстатом при очікуванні обробки,

$$\tau_0 s = \tau_0 + \tau_1 + 2 \tau_2 + 6 \tau_3.$$

Відповідно час роботи верстата допускає мий ефективною експлуатацією ПР,

$$[\tau s] = \tau R - \tau_0 s = \tau_0 + 4 \tau_1 + \tau_2 + 4 \tau_3.$$

Отримуємо:  $\tau R = 20$  0Ч,  $\tau_0 s = 10$  0Ч,  $\tau s = 10$  0Ч, якщо прийняти кожную дію такою, що дорівнює одиниці часу (1 0Ч).

Розглянемо РТК, який реалізує той самий маршрут, але при цьому верстати виконують операції ( $A_1A_2$ ) та ( $B_1B_2$ ), тому ТО проходить верстати два рази, роблячи кільце через спеціальну порожню позицію *A*. Порядок дії ПР відповідає обробці  $A_1$  на першому верстаті, потім - обробці  $B_1$  на другому верстаті, після чого відбувається повернення на перший верстат для виконання  $A_2$ , далі - на другий верстат для обробки  $B_2$ . Особливістю даної схеми є обхід верстатів через вільну позицію, виведення (і введення) в систему ТО послідовно серіями по дві одиниці ТО (рис. 79, б).

Загальна формула тривалості циклу для цього РТК:

$$\tau_e = \tau R = +2(S+1)(\tau_1 + \tau_2 + 2 \tau_3). \quad (88)$$

Після підстановки  $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 10$  0Ч, отримуємо тривалість очікування (завантаження - розвантаження) верстата  $\tau_0 s = 2S \tau_1 + 2S \tau_2 + 4S \tau_3$ , допустима тривалість роботи верстата  $[\tau s] = \tau R - \tau_0 s$ .

Таким чином, число рухів ПР буде:  $HR = 24$  0Д, а тривалість роботи ПР  $\tau R = 24$  0Ч, очікування верстата  $\tau_0 s = 14$  0Ч,  $[\tau s] = 10$  0Ч.

Обидві розглядувані схеми добре реалізуються на технологічних об'єктах, які достатньо зручно встановлюються та закріплюються на верстатах. Якщо схвати ПР держать коротку деталь саме за ті поверхні, які повинні її базувати, то можливість встановлення ТО без його перехоплення порушується. Для цього застосовують поворотні столи  $P$ , на які ПР укладає ТО і після повороту бере його за іншу поверхню, а та, що була раніше в схваті, залишається вільною і за неї можна встановлювати, базувати та закріплювати ТО у верстаті.

РТК подібного виду та граф-схема роботи ПР – показані на рис. 79,в. Тут на кожному верстаті виконуються операції  $A_i B_i$ , потім переніс на стіл  $P$ , поворот і повернення на верстат для виконання  $A_i B_i$ . В системі число верстатів дорівнює числу операцій  $i$ , число поворотних столів  $P$  також дорівнює  $i$ .

Число дій ПР у РТК:  $HR = 28$  0Д, тривалість циклу  $\tau_c = \tau R = 28$  0Ч, час роботи верстата  $[\tau_s] = 14$  0Ч.

При визначенні надійності системи слід враховувати збільшення обладнання РНК на величину  $i$  - кількість поворотних столів. Матриця зв'язку цієї схеми, записана на основі графа (див. рис. 79,в), буде:

	$U$	$A_1 B_1$	$P_1$	$A_2 B_2$	$P_2$	$V$
$U$	$I$	$I$	$0$	$0$	$0$	$0$
$A_1 B_1$	$0$	$III$	$I$	$III$	$0$	$0$
$P_1$	$0$	$I$	$III$	$0$	$0$	$0$
$A_2 B_2$	$I$	$I$	$0$	$III$	$I$	$I$
$P_2$	$0$	$0$	$0$	$I$	$III$	$0$
$V$	$0$	$I$	$0$	$0$	$0$	$I$

На основі матриці зв'язку(або графа), покладаючи, як і раніше,  $r_1, r_2, r_3$  отримаємо вирази для надійності РТК такого типу:  
 $r = (r_1 \cdot r_2 \cdot r_3)^7$ .

Одиничні значення в матриці відповідають  $r_i$  незалежно від їхнього розташування в ячеех матриці. Загальна надійність системи з урахуванням обладнань  $U, A_1 B_1, P_1, A_2 B_2, P_2, V$

$$r_{заг} = (r_1 \cdot r_2 \cdot r_3)^7 \cdot r_s \cdot r_0 \cdot r_p. \quad (89)$$

## ГЛАВА 7

# ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА АГРЕГАТНИХ ВЕРСТАТАХ

### 7.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Агрегатні верстати застосовуються для забезпечення високої продуктивності в умовах масового, великосерійного та серійного виробництва для обробки складних і трудомістких деталей: блоків циліндрів двигунів, коробок швидкостей, корпусів насосів та ін. Їх компонують із уніфікованих вузлів відповідно до маршруту обробки. Строк окупності агрегатних верстатів складає 1-3 роки [38]. Агрегатні верстати застосовуються для свердління, зенкерування, розточування отворів, нарізання різьби, розкатування, цековки, знімання фасок, фрезерування площин, шпонкових пазів та ін.

Агрегатні верстати складаються зі станини, силових головок, нерухомого або поворотного стола для установаження обладнань та закріплення на ньому оброблюваної заготовки та засобів управління.

Компоновка верстатів із нормалізованих вузлів дозволяє здійснювати швидко перенастроювання при зміні об'єкта обробки.

В останні роки агрегатні верстати стали оснащуватися програмованими пристроями. Підвищення продуктивності на агрегатних верстатах досягається за рахунок концентрації переходів шляхом застосування багатошпиндельної та багатосторонньої обробки. Агрегатні верстати об'єднуються в автоматичні лінії із застосуванням транспортних і завантажуючих пристроїв.

Послідовність формування технологічних операцій при обробці заготовок на агрегатних верстатах визначається наступними принципами побудови технологічних процесів [38]:

1. Принцип найкоротшого маршруту обробки, який полягає в тому, що обробка кожної заготовки повинна відбуватися за мінімальної кількості технологічних переходів та операцій.
2. Принцип послідовного виконання технологічних переходів при обробці поверхні, який полягає в підвищенні показників якості на вході кожного наступного переходу (операції).

Додержання цього принципу забезпечує нормальне протікання процесу обробки на всіх етапах технологічного процесу.

При обробці отворів агрегатні верстати забезпечують 7-й – 9-й квалітет точності. Биття торців - не вище 0,08 мм на радіусі 100 мм; при точінні - 10-й - 11-й квалітет; різьба обробляється за 5-7-ю ступіню точності.

3. Принцип уточнення в процесі обробки полягає в тому, що кожний наступний перехід (операція) повинен бути точніше попереднього.

Згідно з цим принципом технологічний процес механічної обробки поділяється на такі етапи: чорнова обробка, коли видаляється до 60% загального припуску; напівчистова обробка, коли видаляється 30% загального припуску; чистова обробка, яка забезпечує отримання необхідної точності (тут видаляється 10% загального припуску); обладнувана обробка, яка забезпечує отримання необхідної жорсткості та фізико-механічного стану структури поверхневого шару. Наприклад, для обробки отвору діаметром 15 мм в суцільному матеріалі з точністю за 7-м квалітетом рекомендується наступний набір інструментів: свердло діаметром 12,5 мм, напівчистовий zenker діаметром 14,75 мм, чорнова розгортка діаметром 14,93 мм і чистова розгортка діаметром 15 мм.

4. Економічний принцип побудови технологічного процесу полягає в мінімізації затрат на виконання операції за рахунок зменшення штучного часу.

Машинний час може бути зменшений шляхом збільшення режимів різання, що досягається застосуванням високопродуктивних ріжучих матеріалів та конструкцій інструментів, а також за рахунок одночасної обробки кількох поверхонь.

Додатковий час скорочується за рахунок застосування різних засобів автоматизації, способів установки та зняття деталі із верстата після обробки. При багатопозиційній обробці значна частина допоміжного часу перекривається машинним. Сполучення паралельної концентрації та диференціації обробки значно збільшує продуктивність. За такою схемою працюють багатошпindelні та багатопозиційні агрегатні верстати та автоматні лінії.

У масовому виробництві скорочення затрат на виконання технологічного процесу досягається об'єднанням агрегатних верстатів в автоматичні лінії з єдиною транспортною системою, а також створенням автоматизованих ділянок, цехів та заводів.

У серійному виробництві найбільш прогресивним є створення систем, що являють собою сукупність верстатів з ЧПУ, які зв'язані за-

гальною транспортною системою, міжопераційними складами, накопичувачами. Весь цей комплекс обладнання управляється від загальної ЕОМ.

Проектування технологічних процесів на агрегатних верстатах включає до свого складу слідуючі етапи:

1. Аналіз технологічності конструкції деталі, організаційних форм виробництва, методу отримання заготовок.
2. Встановлення технологічних операцій, вибір технологічних баз.
3. Розроблення технологічного маршруту і компоновок агрегатних верстатів.
4. Розроблення структури автоматичної лінії з агрегатних верстатів.

## **7.2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ, ОБРОБЛЮВАНИХ НА АГРЕГАТНИХ ВЕРСТАТАХ**

Конструкції агрегатних верстатів повинні дозволяти виконувати обробку:

- плоских поверхонь і розточку отворів на прохід;
- багатолезовим ріжучим інструментом;
- за один установ заготовки.

Конструкції деталей повинні забезпечувати вільний доступ інструментів до оброблюваних поверхонь. Майданчики бажано обробляти цековками, використовуючи осьову подачу шпинделів. Конструкція деталі не повинна через малу жорсткість обмежувати режими різання та число одночасно оброблюваних поверхонь.

Шпонкові канавки відкритого типу повинні оброблятися дисковою фрезою при більш простій кінематиці верстата.

Бажано замінити внутрішні різьби великого діаметра іншими конструктивними елементами, а розточку отворів проводити консольною оправкою без додаткових опор.

## **7.3. ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ ТИПУ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНОЇ ФОРМИ ВИРОБНИЦТВА**

Тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операції

$$K_{з.о} = \frac{O}{P},$$



де  $O$  - число операцій, виконуваних на робочих місцях дільниці, в цеху;  $P$  - кількість робочих місць на дільниці, в цеху.

Наприклад, на дільниці 15 верстатів, з них на двох верстатах заплановано обробку двох операцій, на чотирьох верстатах - по три операції, на п'яти верстатах - по чотири операції і на чотирьох верстатах - по одній операції.

Тоді

$$K_{3,0} = \frac{2 \cdot 2 + 4 \cdot 3 + 5 \cdot 4 + 4 \cdot 1}{15} = 2,6.$$

Якщо за робочим місцем закріплено тільки одну операцію, тобто  $K_{3,0} = 1$ , то це масове виробництво; якщо  $1 < K_{3,0} < 10$  - великосерійне, якщо  $20 < K_{3,0} < 40$  - дрібносерійне. В одиничному виробництві  $K_{3,0}$  не регламентується. Число операцій, виконуваних на робочих місцях протягом одного місяця при роботі в одну зміну:

$$O = \frac{\eta_n}{\eta_z},$$

де  $\eta_n$  - плануємий нормативний коефіцієнт завантаження верстатів, який приймається для велико-, середньо- і дрібносерійного виробництва відповідно 0,75; 0,8; 0,9;  $\eta_z$  - коефіцієнт завантаження верстата проектованою операцією.

$$\eta_z = T_{ш.к} \cdot N_m \cdot (60 \cdot F_m \cdot K_g), \quad (90)$$

$T_{ш.к}$  - штучно-калькуляційний час, необхідний для виконання проектованої операції, хв;  $N_m$  - місячна програма випуску деталей при роботі обладнання в одну зміну, шт.;  $N_m = N_p / 12$ ;  $N_p$  - річний обсяг випуску деталей, шт;  $F_m$  - місячний фонд часу роботи обладнання в одну зміну, год.;  $F_m = 4055/12 = 238$  год;  $K_g$  - коефіцієнт виконання норм, приймається  $K_g = 1,3$ .

Кількість операцій, виконуваних протягом місяця на дільниці,

$$\sum_{i=1}^n O_{0,i} = O_{0,1} + O_{0,2} + \dots + O_{0,n}.$$

Необхідне число робітників для обслуговування протягом однієї зміни одного верстата, завантаженого за плановим нормативним коефіцієнтом,

$$P_i = \frac{N_i \cdot t_i}{60 K_g \cdot \Phi}, \quad (91)$$

де  $N_i$  - приведений місячний обсяг випуску деталей при завантаженні верстата до прийнятого значення  $\eta_n$ , шт,

$$N_i = O_{0,i} N_m;$$

$t_i = T_{шт.к}$  - штучно-калькуляційний час;  $\Phi$  - місячний фонд часу робітника, зайнятого протягом 22 робочих днів на місяць, год,  $\Phi = 22 \cdot 8 = 176$  год.

Після підстановки у формулу (91) значень  $K_e$ ,  $\Phi$ ,  $N_i$ , отримаємо

$$P_i = 0,96 \eta_n;$$

$$C_{o.з} = \frac{C_{п.з} \cdot T_{шт.к(шт)}}{60 \cdot 100}, \quad (92)$$

де  $C_{п.з}$  - приведені затрати на проведення операції, коп/год;  $T_{шт.к(шт)}$  - штучний або штучно-калькуляційний час виконання заготівельної операції.

Вартість заготовки, отриманої литвом у звичайні земляні форми та кокіль, за виплавляємими моделями, під тиском, гарячою штамповою, на молотах, пресах, горизонтально-кувальних машинах (ГКМ) визначається за формулою [38], грн,

$$S_{заг} = \left( \frac{S_i}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{II} \right) - (Q - q) \frac{S_{відх}}{1000}, \quad (93)$$

де  $S_i$  - базова вартість 1т заготовки, грн.;  $K_T$ ,  $K_C$ ,  $K_B$ ,  $K_M$ ,  $K_{II}$  - коефіцієнти, які залежать відповідно від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу та обсягу виробництва заготовок;  $Q$  - маса заготовки, кг;  $q$  - маса готової деталі, кг;  $S_{відх}$  - вартість 1т відходів, грн.

Коефіцієнт  $K_T$  - для чорних металів першого класу точності дорівнює  $K_T = 1,1$ ; другого класу -  $K_T = 1,05$ ; третього класу -  $K_T = 1,0$ .

Коефіцієнт  $K_M$  залежить від марки матеріалу: чавун -  $K_M = 1,0 \dots 1,12$ ; вуглеводнева сталь -  $K_M = 1,22$ ; легована сталь -  $K_M = 1,93$ ; алюміній -  $K_M = 5,94$ ; мідно-цинкові сплави -  $K_M = 5,53$ ; олов'янисто-свинцовиста бронза -  $K_M = 6,72$ . Коефіцієнти, які залежать від групи складності відливоків  $K_C$ , їхньої маси  $K_B$ , та обсягу виробництва  $K_{II}$ , визначаються за табл. 23-25 [38].

Якщо за робочими місцями закріплені постійні операції і довантаження їх з причин-організаційного характеру неможливе (наприклад, поточна однопредметна лінія із спеціальних агрегатних верстатів), незалежно від коефіцієнта завантаження даного обладнання і отриманого розрахунковим шляхом коефіцієнта закріплення операцій, виробництво слід вважати масовим. Довантаження ділянки можливе в тому випадку, якщо вона складається із спеціалізованих уні-

версальних верстатів або агрегатних багатопредметних верстатів, завантажених менш, ніж на 50%.

Таблиця 23

Матеріал відливки	Коефіцієнт $K_C$				
	Група складності				
	1	2	3	4	5
Чавун	0,7	0,83	1,0	1,2	1,45
Сталь вуглеводнева	0,86	0,92	1,0	1,12	1,24
Сталь низьковуглеводнева	0,86	0,93	1,0	1,11	1,23
Сталь високолегована	0,85	0,90	1,0	1,12	1,26
Мідні сплави	0,865	0,925	1,0	1,15	1,26
Бронза оловяниста	0,92	0,95	1,0	1,1	1,15

Таблиця 24

Маса відливки, кг	Коефіцієнт $K_B$			
	Матеріал відливіків			
	Чавун	Сталь	Алюмінієві сплави	Бронза
0,5...1,0	1,1	1,07	1,05	1,01
1,0...3,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3,0...10	0,91	0,93	0,96	0,99
10...20	0,84	0,87	0,92	0,97
20...50	0,8	0,82	0,89	0,95
50...100	0,74	0,78	0,85	0,93
200...500	0,67	0,74	0,82	0,9

Таблиця 25

Матеріал відливки	Коефіцієнт $K_D$				
	Група складності				
	1	2	3	4	5
Чавун	0,52	0,76	1,0	1,2	1,44
Сталь	0,5	0,77	1,0	1,2	1,48
Сплави алюмінієві	0,77	0,9	1,0	1,11	1,22
Сплави мідноцинкові	0,91	0,96	1,0	1,05	1,08

Масове виробництво характеризується:

1. Неперервністю випуску одних і тих самих деталей.
2. Використанням спеціального обладнання.
3. Застосуванням багатоінструментальних наладок.
4. Використанням спеціального вимірювального інструмента.

5. Розміщенням обладнання за ходом технологічного процесу і складністю настроювання верстатів.

При масовому виробництві здійснюється детальне нормування, робітники мають низьку кваліфікацію при наявності висококваліфікованих наладчиків.

За верстатами закріплюється тільки одна операція і забезпечується ритмічність випуску продукції. Велика програма випуску не є єдиною умовою масового виробництва - потрібна ще стійкість програми. При масовому виробництві часто переналадження, а тим більше заміна обладнання недопустимі. Вартість виготовлення спеціальних верстатів, пристроїв, вимірювальних і ріжучих інструментів, міжопераційний транспорт відносяться до спеціальних затрат. Ці затрати розкладаються на всі деталі, які будуть оброблюватися на даному обладнанні за весь час його експлуатації.

Тому при більш стійкій програмі випуску збільшуються спеціальні засоби на вдосконалення технології.

При серійному виробництві випуску продукції виготовлення здійснюється партіями деталей або серіями виробів, які регулярно повторюються через певний проміжок часу.

Характерною ознакою серійного виробництва є виконання на робочому місці кількох періодично повторюваних операцій.

Номенклатура виробів підбирається близькою за габаритними розмірами, конфігурацією (вали, корпуси, зубчасті колеса та ін.) і матеріалом (сталь, алюміній). Розміри партій не повинні бути менше змінного виробництва:

$$n = \frac{N_a}{\Phi},$$

де  $n$  - кількість деталей в партії, шт;  $N$  - річна програма, шт;  $a$  - число днів запасу деталей у коморі. (Великосерійне виробництво характеризується великою різноманітністю операцій, виконуваних на робочих місцях).

## **7.4. ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ БАЗ**

### **7.4.1. ВИБІР ЧОРНОВОЇ БАЗИ**

Технологічна база, використовувана на першій операції, називається чорною.

Як чорнову технологічну базу вибирають такі поверхні, відносно яких на першій операції оброблюються поверхні, які при подальшій обробці будуть використані як установчі бази.

Чорнова база повинна мати достатні розміри, правильність і постійність форми, найменшу шорсткість. Як чорнові бази не слід використовувати поверхні, на яких розташовані у відливках додатки та ливники, а також шви, що виникають у місцях роз'єму опок у відливках і штампів у штампівках.

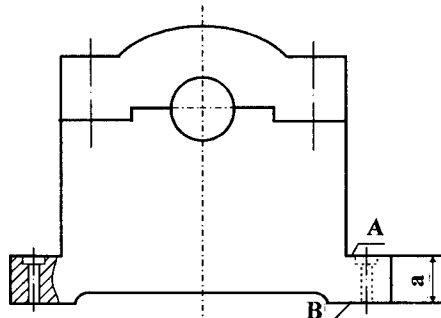


Рис. 80. Корпус підшипника.

У деталей, що не піддаються повній обробці, технологічними базами на першій операції рекомендується приймати поверхні, які взагалі не підлягають обробці. Якщо в заготовці оброблюються всі поверхні, то як технологічні бази на першій операції вибираються поверхні з найменшими припусками.

На рис.80 зображено корпус підшипника. При механічній обробці чорнвою технологічною базою є площа *A*, яка залишається необробленою. Від чорнвої бази (площини *A*) відбувається фрезерування площини *B* на розмір *a*.

При подальшій обробці корпуса підшипника (зенкерування майданчиків під болти та розточка отвору під вкладиші підшипника) як установчу технологічну базу використовують площину *B*.

#### 7.4.2. ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЧИСТОВИХ БАЗ

При виборі чистових установчих технологічних баз слід приймати поверхні, які одночасно є конструкторськими та вимірювальними базами деталі, а також використовуються як бази при складанні виробу. При суміщенні установчої, конструкторської та вимірювальної баз обробка заготовки здійснюється відповідно до розмірів, представлених на робочому кресленні, з використанням всього поля допуску на розмір, передбачений конструктором.

Порушення принципу суміщення баз вимагає збільшення жорсткості допусків технологічних операційних розмірів. Однак слід від-

значити, що реалізувати принцип суміщення баз технолог може за умови, якщо конструктор при проставлянні розмірів на робочому кресленні деталей забезпечить цю можливість.

Конструктор при розробці робочих креслень розв'язує задачі, зв'язані із забезпеченням нормального функціонування вузлів у виробі. Технолог при розробці технологічних процесів розв'язує свої задачі, зв'язані з надійним установленням деталей при обробці.

При розв'язку цих задач часто не забезпечується принцип єдності баз. В цих випадках технолог, відмовившись реалізувати принцип

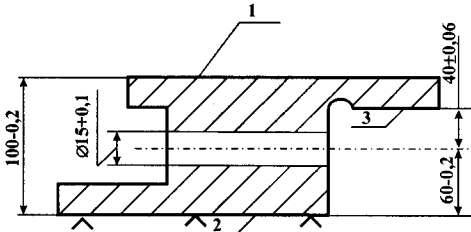


Рис.81. Креслення.

єдності баз, забезпечує принцип їх сталості. Цей принцип полягає в тому, що при розробці технологічного процесу використовують для установлення деталі на всіх операціях обробки одну й ту саму поверхню (не враховуючи

зміни чорнової бази).

Здійснення обробки від однієї технологічної бази пояснюється тим, що будь-яка зміна технологічних баз викликає похибку обробки. Наприклад, на рис. 81 показано креслення деталі. Потрібно забезпечити від майданчика 3 до осі отвору  $\text{Ø}15^{+0,1}$  розмір  $40\pm 0,06$  мм. При виконанні даного розміру неможливо забезпечити принцип єдності баз.

Обробка поверхні 3 може здійснюватися тільки від поверхні 1, а обробка отвору  $\text{Ø}15^{+0,1}$  рівною мірою може здійснюватися від поверхонь 1 та 2. Розглянемо можливі варіанти обробки.

Перший варіант - обробка поверхні 3 та отвору  $\text{Ø}15^{+0,1}$  здійснюється від постійної установчої бази 1. Цей варіант відповідає принципу постійності баз.

Другий варіант - обробка поверхні 3 відбувається від поверхні 1, а обробка отвору  $\text{Ø}15^{+0,1}$  - від поверхні 2. Тут принцип постійності баз порушено. На рис. 82 показані технологічні ескізи обробки вказаних поверхонь та наведені розмірні ланки.

Порушення принципу єдності баз потребує підвищення жорсткості технологічних розмірів. У першому варіанті обробки (рис. 82,а) технологічні розміри з підвищенням жорсткості допусками поставлені від однієї установчої бази (поверхні 1).

При такій схемі базування точність замикаючої ланки знаходиться в межах заданого допуску  $40 \pm 0,06$ .

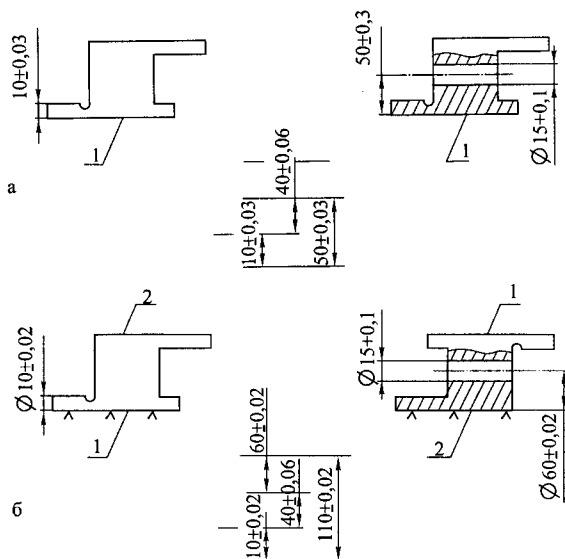


Рис. 82. Технологічні ескізи обробки та розмірні ланцюги.

(рис. 82,б).

Обробка отвору та фрезерування майданчика 3 від різних технологічних баз викликає появу додаткової похибки. У технологічний розмірний ланцюг в даному варіанті входить розмір  $110 \pm 0,2$ . Для забезпечення точності замикаючої ланки  $40 \pm 0,06$  розміри 10, ... 60 та 110 повинні бути виготовлені з допусками, що мають підвищену жорсткість до  $\pm 0,02$  мм

## 7.5. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЇВ

На агрегатних верстатах внаслідок одночасної роботи великої кількості інструментів виникають значні сумарні сили різання та моменти. В цих умовах пристрої повинні мати підвищену жорсткість і для запобігання зсуву заготовки - надійні елементи затискача.

Пристрої для агрегатних верстатів роблять швидкодіючими, багатопозиційними та оснащеними пристроями автоматичного закріплення заготовки.

Вони оснащені пневматичними, механічними, гідравлічними або електричними приводами, які управляються через скінченні вимикачі.

Для запобігання неправильному установленню заготовки в при-

ладах застосовують блокувальні та запобіжні пристрої, які при неправильному установленні заготовки зупиняють верстат.

Завантаження заготовок в робочу зону пристосувань відбувається вручну спеціальним пристроєм або маніпулятором.

Робота агрегатних верстатів та пристроїв у автоматизованому режимі забезпечує можливість багатOVERстатного обслуговування та значне підвищення продуктивності праці.

## 7.6. ОБГРУНТУВАННЯ КОМПОНОВОК АГРЕГАТНИХ ВЕРСТАТІВ

Компоновка агрегатних верстатів залежить від розмірів та конструкції оброблюваної деталі, технічних вимог на її виготовлення та об'єму випуску.

Існують різні компоновки агрегатних верстатів: вертикальні, горизонтальні, комбіновані, послідовної та одночасно послідовної дії. На рис.83.а,б,в зображені схеми і компоновки багатошпиндельних агрегатних верстатів, працюючих за принципом паралельної концентрації технологічних переходів.

Вони оснащені горизонтальним поворотним столом для обробки деталі з різних позицій і з різних боків.

Для підвищення продуктивності застосовують агрегатні верстати з одночасно працюючими багатошпиндельними головками.

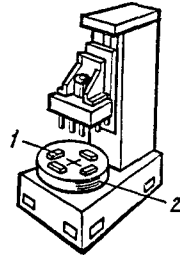
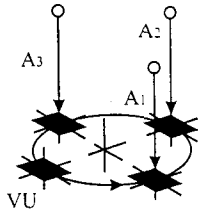
Компоновка агрегатного верстата, який працює за паралельно-послідовною схемою, показана на рис. 83,б. Стіл із заготовкою 1 має два фіксованих стани: в першому головками 2 здійснюється попередня двобічна обробка; у другому головками 3 наступна чистова обробка.

На рис. 83,в зображено агрегатний верстат з програмним управлінням, оснащений двома горизонтальними силовими головками та однією вертикальною для обробки деталі з різних боків і з різних позицій.

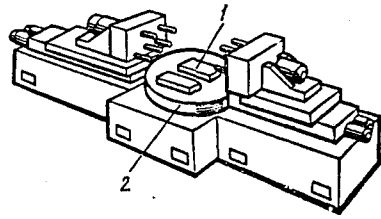
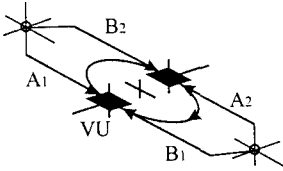
Після вибору структури схеми виконують компоновку верстата. Для цього підбирають нормалізовані вузли. При виборі силових органів агрегатного верстата призначають подачу, яка визначає сумарне зусилля різання та продуктивність обробки. За ефективною потужністю різання та частотою обертання інструментів вибирають силову головку для обробки деталі.

Залежно від необхідної кількості позицій обирається транспортний пристрій - барабан, хрестовий або поворотний стіл.

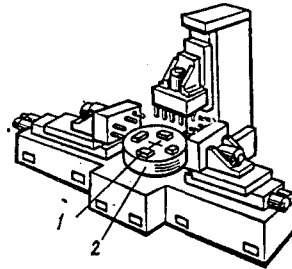
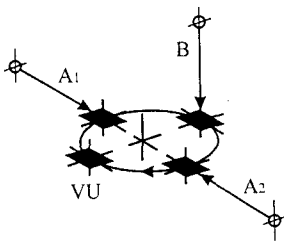




a



б



в

Рис. 83. Деякі види компоновань агрегатних верстатів.

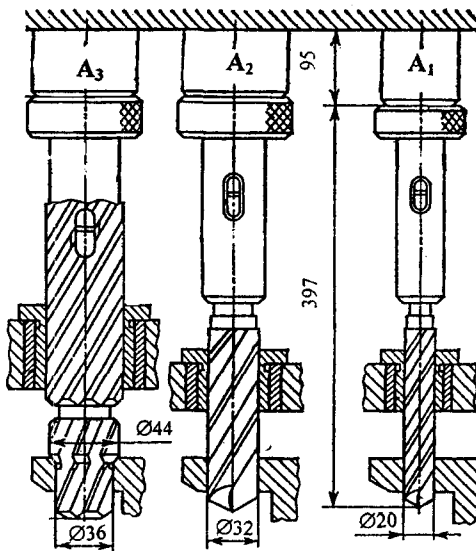


Рис. 83.1. Схема обробки заготовки на агрегатному вертикальному верстаті багатшпindelною головкою.

ні або кругові рухи.

У стаціонарних силових головок рух подачі інструмента здійснюється за рахунок переміщення пінолі шпинделя. Кінематичні особливості агрегатних верстатів обмежують частоту обертання шпинделя та поздовжню подачу для окремих інструментів.

Наприклад, на агрегатних свердлильних верстатах всі інструменти силової головки звичайно мають одну швидкість поздовжньої подачі. Внаслідок цього режим різання розраховується за лімітуючим інструментом.

При експлуатації автоматизованого обладнання для одношпindelних автоматів рекомендується період стійкості лімітуючого інструмента приймати  $T_{\text{лім}} = 120$  хв, а для багатшпindelних  $T_{\text{лім}} = 150$  хв.

## 7.7. АВТОМАТИЧНІ ЛІНІЇ З АГРЕГАТНИХ ВЕРСТАТІВ

Автоматичні лінії (АЛ) з агрегатних верстатів застосовують для обробки складних корпусних деталей: коробок швидкостей, картерів

двигунів і подібних їм конструкцій деталей. АЛ забезпечують повну обробку як плоских поверхонь, так і отворів. Ця обробка включає чорнові, напівчистові і чистові операції.

В автоматичних лініях застосовують вертикальні, горизонтальні і комбіновані агрегатні верстати, які об'єднані між собою транспортерами для переміщення оброблюваних деталей між ними. Крім верстатів і транспортерів АЛ включають поворотні столи, вимірювальні пристрої тощо.

Транспортери АЛ - штангові, крокові переміщують між позиціями деталі, якщо вони при переміщенні не втрачають свою орієнтацію, і супутники - з деталями, якщо деталі нестали при переміщенні чи складні для базування. Супутники включають установчі і закріплюючі елементи, які

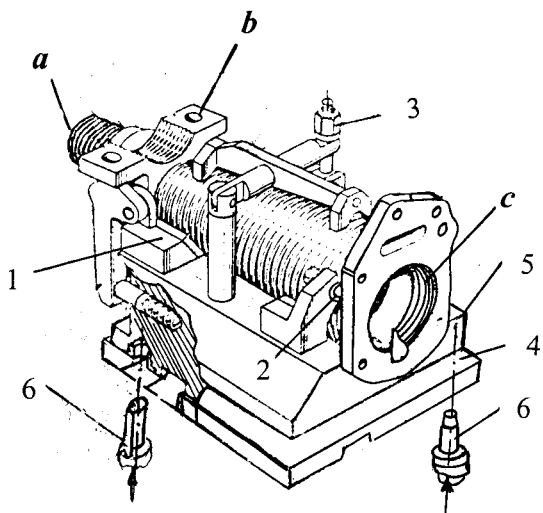


Рис.83.2. Пристосування-супутник для автоматичної лінії: а, б, с – обробляемі поверхні; 1,2 – установчі базові елементи; 3 – зажимне пристосування; 4 – плита супутника; 5 – установче пристосування; 6 – вихідний палець.

забезпечують точне базування деталі при обробці і стає положення (без втрати орієнтації) при переміщенні, рис.83.2. Транспортери, вводячи супутник з деталлю в позицію агрегатного верстата, запиняються, після чого відбувається фіксація супутника пальцевими фіксаторами на позиції. Супутник закріплюється і далі може продовжуватись обробка деталі.

Якщо в лінії деталь переміщується без супутника, то АЛ

має один технологічний (робочий) транспортер. Якщо деталь переміщується на супутнику, то крім робочого транспортера є ще допоміжні для повернення супутника (після зйому обробленої деталі) у вихідне положення. Для цього застосовують транспортери повернен-

ня, які можуть розміщуватись зверху, знизу чи збоку робітника. Розташування транспортера повернення збоку збільшує зайняту площу, зверху зменшує простір над верстатами. Найкраще розташування знизу (рис. 83.3).

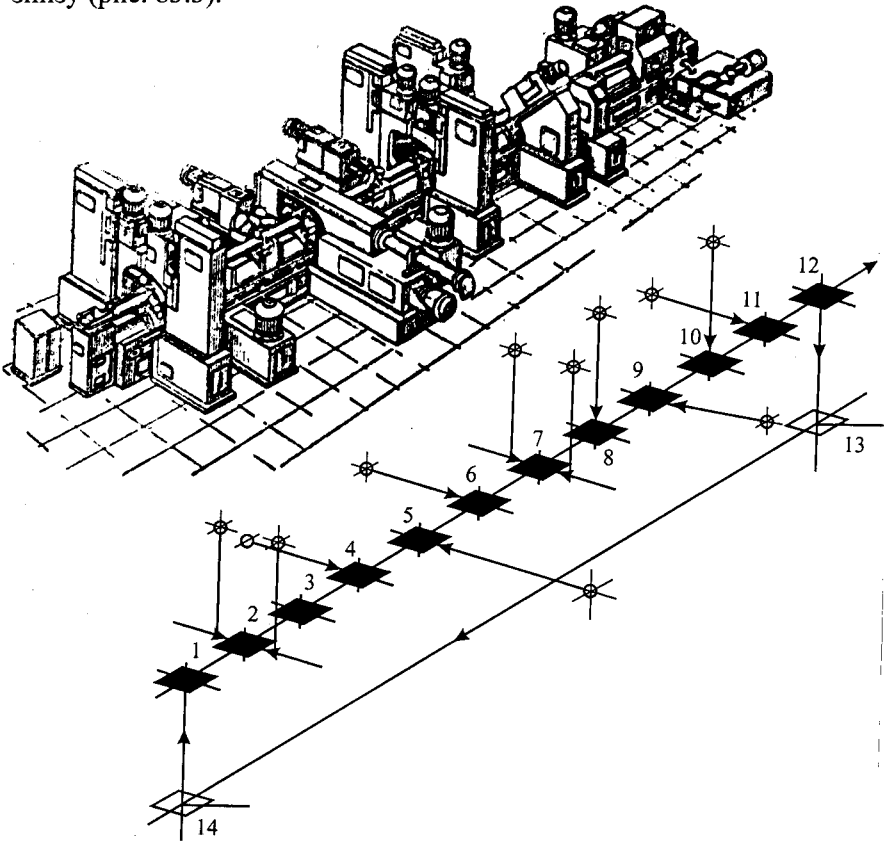


Рис.83.3. Схема і компоновка автоматичної лінії.

Інструменти підбираються на клас вище стандартного або виготовляються за спеціальними нормативними матеріалами. Близько 80% інструментів звичайно оснащуються твердосплавними пластинами з механічним кріпленням. Такий спосіб кріплення пластин забезпечує швидку заміну та підналадку верстата. Допустимий знос ріжучих інструментів приблизно в 1,5-2 рази менше від рекомендованого для ріжучих інструментів універсального обладнання. Період зміни окремих груп інструментів на автоматичній лінії значно менший від періоду можливої стійкості інструмента. Але це зменшення,

як показує досвід експлуатації автоматичних ліній, окупається за рахунок зменшення кількості відмов лінії.

При виборі оптимальної структури автоматичної лінії визначається число агрегатних верстатів, які забезпечують повну обробку деталі. Оптимізація відбувається за параметром надійності роботи верстатів та затратами на засоби автоматизації. Через обмежену надійність обладнання та засобів автоматизації автоматичні лінії доцільно зображувати у вигляді окремих дільниць.

### **Завдання для самостійного контролю**

1. Сформулювати принципи проектування технологічних процесів обробки деталей на агрегатних верстатах.
2. Вимоги, що пред'являються до технологічності конструкцій деталей, оброблюваних на агрегатних верстатах.
3. Обґрунтувати вибір чорнових і чистових установчих баз.
4. Обґрунтувати вибір конструкцій пристроїв та структури автоматичних ліній.

## ГЛАВА 8

### АВТОМАТИЗАЦІЯ СКЛАДАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

#### 8.1. МЕТОДИ ДОСЯГНЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРИ АВТОМАТИЧНОМУ СКЛАДАННІ

Питанням автоматизації складальних процесів у машинобудуванні та приладобудуванні присвячені роботи Б.С. Балакшина, В.С. Корсакова, М.П. Новикова, А.М. Рабіновича, В.В. Косилова, А.М. Нікітіна та ін.

Точність з'єднань при складанні забезпечується різними методами. Від правильності вибору методу досягнення точності з'єднань залежить якість складання. Для автоматичного складання найбільш розповсюдженим є метод повної взаємозамінюваності, який забезпечує необхідну якість складання, високу продуктивність і надійність роботи складального обладнання.

Метод повної взаємозамінюваності передбачає складання будь-якої складальної одиниці без якого-небудь підбору або припасованості деталей. Використовують цей метод у малоланкових розмірних ланцюгах, наприклад, у ланцюгу діаметр отвору - зазор - діаметр вала або ширина шпонкового паза - зазор - ширина шпонки.

В деяких випадках метод повної взаємозамінюваності застосовується для складання багатоланкових розмірних ланцюгів, наприклад, при монтажі на вал ряду шестірень та проміжних втулок або кілець із забезпеченням гарантованого зазору між торцем корпусу та однією з шестірень.

Допуск  $T_A$  і координата середини поля допуску  $A_0$  замикальної ланки визначаються за формулами, наведеними в табл. 26.

В основу розрахунку складових ланцюгів системи при складанні покладено принцип однакових впливів ланок, що складаються, на точність замикаючої ланки  $T_A$ . Величини допусків цих ланок мають однаковий квалітет точності, а середня величина допуску визначається за формулою, наведеною в табл. 26.

Застосування методу повної взаємозамінюваності зв'язане з високою вартістю виготовлення деталей, оскільки деталі, які надходять на складання, повинні виготовлятися з високою точністю. Тут допуск замикаючої ланки  $T_A$  дорівнює сумі допусків складових ланок  $T_i$ :

$$T_A = \sum_{i=1}^{m-1} T_i. \quad (94)$$

Таблиця 26

Метод досягнення точності	Допуск замикajoчої ланки	Координата середини поля допуску замикajoчої ланки	Рекомендоване число ланок	Формула середнього допуску	Примітка
Повна взаємозамінюваність	$T_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} T_c$	$A_{0\Delta} = \sum_{i=1}^n \Delta_{0i} - \sum_{i=1}^{m-1} \Delta_{0i}$	$m - 1 > 3$ при $\lambda' = 1/9$ $m - 1 \geq 6$ при $\lambda' = 1/3$	$T_{сер} = \frac{T_{\Delta}}{m - 1}$	-
	$T'_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} T'_i$				
Неповна взаємозамінюваність	$T'_{\Delta n} = \sum_{i=1}^{m-1} T'_{in}$			$T'_{сер} = \frac{T_{\Delta}}{t \sqrt{\lambda_{сер} (m - 1)}}$	$t = \frac{x}{\sigma}$
Групова взаємозамінюваність				$T'_{сер} = n \cdot T_{сер}$	$n = 2\sigma_{сер} / \Delta_{сер}$ $\Delta_{сер}$ - середній зазор
Припасовуваності	$T'_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} T'_i$	-	-	$T_k = \sum_{i=1}^{m-1} T'_i - T_{\Delta}$	
Регулювання					

**Позначення:**  $T_{\Delta}, T'_{\Delta}, T_{\Delta n}$  - допуски замикajoчої ланки;  $T_i, T'_i, T_{in}$  - складові ланки;  $T_{сер}, T'_{сер}$  - середній допуск;  $m$  - число ланок розмірного ланцюгу;  $n$  - число груп;  $\Delta_{0\Delta}, \Delta_{0i}$  - координати середини поля допуску замикajoчої та  $i$ -ї ланок;  $T_k$  - компенсація;  $\lambda'$  - коефіцієнт, який характеризує криву розподілу;  $t$  - інтервал незібраності.

Метод неповної взаємозамінюваності має більш розширений допуск замикаючої ланки  $T'_\Delta$ . Внаслідок нього деякий процент виробів буде мати значення замикаючої ланки, які не відповідають заданому. Проте цей метод складання може бути найбільш економічним, якщо процент таких некондиційних виробів (процент ризику) порівняно невеликий, а економічний ефект від зниження собівартості виготовлення деталей окупає витрати, зв'язані з перебиранням та виправленням некондиційних виробів.

Маючи на увазі випадок, коли розсіювання розмірів деталей, що надійшли на складання, підкоряється закону Гаусса, суть методу можна проілюструвати на такому прикладі.

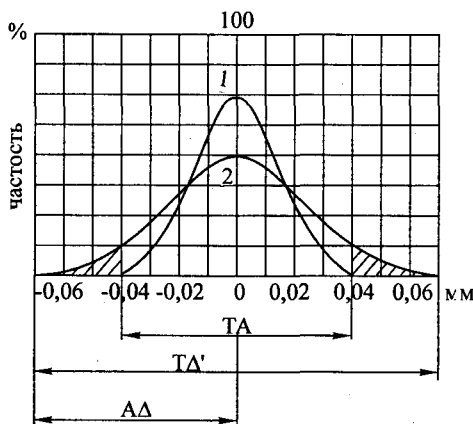


Рис.84. Криві нормального розподілу розмірів замикаючої ланки.

рис. 84 характеризують процент ризику (процент некондиційних складальних одиниць).

Покажемо процент ризику залежно від коефіцієнта взаємозамінюваності  $\eta = T_\Delta / T'_\Delta$  (де  $T_\Delta$  - заданий допуск замикаючої ланки; який отримується після збільшення допусків складових ланок до економічно прийнятних величин):

Коефіцієнт $\eta$	1,0	0,9	0,86	0,78	0,68	0,63	0,58	0,53	0,33
Процент ризику	0,27	0,6	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	33,0

Для розглядуваного прикладу  $\eta = 0,58$ , ризик складає 8%.

Таким чином, обумовлене економічними і технічними мірку-

У багатоланковому механізмі вимагається вдержати допуск замикаючої ланки  $T_\Delta = \pm 0,04$  мм (рис. 84, крива 1). Припустимо, що в даних виробничих умовах неможливо обробити деталі, що входять до складального розмірного ланцюга, з такою високою точністю. Після збільшення допусків деталей до економічно прийнятних граничних відхилень замикаюча ланка збільшилась до  $T'_\Delta = \pm 0,07$  мм (рис. 84, крива 2). Заштриховані площадки на



ваннями збільшення допусків на деталі привело до збільшення допуску замикаючої ланки  $T_A$  на 42%. Внаслідок цього при складанні у 8% виробів допуск замикаючої ланки вийде за межі допуску, заданого технічними умовами креслення.

При автоматизації процесу складання за методом неповної взаємозамінюваності необхідно передбачити спеціальні контрольні та блокуючі пристрої, які повинні виявляти браковані вузли та виключати поломку складального інструмента.

При автоматизації складання виробів за методом групової взаємозамінюваності попередньо проводиться сортування деталей на розмірні групи за допомогою спеціальних контрольних-сортувальних автоматів. Сортуючий автомат складається з бункера, подаючого механізму, вимірної позиції з датчиками розміру і сортуючого пристрою, направляючого деталі в ємності. Ємності збирають деталі відповідних груп (рис. 84.1)

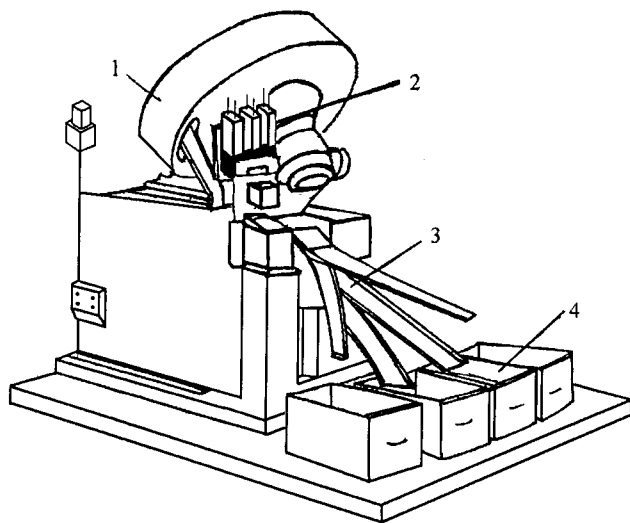


Рис.84.1. Сортуючий автомат: 1 – бункер; 2 – датчики розміру; 3 – розподільчі лотки; 4 – ємності розсортованих деталей.

Число груп  $m$  вибирається таким чином, щоб при спряженні деталей кожної групи був забезпечений необхідний допуск  $T_A$  (зазор,

натяг), тобто, щоб видержувалося співвідношення

$$TB_m + TO_m = T_{\Delta},$$

де  $TB_m$ ,  $TO_m$  — відповідно допуски на розміри, наприклад, спряжених вала та отвору в межах групи;

$$TB_m = \frac{TB}{m}; \quad TO_m = \frac{TO}{m}, \quad (95)$$

$TB$ ,  $TO$  — економічно прийнятні допуски на виготовлення відповідно вала та отвору;  $\frac{TB + TO}{m} = T_{\Delta}$ , звідки число груп  $m = \frac{TB + TO}{T_{\Delta}}$ .

Якщо при розрахунку кількості груп отримується дробове число, то його слід округлити до найближчого цілого.

Після сортування деталей на групи їх засипають у бункерні пристрої або укладають у магазинні пристрої складальних автоматів.

На рис. 85,а показано з'єднання із зазором 0,02 мм вала з втулкою. Допуски на виготовлення спряжених деталей дорівнюють 0,02 мм. Виготовлення з такою точністю деталей в умовах масового виробництва має значні труднощі. Для спрощення обробки спряжених деталей допуски на їхнє виготовлення збільшують, наприклад, на 0,08 мм, обробка деталей відбувається на верстатах, настроєних на розмір.

Розсіяння розмірів підкоряється закону нормального розподілу.

Сортування деталей, виготовлених з розширеними допусками, зменшує їхній гарантований зазор пропорційно числу прийнятих груп:

$$m_B = \frac{T'B}{TB} = \frac{0,08}{0,02} = 4; \quad m_O = \frac{T'O}{TO} = \frac{0,08}{0,02} = 4.$$

Однак при обробці деталей вала і втулки з розширеними допусками значно збільшується вплив шорсткості спряжених поверхонь і знижується точність геометричної форми, яка пропорційно зв'язана з видержуваними допусками на розміри.

При широких та економічно досяжних допусках, за якими звичайно обробляються сортувальні в дальшому деталі, похибки їхньої форми та шорсткість бувають дещо великими й недопустимими при високоточному селективному автоматичному складанні. Внаслідок цього при застосуванні метода групової взаємозамінюваності, не дивлячись на порівняно широкі допуски складових розмірів, слід підвищити жорсткість допусків на відхилення геометричної форми та знизити за рахунок підбору відповідних методів обробки шорсткість спряжених поверхонь.



Метод групової взаємозамінюваності дозволяє значно підвищити точність складання без суттєвого підвищення вимог до точності механічної обробки деталей та розширити допуски на механічну обробку без зниження точності складання. В деяких випадках складання високоточних з'єднань можна реалізувати тільки методом групової взаємозамінюваності.

Автоматизація складання вимагає необхідної кількості складаних деталей в кожній групі. Через це організація селективного складання є реально здійсненою тільки в умовах великосерійного та масового виробництва.

Групове (селективне) збирання можливе при наявності однакових законів розсіяння розмірів спряжених деталей з симетричним розподілом відхилень (рис. 85,б) або з однаковим напрямом асиметрії кривої розсіяння розмірів. У протилежному разі на складання буде надходити велика кількість деталей різних груп, які не комплектуються одна з одною. Це добре ілюструється, наприклад, схемою селективного складання валів і отворів, які мають однакові допуски  $TB=TO$ , але протилежні напрями асиметрії розподілу відхилень розмірів (рис. 85,в) (у вала  $+\alpha$ , у отвору  $-\alpha$ ). Така асиметрія утворюється часто при настроюванні верстатів методом пробних проходів і методів.

З рис. 85,в видно, що при комплектуванні спряжених деталей другої групи кількість валів (визначувана площею заштрихованої зони) буде значно меншою від кількості втулок тієї самої групи, і навпаки, у третій групі завжди буде надмір валів і нестача втулок. Це призведе до порушення ритму складання і вимагає збільшення запасів деталей у складальних цехах. Останнє збільшує обсяг незавершеного виробництва. Однакові закони розподілу відхилень розмірів спряжених деталей при груповій взаємозамінюваності повинні забезпечуватися побудовою технологічних операцій та організацією технічного контролю.

При автоматизації складання високоточних виробів, наприклад, шарикопідшипників, плунжерних пар паливних насосів, необхідна точність замикальної ланки може досягати зміною розміру однієї з деталей шляхом механічної обробки з автоматичним контролем фіксуемого розміру іншої спряженої деталі. Точність методу залежить від точності вимірювальних засобів та металоріжучого обладнання, яке здійснює припасовування.

При автоматичному складанні виробів застосовується також метод регулювання (складання шарико - і роликпідшипників). Скла-

дання здійснюється з використанням нерухомого компенсатора, роль якого виконують кульки. На складальній машині автоматично вимірюються діаметри внутрішнього та зовнішнього кілець та визначається розмір між біговими канавками пари кілець. Враховуючи отриманий розмір між біговими канавками, автоматично визивається комплект кульок необхідного діаметра для здійснення складання. Кульки попередньо з використанням спеціальних автоматів сортуються на 50 груп через 2 мкм і зберігаються в магазині складального автомата.

При автоматизованому складанні регулювання замикальних розмірів можна здійснювати також шляхом зміни стану однієї деталі відносно іншої. Наприклад, при автоматичному вгвинчуванні шпильки у корпусу деталь автоматично встановлюється їхня висота.

Цей метод має великі потенціальні можливості для дальшого підвищення точності та збільшення продуктивності. Отже, розробка технології автоматичного регулювання замикальних розмірів складованих виробів є перспективним напрямом автоматизації складальних робіт.

## 8.2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗОВАНОГО СКЛАДАННЯ

Технологічний процес автоматизованого складання розробляється у такій послідовності:

1. Аналізується технологічність конструкції для умов автоматизованого складання.
2. Виріб розбивається на складальні одиниці.
3. Розробляються технологічні схеми складання, тобто визначається раціональна послідовність складання.
4. Обґрунтовується доцільність застосування принципу концентрації або диференціації операцій. Вибираються способи базування та закріплення деталей.
5. Вибираються завантажувальні, орієнтовні та транспортні пристрої, а також механізми контролю складальних операцій.

Після ретельного вивчення конструкції і окремих її агрегатів і конструктивно – технологічних складальних одиниць розпочинають розбивку виробу на складові частини. При цьому виходять з таких принципів:

1. Складальна одиниця не повинна мати великої кількості деталей і

спряжень, в той самий час зайве дроблення машини на дрібні складові одиниці є нераціональним.

2. Габаритні розміри складальної одиниці встановлюються з урахуванням наявності технічних і транспортних засобів.
3. Трудомісткість складання більшості складальних одиниць повинна бути приблизно однаковою.
4. Складальним операціям повинні передувати підготовчі.

Паралельно з розчленуванням виробу на конструктивно-технологічні складальні одиниці, які можуть бути зібрані і досліджені незалежно одна від одної та можуть приймати участь у складанні об'єкта як самостійне ціле, виконується відроблення вузлів і деталей на технологічність.

При автоматизованому складанні вироби і деталі повинні задовольняти таким вимогам технологічності:

1. Простість конструкції та здатність забезпечувати точність компоновки.
2. Розчленованість на закінчені взаємозамінні складальні одиниці та з'єднання, що забезпечують простість монтажу та регулювання і зручність підведення складальних пристроїв.
3. Максимальна уніфікація та нормалізація складальних одиниць.
4. Відсутність у процесі технологічного процесу складання операцій механічної обробки.

При розробці раціональної послідовності операції складання на першому етапі вибирається базова деталь, до якої ставляться певні вимоги. Вона повинна мати точні поверхні для зв'язку із пристроєм, дозволяти виконувати максимальну кількість складальних операцій без зміни цих зв'язків та володіти необхідною жорсткістю та міцністю. Таким умовам звичайно відповідають корпусні деталі. Базова деталь визначає конструкцію складального пристосування або стенда.

На другому етапі визначається положення осі базової деталі (вертикальне, горизонтальне, похиле) для забезпечення максимальної зручності виконання складальних операцій і потрібної якості складання.

Технологічний процес складання починається з подавання деталі на складальну позицію. Необхідні для складання стани деталей, що входять до вузла, забезпечуються за допомогою спеціальних орієнтуючих пристроїв. Базова деталь встановлюється в складальну позицію згідно з правилом шести точок, які забезпечують стабільний стан спряжених поверхонь. У деяких випадках установа проводиться

у два етапи: попереднє встановлення і орієнтація та остаточне фіксування. Кожна операція технологічного процесу, показана на технологічній схемі складання (рис. 86), визначає вид робочої позиції обладнання. На схемі складання збиральні деталі та складальні одиниці зображені прямокутниками, а операції - кружками з послідовною нумерацією. Операції, що визначають позиції складального обладнання, на схемі позначені літерами: П - подача та встановлення деталей; К - контроль; 0 - обробка; З - закріплення; В - видача зібраного вузла; У - видалення неякісних вузлів [39].

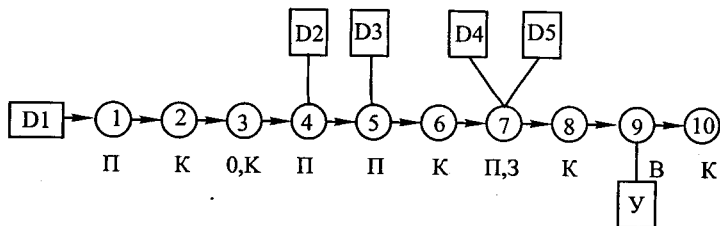


Рис. 86. Технологічна схема автоматичного вузлового складання.

При проектуванні технологічного процесу автоматизованого складання спочатку розробляється диференційований варіант. При цьому кожній операції визначають вид виконавчого механізму та тривалість їх виконання. Потім розглядається можливість концентрації операцій з метою зменшення робочих позицій автоматичного обладнання. Однак слід враховувати, що з концентрацією операцій ускладнюються конструкція та налагодження складального обладнання, знижується надійність його роботи.

При автоматизованому складанні найскладнішим переходом є взаємна орієнтація деталей на складальній позиції. Застосовуються два методи відносної орієнтації деталей: жорстке базування та самоорієнтація.

Точність збігу осей спряжених при складанні деталей регламентується лінійними та кутовими розмірними ланцюгами. Наприклад, при розв'язку задачі автоматизації складання деталей з гладкими циліндричними поверхнями спряження необхідно забезпечити точність збігу осей у просторі в границях допусків, що визначаються умовами складальності. Основними факторами, що впливають на точність суміщення осей спряжених деталей, є похибки діаметральних розмірів і геометричної форми (овальність, огранка, конусність, зігнутість тощо), шорсткість поверхні деталей.

При базуванні втулки та валика за зовнішніми поверхнями на точність їхньої співвісності впливають допуски на діаметри  $TD$  і  $Td$ , різностінність втулки та величини зазорів у з'єднанні.

На схемі рис. 87,а втулка і валик базуються за зовнішніми поверхнями. Величина неспіввісності визначається з розмірного ланцюгу:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^3 A_i - \sum_3^6 A_i ;$$

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^6 TA_i = TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4 + TA_5 + TA_6.$$

При базуванні втулки від внутрішньої поверхні (рис. 87,б) виключається похибка, зв'язана з неспіввісністю зовнішньої поверхні втулки. Величина зміщення осей вала та втулки  $B_{\Delta}$  за даною схемою базування буде визначатися так:

$$B_{\Delta} = B_2 + B_3 + B_1 ;$$

$$TB_{\Delta} = TB_2 + TB_3 + TB_1.$$

При вертикальному складанні деталі повинні бути притиснені певною силою до баз, в той час як при горизонтальному складанні ця умова не є обов'язковою, оскільки під дією сил ваги деталь стійко контролюється виконавчими поверхнями базуючих пристроїв.

При базуванні втулки за зовнішньою поверхнею необхідно забезпечити в процесі спряження можливість відриву її від призми (або інших базуючих поверхонь), інакше можуть відбутися задири на спряжених поверхнях або заклинювання. Тому за будь-яких схем базування для спряження необхідно, щоб базуючий пристрій однієї із спряжених деталей міг зміщуватися та обертатися в границях похибки базування (рис. 87, в, г). Вибір схем базування залежить від методу досягнення точності складаемого виробу (повної, неповної, групової взаємозамінюваності та регулювання). При виборі схеми базування необхідно:

1. По можливості використати як технологічні бази поверхні, за якими повинно відбуватися спряження.
2. Виявити схеми розмірних ланцюгів системи.
3. Призначити допуски на ланки розмірних ланцюгів, виходячи з умов збираності та прийнятого методу досягнення точності складання виробу.
4. Використати властивості самоустановлення деталей в процесі спряження, для чого забезпечити пересування та поворот віднос-



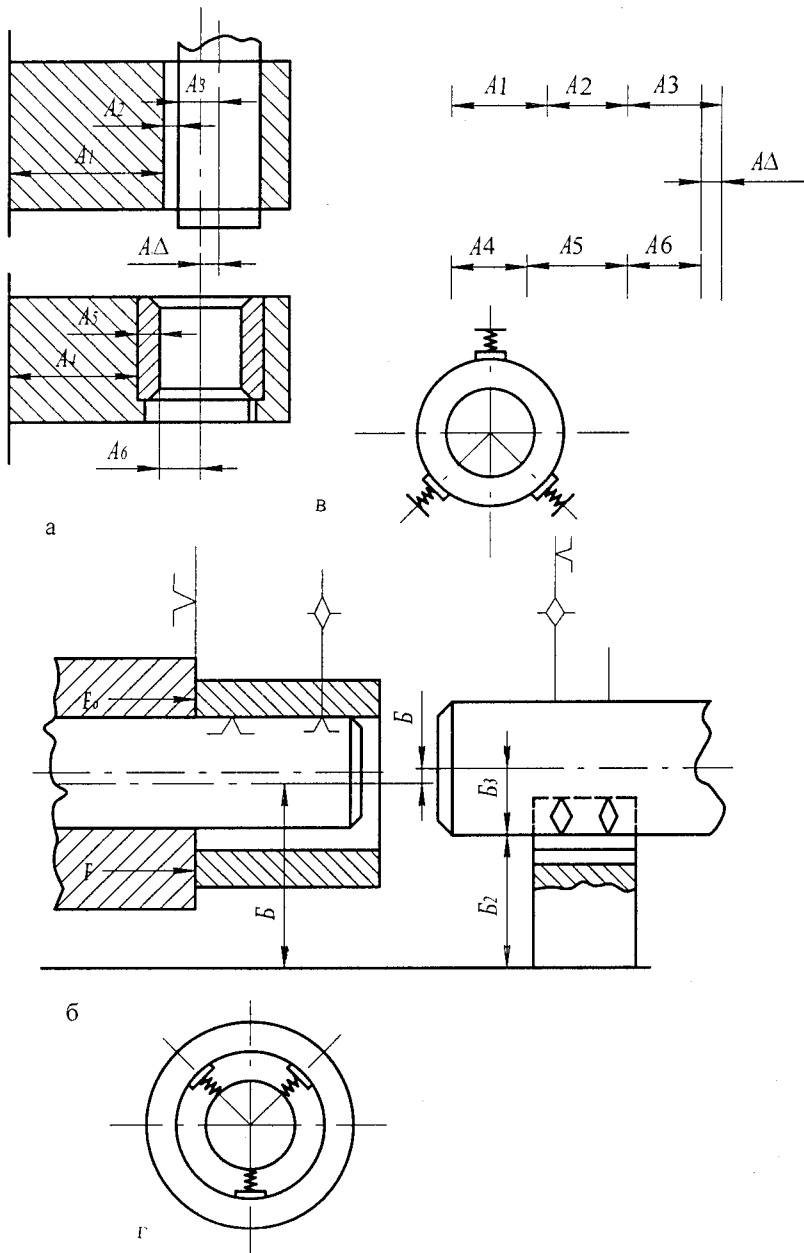


Рис. 87. Схеми базування вала і втулки.

но осі симетрії однієї з деталей для компенсації зайвих похибок першочергового її стану.

За умов серійного, великосерійного та масового виробництва великого значення набуває додержання такту випуску машин. Без цього не можна забезпечити правильний організаційно - технологічний зв'язок процесів складання окремих складальних одиниць із загальним складанням машини. Такт складання складових збиральних одиниць повинен дорівнювати або бути кратним такту загального складання. Виконання цієї умови досягається за допомогою технологічної синхронізації операцій складальних процесів.

Продуктивність автоматизованого складального обладнання оцінюється тривалістю виконання складальної операції - часом циклу, хв:

$$T_{\text{ц}} = T_n + T_{\text{ор}} + T_c + T_{\text{мп}}, \quad (96)$$

де  $T_n$ ,  $T_{\text{ор}}$ ,  $T_c$ ,  $T_{\text{мп}}$  - час, який витрачається відповідно на подачу деталі, орієнтацію, спряження, транспортування складеного вузла.

Властивість складального обладнання виконувати задані функції, зберігаючи при цьому свої експлуатаційні показники в заданих границях протягом необхідного часу, називається надійністю автоматизованого складального обладнання. Задана функція - це середня продуктивність обладнання, яка забезпечує складання вузлів згідно з технічними вимогами та запланованою рентабельністю. Низька надійність обладнання знижує його продуктивність.

### 8.3. СКЛАД І КОМПОНУВАННЯ СКЛАДАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Компонування складального обладнання визначається технологічним процесом автоматизованого складання.

До складального обладнання входять: завантажувальні, захватні, транспортні та орієнтуючі відсікальні, подавальні пристрої, а також механізми спряження, закріплення, контролю та відбраковування.

До транспортних пристроїв відносять транспортери з прямолінійним пересуванням пристрою або супутника з установленою базовою деталлю. Валкові транспортери застосовуються для пересування кілець, пальців осей. а іноді й більш складних деталей, наприклад шатунів. Широкого розповсюдження набули вібробункерні завантажувальні і транспортні пристрої, які поштучно видають деталі в суворо орієнтованому стані та із заданою швидкістю.

Конструкції бункерних завантажувальних пристроїв засновані на прагненні деталі зайняти більш стійке положення. Для циліндричних, стержневих і дискових деталей застосовують карманчикові бункерні пристрої; для деталей типу ковпачків, втулок і кілець - гачкові бункерні пристрої; для плоских деталей типу тіл обертання - секторні (шиберні) пристрої з обернено-поступальним рухом.

Захватні та відсікальні пристрої служать для подачі однієї деталі і зміни її орієнтації. Відсікачі звершують обернено-поступальний або обертальний рух. На рис. 88 показані різні конструкції відсікачів: з двома штифтами з обернено-поступальним рухом (рис. 88,а), хитний (рис. 88,б) та відсікач барабанного типу (рис. 88,в).

Живильники призначені для подачі деталі у робочу позицію. Для здійснення автоматичного спряження деталей необхідно, щоб вони були подані до базуючих пристроїв у суворо орієнтованому стані. Найбільш розповсюджене механічне орієнтовне обладнання. Відомі три методи орієнтування деталей:

1. Пасивне, за яким неправильно орієнтовані деталі вилучають з потоку із збереженням правильно орієнтованих.
2. Активне, за яким деталі встановлюються у необхідне положення шляхом прикладання реактивних сил.
3. Активно-примусове, за яким неправильний стан деталей змінюється під дією активних сил.

Вибір методу орієнтування залежить від складності форми, якості поверхні та точності виготовлення деталей. Для деталей складної геометричної форми, які неможливо орієнтувати гравітаційним шляхом, застосовують електродинамічне орієнтування. В ньому деталі одержують орієнтування за рахунок дії електромагнітного поля (рис.88.1) Для здійснення якісного складання виробів складальні машини мають контрольні пристрої, які визначають наявність всіх деталей в складальній позиції. При відсутності будь-якої деталі контрольний пристрій подає звуковий або світловий сигнал і складальний пристрій припиняє роботу.

Подача деталей з бункерних пристроїв до робочої зони автомата здійснюється за допомогою лотків під дією власної ваги і сил інерції спеціальними живильними механізмами. За напрямом подачі деталей лотки класифікуються на вертикальні, похилі, горизонтальні; за конструкцією - на трубчасті, прямолінійні, круглоспиральні та ін. [41].

У вертикальних і похилих лотках рух деталей здійснюється під дією сил ваги, в горизонтальних - примусово. Вибір виду лотка зале-

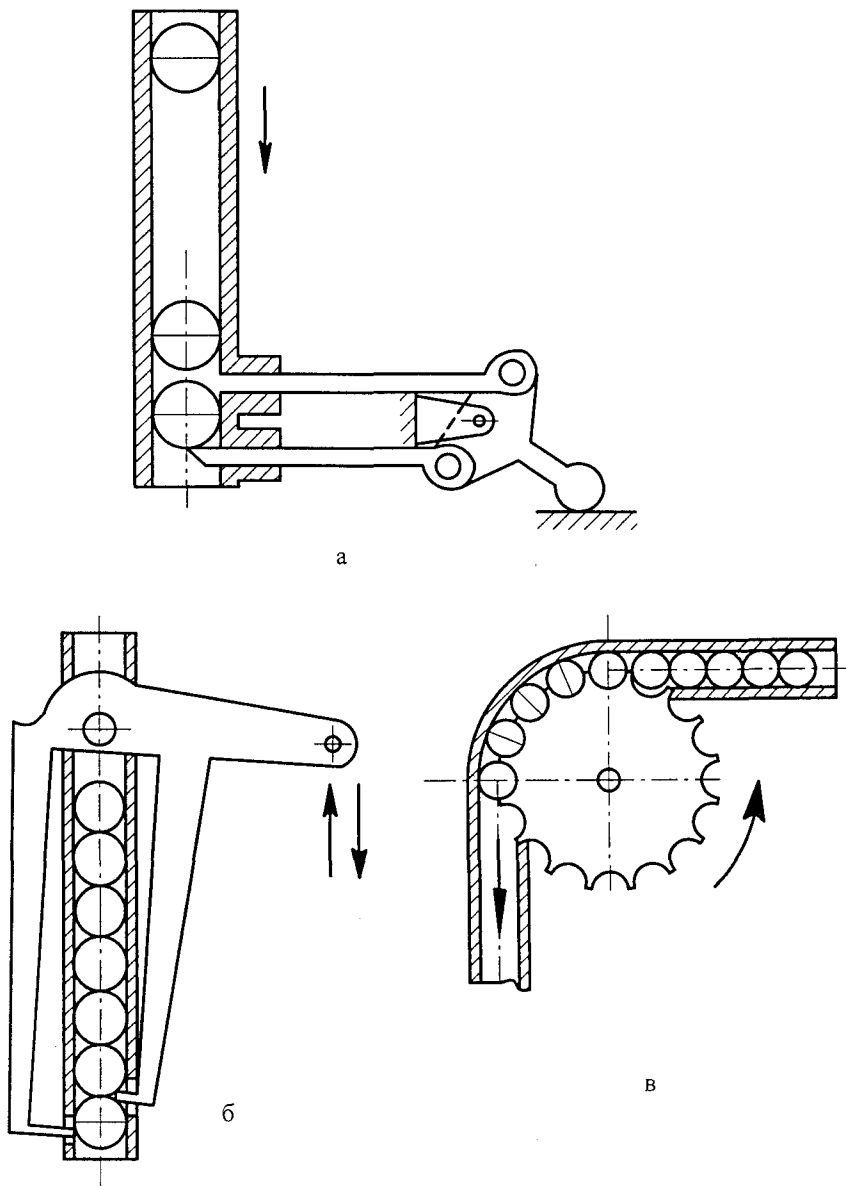


Рис. 88. Різні конструкції відсікачів.

жить від форми деталей та співвідношення розмірів. При відношенні діаметра до довжини  $d/l=0,12$  деталі мають тенденцію до заклинювання. Поверхня лотків повинна бути добре оброблена.

Вибір компоновки автоматичного складального обладнання залежить від технологічного процесу складання, габаритних розмірів виробу та кількості деталей, що входять до його складу.

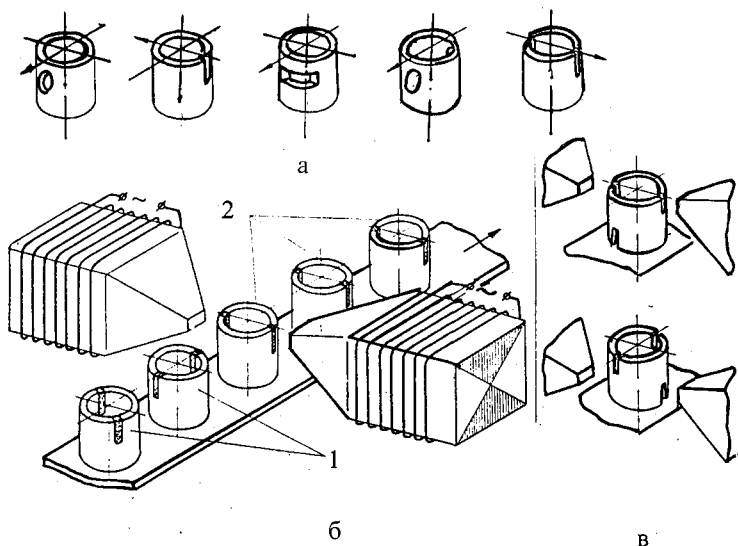
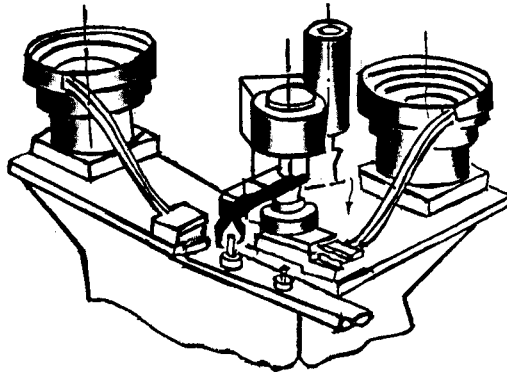


Рис.88.1. Електродинамічне орієнтування деталей: а – різновидність деталей, б – схема орієнтуючого пристрою, в – фокусування магнітного потоку по конструктивному признаку деталей.

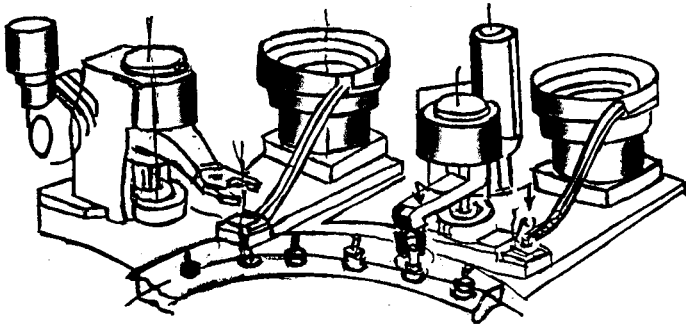
Розчленування складального процесу за окремими позиціями спрощує компоновку машин, покращує умови налагодження та ремонту, однак створюються складності конструктивного характеру і підвищується вартість складального обладнання. Отже, для забезпечення високої продуктивності та надійності роботи складального обладнання необхідно знайти оптимальний ступінь концентрації операцій.

Компоновка автоматичного складального обладнання може бути і багатопозиційною. Однопозиційні складальні машини виконують складальні операції на одному робочому місці (рис. 89, а). Вони застосовуються в тих випадках, коли установлення складаємих деталей в магазин відбувається вручну, а спряження, пересування, загвинчування, розклепування тощо - автоматично.

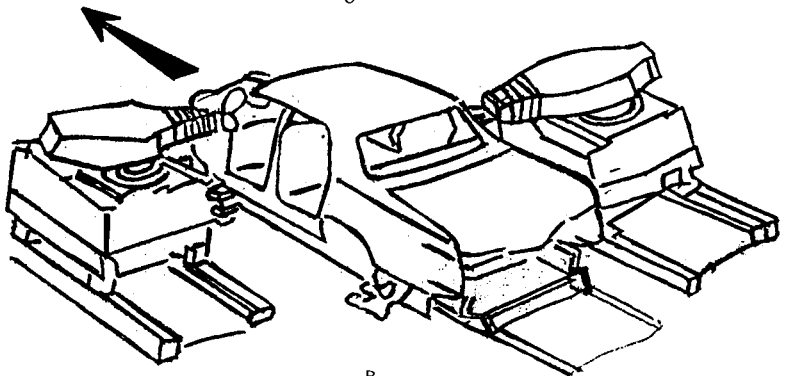
Однопозиційні складальні машини застосовуються в приладобудуванні, автомобілебудуванні, тракторобудуванні для складання



а



б



в

Рис. 89. Компонування складальних машин.

окремих складальних одиниць.

Багатопозиційні складальні машини мають транспортний пристрій, який здійснює міжопераційне пересування об'єкта складання.

До багатопозиційних відносяться автоматичні складальні лінії розіркненого типу (рис. 89,б), обслуговувемими виробничими роботами, прямолінійні з одно- та двохсторонні (рис.89,в) і роторні складальні лінії (рис.89.1), які характеризуються неперервним обертанням роторів.

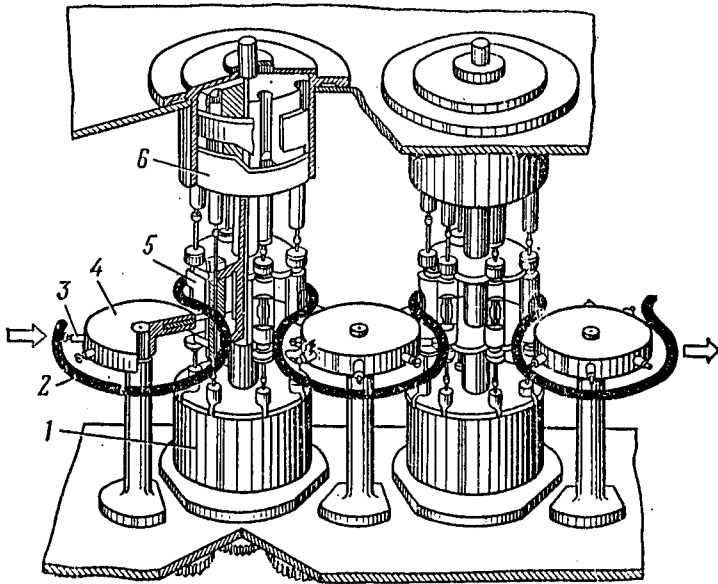


Рис.89.1. Схема автоматичної роторної лінії.

Багатопоточні складальні машини з горизонтально-замкненим конвейером застосовують для складання більш складних виробів з великою кількістю складальних позицій. На відміну від машин з поворотним столом вони мають значну протяжність транспортної пристрою, що забезпечує отримання вимагаемого кроку між складальними позиціями.

В тих випадках, коли вимагається збільшити тривалість робочого часу складання, застосовують паралельно-последовне складання. Для складання масових виробів типу роликів ланцюгів застосовують роторні лінії, які характеризуються неперервністю процесу. На вході та виході роторної лінії встановлюються пристрої для автоматичного завантаження та вивантаження об'єкта складання.

За ступенем автоматизації складальне обладнання поділяється на такі види:

автомати - складальні пристрої, що працюють самостійно, в яких всі операції складального процесу (живлення, пересування, орієнтування, спряження, контроль точності спряження, видача готового виробу) та повторення циклу здійснюються автоматично;

напіваавтомати - самостійно працюючі пристрої, цикл роботи яких після виконання операції складання переривається. Завантаження, розвантаження та орієнтування деталі проводяться вручну, а всі силові операції, закріплення, контроль та ін. - автоматично;

стаціонарний складальний стенд - пристрій, в якому автоматизовані операції спряження, фіксації точності спряження, часткове живлення дрібними деталями (цикл його роботи є переривчастим).

#### **8.4. АВТОМАТИЗОВАНЕ СКЛАДАННЯ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ**

Різьбові з'єднання - найрозповсюдженіший вид нерухомих роз'єднаних з'єднань деталей. У сучасних машинах нараховується до кількох тисяч різьбових деталей, серед яких є відповідальні болти та шпильки, які визначають надійність роботи виробів.

##### **Складання різьбових з'єднань**

По розповсюдженню в автоматичних складальних пристроях операція загвинчування серед операцій закріплення займає друге місце після пресових. При складанні різьбових з'єднань головним є обертотворчий рух, забезпечуючий необхідний момент затяжки загвинчуваної деталі.

В автоматизованих складальних процесах до операцій загвинчування висувають ряд вимог – необхідна затяжка різьбового з'єднання з відповідною заданою величиною крутячого моменту (наприклад, при складанні двигуна внутрішнього згорання), так як від цього залежить якість з'єднання і всього виробу в цілому; або регламентація моменту затяжки не відіграє особливої ролі, якщо в результаті складання виріб лише комплектується, і при дальнішому монтажі з'єднання піддається розробленню (наприклад, в електроустановчих виробках).

Швидкість обертання при загвинчуванні вибирають в значних межах від 160 до 15000 об/хв.

При цьому більші значення відповідають меншим діаметрам різьби. Величина граничного моменту затяжки обмежується міцністю



стержня гвинта на розтяг і скручення, міцність шліця гвинта – на зминання і міцність різьби на зріз.

Значення граничного моменту затяжки, виходячи з міцності стержня гвинта на розтяг, визначається в разі контактування головки болта гвинта чи гайки з торцевою поверхнею пригвинчуваної (рис.90, а, б) деталі. Розрахункова формула в цьому випадку має вигляд

$$M_{зам} = 0,6\sigma_T K_{\Pi} K_u d_o^3 (0,03 + K_T \mu), \quad (98.1)$$

де  $\sigma_T$  - границя текучості матеріалу, МПа;  $K_{\Pi}$  - коефіцієнт зведеної

$$міцності; K_{\Pi} = \frac{1}{\sqrt{1 + 7,8 \operatorname{tg}^2(\alpha + \rho')}}.$$

Тут  $\alpha$  - кут підйому різьби;  $\rho'$  - зведений кут тертя пари гвинт – гайка з урахуванням профілю різьби;  $K_u$  - коефіцієнт використання міцності матеріалу.

В залежності від точності і сталості умов затяжки  $K_u$  знаходиться в межах 0,6 – 0,85 чи може бути визначений за формулою

$$K_u = 1 - \left( \delta_H + \sqrt{\delta_{\mu}^2 + \delta_c^2} \right),$$

де  $\delta_H, \delta_{\mu}$  і  $\delta_c$  - відповідно відносні похибки настроювання інструмента на заданий момент затяжки, величини тертя в різьбі і моменту спрацювання самого інструмента;  $d_o$  - зовнішній діаметр різьби, мм;  $K_T$  - коефіцієнт, залежний від форми поверхні контакту головки гвинта чи гайки з закріпленою деталлю;  $K_T = 1,2$  при контакті по плоскій поверхні (рис. 90, а);  $K_T = 1,65$  при контакті по конічній поверхні (у випадку гвинта з потайною головкою) з кутом  $90^\circ$ ;  $K_T = 1,35$  з кутом  $120^\circ$  (рис. 90, б);  $\mu$  - коефіцієнт тертя пари гвинт – гайка.

З урахуванням міцності стержня гвинта на скручення (у випадку загвинчування шпильок чи болтів, які упираються торцем стержня, рис. 90, в) розрахункова формула для моменту затяжки має вигляд

$$M_{зам} = 0,073\sigma_T K_u d_o^3. \quad (98.2)$$

Для гвинтів типу установчих (рис. 90, г) момент затяжки визначається з урахуванням міцності шліців на зминання

$$M_{зам} = 0,085\sigma_T K_{\Pi} a d_o^2. \quad (98.3)$$

Якщо обмеженням є міцність різьби на зріз, наприклад, при згвинчуванні деталей, які значно відрізняються по механічним харак-

теристикам (рис. 90, д), то вираз для моменту затяжки має вид

$$M_{зам} = 1,54\sigma_T K_{II} H d_o^2 (0,03 + K_T \mu) \quad (99.1)$$

при більш слабкій різьбі гайки. Виходячи з міцності гвинта, формула (99.1) приймає вигляд

$$M_{зам} = 1,02\sigma_T K_{II} H d_o^2, \quad (99.2)$$

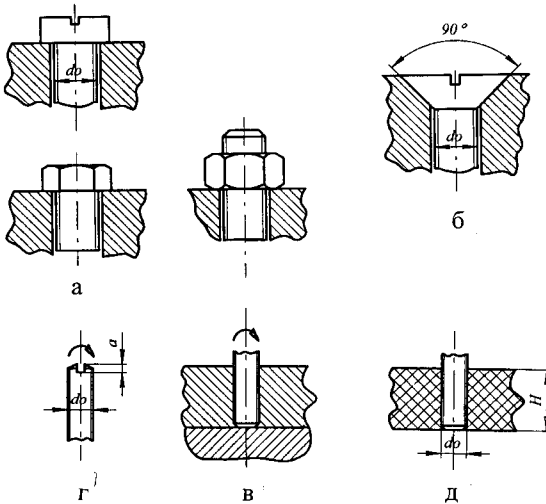


Рис.90. Різьбові з'єднання для визначення моменту затяжки: а – контактування головки болта чи гайки з деталлю по плоскій поверхні; б – по кінчній поверхні з кутом 90°; в – загвинчування шпильок чи болтів, які упираються торцем стержня; г – загвинчування установчих гвинтів; д – схема для випадку, коли різні механічні властивості гвинта і гайки.

якщо міцність гвинта менше міцності гайки. В цих формулах значення коефіцієнта  $K_T$  те ж, що і в формулі (98.1). Якщо конструкція з'єднання відповідає випадку, показаному на рис.90,в, то  $K_T=0,5$ .

Момент затяжки може обмежуватись міцністю на зминання чи жорсткістю самих з'єднань деталей. В таких випадках виконують розрахунки на міцність і жорсткість, визначають момент затяжки для загвинчування гвинтів і шурупів з самонарізаючими різьбами на пла-

стичних масах і металах. Опір згвинчуванню (до затяжки) залежить від матеріалів згвинчуємих деталей, типу і посадки різби.

Для звичайних крепіжних різьб опір загвинчування незначний і складає (0,1...0,3)% від моменту затяжки різби.

При автоматизованому складанні різьбових з'єднань необхідно забезпечити співвісність і точність відносного кутового стану болта і гайки. При різних конструктивних формах деталей, що складаються, застосовують різні схеми базування різьбових з'єднань.

Наприклад, болт базується за зовнішньою різьбовою поверхнею, а гайка – за торцем та зовнішньою поверхнею шестигранника (рис.

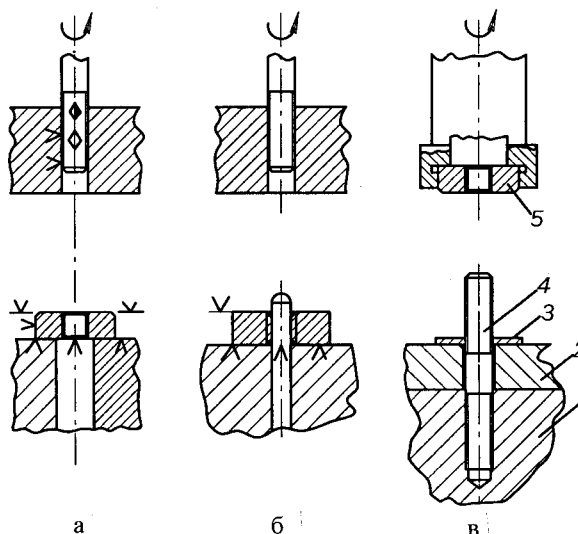


Рис. 90.1. Схеми базування різьбових з'єднань: 1 - корпус, 2 - кришка, 3 - шайба, 4 - шпилька, 5 - гайка

кришки кріпляться гайками. Натяг між різьбовою поверхнею шпильки і корпусу може здійснюватися різними способами, наприклад, конічним збігом різьби на шпильці, створенням натягу за середнім діаметром різьби та натягом між упорним буртом на шпильці та корпусом. При першому способі забезпечення натягу шпилька загвинчується досить вільно у гніздо впритул до збігу різьби, а при дальшому її загвинчуванні у витках збігу різьби з'являються розклинювальні сили, які створюють необхідний натяг. Стабільність такого з'єднання залежить від механічних характеристик матеріалів корпусу і шпильки, кута збігу різьби та моменту загвинчування шпильки. Для сталевих шпильок і корпусів із алюмінієвих і магнієвих сплавів кут збігу різьби рекомендується брати таким, що дорівнює  $20^{\circ}$ . Для сталевих корпусів кут збігу різьби зменшується.

Недоліки способу полягають у розклинювальній дії різьби, яка викликає зминання початкових витків різьби в корпусі та появу мікротріщин, особливо якщо базова деталь є чавунною. Тому такий вид з'єднання застосовується у вузлах, що не підлягають вібраційним навантаженням. Натяг, створений упором бурта в базову деталь, не має цього недоліку, але установа таких шпильок на автоматизованих

90.1, а).

При базуванні болта за цією схемою співвісність болта та різьбового отвору гайки залежить від точності виготовлення зовнішньої поверхні гайки. Відомий спосіб базування гайки за внутрішньою поверхнею різьбового отвору і торцем (рис. 90.1, б).

У корпусних

деталях шпильки загвинчуються в корпус з натягом, а

складальних стендах ускладнюється різким збільшенням крутячого моменту при створенні натягу, що відображується на стані інструмента. Крім того, створений натяг ослаблюється при затягуванні гайки.

Створення натягу за середнім діаметром отримало найбільше розповсюдження, особливо в точному машинобудуванні. Тут більш рівномірно розподіляються навантаження за витками різьби, у зв'язку з чим підвищується міцність з'єднань. Стандартом встановлено для метричних різьб шість посадок з натягом, із яких чотири посадки здійснюються сортуванням зовнішньої та внутрішньої різьби на групі за середнім діаметром. Останнім часом розповсюдження набуло встановлення шпильок на клей. У цьому випадку поверхні повинні бути чистими та знежиреними.

Крутячий момент, необхідний для загвинчування шпильки в корпус залежить від натягу, розмірів та стану різьби.

Крутячий момент при загвинчуванні різьбових з'єднань з натягом, наприклад, при поставці шпильок в корпус для з'єднань, які мають метричну різьбу, може бути визначений за формулою

$$M_{кр} = 3,14f_1d_0 \frac{E_2}{1,3 + 0,7 \frac{E_2}{E_1}}, \quad (100)$$

$$\Delta = \Delta_0 - 1,2(R_{z1} + R_{z2}),$$

$\Delta_0$  – розрахунковий натяг;  $R_{z1}$  і  $R_{z2}$  – максимальна висота мікронерівностей спряжених деталей;  $l$  – глибина загвинчування шпильки (шпилька не впирається торцем в дно отвору);  $d_0$  – зовнішній діаметр різьби;  $f_0$  – коефіцієнт тертя.

Для сталеві шпильки та сталевому корпусу  $f_1 = 0,1 \dots 0,2$ ; для сталеві шпильки та чавунного корпусу  $f_1 = 0,07 \dots 0,15$ ; для сталеві шпильки та алюмінієвого корпусу або бронзи  $f_1 = 0,04 \dots 0,1$ .

Зменшити коефіцієнт тертя можна за допомогою мастил. Наприклад, застосування масла з присадками порошкоподібного цинку, міді, свинцю, дисульфіда молібдена, а також різних паст на основі оксидів, графіта, двохсірчастого молібдена зменшує коефіцієнт тертя на 25%.

При постановці шпильок рекомендується виконувати такі вимоги: шпилька не повинна згвинчуватися при затягуванні гайки; вісь шпильки повинна бути перпендикулярною до торця корпусу.

Попереднє затягування різьбових з'єднань при складанні має значний вплив на довговічність роботи машини. Ступінь необхідного

затягування залежить від сил, навантажуючих з'єднання в процесі експлуатації. Під дією сили затягування  $F_{зам}$  болт, гвинт або шпилька подовжуються на величину  $\lambda_{\delta}$  (рис. 91) [40], а деталь (у вигляді циліндра, еквівалентного за жорсткістю фланцю) стискається на величину  $\lambda_q$ .

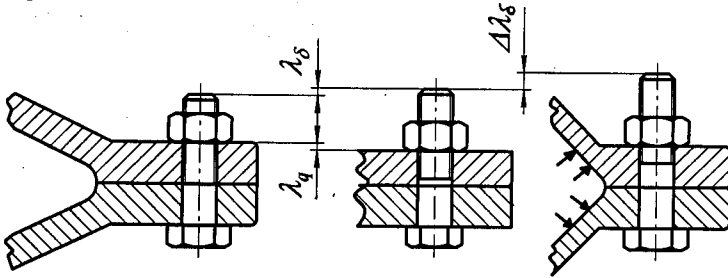


Рис. 91. Різьбове з'єднання в стадіях послідовного навантаження.

Напруження при затягуванні не повинно перевищувати границі пропорційності, тому діаграма зусилля - деформація зображується у вигляді прямих ліній (рис. 92). Кути нахилу ліній характеризують жорсткість пружної системи болта  $K_{\delta}$  та деталі  $K_q$ .

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_3}{\lambda_{\delta}} = K_{\delta}; \operatorname{tg} \beta = \frac{F_3}{\lambda_q} = K_q.$$

Якщо на систему, що знаходиться у пружному стані, буде діяти зовнішня сила  $F''$  (наприклад, тиск газів), яка роз'єднує стик, то болт отримає додаткове подовження на величину  $\Delta\lambda_{\delta}$ , а напруження стика зменшиться.

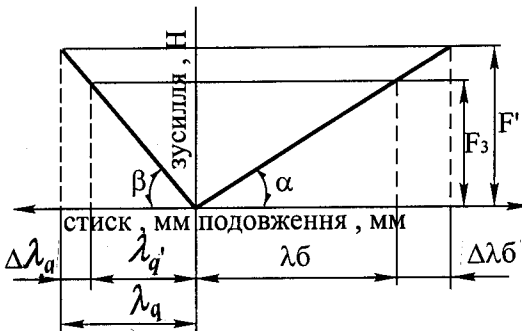


Рис. 92. Діаграма деформацій болта та корпусу деталі під навантаженням.

Деформація деталі, що залишилася, буде дорівнювати  $\lambda'_q$ . В цьому випадку сила, яка навантажує болт, збільшиться і буде дорівнювати  $F'$ , а сила яка стискає деталь, зменшиться і буде дорівнювати  $F_0$ . Співвідношення сил і деформацій показано на рис. 93

[40]. З рисунку виходить, що деформація.

$$\lambda_q = \lambda'_q + \Delta\lambda_\delta$$

або

$$\frac{F_3}{K_q} = \frac{F_0}{K_q} + \frac{(F' - F_3)}{K_\delta}. \quad (101)$$

Підставляючи у вираз (101) замість  $F' = F + F_0$ , отримаємо формулу для визначення зусилля затягування:

$$F_3 = F_0 + F \frac{K_q}{K_\delta + K_q}. \quad (102)$$

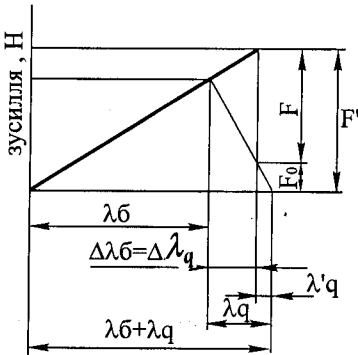


Рис.93. Суміщена діаграма деформацій болта та сполучених деталей.

Залишкове зусилля в стикі  $F_0$  приймають таким, що дорівнює (0,3...0,8)  $F$  - для постійних статичних навантажень; (1,2...2,4)  $F$  - для змінних навантажень.

Зруйнування болтів відбувається в основному від утомлених явищ при дії знакоперемінного навантаження. Чим більшою буде амплітуда коливання напружень, тим більшою буде змінна складова  $F_H$  яка діє на болт (рис. 94) [40].

Тому прагнуть зменшувати амплітуду змінної складової:  $F_H = F - F_0 - F_3$ . Підставивши

значення  $F_3$  з формули (102), отримаємо

$$F_H = F \frac{K_\delta}{K_\delta + K_q}. \quad (103)$$

З формули (103) видно, що із зменшенням жорсткості болта і збільшенням жорсткості деталі складова  $F_H$  зменшується.

При конструюванні різьбових з'єднань прагнуть додержуватись правила "жорсткі деталі - податливі болти".

Податливість болтів досягається за рахунок заниження діаметра головки. Шийка на болтах є своєрідним демпфером, який поглинає амплітуду змінюваної сили  $F_H$ .

Напруження затягування в шпильці або болті складає для різь-

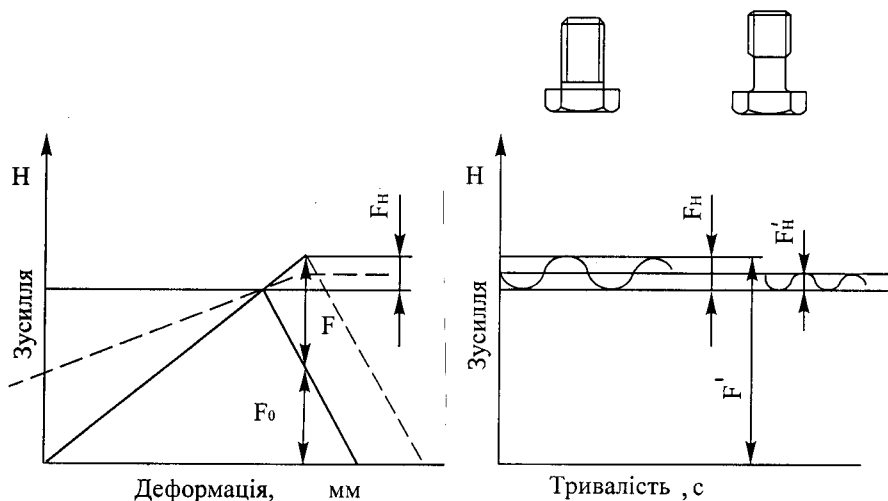


Рис. 94. Вплив податливості болта на величину амплітуди пульсуючого навантаження  $P_n$ .

бових деталей з вуглеводневих сталей  $\sigma_{заг} = (0,6...0,7)\sigma_T$ , для деталей з легуваних сталей  $\sigma_{заг} = (0,5...0,6)\sigma_T$ .

Забезпечення необхідного затягування різьбового з'єднання - достатньо складна і вельми відповідальна задача.

Для контролю необхідного затягування різьбового з'єднання застосовують спеціальні граничні ключі, які вимикаються автоматично.

Прикладання динамічних навантажень при затяжці порушує її стабілізацію та зменшує  $F_3$ .

На зменшення зусилля затяжки  $F_3$  впливають:

- остаточні пластичні деформації болта та спряжених деталей внаслідок короточасних перевантажень або надмірно крутячого моменту, прикладеного до гайки при затяжці;
- контактні пластичні деформації на стикових поверхнях (зминання шорсткості) та в різьбі;
- релаксація напружень у болтах і деталях при наявності підвищених температур.

Для стабілізації напруження затяжки застосовують такі заходи:

- ретельну припасованість стикових поверхонь та попереднє обтискання деталей під навантаженням, яке відповідає заданому значенню  $F_3$ ;





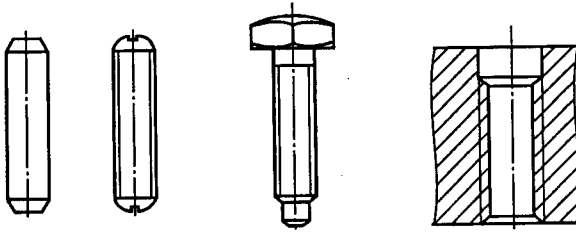


Рис. 96. Рекомендовані конструкції різьбових деталей для автоматичного складання.

Нагвинчування спрощується, якщо замість звичайних фасок і заходних конусів на гвинтах і болтах при накатці створити пряму конусність за середнім діаметром

на двох-трьох перших витках.

Для покращення умов орієнтації необхідно різьбовим деталям надати симетричної форми та передбачити в конструкції направляючі елементи (рис. 96).

Симетричність форм деталей спрощує орієнтацію при видачі їх із бункерних пристроїв на робочу позицію (рис. 96, а).

Наявність центруючого пояса з фаскою біля болта та поглиблення в корпусі забезпечує взаємне центрування різьбових деталей (рис. 96,б).

## 8.5. СКЛАДАННЯ НЕРУХОМИХ НЕРОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАНЬ

У конструкціях машин широко застосовуються нерухомі нероз'ємні з'єднання. Розбирання цих з'єднань звичайно зв'язане з порушенням стану спряжених поверхонь і часто з псуванням однієї з кількох деталей складальної одиниці. Конструктивних різновидів нерухомих нероз'ємних з'єднань надто багато.

До найрозповсюдженіших видів нероз'ємних з'єднань слід віднести з'єднання з гарантованим натягом, зварні, паяні, склеєні та заклепочні. З'єднання з гарантованим натягом умовно поділяються на поперечно-пресові та поздовжньо-пресові.

У поперечно-пресових з'єднань зближення спряжених поверхонь відбувається за нормами до циліндричних поверхонь. Такі з'єднання здійснюються нагріванням перед складанням охоплюваної деталі або охолодженням охоплюваної.

При продольно - пресовому з'єднанні охоплювана деталь запресується до охоплюваної з натягом. Відносна нерухомість спряжених деталей забезпечується за рахунок сил тертя, що виникають.

### 8.5.1. ЗАПРЕСОВКА З НАГРІВОМ ОХОПЛЮЮЧОЇ ДЕТАЛІ

Для забезпечення міцності нероз'ємного з'єднання двох циліндричних деталей - вала та втулки застосовують запресовку з нагрівом охоплюючої деталі.

Теплові посадки забезпечують натяг приблизно в 2 рази більший порівняно із звичайною пресою посадкою  $\frac{H}{r}$  або  $\frac{H}{S}$ .

Мікронерівності спряжених поверхонь при теплових посадках не згладжуються, а ніби згладжуються одна з одною за рахунок радіального впровадження, збільшуючи тим самим міцність з'єднань приблизно у 2-3 рази.

Температура, до якої слід нагрівати охоплюючу деталь для здійснення складання, визначається за умовою, що натяг  $\Delta$  повинен бути менше за добуток

$$\alpha \cdot d_1(t_H - t_0),$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт лінійного розширення матеріалу при нагріванні охоплюючої деталі;  $t_H$  - температура нагріву,  $t_0$  - початкова температура деталі;  $\Delta = d - d_1$ , отже,

$$d - d_1 < \alpha \cdot d_1(t_H - t_0),$$

звідки

$$t_H - t_0 > \frac{d - d_1}{\alpha \cdot d_1}; \quad (104)$$

$d$ ;  $d_1$  - діаметри вала та отвору відповідно.

З [43] відомо, що натяг змінюється за залежністю  $\Delta = 0,015 + 0,001d_1$ .

Приймаючи за основу приведену залежність, отримуймо

$$t_H - t_0 = \frac{0,015}{\alpha d_1} + \frac{0,001}{\alpha} = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{0,015}{d_1} + 0,001 \right).$$

Для сталевих деталей ця формула має спрощений вигляд

$$t_H = \left( \frac{1350}{d_1} + 90 \right) + t_0.$$

Розраховану температуру нагріву  $t_H$  збільшують на 15-20% для компенсації часткового охолодження деталі за час, який витрачається на орієнтацію та запресовку охоплюваної деталі.

Для запобігання структурних перетворень результуюча температура нагріву ( $t_H + t_0$ ) не повинна перевищувати 350 ... 370 °С. Ко-

ефіцієнти лінійного розширення при нагріванні та охолодженні наведені в табл. 27.

Таблиця 27

Матеріал	Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^{-6}$ мм на 1 м та 1 <sup>0</sup> С	
	при нагріванні	при охолодженні
Сталь	11	-8,5
Чавун	10	-8,0
Мідь	16	-14
Бронза	17	-15
Латунь	18	-16
Алюміній	22	-18
Магнієві сплави	26	-21

### 8.5.2. ЗАПРЕСОВКА З ОХОЛОДЖЕННЯМ ОХОПЛЮВАНОЇ ДЕТАЛІ

Температура охолодження охоплюваної деталі

$$t_{охл} = \frac{\Delta + \delta}{\alpha \cdot d} \quad (105)$$

Слід зауважити, що напруження, що виникає від натягу,

$$\sigma = \alpha \cdot t_{охл} \cdot E, \quad (106)$$

( $E$  - модуль пружності) повинно бути менше границі текучості матеріалу деталі.

Мінімальні зазори між охоплюваною та охоплюючою деталями  $\delta$ , які забезпечують зручність складання та залежать від часу, що витрачається на виконання операції запресовки, наведені в табл. 28 [43].

Таблиця 28

Час виконання операції, хв	Мінімальний зазор $\delta$ , мм, при діаметрі спряження, мм					
	30...40	40...60	60... 100	100...150	150...200	св. 200
0,5	0,0006d					
1,0	0,0007d	0,0007d				
2,0	-	0,0011d	0,0007d	0,0006d	0,0005d	-
5	-	-	0,0011d	0,0008d	0,0007d	0,0006d
10	-	-	-	-	0,0008d	0,0007d

При низьких температурах в деяких марках сталей відбуваються фазові перетворення, що супроводжуються збільшенням об'єму. На-

приклад, у складнолегованих сталях після хіміко-термічної обробки та наступного шліфування в структурі зберігається 50-70% остаточного аустеніта.

При переохолодженні до  $-75^{\circ}\text{C}$  остаточний аустеніт перетворюється в мартенсит. Розпад аустеніта в мартенсит супроводжується збільшенням об'єму деталі. Цей ефект - збільшення об'єму за рахунок перетворення аустеніта в мартенсит - використовують для створення натягу у спряженні.

Деталі з'єднують з невеликим зазором, а зібрану складальну одиницю охолоджують. Внаслідок перетворення аустеніта в мартенсит виникає натяг. Слід зауважити, що при використанні охолоджуючого середовища необхідно приймати попереджувальні заходи, оскільки дія цього середовища на шкіру рук людини викликає хворобливі явища. Просякнута рідким киснем тканина набуває вибухових властивостей. Рідкий азот або кисень треба зберігати в спеціальному приміщенні; щільно закривати отвори посудин із зрідженим газом небезпечно, оскільки це може призвести до вибуху.

Процес запресовки деталей методом переохолодження легко піддається автоматизації. Відбувається спряження деталей із зазором. Зібраний вузол, рухаючись за потоком, автоматично занурюється у ванну рідкого кисню або азоту з температурою відповідно  $-140^{\circ}\text{C}$  або  $-75^{\circ}\text{C}$ . Дається витримка часу, необхідна для розпаду аустеніта в мартенсит.

### 8.5.3. СКЛАДАННЯ ПОЗДОВЖНЬО-ПРЕСОВИМ МЕТОДОМ

З'єднання такого виду широко застосовуються в конструкціях машин. Процес складання полягає в тому, що до однієї з деталей (охоплюваної або охоплюючої) прикладається осьова сила (рис. 97), під дією якої підбувається запресовка. Сила запресовки в міру пересування деталі змінюється від нуля до деякого максимального значення.

Діаметр вала (охоплюваної деталі) більше від діаметра отвору (охоплюючої деталі). За цих умов запресовки процес супроводжується деформацією металу, викликаючи на поверхні металу велику силу нормального тиску і як наслідок - силу тертя, яка перешкоджає відносному зсуву цих деталей. Здатність пресових з'єднань витримувати навантаження залежить від натягу.

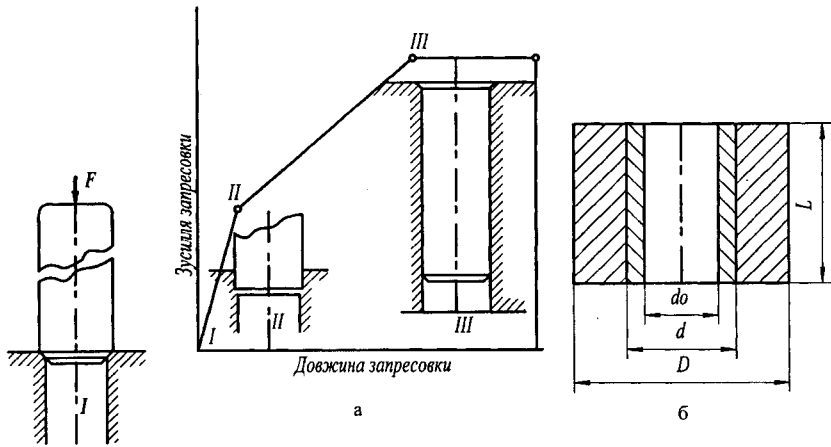


Рис.97. Діаграми запресовки (а): 1 – орієнтація деталі; 1 –II – наживлення; II –III – запресовки; схема поздовжьного пресового з'єднання (б).

Фактичний натяг при посадці  $\frac{H}{r}$ ,  $\frac{H}{S}$  звичайно визначають за номінальними розмірами деталей, що сполучаються, без урахування мікрогеометрії поверхні. Однак за рахунок стиску мікронерівностей фактичний натяг зменшується. Для визначення натягу, враховуючи мікрогеометрію, необхідно знати висоти мікронерівностей  $R_{z1}$  та сполучених поверхонь  $R_{z2}$  (табл. 29).

Таблиця 29

Вид обробки	Шорсткість (ГОСТ 2789-73) $R_a$ , мкм
Розточування і обточування:	
напівчистове	2,0...2,5
чистове	1,0...0,63
тонке	0,32
Свердління:	
з розгортанням	2,0...2,5
із зенкеруванням та розгортанням	0,8...0,63
із зенкеруванням і двократним розгортанням	0,63...0,5
Шліфування:	
напівчистове	2,0...2,5
чистове	1,25...1,0
тонке	0,63...0,4

Номінальний натяг у сполученні як різниця діаметрів охопленої та охоплюючої деталей буде  $\Delta d$ , а розрахунковий натяг  $\delta = \Delta d - 1,2 \cdot (R_{z1} + R_{z2})$ .

При розробці технології складання, особливо автоматизованої, необхідно знати силу запресовки, оскільки за цим параметром підбирають обладнання та пристосування для виконання операції.

Найбільша сила запресовки  $F$ , Н, необхідна для здійснення позовжньо-пресового з'єднання з гарантованим натягом, визначається так:

$$F = f_{zan} \cdot \pi \cdot p \cdot L \cdot d, \quad (107)$$

де  $f_{zan}$  - коефіцієнт тертя при запресовці;  $p$  - питомий тиск на поверхні контакту, МПа;  $L$  - довжина запресовки, мм;  $d$  - діаметр охопленої деталі, мм.

Питомий тиск на поверхні контакту

$$p = \frac{1}{d} \cdot \frac{\delta \cdot 10^{-3}}{\left( \frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2} \right)}, \quad (108)$$

де  $\delta$  - розрахунковий натяг, мкм;  $E_1$  та  $E_2$  - модуль пружності матеріалу відповідно охопленої та охоплюючої деталей;

$$c_1 = \frac{d^2 + d_o^2}{d^2 - d_o^2} - \mu; \quad c_2 = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu. \quad (109)$$

Значення  $c_1$  та  $c_2$  визначаються за табл. 30 [43].

Таблиця 30

Марка клею	Відкрита видержка при 18...20°C	Підсушування	Режим тверднення		
			температура, °C	тиск, МПа	видержка, год
БФ-2	1 год	1-й шар при 60°C - 15 хв	140...160	50...200	1
	1 год	2-й шар при 60°C - 15 хв, 90°C - 60 хв			
МПФІ	30 хв	1-й шар при 60°C - 15 хв	155	10...50	1
	30 хв	2-й шар при 60°C - 15 хв, 80... 90°C - 15хв			

Коефіцієнт тертя  $f_{зан}$  залежить від марки матеріалу сполучених деталей, питомого тиску та шорсткості поверхні. Наприклад, при виготовленні сполучених деталей із сталі Ст.5 коефіцієнт тертя  $f_{зан} = 0,054 \dots 0,22$ ; для чавунів –  $0,07 \dots 0,13$ ; для сплавів алюмінію –  $0,02 \dots 0,06$ ; для бронзи і латуні –  $0,05 \dots 0,10$ .

Міцність поздовжньо – пресового з'єднання залежить також від швидкості виконання запресовки. Найбільша міцність з'єднання досягається при малих швидкостях (до 3 мм/с).

Вібраційна дія на процес запресовки підвищує міцність з'єднання. В умовах великосерійного та масового виробництва при запресовці деталей встановлюють границі допустимих коливань сили запресовки; якщо вона виходить за ці границі - з'єднання бракують.

#### 8.5.4. З'ЄДНАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗВАРЮВАННЯМ, ПАЯННЯМ ТА СКЛЕЮВАННЯМ

У машинобудуванні зварювання отримало виключно широке розповсюдження. Застосовуються такі різновиди способів зварювання: точкове, шовне; дугове - напівавтоматичне та автоматичне під флюсом, у середовищі захисних газів, електронно - променеве, лазерне, дифузійне, тертям і вибухом. Через широке застосування в конструкціях машин пластичних мас (поліетилену, полістирола, органічного скла та ін.) для їхнього складання (з'єднань) застосовують теплові види зварювання та зварювання нагрівом ТВЧ.

Технологічний процес утворення зварних з'єднань складається з таких основних операцій: підготовка деталі під зварювання, складання елементів вузла, зварювання, термічна обробка, зачищення швів і контроль якості швів.

Підготовка деталей під зварювання полягає у правці елементів, що входять до складової одиниці, зачищення зварюваних поверхонь і обробка кромки. При зачищенні з поверхонь видаляються окалина, бруд і плівки тугоплавких оксидів; її здійснюють механічним способом (обробка металевими щітками, повстяними та абразивними кругами), травленням у кислотах.

Кромки обробляють на токарних і фрезерних верстатах. Складання під зварювання забезпечує необхідне взаємне розташування деталей, які входять до складової одиниці. Зазор між кромками зварюваних деталей повинен забезпечуватися  $0,1 \dots 0,2$  товщини матеріа-

лу. Прихоплювання здійснюється в спеціальних пристосуваннях, які називаються стапелем. Зварювальні пристрої мають мідні підкладки, які щільно прилягають до деталей біля кромки, і механізовані затискні пристрої, котрі забезпечують рівномірне та стабільне зусилля закріплення зварюваних деталей за довжиною шва. Пристрої дозволяють змінювати стан виробу, забезпечуючи доступ оператора до місця зварювання.

Стабільний якісний шов забезпечує автоматичне зварювання на оптимальних режимах.

Якість зварних з'єднань на різних етапах виготовлення контролюється різними методами. Однак поки що є відсутніми надійні методи активного контролю якості шва безпосередньо у процесі зварювання.

Геометричні параметри швів (кратери, подрізи основного металу, сплески та ін.) виявляються візуально з допомогою лупи або інших засобів контролю.

Внутрішні дефекти (мікротріщини, структурні зміни, включення) визначають більш тонкими фізичними методами контролю (рентгенівський, ультразвуковий та ін.). Поверхневі тріщини контролюються методами фарб і люмінесцентним.

У сучасному машинобудуванні зварювання широко розповсюджене, вивченню та висвітленню його технології присвячена численна спеціальна література. Враховуючи це, в даному розділі питання зварювання детально не розглядаються.

Паянням називається процес отримання нероз'ємного з'єднання двох і більше деталей із застосуванням присадкового металу (припою) - шляхом нагріву їх у складеному виді до температури плавлення припою. Розплавлений припой затікає в спеціально створювані зазори між з'єднуваними деталями і дифундує у метал цих деталей.

Процес паяння, на відміну від зварювання, проходить при температурах, нижчих від точки плавлення матеріалів деталей.

Якісний шов при паянні забезпечується за умови, що матеріал деталі та розплавлений припой вступають у фізико-хімічну взаємодію на рівні атомних зв'язків. Взаємодія виражається у взаємному розчиненні та дифузії матеріалів і припою, утворенні хімічних сполук і евтектичних сплавів. При твердненні спаю спостерігаються різні види атомних зв'язків, включаючи металічну, іонну та ковалентну. Про якість паяння судять в основному за посереднім показником - змочуваністю.



Змочуваність характеризує атомні (точніше, іонні) зв'язки: сили притягання між атомами припою та основного матеріалу (адгезія) повинні перевищувати сили притягання між сусідніми атомами самого припою (когезія). Отже, припой повинен підбиратися з урахуванням конкретного матеріалу деталі.

Значний вплив на якість з'єднання має зазор під паяння, при призначенні якого враховується характеристика припою, рід з'єднуваних матеріалів, площа, яку повинен покрити припой, якість поверхні сполучених деталей.

Для рідкотекучих, зокрема мідних і срібних, припоїв зазори робляться меншими, ніж для латунних і алюмінієвих. Грубооброблені поверхні допускають менші зазори, ніж шліфовані та поліровані, оскільки їхня змочуваність вище, ніж у гладких. Залежно від температури плавлення припою розрізняють паяння м'якими й твердими припоями.

М'які (звичайно олов'янисто – бронзові) припої мають температуру плавлення нижче  $400^{\circ}\text{C}$ , а тверді (срібні, фосфористі, мідно-цинкові та спеціальні припої) -  $450... 1200^{\circ}\text{C}$ . Міцність м'яких припоїв не перевищує  $100 \text{ Н/мм}^2$ , а міцність твердих -  $600 \text{ Н/мм}^2$  і більше.

Паяння в повітряному середовищі відбувається із застосуванням флюсів, які захищають поверхню від окислення та покращують змочуваність поверхонь у процесі паяння. Як флюси для твердих припоїв застосовують буру і плавиковий шпат. При паянні м'якими припоями користуються каніфоллю, хлористим цинком, нашатирем і фосфорною кислотою.

Паяння точних з'єднань виконують без флюсів у захисній атмосфері або у вакуумі.

Технологічний процес паяння складається з таких операцій: підготовка сполучених поверхонь під паяння; складання, нанесення флюса та припою, нагрівання місця спаю, промивання і зачищення шва.

Залежно від способу нагрівання види паяння поділяються на газове, електричне і ультразвукове. При газовому паянні нагрівання припою здійснюється газовим паяльником; при електричному - ТВЧ; при ультразвуковому - електропаяльником з ультразвуковим магнітострикційним вібратором.

Деталі для паяння повинні бути ретельно підготовлені. Місця під спай необхідно промити та знежирити. Зазор між сполученими поверхнями в з'єднанні повинен бути однаковим по всьому перерізу.

Припой у вигляді фольгових прокладок, дротяних контурів, стрічок разом з флюсом закладають в місці спаю.

При автоматизованому паянні припой у вигляді пасти заносять за допомогою шприц-обладнань у необхідних дозах. Місця спаю нагрівають вище точки плавлення припою.

Паяння - процес трудомісткий, тому створено ряд напівавтоматів і автоматів для газового, електричного та інших видів паяння. Успішно працює автоматична лінія для паяння пластин і трубок радіаторів [43].

Склеювання - один із способів отримання нерухомих нероз'ємних з'єднань деталей. У процесі склеювання між сполученими поверхнями деталей вводиться шар клею, здатного завдяки силам адгезії скріпити ці деталі.

Перевага методу в тому, що при склеюванні можна отримати з'єднання деталей з різнорідних металів і неметалічних матеріалів, не викликаючи при цьому залишкових напруг і деформації.

У з'єднаннях замість посадок  $\frac{H}{r}$  та  $\frac{H}{s}$  використовують посадку  $\frac{H}{h}$  із введенням у зазор клею. Технологічний процес склеювання деталей складають такі операції:

1. Підготовка поверхонь - ретельна підготовка та очищення сполучаємих поверхонь травленням, дробеструминною та піскоструминною обробкою, знежиренням.
2. Підготовка клею - змішування необхідних компонентів у відповідних співвідношеннях з додержанням необхідної послідовності. Ця робота виконується у спеціальних приміщеннях, оснащених спеціальним обладнанням і контрольними приладами.
3. Нанесення клею на обидві поверхні за допомогою щітки, пульверизатора, покритого фетром ролика або спеціальних механізованих пристроїв.
4. Витримка та підсушування з метою видалення розчинників протягом 40...60 хв.
5. З'єднання склеюваних деталей та створення умов для полімеризації клею. Цей процес протікає з видержкою під тиском і підігрівом.

У табл. 30 наведені режими видержки підсушування та тверднення для деяких клеїв. Після склеювання з'єднання зачищується та контролюється оглядом і ультразвуковими пристроями.

### **Запитання для самостійного контролю**

1. Область застосування методу повної взаємозамінюваності.
2. Селективний метод підбору, його суть і область застосування.
3. Послідовність розробки технологічного процесу автоматизованого складання.
4. Способи компоновки складального обладнання.
5. Обґрунтувати конструкцію болтів, які працюють в умовах знако-перемінних навантажень.
6. Причини, що викликають ослаблення зусилля затяжки, та способи їхнього контролю.
7. Способи запресовки, суть та область застосування.
8. Різновиди зварювання та область їх застосування.

## ГЛАВА 9

### ВИГОТОВЛЕННЯ ТИПОВИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

#### 9.1. ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛІВ

##### 9.1.1. МАТЕРІАЛИ ТА СПОСОБИ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ВАЛІВ

Матеріали для валів повинні мати високу міцність, добру оброблюваність і малу чутливість до концентрації напруг. Таким вимогам відповідають конструкційні загартовувані сталі марок 40, 45, 4СХ, 50Х, 40Г2, азотовані 38СХМЮА і цементовані Т2Х2НЧА, І2ХНЗА та інші. Продуктивність механічної обробки у більшості залежить від виду матеріалу, розмірів і конфігурації заготовок, а також від виду виробництва.

Заготовки із великою кількістю ступенів і незначною різницею їхніх діаметрів у дрібносерійному та одиничному виробництвах отримують відрізуванням від гарячекатаних або холоднокатаних прутків. Вали більш складної конфігурації із ступенями, які значно розрізняються за діаметром, виготовлені куванням, штампуванням, електровисадкою, на ротаційно-кувальних машинах та іншими методами.

Вибір способу отримання заготовки визначається з урахуванням техніко-економічної доцільності. Наприклад, у великосерійному та масовому виробництвах переважають методи, які забезпечують отримання заготовок, які є найбільш близькими за формою і розмірами до готової деталі, з коефіцієнтом використання матеріалу 0,7 і вище. При механічній обробці валів на настроєних та автоматизованих верстатах пред'являються підвищені вимоги до точності заготовки.

Перспективний та високопродуктивний метод обробки ступінчастих валів – поперечно-гвинтова прокатка на тривалкових верстатах. Робота тривалкових станів легко піддається автоматизації, включаючи рух подачі заготовки, її нагрівання, прокатку, розрізування на мірні заготовки, охолодження прокату, укладання та упакування.

##### 9.1.2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ОБРОБКИ ВАЛІВ

Розробка технологічного процесу виготовлення валу починається з вивчення його службового призначення в машині та технічних

умов, яким він повинен задовольняти.

Аналізується правильність проставляння розмірів на кресленні, виявляються схеми розмірних ланцюгів.

Механічна обробка валів починається з підготовки технологічних баз - підрізки торців та зацентровки. В одиничному та серійному виробництвах ця операція здійснюється на токарних і револьверних верстатах, в масовому та великосерійному виробництві – на фрезерно - центровальних верстатах.

Зовнішні поверхні валів оброблюються на токарних, токарно-копіювальних, а також на токарних верстатах з ЧПУ.

Для забезпечення точності лінійних розмірів застосовують плаваючий передній центр з упором торця заготовки в упорне кільце. Обточка валів за допомогою гідрокопіювальних пристроїв забезпечує 8-й та 9-й квалітети точності.

Багаторіцева обробка валів порівняно з гідрокопіювальною є найбільш ефективною та високопродуктивною, але менш точною. Вона забезпечує 10-й та 11-й квалітети точності. Надмірне збільшення сил різання при багаторіцевій обробці викликає деформацію вала. Тому процес обробки протікає із значно меншими поздовжніми подачами порівняно з гідрокопіювальною обробкою. Отже, призначаючи режими, необхідно брати до уваги результати розрахунку на точність та економічну доцільність.

Передача крутячих моментів здійснюється шліцевими з'єднаннями вала і втулки. Шліци, виконані з валом за одне ціле, забезпечують поздовжнє пересування монтуємих на валу зубчастих коліс, муфт, втулок тощо, що монтуються на валу.

За конструкцією шліци на валах мають прямобічну та евольвентну форми. Шліцьове з'єднання з прямобічними шліцами залежно від умов роботи вузла виконують з центруванням втулки за внутрішнім та зовнішнім діаметрами вала і за бічними сторонами шліців.

Перший вид з'єднання застосовують у випадках, коли шліцьові поверхні втулки мають високу твердість ( $HRC_3$  58-62) і не можуть бути прокалібровані протяжкою після хіміко-термічної обробки. Другий вид з'єднання - у випадках, коли шліцьові поверхні втулки мають твердість  $HRC_3$  32-34. Центруючий діаметр шліців забезпечується калібруючою протяжкою, а центруючий діаметр вала - шліфуванням на круглошліфувальних верстатах. Такий вид з'єднання є найбільш технологічним.

Шліци на валах нарізають фрезеруванням, струганням, протягу-

ванням і холодною накаткою. У серійному виробництві шліці на валах звичайно нарізають на шліцефрезерних або зубофрезерних верстатах черв'ячною фрезою методом обкатки. Залежно від необхідної точності шліці нарізаються за один або два робочих ходи.

Шліцьостругання і шліцьопротягування застосовують в крупносерійному та масовому виробництвах. Стругання шліців здійснюється набором фасонних різців, зібраних у головці.

Шліцьопротягування проводиться двома блочними протяжками, розташованими одночасно в двох діаметрально протилежних западинах на валу з послідовним поворотом вала на кут  $360^\circ/n$  (де  $n$  - парне число шліців на валу) після кожного ходу протяжки. Блок протяжки складається з набору різців, які в міру поздовжнього пересування

протяжки пересуваються в радіальному напрямі від копіювальної лінійки.

Великі перспективи має метод накатування шліців. При накатуванні шліці формуються пластичним деформуванням без знімання стружки. Ролики виготовляються з високолегованих швидкорізальних сталей з твердістю робочої частини  $HRC_3$  63-66, одним комплектом накатних роликів можна обробити 3000-30000 заготовок. Перед накаткою шліц - заготовка вала попередньо обточується до діаметра  $d = (d_{вист} + d_{зан}) / 2$  (де  $d$  - середнє арифметичне значення між діаметром кола виступів  $d_{вист}$  і діаметром кола западин  $d_{зан}$ ). Рекомендований допуск діаметра заготовки

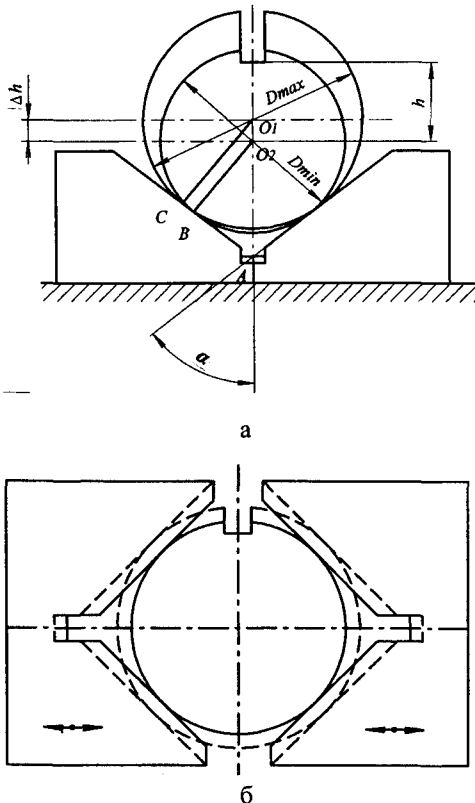


Рис. 98. Розрахункова схема для визначення похибки установалення циліндричної деталі на призму.

0,05...0,10 мм і допуск на биття 0,03...0,06 мм.

Після термічної обробки (закалки або цементації та закалки) центруючі поверхні валів підлягають шліфуванню.

Внутрішні центруючі поверхні вала шліфують профільним кругом за два проходи: спочатку обробляють бічні поверхні шліців, а потім центруючий діаметр.

Шпонкові пази на валах обробляють пальцевими або дисковими фрезами. Точність шпонкових канавок і паралельність утворюючих їх поверхонь відносно осі вала багато у чому залежать від вибору технологічних баз. Установлення валів у центрах забезпечує найбільшу точність шпонкових пазів. Якщо як технологічні бази використовують зовнішні циліндричні поверхні вала з установленням його на призми, то додається похибка пристрою, зв'язана з коливаннями діаметра вала.

На рис. 98, а показано розрахункову схему для визначення похибки розміру  $h$  внаслідок різниці діаметрів вала. Похибка базування при установленні вала на призму  $\Delta h = O_2A - O_1A$ . З трикутника  $AO_2C$  знаходимо  $O_2A = D_{max} / 2 \cdot \sin \alpha$ ; з трикутника  $AO_1B - O_1A = D_{min} / 2 \cdot \sin \alpha$ .

Після підстановки отримуємо

$$\Delta h = \frac{D_{max}}{2 \cdot \sin \alpha} - \frac{D_{min}}{2 \cdot \sin \alpha} = \frac{TD}{2 \cdot \sin \alpha}.$$

Застосування самоцентруючих лещат для установлення вала на операції фрезерування шпонкового паза усуває похибку пристрою (рис. 98, б).

Глибокі отвори у валах свердлять звичайно з двох пристроїв: спочатку на певну глибину з одного кінця, а потім на прохід - з другого. Як технологічні бази використовують зовнішні поверхні попередньо обточених шийок вала. Однією шийкою заготовка вала встановлюється в патрон верстата, а другою спирається на люнет.

### 9.1.3. ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ВАЛІВ

Вид термічної обробки валів залежить від марки сталі та вимог, що пред'являються до вала. Мета термічної обробки - підвищити зносостійкість поверхні опорних шийок із збереженням сирової серцевини. Шийки валів загартовують до твердості  $HRC_3$  50-62. Нагрів поверх-

невих шарів здійснюється ТВЧ за допомогою спеціальних індукторів. Відпуск загартованих поверхонь відбувається в шахтних печах при температурі нагріву до 180°C протягом 2,5 год. Відповідальні важко-навантажені вали виготовляються із азотованих сталей марок 38ХМЮА, 38Х2Ю та інших, що містять алюміній. Процес азотування протікає при порівняно низьких температурах (500...550°C), які не викликають фазових перетворень металу. Твердість азотованої поверхні досягає *HRC*<sub>3</sub> 67-69.

Перед азотуванням поверхні шліфують. На наступну оброблювану операцію (полірування або шліфування) складається припуск 0,05...0,6 мм.

#### 9.1.4. ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ВАЛІВ

Залежно від конструкції вала і типу виробництва технологічні процеси їх виготовлення можуть бути різними. У табл. 31 наведені типові технологічні процеси механічної обробки ступінчастих валів довжиною 150...500 мм у великосерійному виробництві.

Таблиця 31

№ операції	Найменування операції (рекомендоване обладнання)	Конструкція вала				
		гладкий	з шліцями	шестірня	шестірня зі шліцями	з конічною шестірнею та шліцями
1	Фрезерування торців і центрування (МР78, МР71)	+	+	+	+	+
2	Токарна обробка чорнова (1712П, 1722, 16К20Ф3)	+	+	+	+	+
3	Термічна обробка - покращення	+	+	+	+	+
4	Токарна обробка чистова (1712П, 1722, 16К20Ф3)	+	+	+	+	+
5	Шліфування попереднє (ЗМ151, ЗМ151-2)	+	+	+	+	+



6	Фрезерування шпонкових пазів (ДФ95 - для прямокутних пазів, 1294 – для сегментних пазів)	+	-	+	+	-
7	Фрезерування шліців (5350А)	-	+	-	+	+
8	Фрезерування циліндричних зубів (5313), дроблення (5140)	-	-	+	+	-
9	Нарізання конічних зубів (5230, 5220)	-	-	-	-	+
10	Знімання фасок на торцях зубів	-	-	+	+	+
11	Зубозаокруглення (5580, 5Н580)	-	-	+	+	-
12	Фрезерування різьби (КТ-45, КТ-43)	+	+	+	+	+
13	Цементация, гартування, відпуск	-	-	+	+	-
14	Шліфування зубів (5851,5833)	-	-	+	+	-

### 9.1.5. ОБГРУНТУВАННЯ МАРШРУТУ ОБРОБКИ ВАЛІВ ТА РОЗМІРНИЙ АНАЛІЗ

Кількість операцій або переходів, необхідна для забезпечення заданої точності розмірів, форми та шорсткості поверхні

$$K_j = \frac{\lg \varepsilon_{od}}{0,5}, \quad (110)$$

де  $\varepsilon_{od}$  - уточнення за лінійним або за діаметральним розміром.

Для обґрунтування точності обробки на кожному технологічному переході визначається різниця квалітетів точності між заготовкою та готовою деталлю і розподіляється між окремими переходами за законом прогресивного убавання.

Визначення квалітетів точності на кожному технологічному переході є вихідною передумовою для розробки маршруту обробки вала та проведення розмірного аналізу. Розглянемо послідовність проведення розмірного аналізу на конкретному прикладі. На рис. 99 зобра-

жено ескізи технологічного процесу обробки ступінчастого вала із зазначенням баз. Лінійні розміри заготовки позначені  $B_j$ , а діаметри -  $D_0$ . Технологічні розміри в напрямі, паралельному осі деталі, позначені  $C_k$ , діаметральні -  $D_1, D_2, D_3$ .

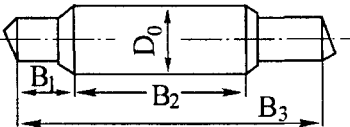
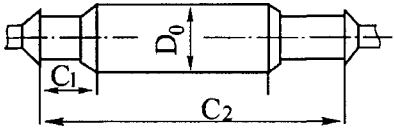
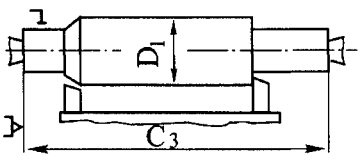
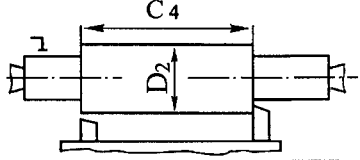
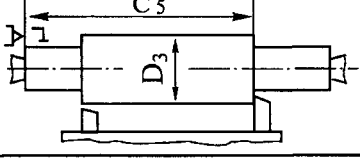
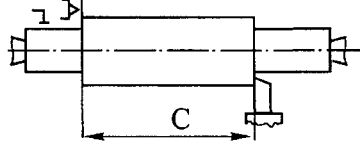
	Ескізи обробки	Розмірні ланцюги
Заготовка		$Z_2 \begin{array}{ c } \hline C_1 \\ \hline \end{array} \begin{array}{ c } \hline C_3 \\ \hline \end{array} Z_1$ $\begin{array}{ c } \hline B_1 \\ \hline \end{array} \begin{array}{ c } \hline C_1 \\ \hline \end{array}$ $\begin{array}{ c } \hline C_2 \\ \hline \end{array} \begin{array}{ c } \hline Z_9 \\ \hline \end{array}$ $\begin{array}{ c } \hline C_1 \\ \hline \end{array} \begin{array}{ c } \hline B_2 \\ \hline \end{array}$
Центрувальна		$\begin{array}{ c } \hline A_3 \\ \hline \end{array} \begin{array}{ c } \hline C_2 \\ \hline \end{array}$ $\begin{array}{ c } \hline C_1 \\ \hline \end{array} \begin{array}{ c } \hline C_4 \\ \hline \end{array}$ $\begin{array}{ c } \hline C_3 \\ \hline \end{array}$
Багаторіцева		$\begin{array}{ c } \hline C_5 \\ \hline \end{array} \begin{array}{ c } \hline Z_6 \\ \hline \end{array}$ $\begin{array}{ c } \hline C_3 \\ \hline \end{array}$
Багаторіцева		$\begin{array}{ c } \hline C_5 \\ \hline \end{array} \begin{array}{ c } \hline Z_5 \\ \hline \end{array} \begin{array}{ c } \hline C_6 \\ \hline \end{array}$ $\begin{array}{ c } \hline C_4 \\ \hline \end{array}$ $\begin{array}{ c } \hline C_3 \\ \hline \end{array}$
Багаторіцева		$\begin{array}{ c } \hline A_1 \\ \hline \end{array} \begin{array}{ c } \hline C_6 \\ \hline \end{array}$ $\begin{array}{ c } \hline C_5 \\ \hline \end{array}$
Токарна		$\begin{array}{ c } \hline A_2 \\ \hline \end{array} \begin{array}{ c } \hline C_6 \\ \hline \end{array}$

Рис.99. Технологія виготовлення ступінчастого вала.

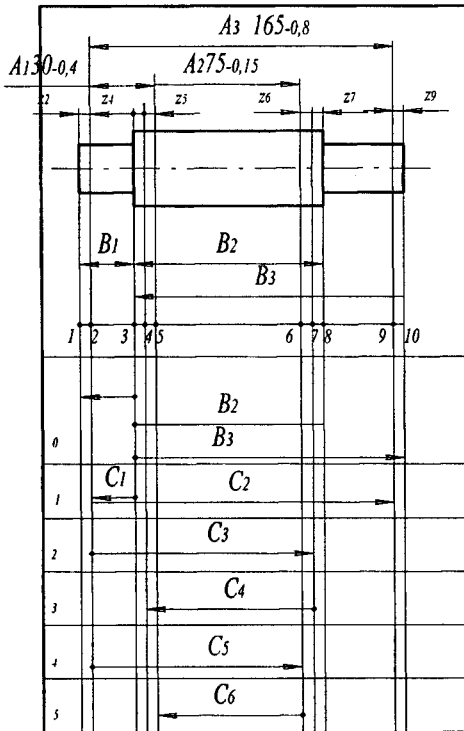


Рис.100. Розмірна схема технологічного процесу обробки ступінчатого вала.

Технологічного процесу є складною і трудомісткою задачею, оскільки ці ланцюги часто є зв'язаними та присутні на схемі у прихованому вигляді. Технологічні розмірні ланцюги найбільш раціонально виявляти із застосуванням теорії графів.

Поняття "граф" найпростіше визначити через його символічний запис: граф - це точки, з'єднані лініями. Точки (вершини графа) відповідають поверхням деталі, лінії (ребра графа) - розмірам або допускам. Наприклад, двом поверхням 1 та 2 деталі на рис. 101 відповідає граф.

Ребра графа можна креслити довільно за довжиною і станом, тому на відміну від розмірних ланцюгів граф не відображує фактичне співвідношення розмірів. Поверхням деталі призначається номер, ребра орієнтовані односторонніми стрілками до вершин. На рис. 102 показано граф розмірних зв'язків обробки ступінчастого вала.

Відповідно до розробленої послідовності обробки вала будується розмірна схема (рис.100). На ескіз деталі умовно наносяться припуски, всі поверхні нумеруються зліва направо, а через пронумеровані поверхні проводять вертикальні лінії. Між вертикальними лініями зверху вниз згідно з послідовністю обробки вказуються технологічні розміри  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ ,

отримані внаслідок виконання кожного технологічного переходу. Для визначення технологічних розмірів виявляються розмірні ланцюги, та складаються їхні рівняння. Однак виявлення розмірних ланцюгів безпосередньо з розмірної схеми техноло-

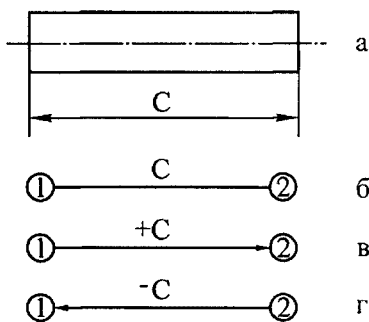


Рис. 101. Граф найпростішої деталі: а - деталь; б - граф; в, г - граф з умовними позначеннями.

При аналізі технологічних розмірних ланцюгів поверхні заготовки та деталі приймаються за вершини, а розміри, які зв'язують ці поверхні, за ребра. В теорії графів креслення деталі зображується у вигляді дерев.

Дерево з конструкторськими розмірами припусків називається вихідним (рис. 102,б), а дерево з технологічними розмірами похідним або технологічним (рис.102,а).

Після побудови вихідного та похідного дерев перевіряється

правильність їхньої побудови:

- число вершин у кожного дерева повинно дорівнювати числу поверхонь на розмірній схемі технологічного процесу;
- число ребер у кожного дерева повинно бути однаковим і дорівнювати числу вершин без одиниці  $(n - 1)$ ;
- до кожної вершини похідного дерева, крім кореневої, повинна підходити тільки одна стрілка орієнтованого ребра, а до кореневої вершини не повинна підходити жодна стрілка;
- дерева не повинні мати розривів і замкнених контурів. Ця умова дозволяє виявити помилку в технології або в кресленні. Наприклад, розрив між вершинами свідчить про відсутність необхідних розмірів у прийнятій технології або на кресленні. Наявність замкнених контурів свідчить про наявність зайвих розмірів.

Після перевірки відбувається сполучення дерев. Сполучений граф (рис.102, в) є геометричною структурою технологічного процесу або математичною моделлю.

У сполученому графі розмірні зв'язки перетворюються на явні розмірні ланцюги, оскільки інформація, яку несе граф, дозволяє виконувати всі необхідні розрахунки.

Замкнені контури на сполученому графі утворюють технологічні розмірні ланцюги. У цих ланцюгах ребра вихідного дерева є замикаючими ланками, а ребра похідного дерева - складовими ланками. В кожному замкненому розмірному ланцюгу повинно бути тільки одне ребро вихідного дерева (конструкторський розмір або припуск).

Вершини (поверхні) позначаються колом з позначенням всередині-

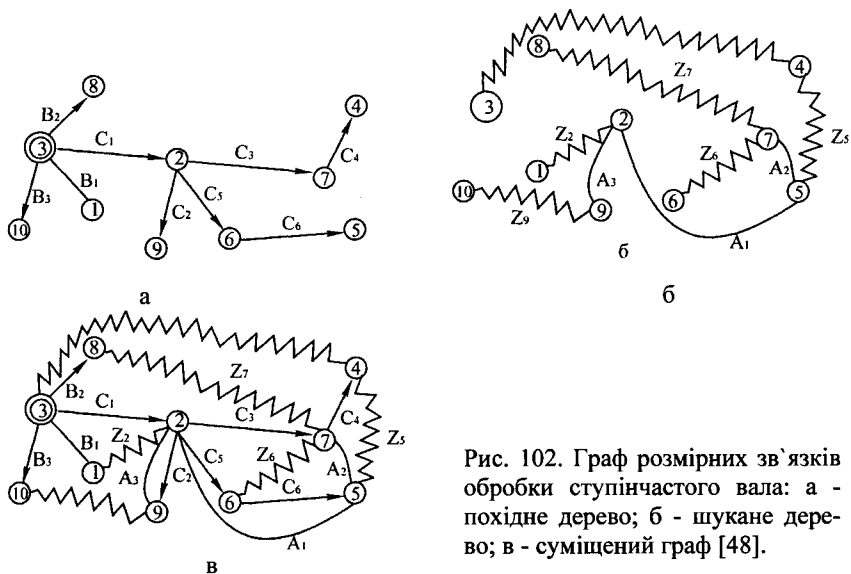


Рис. 102. Граф розмірних зв'язків обробки ступінчастого вала: а - похідне дерево; б - шукане дерево; в - суміщений граф [48].

ні відповідного номера поверхні. Ребра вихідного дерева зображуються як дуги, якщо вони є конструкторськими розмірами, а як хвилясті лінії, якщо вони є розмірами припусків.

За графом визначаються знаки складових ланцюгів. Для цього застосовують наступне правило.

Ланці привласнюється знак мінус, якщо обхід починається від вершини великого номера до вершини меншого (зменшуюча ланка), і навпаки, при русі за замкненим контуром від вершини з меншим номером до вершини з більшим номером ланці привласнюється знак плюс (збільшувана ланка).

Розрахунок технологічних розмірів за сполученим графом (див. рис. 102, в) слід починати з дволанкового ланцюга. У кожному розмірному ланцюгу повинна бути тільки одна невідома ланка, а решта ланок повинна бути визначена внаслідок розрахунку попередніх.

У розглядуваному прикладі за корінь дерева приймаємо вершину (поверхню), до якої не підходить жодна стрілка. Такою вершиною на розмірній схемі (див. рис. 102, в) є поверхня 3. З неї виходять стрілки розмірів  $C_1, B_1, B_2, B_3$ , які напрямлені до вершин 2, 1, 8, 10. З вершини 2 виходять стрілки  $C_2, C_3, C_5$  до вершин 9, 7, 6. З вершин 6 та 7 виходять стрілки  $C_6$  та  $C_4$  до вершин 5 та 4. Рівняння для розрахунку технологічних розмірів зведені у табл. 32.

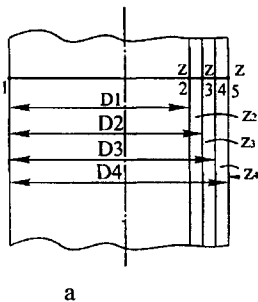
№ п/п	Розрахункові рівняння	Вихідні рівняння	Визначасмий параметр
1	$-A_3 + C_2 = 0$	$A_3 = C_2$	$C_2$
2	$-A_2 + C_6 = 0$	$A_2 = C_6$	$C_6$
3	$-A_1 + C_5 - C_6 = 0$	$A_1 = C_5 - C_6$	$C_5$
4	$-Z_6 - C_5 - C_3 = 0$	$Z_6 = C_5 - C_3$	$C_3$
5	$-Z_5 + C_4 - C_3 + C_5 - C_6 = 0$	$Z_5 = C_4 - C_3 + C_5 - C_6$	$C_4$
6	$-Z_4 - C_1 - C_3 - C_4 = 0$	$Z_4 = C_3 - C_4 - C_1$	$C_1$
7	$-Z_2 + B_1 - C_1 = 0$	$Z_2 = B_1 - C_1$	$B_1$
8	$-Z_7 - C_3 + C_1 - B_2 = 0$	$Z_7 = B_2 + C_1 - C_3$	$B_2$
9	$-Z_9 - C_2 + C_1 + B_3 = 0$	$Z_9 = B_3 + C_1 - C_2$	$B_3$

### 9.1.6. ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМЕТРАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙНИХ РОЗМІРІВ ВАЛА

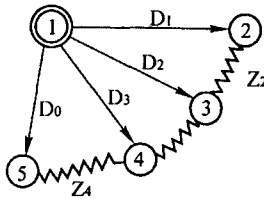
Розмірну схему технологічного процесу обробки діаметра ступінчастого вала  $\varnothing 50 \dots -0,06$  показано на рис. 103, а.

Сполучене дерево, яке являє собою структуру технологічного процесу обробки вала, показано на рис. 103, б. За корінь дерева вибрано поверхню І, до якої не підходить жодна стрілка.

Розрахунок технологічних розмірів слід починати із замкненого контура, до якого входить відомий параметр  $D_1 = 50 \dots -0,06$  (креслярський розмір).



а



б

Рис. 103. Розмірна схема діаметральних розмірів і граф розмірних зв'язків.

Рівняння для розрахунку технологічного розміру:

$$D_2 - Z_3 - D_1 = 0.$$

Мінімальний припуск вибираємо з [21], табл. 12:

$$Z_3 = 0,6 \text{ мм.}$$

Мінімальний припуск під чорнове обточування

вибираємо з [21], табл. 8 :  $Z_5 = 2$  мм.

Мінімальний припуск визначаємо як середнє арифметичне:

$$Z_4 = \frac{Z_3 + Z_5}{2} = \frac{0,6 + 0,2}{2} = 1,3 \text{ мм.}$$

1. Мінімальне значення технологічного розміру  $D_2$ :

$$Z_{3_{min}} = D_{2_{min}} - D_{1_{max}}; \quad D_{2_{min}} = Z_{3_{min}} + D_{1_{max}} = 50,6 \text{ мм.}$$

2. Мінімальне значення технологічного розміру  $D_3$ :

$$Z_4 = D_3 + D_2 = 0; \quad Z_4 = D_3 - D_2; \quad Z_{4_{min}} = D_{3_{min}} - D_{2_{max}}; \\ D_{3_{min}} = Z_{4_{min}} + D_{2_{max}}$$

Для визначення максимального розміру  $D_{2_{max}}$  необхідно знати допуск  $TD_2$ . З табл. 7 (стандарт СЕВ- 144-75) допуск для 10-го квалітету точності дорівнює  $TD_2 = 0,12$  мм.

Максимальне значення діаметра  $D_2$ :

$$D_{2_{max}} = D_{2_{min}} + TD_2 = 50,6 + 0,12 = 50,72.$$

Мінімальне значення діаметра  $D_3$ :

$$D_{3_{min}} = 1,3 + 50,72 = 52,02 \text{ мм.}$$

Допуск на розмір  $D_3$  вибирали із стандарту СЕВ- 144-75 для 12-го квалітету точності  $TD_3 = 0,4$  мм.

3. Мінімальне значення розміру заготовки

$$Z_5 - D_0 + D_3 = 0; \quad Z_{5_{min}} = D_{0_{min}} - D_{3_{max}}; \\ D_{0_{min}} = Z_{5_{min}} + D_{3_{max}} = 2,0 + 52,42 = 54,42 \text{ мм.}$$

Рівняння для розрахунку технологічних розмірів зведені в табл. 33.

Таблиця 33

№ п/п	Розрахункові рівняння	Вихідні рівняння	Визначаємий параметр
1	$Z_3 = D_2 - D_1$	$D_{2_{min}} = D_{3_{min}} + D_{1_{max}}$	$D_2 = 50,72_{-0,12}$
2	$Z_4 = D_3 - D_2$	$D_{3_{min}} = D_{4_{min}} + D_{2_{max}}$	$D_3 = 52,42_{-0,4}$
3	$Z_5 = D_0 - D_3$	$D_{0_{min}} = D_{5_{min}} + D_{3_{max}}$	$D_0 = 56,42_{-2,0}$

## 9.2. ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

### 9.2.1. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ТА ОБЛАСТЬ ЇХНЬОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Зубчасті колеса служать для передачі обертального руху між валами. Розрізняють силові та кінематичні зубчасті передачі. Згідно з ГОСТ 1643-81 передбачено 12 ступенів точності циліндричних зубчастих коліс. Для 1-го та 2-го ступенів точності допуски та граничні відхилення згідно з ГОСТ 1643-81 не передбачені.

Залежно від умов експлуатації та призначення зубчастих коліс встановлюють певний ступінь точності їх виготовлення. Наприклад, зубчасті колеса, які працюють при окружних швидкостях порядку 100...150 м/с, повинні виготовлятися за 3-м та 4-м ступенями точності. Зубчасті колеса прямозубі, які працюють з окружними швидкостями до 30 м/с, та косозубі - до 50 м/с, виготовляються за 5-м ступенем точності.

Зубчасті колеса редукторів різних двигунів внутрішнього згоряння, коробок швидкостей автомобілів та верстатів, призначені для передачі з точною погодженістю обертання на підвищених швидкостях (прямозубі - до 15 м/с, косозубі - до 30 м/с) при великих навантаженнях виготовляють за 6-м ступенем точності.

Помірно навантажені високооборотні (прямозубі - до 10 м/с, косозубі - до 15 м/с) зубчасті колеса автотракторного машинобудування виготовляють за 7-м ступенем точності.

Зубчасті колеса загального машинобудування (наприклад, верстатів, що не входять у ділильні ланцюги, зубчасті колеса сільськогосподарських машин та вантажопідйомних механізмів) виготовляють за 8-м ступенем точності, а ненавантажені тихохідні зубчасті колеса - за 9-м ступенем точності.

Згідно з ГОСТ 1643-81, якість виготовлення зубчастих коліс оцінюється нормами кінематичної точності, плавності роботи передачі та нормами контакту зубів. Крім того, стандарт регламентує боковий зазор, який служить для компенсації похибок виготовлення зубчастих коліс, забезпечення нормальних умов мащення, а також для компенсації похибок складання і температурних деформацій.

Для зубчастих передач стандартом передбачено шість видів сполучення (табл. 34).

Зубчасті колеса позначаються тризначним числом та однією з літер за видом сполучення. Перша цифра характеризує ступінь кінема-



тичної точності колеса, друга - плавність роботи передачі, третя - контакт зубів. Наприклад, 7-6-6-В або 8-7-6-С.

Таблиця 34

Гарантований зазор спряження	Позначення виду спряження	Діапазон ступенів кінема- тичної точності передачі
Збільшення	<i>A</i>	3...12
Нормальний	<i>B</i>	3...10
Зменшений	<i>C</i>	3...9
Малий	<i>D</i>	3...8
Особо малий	<i>E</i>	3...7
Нульовий	<i>H</i>	3...7

Норми точності призначаються за умовами експлуатації зубчастої пари.

У діляльних ланцюгах вимагається забезпечити високу кінематичну точність, тобто узгодженість кутів повороту ведучого та веденого валів. Кінематична похибка залежить від радіального биття зубчастого вінця  $F_{rr}$  та циклічної похибки зубцевої частоти передачі.

У швидкісних передачах забезпечується плавність роботи коліс. Вона залежить від похибки профілю зубів  $f_{fr}$  та відхилення кроку зачеплення  $f_{pbr}$ .

У силових передачах поряд з плавністю вимагається забезпечити необхідну пляму контакту в сполученнях зубів.

### 9.2.2. ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ДЕЯКИХ ЕТАПІВ МАРШРУТУ ОБРОБКИ, ЗВ'ЯЗАНИХ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ

На перших операціях оброблюються поверхні, які надалі будуть використані як технологічні бази. Базування в багатьох випадках зв'язане із службовим призначенням і точністю зубчастого колеса.

Наприклад, обробка одно-, та багатовінцевих циліндричних зубчастих коліс починається з підрізання торців, свердління та розточування центрального отвору. Ці поверхні використовуються як технологічні бази у наступних операціях.

Виготовлення зубчастих коліс типу вал-шестірня починається з обробки торців і свердління центральних отворів. Ці бази в подаль-

шому використовуються як технологічні на більшості операцій.

Зубчасті колеса 3-го і 4-го ступенів точності з високою твердістю робочих поверхонь зубів ( $HRC_{\Sigma}$  50-62) оброблюються попередньо на прецизійних зубофрезерних верстатах. Після нарізання зубчастого віңця перед операцією зубошліфування в технологічному процесі передбачається хіміко-термічна обробка, її мета - підвищити твердість та зносостійкість робочих поверхонь зубів.

До складу хіміко-термічної обробки входить: цементация (дифузійне насичення поверхневого шару вуглецем), гартування, низькотемпературний відпуск та обробка холодом у середовищі рідкого азоту. Складна хіміко-термічна обробка, яка супроводжується багаторазовим нагрівом до високих температур, викликає вигорання у поверхневих шарах матеріалу зубів вуглецю та легуючих елементів. Ці шари (товщиною порядку 50...100 мкм) вважаються дефенітними і на операції зубошліфування їх необхідно вилучати. Крім того, високотемпературні нагріви з наступним швидким охолодженням викликають напружений стан матеріалу і як наслідок - деформацію зубчастого віңця.

У зубчастих коліс, які мають після нарізання зубів 7-й та 8-й ступені точності, після хіміко-термічної обробки та відновлення баз точність знижується до 10-го та 11-го ступенів. Щоб виготовити зубчасті колеса 3-го та 4-го ступенів точності із заготовок, які після хіміко-термічної обробки мають 10-й та 11-й ступені точності, треба на операції зубошліфування усунути похибку, що виникла.

Для компенсації похибок припуски на операцію зубошліфування в ряді випадків досягають 250...300 мкм. Шліфування бічних поверхонь зубів високоточних зубчастих коліс (3-го-4-го ступенів) проводиться на верстатах 5851 та 5853 за три етапи: чорновий, напівчистовий та чистовий. Чорнові проходи здійснюються з поздовжньою подачею  $S = 250...300$  мм/хв, глибиною  $t = 0,03...0,05$  мм та числом обкаток  $n = 150...200$  1/с.

Напівчистові:  $S = 150...200$  мм/хв,  $t = 0,01...0,02$  мм,  $n = 150...200$  1/с.

Чистові:  $S = 100$  мм/хв,  $t = 0,005...0,01$  мм,  $n = 200...250$  1/с.

Після двох-трьох напівчистових робочих проходів один прохід проводиться без подачі на врізування.

Після чистового проходу слід виконати два-три проходи без подачі на врізування. На чорнових проходах знімається до 60% загального припуску, забезпечуючи при цьому 5-й та 6-й ступені точності

за нормами кінематичної точності, 6-й та 7-й ступені точності за нормами плавності контакту.

На напівчистових проходах вилучається 25-30% загального припуску та забезпечується отримання 4-го-5-го ступеня точності за нормами кінематичної точності, 5-й-6-й ступінь за нормами плавності контакту.

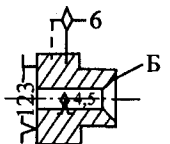
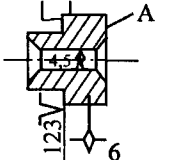
Зубчасті колеса 6-го-7-го ступеня точності найбільш розповсюджені у машинобудуванні і застосовуються у важконавантажених редукторах. Шліфування зубчастих вінців (попереднє та остаточне) проводиться тарілчастими, конусними, плоскими та профільними колами за два етапи.

### 9.2.3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МАРШРУТ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС 5-ГО ТА 6-ГО СТУПЕНІВ ТОЧНОСТІ

При виготовленні прецизійних зубчастих коліс (5-го і 6-го ступенів точності) необхідно стабілізувати матеріал і передбачити нормалізацію та стабілізуючий відпуск після чорнової токарної обробки заготовки.

У табл. 35 показано маршрут виготовлення зубчастого колеса з маточиною (5-го та 6-го ступенів точності):  $\varnothing=150...200$ ;  $m = 2,5...5,0$  мм; сталь цементована І2Х2НЧА.

Таблиця 35

Номер операції	Склад операції	Ескіз обробки	Обладнання
1	2	3	4
1	Заготовка (штампування)		Патронний напівавтомат з ЧПУ
2	Попередня токарна обробка з одного боку зовнішніх поверхонь, торця <i>Б</i> та отвору		
3	Попередня обробка торця <i>А</i> та отвору		Патронний напівавтомат з ЧПУ
4	Контроль		
5	Термічна обробка нормалізації та відпуск		

6	Напівчистова токарна обробка торця <i>Б</i> (за аналогією з операцією 2 під протягування)	Див. ескіз операції 2	Патронний напівавтомат підвищеної точності
7	Те саме, з другого боку за аналогією з операцією 3	Див. ескіз операції 3	Те саме
8	Протягування шліцьового отвору. На малому діаметрі залишено припуск під шліфування. Зовнішній діаметр та бічні сторони шліців – остаточний розмір під притирку		Вертикально-протяжний верстат
9	Попереднє шліфування базового торця <i>А</i> та циліндричної поверхні зовнішнього діаметра. Створюється база для шліфування внутрішнього отвору. Установча база центрування за більшим діаметром шліців на оправці		Торцекруглошліфувальний верстат
10	Попереднє шліфування отвору та торця маточини		Внутрішньошліфувальний верстат з двома шпинделями
11	Зубонарізання під наступне шліфування (точність 14-й квалітет). Припуск під шліфування 0,3...0,4 мм на товщину зуба	Базування на круглій оправці за малим діаметром шліцьової поверхні	Зубофрезерний напівавтомат
12	Зубозакруглення		Зубозакруглюючий верстат
13	Термічна обробка – цементація, гартування, низькотемпературний відпуск		

14	Притирка бічних сторін шліців чавунним шліцевим притиром та пастою (карбід бору з гасом)	Базування за торцем та зовнішньою циліндричною поверхнею	Вертикально-притирочний верстат
15	Друге попереднє шліфування базового торця <i>A</i> та зовнішньої циліндричної поверхні на спеціальній оправці. Биття торця не більше 0,01 мм	Операції 14-16 виконуються тільки для 5-го ступеня точності. Для колес 6-го ступеня точності після операції 13 виконується операція 17	Торцекруглошліфувальний верстат
16	Друге попереднє шліфування отвору з точністю за 6-м квалітетом і торця <i>B</i> маточини		Внутрішньошліфувальний верстат з двома кругами
17	Попереднє шліфування зубів на оправці (биття не більше 5 мкм). $R_a = 1,25 \dots 0,63$ мкм	Базування за меншим діаметром шліців	Зубошліфування, верстат 5831
18	Контроль		
19	Стабілізуючий відпуск	-	Термічний цех
Для зубчастих коліс 5-го ступеня точності операції 20 та 21 виконують у термоконстантному цеху, а для зубчастих коліс 6-го ступеня точності зразу виконується операція 22			
20	Остаточне шліфування циліндричної поверхні та базового торця <i>A</i> на центровій оправці з конусністю 1:10000 та биттям не більше 3 мкм	Базування за малим діаметром шліців	Круглошліфувальний верстат підвищеної точності або торцекруглошліфувальний верстат
21	Остаточне шліфування отвору і торця <i>A</i>	Базування як для операції 10	Внутрішньошліфувальний верстат класу <i>B</i> з двома шпинделями
22	Остаточне шліфування зубів на центровій оправці. Комплект оправок з перепадом діаметрів $(6 \pm 3)$ мкм	Базування за шлицевим отвором – за малим діаметром	Верстат 5851
23	Контроль зубчастого колеса		

## 9.2.4. РОЗМІРНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ЗУБЧАСТОГО КОЛЕСА

Вихідні дані для аналізу:

Заготовка - штамповка (IT17). Матеріал - сталь I2X2H4A (HRC<sub>3</sub> 60-62).

Ширина зубчастого вінця – 80<sub>-0,019</sub> (виготовляється за 6-м квалітетом точності). Глибина цементованого шару на торцях повинна бути не менше 0,7...0,8 мм.

Послідовність аналізу.

1. Визначаємо загальне уточнення:

$$\varepsilon_{L=40} = \frac{3,0}{0,019} = 160.$$

2. За величиною уточнення знаходимо кількість проходів:

$$K_{L=40} = \frac{\lg \varepsilon_{L=40}}{0,5} = \frac{2,5}{0,5} = 5$$

(приймаємо число проходів 5).

Попередня обточка торця *A* (операція 3, табл. 35).

Напівчистова токарна обробка торця *A* (операція 7, табл. 35).

Попереднє шліфування базового торця *A* (операція 9, табл. 35).

Повторне попереднє шліфування торця *A* (операція 15, табл. 35).

Остаточне шліфування торця *A* (операція 20, табл. 35).

3. Визначаємо різницю квалітетів:

$$n_{кв} = IT_{заг} - IT_{деу} = 17 - 6 = 11.$$

4. Отриману різницю квалітетів розподіляємо за законом прогресивного убунання:

$$\Delta IT = 11 = 4 + 3 + 2 + 1 + 1.$$

5. Визначаємо квалітети точності за проходами:

поковка IT17.

Механічна обробка:

Операція 3 - попередня обробка торця *A* – IT13.

Операція 7 - напівчистова токарна обробка торця *A* – IT10.

Операція 9 - попереднє шліфування торця *A* – IT8.

Операція 15 - повторне шліфування торця *A* – IT7.

Операція 20 - остаточне шліфування *A* – IT6.

6. Розмірний аналіз обробки торців зубчастого колеса.

На рис. 104 показана розрахункова схема, а на рис. 105 - граф розмірних зв'язків обробки зубчастого колеса.

Розрахунок технологічних розмірів слід починати із замкненого

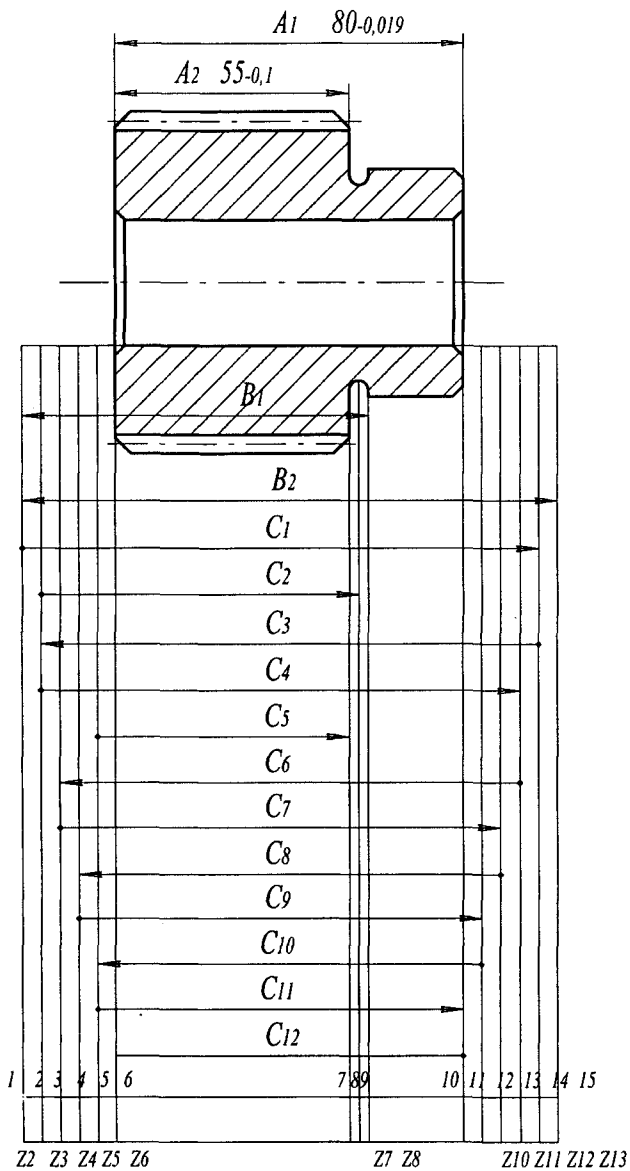


Рис. 104. Розмірна схема технологічного процесу обробки зубчастого колеса.

контура, до якого входить розмір  $A_2 = 80_{-0,019}$ .

Однак для розв'язання рівнянь розмірних ланцюгів у замкнених контурах графа необхідно знати величини мінімальних припусків:

$Z_2 = Z_{14}$  - попередня токарна обробка;

$Z_3 = Z_{13}$  - напівчистова токарна обробка,

$Z_4 = Z_{12}$  - попереднє шліфування;

$Z_5 = Z_{11}$  - повторне шліфування;

$Z_6 = Z_{10}$  - остаточне шліфування.

Із таблиць [21] знаходимо мінімальне значення припусків:  $Z_2 = Z_{14} = 1,60$  мм;  $Z_4 = Z_{12} = 0,2$  мм;  $Z_6 = Z_{10} = 0,08$  мм;  $Z_3 = Z_{13} = 1,0$  мм;  $Z_5 = Z_{11} = 0,12$  мм.

Рівняння для розрахунку технологічного розміру  $C_{11}$  має вид:

$$C_{11} - C_{12} - Z_6 = 0, \text{ звідки } Z_{6_{min}} = C_{11_{min}} - C_{12_{max}};$$

$$C_{11_{min}} = C_{12_{max}} + Z_{6_{min}}.$$

Допуски на технологічні розміри знаходимо із стандарту СЕВ 144-76. Для операції попередня токарна обробка торця *IT13*, допуск  $T = 0,74$ .

Для операції напівчистова токарна обробка *IT10*,  $T = 0,12$  мм.

Для операції попереднє шліфування *IT8*,  $T = 0,054$  мм.

Для повторного шліфування *IT7*,  $T = 0,35$  мм.

Для остаточного шліфування *IT6*,  $T = 0,019$  мм.

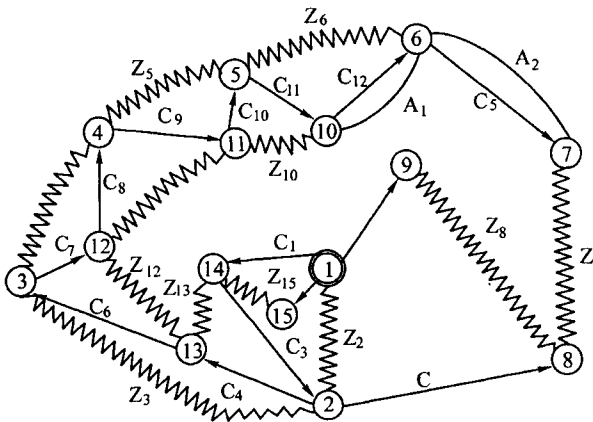


Рис. 105. Граф розмірних зв'язків обробки зубчастого колеса.

Рівняння для розрахунку технологічних розмірних ланцюгів, виявлених з графа (див. рис. 105), наведені в табл. 36.

Примітка.

Проведений розмірний аналіз дозволив знайти операційні розміри за ходом технологічного процесу, однак



він не враховує додаткові обмеження, які зв'язані з наявністю цементованого шару. У технічних умовах креслення обумовлюється твердість *HRC*<sub>3</sub> 60-62 та глибина цементації на торцях 0,7...0,8 мм. Ці параметри повинні бути забезпечені технологією механічної обробки. По мірі віддалення від поверхні твердість цементованого шару зменшується. Отже, із збільшенням знімаємих припусків при шліфуванні твердість термозміцнених шарів на поверхні готової деталі буде зменшуватися. Внаслідок цього при розробці технологічного процесу необхідно провести розмірний аналіз для оцінки виконання технічних умов, що регламентуються кресленням.

Таблиця 36

№ п/п	Розрахункові рівняння	Вихідні рівняння	Визначаючий параметр
1	$-A_1 + C_{12} = 0$	$A_1 = C_{12}$	$C_{12}$
2	$-Z_6 + C_{11} + C_{12} = 0$	$Z_6 = C_{11} + C_{12}$	$C_{11}$
3	$-Z_{10} - C_{11} + C_{10} = 0$	$Z_{10} = C_{10} + C_{11}$	$C_{10}$
4	$-Z_5 + C_9 - C_{10} = 0$	$Z_5 = C_9 - C_{10}$	$C_9$
5	$-Z_{11} - C_9 + C_8 = 0$	$Z_{11} = C_9 - C_8$	$C_8$
6	$-Z_4 + C_7 - C_8 = 0$	$Z_4 = C_7 - C_8$	$C_7$
7	$-Z_{12} - C_7 + C_6 = 0$	$Z_{12} = C_6 - C_7$	$C_6$
8	$-Z_3 + C_4 - C_6 = 0$	$Z_3 = C_4 - C_6$	$C_4$
9	$-Z_{13} - C_4 + C_3 = 0$	$Z_{13} = C_4 + C_3$	$C_3$
10	$-Z_2 + C_1 - C_3 = 0$	$Z_2 = C_1 - C_3$	$C_1$
11	$-Z_{15} - C_1 + B_2 = 0$	$Z_{15} = B_2 - C_1$	$B_2$
12	$-Z_7 - C_5 + C_{12} - C_{11} + C_{10} -$ $-C_9 + C_8 - C_7 + C_6 - C_4 + C_2 = 0$	$Z_7 = C_{12} - C_5 - C_{11} + C_{10} -$ $-C_9 + C_8 - C_7 + C_6 - C_4 + C_2$	$C_2$
13	$-Z_8 - C_2 + C_3 - C_1 + B_1 = 0$	$Z_8 = C_3 - C_2 - C_1 + B_1$	$B_1$
14	$-A_2 + C_5 = 0$	$A_2 = C_5$	$C_5$

### 9.2.5. РОЗПОДІЛ ПРИПУСКУ ЗА ПРОХОДАМИ ПРИ ЗУБОШЛІФУВАННІ

Глибина проникнення високих температур  $X_{max}$ , які викликають структурні перетворення в поверхневому шарі, описується математичною залежністю [31]

$$X_{max} = \alpha \cdot q \cdot (\tau - \tau_0)^\beta, \quad (111)$$

де  $\alpha$  і  $\beta$  - коефіцієнти, які залежать від безрозмірної температури  $\theta$ :

$$\theta = \frac{\pi \cdot T \cdot \lambda \cdot V_u}{2 \cdot q \cdot a}; \quad (112)$$

$T$  - температура, °C;  $V_u$  - швидкість пересування теплового джерела, см/с;  $q$  - інтенсивність теплового потоку, кал/см<sup>2</sup>;  $a$  - коефіцієнт температуропровідності, см<sup>2</sup>/с;  $(\tau - \tau_0)$  - приріст часу нагріву, пропорційний ширині зони контакту кола з виробом.

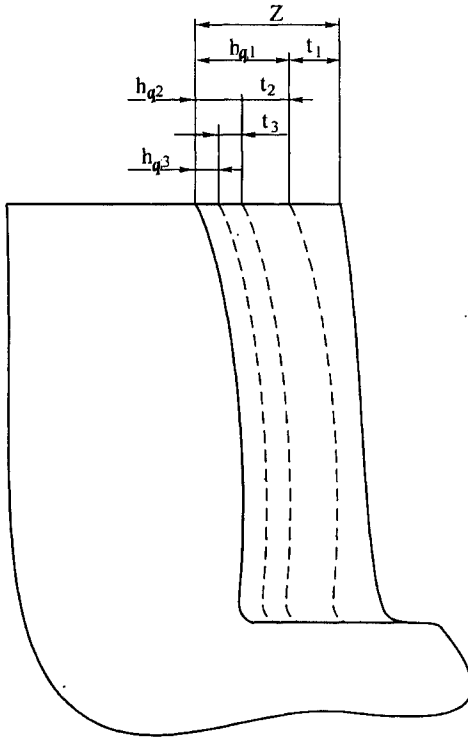


Рис. 106. Схема оптимального розподілу припуску на проходи при зубошліфуванні.

припуск  $z$  знімається з профілів зубів і дорівнює сумі глибин різання за проходами:

$$z = \sum_{i=1}^n t_i.$$

Таким чином, глибина дефектного шару знаходиться в нелінійній залежності від часу дії теплового джерела і пропорційна щільності теплового потоку  $q$ .

Для операції зубошліфування сталі 12Х2Н4А з достатньою для практики точністю значення коефіцієнтів  $\alpha$  і  $\beta$  можливо прийняти такими:  $\alpha = 0,249$ ;  $\beta = 0,932$ .

Максимальна продуктивність досягається в тому випадку, коли глибина дефектного шару, що утворюється при

багатопохідному зубошліфуванні, зменшується від проходу до проходу і залишається такою, що дорівнює припуску, який зали-

розглянута умова показана на рис. 106. Загальний

різання

Наприклад, при віддаленні оптимального припуску  $t_i$  утворюється дефектний шар глибиною  $h \cdot q_1 = \sum_{i=2}^n t_i$ , при зніманні наступного припуску глибина дефектного шару  $h \cdot q_2 = \sum_{i=3}^n t_i$ .

### 9.2.6. АВТОМАТИЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ДІЛЯНКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

На заводах масового та великосерійного виробництва для обробки зубчастих коліс застосовують одно - та багатошпиндельні токарно-револьверні автомати та багаторізцеві верстати із спеціальним оснащенням, які забезпечують максимальну концентрацію технологічних переходів.

В умовах дрібносерійного виробництва автоматизовані ділянки для виготовлення зубчастих коліс компонують із верстатів з ЧПУ.

Як заготовки використовують калібрований прокат або диски, отримані попереднім відрізанням від прутків.

Штучні заготовки встановлюються у патрон роботами. На рис. 107 показано приклад технологічного процесу обробки зубчастого колеса із штучної заготовки на токарно-револьверному верстаті з ЧПУ. Обробка проводиться в такій послідовності. Спочатку проводиться зацентровка (інструмент 1), потім свердління (свердло 2) з наступним розточуванням (розточна оправка 3). Для отримання отвору з точністю 25H7 на завершення проводиться розвертання (інструмент 4). Деталь по контуру обробляється різцями 5, 6, 8, а канавка прорізується радіусним різцем 7.

Різець 6 із нульової точки з прискореною подачею пересувається за траєкторією 0-1-2. Перший прохід робочої подачі верстата відбувається за траєкторією 2-3-4-5. Після видалення припуску (заштрихована зона А) з точки 5 різець 6 на прискореній подачі вертається у вихідну точку за траєкторією 5-6-0.

Другий прохід різця 6 проводиться в такій послідовності: швидке підведення за траєкторією 0-1-7, робочий хід за траєкторією 7-8-9-10 (видаляється припуск, світла зона Б). Після закінчення обробки різець вертається у вихідне положення з прискореною подачею за траєкторією 10-11-0. Різець 5 підрізає торець за два проходи. На першому про-

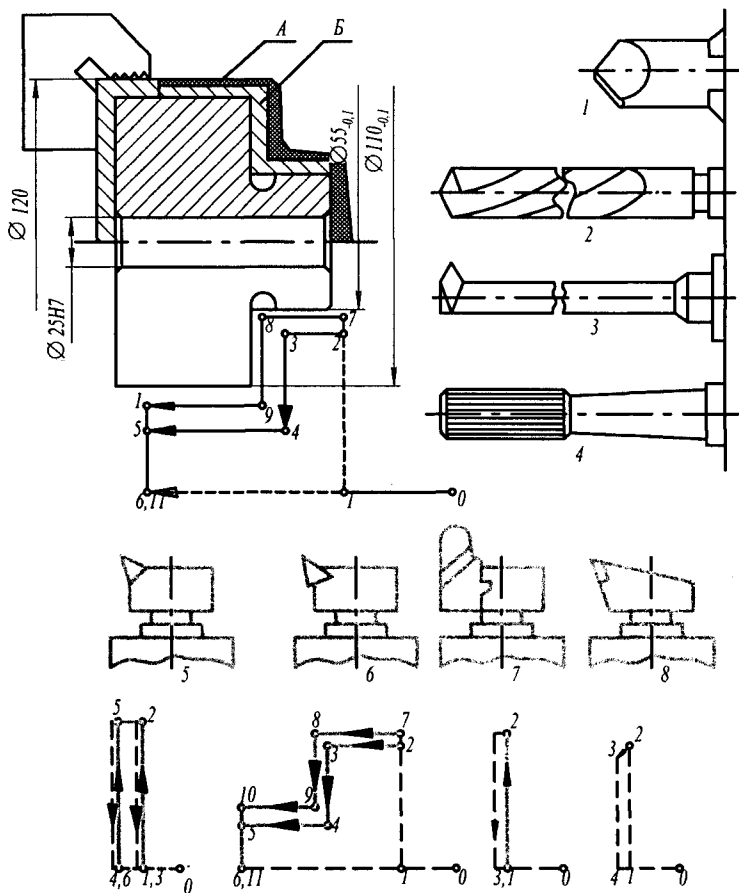


Рис. 107. Схема обробки зубчастого колеса на токарно-револьверному верстаті з ЧПУ.

ході різець з нульової точки на швидкому ході пересувається в точку 1. Поперечна подача (робочий хід) здійснюється за траєкторією 1-2. Після закінчення проходу різець на прискореному ході повертається у вихідну точку за траєкторією 2-3-0.

Другий прохід починається із швидкого підведення різця з точки 0 до точки 4. Робочий хід за траєкторією 4-5 і на швидкому ході різець повертається до нульової точки 5-6-0. Траєкторії пересування різців 7 для прорізування канавки та знімання фаски (різець 8) показані на рис. 107.

Для автоматизації процесу нарізання зубів коліс в умовах дрібно-серійного виробництва застосовують зубооброблюючі верстати з мікропроцесорною системою ЧПУ. Зубофрезерні та зубошліфувальні верстати мають систему ЧПУ, виконану на базі мікроЕОМ. Вона дозволяє безпосередньо з клавіатури системи ЧПУ верстата формувати та коригувати програму обробки зубчастих коліс.

Мікропроцесорна система ЧПУ здійснює програмне регулювання подачі на вході та виході фрези за принципом адаптивного управління.

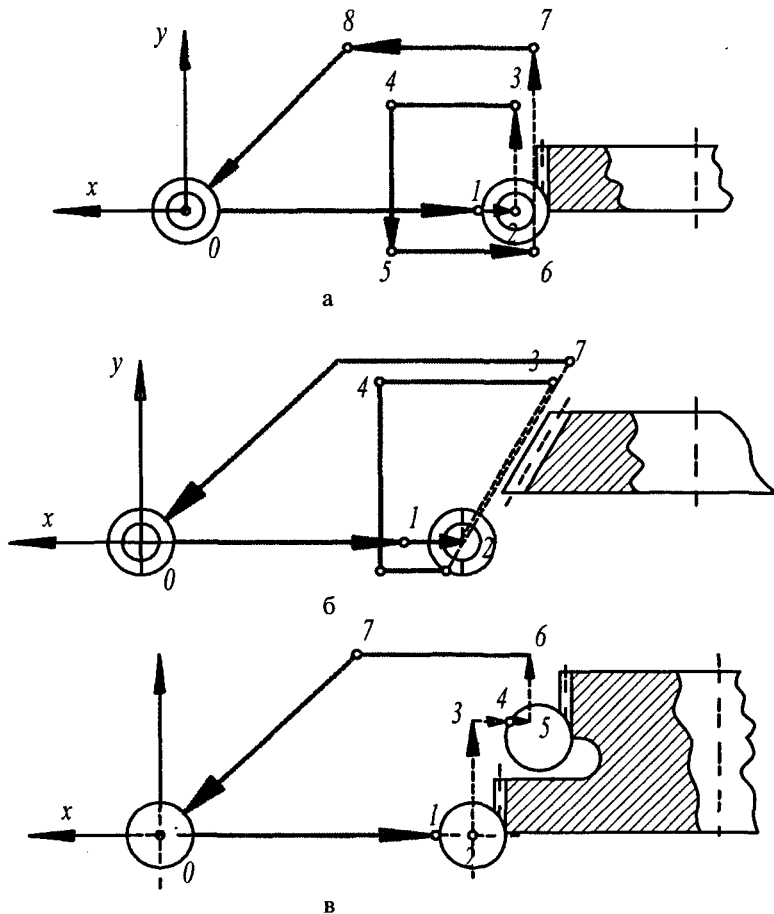


Рис. 108. Програмовані цикли нарізання зубчастих коліс: а - циліндричних (нарізання за два робочих хода); б - конічних (нарізання за два робочих хода); в - двохвінцевих блоків.

Із збільшенням глибини різання та ширини фрезерування подача на вході зменшується до заданого значення, а потім на виході знову збільшується. Приклади виконання технологічних циклів по нарізанню різних зубчастих коліс модульною фрезою показані на рис. 108.

Наведені цикли обробки формуються шляхом модифікації узагальненого циклу. У нульовій точці починається цикл обробки, а решта точок (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) задаються в програмі як опорні.

### 9.3. ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ КЛАСУ ВАЖЕЛІВ ТА ВИЛОК

#### 9.3.1. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ, МАТЕРІАЛИ ТА СПОСОБИ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВОК

Для забезпечення точності прилягання поверхонь бобишок важелів і вилок до сполучених деталей, вони повинні бути перпендикулярні до осей в границях допустимих відхилень від 0,1:100 до 0,3:100. Шорсткість поверхонь бобишок  $R_q = 0,32 \dots 1,25$  мкм.

Твердість робочих поверхонь цих деталей  $HRC_2$  40-50... 50-55.

Деталі даного класу виготовляються із сірого чавуну СЧ12-СЧ18, ковкого чавуну КЧ35-10, КЧ37-12 та машинно-виробних конструкційних сталей 20, 35, 45, 40Х, 18ХГТ, 18ХИВА, 40ХНМА та ін.

Чавунні заготовки відливаються у піщані форми, відформовані за металевими моделями. Точні відливки отримують литвом у оболонкові форми. Сталеві заготовки важелів та вилок отримують литвом у оболонкові форми або за виплавляємими моделями.

Заготовки, отримані литвом за виплавляємими моделями, не вимагають наступної обробки, оскільки параметр шорсткості їхньої поверхні  $R_z$  10...  $R_z$  20, допуски на розміри не перевищують 0,2...0,5 мм на бік.

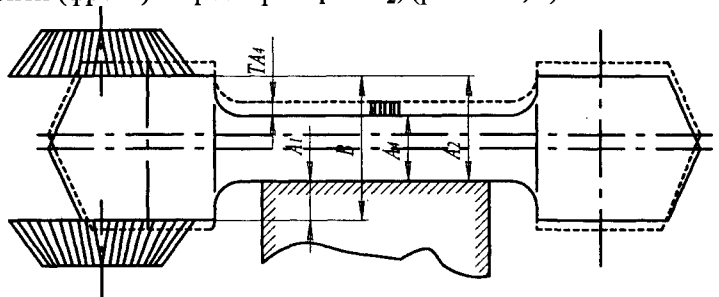
#### 9.3.2. ВИБІР БАЗ І ПОСЛІДОВНІСТЬ ОБРОБКИ ЗАГОТОВОК ВАЖЕЛІВ І ВИЛОК

Згідно з технічними вимогами в деталях даного класу вимагається забезпечити перпендикулярність торців до осей отворів. Тому такі поверхні слід обробляти в першу чергу для того, щоб використати їх надалі як технологічні бази. Розглядаючи технологію виготовлення

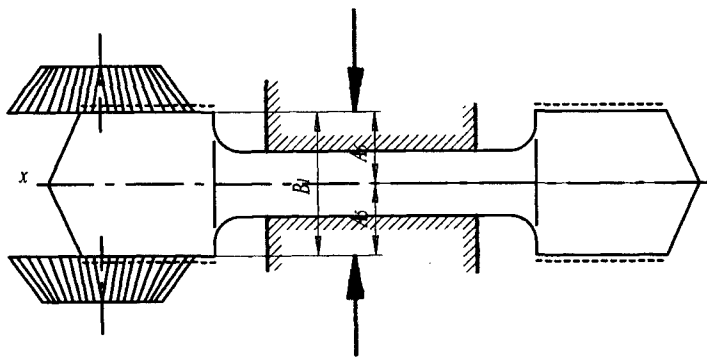
шатунів, треба звернути увагу на спосіб базування шатуна на першій чорновій операції - фрезерування торців головок.

Торці головок обробляються одночасно двома фрезами, настроєними на розмір. При даній схемі обробки установчою базою на деталі може бути тільки стержень, який з'єднує головки.

Як установчу базу на пристрої часто приймають жорстко фіксовану площину. Відносно до цієї площини настроюються ріжучі інструменти (фрези) на розміри  $A_1$  та  $A_2$ , (рис. 109, а).



а



б

Рис. 109. Схеми базування шатуна на операції фрезерування торців головок.

З розмірного ланцюга (рис. 109, а) допуск замикаючої ланки дорівнює сумі допусків складових ланок:

$$TB = TA_1 + TA_2.$$

Для шатунів допуск на товщину змінюється в границях  $TB = 0,1 \dots 0,14$ . Отже, допуски на складові ланки повинні мати надмірно велику жорсткість:  $TA_1 = TA_2 = 0,05 \dots 0,07$  мм. Розміри  $A_1$  та  $A_2$ , проставлені від поверхонь, які отримані методом литва. Якщо заготовка

отримана методом литва в земляну форму, то розмір заготовки відповідає 16-му квалітету точності. Допуск на товщину стержня, виготовленому за 16-м квалітетом точності, змінюється від 0,9 до 1,1 мм. Отже, розмір  $A_3$  буде відрізнятися від розміру  $A_2$  на величину допуску на розмір  $TA_3$ . Вісь симетрії стержня буде зміщена відносно торців головок шатуна на 0,9...1,1 мм. Таку несиметричність виправити на наступних операціях шліфування практично неможливо.

Щоб запобігти похибкам базування при обробці торців шатунів треба змінити схему базування. При базуванні тут треба використати приховану базу-вісь  $X - X$  (рис. 109,б). Орієнтацію шатуна відносно осі симетрії можна забезпечити, якщо установити його в самоцентруючих лещатах. Обробка отворів у головках здійснюється або одночасно обох отворів або по чергово.

У першому випадку обидва отвори обробляють з однієї установки в одній операції. Свердління, розточування та розвертання виконують в кондукторі з швидкозмінними втулками на радіально-свердильному верстаті або за допомогою двохшпindelної головки. В другому випадку необхідна відстань між отворами досягається тим, що при обробці другого отвору як база використовується перший, вже оброблений отвір.

При обробці отворів у головках шатунів на двохшпindelних верстатах точність взаємного розташування отворів відносно головок шатуна залежить не тільки від похибок настроюваного розміру, але й від зміщення оброблюваної деталі відносно ріжучих інструментів (свердел) при базуванні. Наприклад, при одночасному свердлінні отворів у головках шатунів зміщення їх за рахунок похибок базування порушує симетричність розташування отворів відносно контуру головок.

Базування шатунів на самоцентруючому пристрої з використанням двох призм здійснюється двома методами.

Перший метод. Одна з призм жорстко закріплена на установчій плиті, а друга призма є рухомою (рис. 110, а). Відстань між осями шпindelів має постійну величину  $A_4$ , діаметрами головок шатуна є  $D_1$  та  $D_2$ . Зміна діаметрів головок у межах допуску  $TD = D_{max} - D_{min}$  викликає зміщення їхніх центрів **0-0** на величину (рис. 110, б):

$$\Delta A = \frac{TD}{2 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$





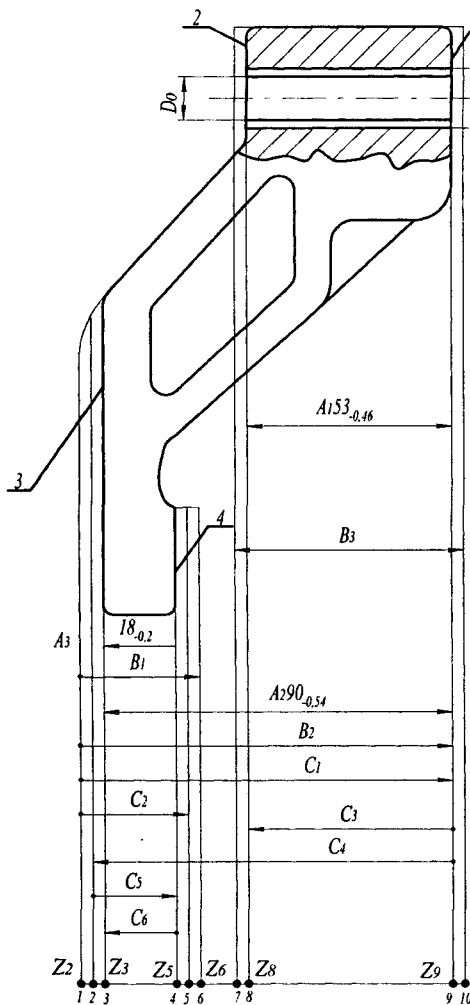


Рис.111. Розмірна схема технологічного процесу обробки вилки.

$$B_1 = \frac{B_3}{2} + \Delta B_2; \quad B_2 = \frac{B_3}{2} + \Delta B_2; \quad \Delta B_1 = \Delta B_2 = \frac{TD}{2 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}.$$

Для обробки отворів у заготовках важелів застосовують таке обладнання: агрегатні верстати в масовому та великосерійному виробництвах; багатоцільові верстати з автоматичною зміною інструмента

Якщо врахувати відхилення діаметрів обох головок, то результуюча похибка зміщення осі свердління отворів відносно контуру головки шатуна ще більш зростає.

За такою схемою базування зміщення центрів отворів відносно головок шатуна усунути неможливо. Однак цю похибку можна рівномірно розподілити між двома контурами головок, якщо базування шатуна здійснювати відносно прихованої бази, тобто другої площини симетрії  $Y - Y$  (рис. 110, в).

Центрування шатуна відносно площин симетрії  $X - X$  та  $Y - Y$  можна реалізувати, якщо базування шатуна здійснювати за допомогою двох призм, які пересуваються до центра з однаковою швидкістю, наприклад, за допомогою гвинта, що має праву та ліву різьби. Відносно осі симетрії  $Y - Y$  слід розглядати два самостійних замкнених контури розмірної ланки:

та револьверні верстати з ЧПУ у велико - та середньосерійному виробництвах; універсальні верстати, в тому числі оснащені поворотними головками, у дрібносерійному виробництві.

Для отримання зовнішнього контуру важелів застосовують фрезерні верстати з ЧПУ або копіювально-фрезерні.

Вилка вмикання швидкостей з литої заготовки в земляну форму із сталі 45 (*HB* 229...269) має 16-й квалітет точності. На першій операції фрезерують торці.

Використовуючи оброблений торець як установчу базу, фрезерують другий торець (рис. 111).

Розмір поводкової частини вилки 18<sub>-0,2</sub> забезпечується на шліфувальних операціях. Отвір оброблюється на агрегатно-свердлильному верстаті в такій послідовності: зенкерування по корці, чорнове розвертання та чистове розвертання. Розміри, зазначені на кресленні, мають точність:

$$A_3 = 18_{-0,2}(h12); \quad A_2 = 90_{-0,54}(h13);$$

$$A_1 = 53_{-0,46}(h13); \quad d = 30_{-0,05}(h9).$$

Кількість переходів, необхідна для досягнення потрібної точності розмірів, вказаних на кресленні, наведена в табл. 37.

На рис.111 показано розмірну схему технологічного процесу обробки вилки перемикавання швидкостей, а на рис. 112 - графи лінійних (а) та діаметральних (б) розмірів.

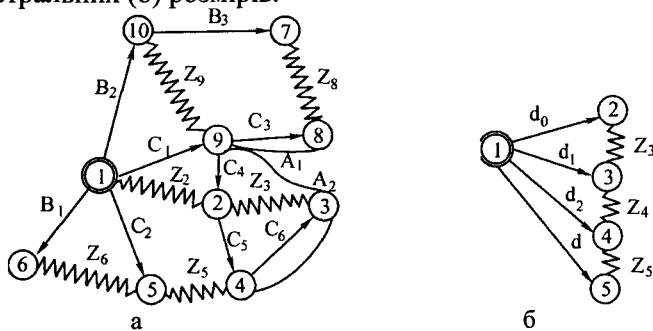


Рис. 112. Графи розмірних зв'язків при обробці вилки: а - розмірні зв'язки лінійних розмірів; б - лінійні зв'язки діаметральних розмірів.

Як корінь дерева вибрано поверхню 1, від якої відходять чотири ребра (технологічних розмірів)  $B_1, B_2, C_1, C_2$ .

У табл. 38 наведені розрахункові та вихідні рівняння замкнених контурів графа лінійних розмірів.

Таблиця 37

Розмір	Квалітет	Число проходів	Розподіл різниці квалітетів за проходами
$A_3=18_{-0,2}$	12	2	$\Delta IT = 4 = 2+2$
$A_2=90_{-0,54}$	13	1	$\Delta IT = 3$
$A_1=53_{-0,46}$	13	1	$\Delta IT = 3$
$\varnothing 300^{+0,05}$	9	3	$\Delta IT = 3+2+1$

Таблиця 38

№ п/п	Розрахункові рівняння	Вихідні рівняння	Шуканий параметр
1	$-A_3 + C_6 = 0$	$A_3 = C_6$	$C_6$
2	$-Z_3 + C_5 - C_6 = 0$	$Z_3 = C_5 - C_6$	$C_5$
3	$-A_1 + C_3 = 0$	$A_1 = C_3$	$C_3$
4	$-A_2 - Z_3 + C_4 = 0$	$A_2 = C_4 - Z_3$	$C_4$
5	$-Z_2 + C_1 - C_4 = 0$	$Z_2 = C_1 + C_4$	$C_1$
6	$-Z_9 + C_1 + B_2 = 0$	$Z_9 = B_2 - C_1$	$B_2$

#### 9.4. ВИГОТОВЛЕННЯ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

##### 9.4.1. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙ, ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ТА МАТЕРІАЛИ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ

Конструктивні особливості та матеріали корпусних деталей визначаються службовим призначенням, умовами їхньої експлуатації та технологією виготовлення.

Виходячи із спільності службового призначення і технічних вимог до форми та конструктивного виконання корпусні деталі поділяють на п'ять груп [49].

Перша група складається з корпусних деталей коробчастої форми у вигляді паралелепіпеда, габаритні розміри яких мають однаковий порядок. До них відносяться корпуси коробок швидкостей і подач, шпindelні бабки тощо.

Основними базами корпусних деталей цієї групи є плоскі поверхні, а допоміжними - головні отвори і торці.

Друга група має гладкі циліндричні поверхні, протяжність яких перевищує їхні діаметральні розміри. До цієї групи відносяться блоки циліндрів двигунів і компресорів, пневмо- та гідроапаратура та ін.

Циліндричні поверхні цієї групи корпусних деталей звичайно працюють на зношування, тому до них пред'являються високі вимоги щодо точності форми, розмірів та шорсткості поверхні.

До третьої групи входять корпусні деталі складної просторової форми, а також корпуси парових і газових турбін, відцентрових насосів, вентилів кранів тощо.

Четверта група складається з корпусних деталей з напрямленими поверхнями, які забезпечують точне відносне, зворотно-поступальне або обертальне пересування оброблюваних заготовок або ріжучого інструмента. Такі деталі входять до складу несучої системи більшості металоріжучих верстатів. Вони, як правило, сприймають великі навантаження, тому для збільшення жорсткості мають внутрішні ребра та перегородки.

П'ята група має форму типу кронштейнів, кутників, стояків і кришок. Вона об'єднує найбільш прості за конструкцією корпусні деталі, які виконують функції додаткових опор.

Залежно від конструктивної складності корпусних деталей та службового призначення до них ставляться такі технічні вимоги:

1. Діаметральні розміри та форми отворів під підшипники відповідають 6-му-9-му квалітетам точності. Відхилення від круглості в поперечному перерізі, конусність або зігнутість у поздовжньому перерізі знаходяться у границях 1/5-1/2 допуску на діаметр отвору.
2. Відхилення від паралельності та перпендикулярності осей головних отворів відносно плоских поверхонь складають 0,15/200, граничні кутові відхилення осей отворів 0,005/200-0,1/200.
3. Параметри шорсткості плоских базуючих поверхонь  $R_a = 2,5 \dots 6,3$  мкм, поверхонь головних отворів  $R_a = 1,25 \dots 0,16$  мкм.
4. Відхилення розмірів міжцентрових відстаней знаходяться у границях 0,02...0,05 мм, а у корпусних деталях підвищеної точності - 0,005...0,01 мм.

Наведені параметри точності є загальними для всієї різноманітності різних за конструкцією корпусних деталей машин. Як матеріал для виготовлення різних корпусних деталей застосовують головним чином сірий чавун СЧ15, СЧ18, СЧ20, рідше - вуглецеві ливарні 40Л та 40ЛК і леговані І2ХІ8Н9ТЛ сталі, а також ковкий чавун КЧ35 та сплави кольорових металів ЛКЗО, АЛ8, АЛ10В та ін.

При відносно невисокій вартості сірий чавун має добрі ливарні якості, що дозволяє використовувати його для отримання відливок

складної форми. Він добре обробляється і має відносно непогані фізико-механічні показники.

Зварні заготовки для корпусних деталей типу кронштейнів, стояків, кутників виготовляють з маловуглецевої сталі Ст3, Ст4. Штамповані та зварні корпуси, наприклад, картер заднього моста автомобіля, виготовляють з листової сталі 35 та 40. Порівняно з литими заготовками зварні заготовки корпусних деталей мають менші габаритні розміри та масу, що дозволяє отримувати більш високий коефіцієнт використання металу.

Основними способами отримання відливків для корпусних деталей є литво у піщані форми, в кокіль, під тиском, литво в оболонкові форми, а для малих за розміром але для високоточних корпусів - литво за виплавлюваними моделями. Відливки корпусних деталей не повинні мати різких потовщень, ребра необхідно розташовувати перпендикулярно до площини роз'єму.

#### **9.4.2. ВИБІР БАЗ І ПОСЛІДОВНІСТЬ ОБРОБКИ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ**

Не дивлячись на різноманітність конструктивних форм і розмірів корпусних деталей, структура побудови технологічного процесу має загальну закономірність. Ця закономірність відноситься до спільності підходу при виборі технологічних баз, до визначення послідовності обробки та вибору обладнання.

Для різних за конструкцією та розмірами корпусних деталей технологічний процес механічної обробки складається з таких етапів:

1. Попередня та чистова обробка плоских поверхонь або площини та двох отворів, які надалі використовуються як технологічні бази.
2. Обробка решти плоских поверхонь відносно створеної технологічної бази.
3. Попередня та чистова обробки головних отворів.
4. Обробка дрібних отворів і різьбових поверхонь.
5. Оздоблювальна обробка плоских поверхонь і головних отворів деталі.
6. Контроль точності відповідно до технічних умов креслення.

Між етапами чорнової та чистової обробок рекомендується проводити старіння для знімання внутрішніх напруг.

На першій операції оброблюють поверхні, які потім використо-

вують як технологічні бази для більшості наступних операцій технологічного процесу. Поверхні деталі, від яких задано стан більшості інших поверхонь, рекомендується вибирати як технологічні бази. Після створення надійної установчої бази обробка корпусної деталі на багатоцільових верстатах проводиться у такій послідовності: спочатку виконують попереднє та остаточне фрезерування плоских поверхонь, потім обробляють головні отвори (зенкерують, розточують та розгортають), а на закінчення свердлить дрібні отвори, зенкером знімають фаски і нарізають мітчиками різьбу.

У такій послідовності обробки забезпечується максимальна концентрація операцій. Для забезпечення принципу постійності баз у ряді випадків передбачають спеціальні технологічні припливи, які обробляються на першій операції. Найбільш зручними технологічними базами для більшості операцій є:

- три площини, які утворюють координатний кут базування за трьома площинами;
- площину і два отвори, які матеріалізують схему базування за площиною та двома штирями;
- площина та один отвір порівняно великого діаметра, які забезпечують схему базування за площиною, центруючим буртом та за опорною базою.

Ці схеми базування отримали найбільше розповсюдження. Таким чином, основним завданням першої операції при виготовленні корпусних деталей на автоматизованих ділянках є підготовка зручних технологічних баз, що забезпечують можливість здійснення всієї послідовної обробки з одною установчою базою. Така схема базування до мінімуму скорочує вплив похибки установки на точність обробки.

Базування корпусної деталі на першій операції можна також здійснювати попереднім вивірнням за розміткою. Розмітка використовується для суміщення початку відліку деталі з початком відліку координатної системи супутника та пристрою. Розміткою досягається рівномірний розподіл припуску при обробці головних отворів порівняно нежорстким консольним інструментом або забезпечується рівномірність товщин стінок відносно поверхонь, що не підлягають обробці. Вирішення цих завдань скорочує необхідне число переходів, що підвищує ефективність використання дорогого автоматизованого обладнання.

Технологічні бази повинні забезпечувати можливість наступної обробки заготовки корпусної деталі з п'яти боків (чотирьох горизон-

тальних напрямів і одного вертикального). При цьому необхідно мати хорошу доступність ріжучого інструмента до оброблюваних поверхонь. При обробці корпусних деталей в автоматизованому циклі за принципом змінно-поточного виробництва від одних технологічних баз переривати процес виконання чорнових і чистових переходів небажано. Тому операцію старіння, яка забезпечує зрівноважування внутрішніх напруг, в цьому випадку слід виконувати на початку технологічного процесу, тобто до надходження деталі на багатоопераційний верстат.

При розробці операційної технології корпусну деталь розглядають як комплекс елементарних поверхонь, які обробляються за типовими технологічними схемам з використанням стандартних циклів.

Обробку плоских поверхонь з нерівномірним припуском рекомендується проводити фрезами меншого діаметра. Це сприяє зменшенню вібрацій та підвищенню точності обробки.

Отвори на першій операції рекомендується здійснювати розточуванням різцем замість зенкерування.

Розточування головних отворів, які вимагають кріплення інструментів у борштанги з великим вилітом, слід виносити на розточні верстати на ділянку.

При розробці співвісних отворів із діаметром, що зменшується, спочатку треба обробити з високою точністю крайній максимальний отвір, а потім, використовуючи його як напрямну базу, оброблювати отвори меншого діаметра.

При обробці плоских поверхонь застосовуються торцеві твердосплавні фрези, які мають у три рази більшу стійкість порівняно з фрезами із швидкорізальних сталей.

За умов одиничного та дрібносерійного виробництва обробка зовнішніх площин корпусних деталей проводиться на поздовжньо-стругальних верстатах з використанням вертикальних і горизонтальних супортів.

Через наявність допоміжних ходів та порівняно малих швидкостей зворотно-поступальних рухів стола верстата продуктивність процесу стругання нижче, ніж продуктивність фрезерування.

Шліфування площин корпусних деталей застосовується в основному як остаточна, фінішна обробка, яке забезпечує отримання підвищених вимог за шорсткістю і точністю геометричної форми. Виконується на плоскошліфувальних верстатах з прямокутним або круглим столом, периферією або торцем шліфувального кола. Для змен-



шення теплонапруженості процесу шліфування застосовують перері-вчасті кола або збірні сегментні головки.

На заводах масового виробництва обробка площин корпусних де-талей проводиться на вертикально- або горизонтально-протяжних ве-рстатах. Протягування є найбільш продуктивним методом обробки, що забезпечує високу точність та шорсткість поверхні. Висока вар-тість виготовлення протяжок обмежує область застосування цього методу обробки, а великі сили різання, що виникають при протягу-ванні, виключають можливість обробки нежорстких деталей. Протя-гування застосовують для попередньої, чистової та викінчувальної обробки зовнішніх поверхонь корпусних деталей. Технологічні мож-ливості методів обробки плоских поверхонь наведені в табл. 39 [49].

Обробка головних створів - трудомісткий етап технологічного процесу виготовлення корпусної деталі.

Таблиця 39

Метод оброб-ки	Шорсткість $R_a$ , мкм	Квалітет точності	Відхилення	
			від паралельно-сті	від перпендику-лярності
<b>Фрезерування торцевою фрезою:</b>				
чорнове	6,3...12,5	12-14	0,08/300	0,12/300
чистове	3,2...6,3	10-11	0,05/300	0,07/300
тонке	0,8...1,6	7-9	0,03/300	0,03/300
<b>Стругання:</b>				
чорнове	12,5..25	12-14	0,07/300	0,10/300
чистове	3,2...5,0	11-13	0,04/300	0,06/300
тонке	0,8...1,6	7-10	0,02/300	0,02/300
<b>Протягування:</b>				
напівчистове	6,3	8-9	0,07/300	0,08/300
чистове	0,5...3,2	7-8	0,04/300	0,05/300
викінчувальне	0,2...0,4	7	0,02/300	0,02/300
<b>Шліфування:</b>				
напівчистове	3,2	8-11	0,04/300	0,06/300
чистове	0,8...1,6	6-8	0,02/300	0,03/300
тонке	0,1...0,4	6-7	0,007/300	0,01/300

Головні отвори оброблюють на розточних, координатно-розточних, свердлильних, агрегатних та інших верстатах, включаючи верстати з ЧПУ і багатоцільові верстати. Обробка проводиться в три етапи: чорнова, чистова та фінішна.

На перших етапах обробки проводиться свердління, зенкерування, розточка різцями та розточними головками. На етапі викінчувальної обробки - тонке розточування, шліфування, хонінгування, а також пластичне деформування: алмазне вигладжування, розкатка кульками або роликми, дернування.

Свердління та розсвердлювання забезпечують 11-й-12-й квалітети точності, а шорсткість поверхні  $R_a = 6,3 \dots 12,5$  мкм. Зенкерування у відливках забезпечує 11-й-12-й квалітети точності та похибку геометричної форми 30...50 мкм. Напівчистове зенкерування забезпечує 10-й квалітет точності та відхилення геометричної форми 15...20 мкм, шорсткість  $R_a = 2,5 \dots 5,0$  мкм.

Точність діаметральних розмірів відповідає при чорновому розточуванні 11-му-12-му квалітетам, при чистовому - 9-му-10-му квалітетам.

Розгортання - один з методів чистової обробки отворів за 6-м-9-м квалітетами точності. Припуски, що залишаються під розгортання, складають для попередньої обробки 0,4...0,9 мм на діаметр, для чистової 0,05...0,30 мм.

Розгортання виконується із значним охолодженням емульсією (для чавунних деталей) або сумішшю газу з машинним маслом (для сталевих деталей).

Для розвертання отворів застосовують також плаваючі різцеві блоки та пластини з швидкорізальної сталі або твердого сплаву (точність 7-й квалітет, шорсткість поверхні  $R_a = 1,25$  мкм). Одночасно з обробкою торців застосовують торцеві зенкери або спеціальні летучі супорти, які забезпечують пересування різця в радіальному напрямі. На багатоцільових верстатах відкриті торцеві поверхні обробляються торцевими фрезами.

Для обробки в корпусних деталях головних отворів широко застосовують горизонтально-розточні та координатно-розточні верстати. Точність розташування їх відносно технологічних баз і точність міжцентрових відстаней досягаються одним із таких способів: за розміткою, методом пробних ходів та промірів, способом координатного розточування та з використанням кондукторів.

Перший спосіб передбачає розмітку та накернування лунок з наступним суміщенням їх з віссю розточного шпинделя. Спосіб пробних ходів і промірів передбачає багатовступінчасте налагодження верстата. Спочатку проводиться розмітка, потім свердління та розточування отвору з припуском під наступну обробку 5 мм на діаметр.

В отриманий отвір вставляється оправка-калібр і вимірюється фактичне накладання отвору відносно бази. Вноситься корекція в стан шпинделя та проводиться повторне розточування за 7-м квалітетом. Залишається припуск 2 мм. Використовуючи оправку, повторно вимірюють стан осі отвору, вносять необхідну корекцію та проводять остаточну обробку отвору. Цей трудомісткий спосіб застосовується в одиничному виробництві за відсутності точних координатно-розточних верстатів.

При координатному способі розточування попередньо сполучається вісь шпинделя з початком відліку, а потім за допомогою високоточних ходових гвинтів розточна бабка пересувається в напрямі координат  $X_i, Y_i$ , добиваючись необхідного стану шпинделя для розточування першого отвору. Для обробки наступних отворів стіл верстата пересувається з урахуванням необхідних координат, точність позиціонування складає 0,01... 0,05 мм.

Для сполучення осі шпинделя з центром отворів застосовують центрошукач, який встановлюється в шпиндель і повертається на кут  $360^\circ$ . Осі сполучаються при нульовому показі індикатора. В серійному виробництві точність відносного стану отворів досягається за допомогою кондукторів-шаблонів. Шаблон товщиною 10...12 мм має точні отвори в суворій відповідності з оброблюваною деталлю. Діаметр цих отворів на 2...3 мм більше діаметрів деталі. За допомогою центрошукача сполучається вісь шпинделя верстата з центром отвору в шаблоні, а потім, не змінюючи відносного стану стола та шаблону, оброблюють отвір в деталі.

На заводах великосерійного виробництва застосовуються кондуктори, які забезпечують точний відносний напрям ріжучого інструмента. Напрямок інструмента або оправок забезпечується за допомогою кондукторних втулок. Залежно від технологічної задачі застосовують одно- та двобічний напрям інструмента (рис. 113).

У першому випадку базування інструментальної оправки здійснюється за отвором кондукторної втулки. Ця схема потребує жорсткого з'єднання оправки зі шпинделем верстата.

У другому випадку базування борштанги проводиться за допомогою двох кондукторних втулок, причому жорсткого з'єднання шпинделя із борштангою не потребується. Тут вони з'єднуються за допомогою шарнірного патрона, який припускає: незбіг осей в межах 0.5...1,0 мм. Через шарнірний патрон на борштангу передається крутячий момент і осьова сила подачі.

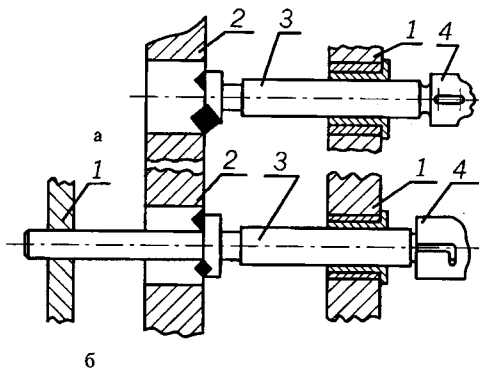


Рис. 113. Схеми розточки отворів: а — односторонній напрям розточної оправки; б - двосторонній напрям розточної оправки; 1 - кондукторна плита; 2 - заготовка; 3 - оправка з різцьовою головкою; 4 - шпindelь верстата.

м/хв (для чавунів), 120...260 м/хв (для сталі) і 300...860 м/хв (для кольорових сплавів). При тонкому розточуванні припуск 0,2...0,35 мм знімається за два проходи. При першому ході інструмента видаляється  $3/4$  загального припуску, при другому -  $1/4$ . Алмазне розточування проводиться на режимах: глибина різання 0,1...0,35 мм, поздовжня подача 0,03...0,15 мм/с (для чавунів); глибина різання 0,1...0,3 мм, поздовжня подача 0,02...0,12 мм/с (для сталей); глибина різання 0,05...0,4 мм, поздовжня подача 0,02...0,10 мм/с (для кольорових сплавів). Для обробки циліндричних поверхонь корпусних деталей, які мають твердість після хіміко-термічної обробки  $HRC_3$  59-63, застосовують планетарне шліфування. Цей метод забезпечує отримання отворів 6-го-7-го квалітетів точності, похибка геометричної форми отворів не вище 0,004 мм, шорсткість поверхні  $R_a = 0,32...0,16$  мкм.

Для обробки наскрізних гладких отворів діаметром 25...500 мм застосовують хонінгування.

Хонінгування - процес чистової обробки циліндричних поверхонь дрібнозернистими абразивними або алмазними брусками, що проводять обертальний та обернено-поступальний рухи в напрямі осі отвору. Хонінгування забезпечує точність діаметральних розмірів отворів за 6-м квалітетом, овальність та конусність в межах 0,003...0,004 мм, шорсткість поверхні  $R_a = 0,16...0,004$  мм. Довжина брусків  $L=(3...4)D$ . Припуски під хонінгування залежать від діаметра, матеріалу заготовки та виду попередньої обробки. Наприклад, для

Для отримання отворів 6-го-7-го квалітетів точності застосовують тонке (алмазне) розточування. Верстати для розточування мають підвищену жорсткість та вібростійкість. Розточування проводиться однолезвийним різцем з твердосплавною пластиною з ретельно доведеними ріжучими кромками або різцями із надтвердих матеріалів при частоті обертання порядку 100...200

отворів діаметром до 125 мм для чавунних заготовок припуск коливається від 0,02 до 0,1 мм, для сталевих заготовок - від 0,01 до 0,04 мм.

Кріпильні отвори в корпусних деталях оброблюються на вертикально-свердлильних, радіально-свердлильних агрегатних верстатах. За допомогою відповідного інструмента виконують свердління, зенкерування, розвертання, центрування, знімання фасок та нарізання різьби.

За умов серійного виробництва отвори свердлять з використанням накладних кондукторів. Напрямок інструмента забезпечується кондукторними втулками. У великосерійному та масовому виробництвах отвори обробляються на багатшпиндельних агрегатних верстатах. У автоматизованому серійному та дрібносерійному виробництвах для обробки отворів застосовують багатоцільові верстати з ЧПУ.

#### **9.4.3. ОБРОБКА ГОЛОВНИХ ОТВОРІВ В КОРПУСНИХ ДЕТАЛЯХ НА ОБРОБНО - РОЗТОЧНИХ ВЕРСТАТАХ**

В умовах автоматизованого виробництва широко застосовується обробка точних отворів в корпусних деталях на обробно (алмазно) - розточних верстатах. Вказані верстати налагоджуються на окремі деталі - операції, вбудовуються у поточні та автоматичні лінії, виправляють похибки попередньої обробки отворів і значно краще порівняно з іншими верстатами забезпечують прямолінійність осей отворів і точне їхнє взаємне розташування. При цьому досягається також дуже висока точність розташування осей отворів відносно плоских базових поверхонь корпусних деталей.

Сучасні обробно-розточні верстати мають високу жорсткість та запас технологічних можливостей, дозволяють вести не тільки викінчувальну, але й попередню ("чорнову") обробку отворів. Для цього можуть бути виділені окремі шпиндельні головки верстата, через що точність остаточної обробки не знижується.

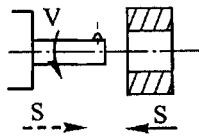
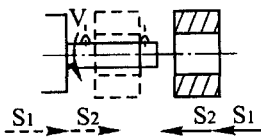
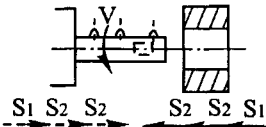
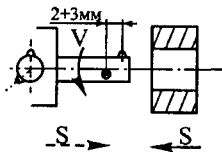
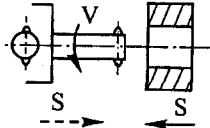
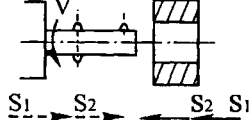
Таким чином, з'являється можливість виключити з технологічного процесу частину операцій, що передують тонкому розточуванню. З іншого боку, процес тонкого розточування за технологічними схемами обробки є повністю сполученим з операціями тонкого пластичного деформування поверхні отворів (алмазне вигладжування або



чайною чорною обробкою. Спрощена класифікація технологічних схем тонкого розточування окремих отворів наведена в табл. 40.

З наведених основних технологічних схем обробки можна створювати будь-якої складності багатомісні, багатопозиційні, послідовні, паралельні та паралельно-послідовні схеми конструкторських налагоджень обробно-розточних верстатів.

Таблиця 40

Номер схеми	Найменування	Схема обробки
1	2	3
1	Однорізева чорнова або чистова обробка	
2	Дворізева послідовна чорнова та чистова обробки або дворізева послідовна обробка двома чистовими різцями	
3	Трирізева послідовна обробка одним чорновим та двома чистовими різцями	
4	Дворізева сполучена обробка чорновим і чистовим різцями або двома чорновими різцями	
5	Дворізева сполучена обробка чистовими різцями	
6	Трирізева послідовно-сполучена обробка одним чорновим і двома чистовими різцями	

7	Трирізцева сполучено-послідовна обробка двома чорновими та одним чистовим різцями	
8	Однорізцева сполучена чистова обробка отвору та підрізання торця осьовою подачею	
9	Однорізцева послідовна чистова обробка отвору та підрізання торця радіальною подачею	
10	Одноінструментна чистова обробка тонким пластичним деформуванням	
11	Двохінструментна послідовна обробка чистовим різцем та деформуючим інструментом	
12	Двохінструментна сполучена обробка чистовим різцем та деформуючим інструментом	
13	Трохінструментна сполучено-послідовна обробка двома (чорновим і чистовим) різцями та деформуючим інструментом	
14	Трохінструментна послідовно-сполучена обробка чорновим різцем, чистовим різцем та деформуючим інструментом	



Оскільки за структурою операцій обробки точних отворів тонке розточування розташоване ближче до завершення технологічного процесу, його кінцеві результати значно залежать від якості попередньої обробки не тільки самих розточуваних отворів, але й технологічних баз. Тому до попередньої обробки пред'являються такі вимоги:

- припуск, який залишається на тонке розточування, повинен складати 0,4...0,5 мм на діаметр (у загальному випадку обробно - розточні верстати дозволяють знімати припуск і в кілька міліметрів, але це недоцільно з позицій точності та економічності обробки);
- позиційне зміщення припуску відносно до технологічних баз не повинно перевищувати 0,1 мм;
- інші похибки розташування осі розточуваного отвору та похибки його форми також повинні укладатися в межі 0,1 мм;
- шорсткість поверхні попередньо обробленого отвору бажано мати на рівні  $R_a = 6,3$  мкм;
- поверхні, які використовуються як технологічні бази, повинні бути остаточно оброблені з потребуємими за кресленням деталі точністю та шорсткістю (в окремих випадках допускається відхилення від цього правила).

Процес технологічного проектування операцій тонкого розточування складається з таких укрупнених етапів:

1. Вибір технологічної схеми обробки окремо для кожної осі оброблюваних отворів.
2. Аналіз можливостей одночасної обробки всіх поверхонь.
3. Розробка структури операції з урахуванням заданої продуктивності обробки (визначення числа місць у верстатному пристосуванні; числа сторін обробки; числа шпindelьних головок з кожного боку; вибір послідовної, паралельної або паралельно-послідовної обробки всіх сторін; порівняння варіантів структур). Розроблена структура операції є основою для технічного завдання на проектування спеціального обробно-розточного верстата. При роботі на універсальному обладнанні вибирається структура послідовної обробки всіх отворів деталі.
4. Вибір типорозмірів обробно-розточних (шпindelьних) головок відповідно до прийнятої структури операції. Клас головок: (П або В) вибирається залежно від потрібної точності обробки, а типорозмір (I, II, III або IV) - залежно від діаметра розточуваного отвору відповідно 8...32; 20...65; 50...125 та 100...250 мм.

5. Вибір конструкції та розмірів розточних борштанг. Конструкція борштанги головним чином визначається прийнятою раніше технологічною схемою обробки. Діаметр консольної частини борштанги залежить від оброблюваного матеріалу, способу видалення стружки із зони різання та діаметра розточуваного отвору. Як правило, діаметральний зазор між отвором і борштангою, через який відводиться стружка, приймається таким, що дорівнює  $0,1$  діаметра розточуваного отвору. При обробці в'язких матеріалів, у процесі розточування яких з'являється зливна стружка, зазор збільшується до  $0,15$  розточуваного діаметра. Застосування так званих беззазорних борштанг (радіальний зазор  $0,5$  мм) в сполученні із стружкозавиваючими різцями з винесеною за торець борштанги головною ріжучою кромкою збільшує їхню жорсткість і надійно видаляє стружку із зони різання вперед торцем борштанги.
6. Розрахунок податливості систем шпindelь - борштанга з метою розв'язання питання про необхідність застосування та про вибір типу віброгасника. Якщо сумарна податливість системи в перерізі різця не перевищує  $0,1$  мкм/Н для сталі та  $0,15$  мкм/Н для інших матеріалів, то обробку можна вести без застосування віброгасників. При податливості до  $0,2...0,3$  мкм/Н необхідно застосовувати одномасові динамічні віброгасники і при сумарній податливості системи в перерізі різця, яка досягає  $0,4...0,6$  мкм/Н, необхідне застосування багатомасових віброгасників.
7. Вибір типу різців, матеріалу їхньої ріжучої частини та геометричних параметрів. Тип різця практично однозначно визначається формою оброблюваних поверхонь та прийнятою схемою його установалення до борштанги. Матеріали ріжучої частини та геометрія різців залежать від оброблюваного матеріалу та виду розточуваних отворів (гладкі наскрізні, глухі, ступінчасті). Різці вибираються звичайно на основі відомих стандартних рішень.
8. Призначення режимів різання. Відмінність в режимах для чорнових та чистових різців в основному заключається у величині подачі. При послідовній обробці подача для чорнових різців складає  $0,06...0,08$  мм/об, а для чистових -  $0,02...0,04$  мм/об незалежно від оброблюваного матеріалу. Аналогічно глибина різання для чорнових різців, як правило, складає  $0,15$  мм, а для чистових -  $0,1$  мм. Швидкості різання змінюються в широких межах та залежать від сполучень інструментального та оброблюваного матеріалів. Всі перераховані укрупнені етапи технологічного проектування

важливі з точки зору досягнення заданих технічних вимог до деталі. Але найважливішим є етап вибору технологічної схеми обробки для кожного з отворів. Будь-яка помилка, допущена на цьому етапі, може потягти за собою втрату точності та шорсткості поверхні або продуктивності та економічності обробки. Основними ознаками, за якими необхідно провести вибір технологічної схеми, є вид оброблюваної поверхні, відношення довжини отвору до діаметра, необхідна точність обробки та її продуктивність. При цьому умовно прийнято вважати отвори із відношенням довжини до діаметра менше 2 - короткими, більше 2 до 4 - середніми, більше 4 - довгими.

Вибір схеми за видом оброблюваної поверхні є досить простим. Так, для глухих отворів можлива тільки однорізцева обробка (схема 1 з різцем, винесеним за торець борштанги) або двохрізцева сполучена (схеми 4 і 5, табл. 40), якщо в отворі є вихід у достатньо широку канавку. При необхідності розточки з підрізанням торця залежно від його ширини застосовується схема 8 або 9.

Складнішим є вибір схеми за потребуємою точністю обробки. Орієнтовно можна використати такі рекомендації. При обробці коротких і середніх отворів 5-го квалітету слід застосовувати послідовну обробку трьома різцями (схема, 3, табл. 40), причому другий чистовий різець може грати роль калібруючого. Для аналогічних отворів 6-му-7-му квалітетам краще підходять схеми 2 і 6 (схема 6 буде описана додатково). Вказані схеми (2 та 6) в умовах двобічної структури можуть бути замінені схемами 1 та 5. При великих зміщеннях припуска на тонке розточування для тієї самої точності може бути рекомендована схема 7. Точність 6-го-9-го квалітетів ефективно забезпечує застосування технологічної схеми 4. Схеми 10-14 призначені для задоволення високих вимог до шорсткості оброблених поверхонь. Обробка довгих отворів за будь-яких вимог, як правило, виконується однорізцевим інструментом (схема 1) за один прохід або послідовно з двох боків, або сполученням двохрізцевим інструментом (схема 4 або послідовне сполучення 4 та 5).

Технологічні схеми 10-14 передбачають різні варіанти послідовної, сполученої та сполучено - послідовної обробки точних отворів методами тонкого розточування та тонкого пластичного деформування. Як операції тонкого пластичного деформування поверхні прийняті операції алмазного вигладжування та розкатування, які повністю сполучені за технологічною схемою обробки з тонким розточуванням і можуть бути виконані на однакових з розточуванням швидкостях рі-

зання та подачах. Крім того, деформуючі інструменти можуть мати однакові з різцями зовнішні розміри та форму з метою уніфікації приєднувальних поверхонь, що дає змогу встановлювати їх у розточних борштангах на місці розточних різців.

Наведені в табл. 40 схеми відрізняються одна від одної за продуктивністю, точністю обробки та досягнутою якістю поверхні. Тому область застосування вказаних технологічних схем різна і залежить від точності та якості попередньої обробки з урахуванням технічних вимог до результатів остаточної обробки.

Схема 10 призначена для двосторонньої обробки отворів з повним поділом в різні позиції тонкого розточування та пластичного деформування. Продуктивність обробки за цією схемою нижче, ніж в інших схемах, але якість поверхні може бути найкращою, оскільки в цьому випадку можуть бути застосовувані оптимальні режими деформування поверхні без взаємозв'язку з тонким розточуванням.

Незначно відрізняються від схеми 10 за параметрами продуктивності технологічні схеми 11 та 13, в яких передбачена послідовна обробка отворів ріжучим та деформуючим інструментами з одного боку. Якість обробленої поверхні при цьому може бути також дуже високою, оскільки подачі на етапах розточування та деформування поверхні не зв'язані між собою і можуть призначатися оптимальними для кожного інструмента. Схема 13, крім того, призначена для більш низької якості попередньої обробки, коли виникає необхідність знімання достатньо великих і зміщених з осі припусків.

Неякісна попередня обробка отворів може бути виправлена і за допомогою схеми 14. В цьому випадку сполучений припуск знімається першим (чорновим) різцем, а продуктивність обробки підвищується за рахунок сполучення роботи чистового різця з деформуючим інструментом.

Найбільшу продуктивність обробки забезпечує технологічна схема 12, однак підготовка отворів при цьому на попередніх операціях повинна бути досить точною. Це стосується також і підготовки базових поверхонь, від чого залежить зміщення припуску під тонке розточування.

Аналіз технологічних схем обробки показує, що в трьох схемах із п'яти є можливість на етапі тонкого пластичного деформування поверхні призначати оптимальні подачі, які відрізняються від подач тонкого розточування.

Технологічні схеми 4-7 передбачають різні варіанти сполучення

обробки отворів двома одночасно працюючими різцями. При цьому схеми сполучення обробки чорновим і чистовим різцями, які ділять між собою припуск, є досить відомими і часто зустрічаються в практиці проектування спеціальних обробно-розточних верстатів. Такий варіант сполучення різців дає максимальну продуктивність обробки, але точність і якість поверхні, як правило, знижується через взаємний вплив різців на їхнє відтискання через пружну систему борштанги.

Для усунення вказаного недоліка та підвищення точності обробки чорновий різець розташовують у борштанзі таким чином, щоб зусилля різання, яке діє на нього,  $\vec{F} = \vec{F}_z + \vec{F}_y$  було-напрявлене перпендикулярно до радіуса, проведеного через вершину чистового різця та вісь борштанги (рис. 115). Тоді вплив чорнового різця на точність обробки є мінімальним.

Конструктивно чорновий різець розташовують під кутом  $\beta$  відносно чистового різця

$$\beta = 180^\circ - (90^\circ - \alpha) = 90^\circ + \alpha, \quad (113)$$

де  $\alpha$  - кут між векторами радіальної складової зусилля різання, яке діє на чорновий різець, і рівнодіючої  $\vec{F} = \vec{F}_z + \vec{F}_y$ ,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\vec{F}_z}{\vec{F}_y} = \frac{C_{pz} \cdot t_x^{pz} \cdot S_y^{pz}}{C_{py} \cdot t_x^{py} \cdot S_y^{py}}. \quad (114)$$

Очевидно, що кут розвертання різців  $\beta$  залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, оскільки від них залежить співвідношення складових зусиль різання.

Звичайно на практиці, незалежно від оброблюваного матеріалу та режимів різання, застосовують кут  $\beta = 135^\circ$ .

Високу ефективність обробки забезпечує метод поділу подачі (схеми 5 та 6) між двома різцями. Це можуть бути як чистові, так в окремих випадках і чорнові різці.

Суть методу полягає у виставлянні двох різців на один і той самий розмір обробки та зміщенні їхніх вершин (між собою) в напрямі подачі:

$$l = \left( n + \frac{1}{2} \right) \cdot S, \quad (115)$$

де  $l$  - відстань між різцями вздовж осі борштанги, мм;  $n$  - будь-яке ціле число (в тому числі й нуль);  $S$  - подача, мм/об.

Схему утворення нерівностей на обробленій поверхні для описаного розташування різців показано на рис. 115. Різець 1, займаючи в

осьовому перерізі оброблюваної деталі 3 ряд послідовних положень 1, 1' тощо, зміщених відносно один одного на величину оборотної подачі  $S_1$ , залишає на обробленій поверхні нерівності висотою  $H_1$ . Зміщення вершин різця 2 відносно вершини різця 1 на величину  $l = (n + 1/2) \cdot S$  приводить до того, що різець 2 не копіює гвинтову поверхню, утворену різцем 1, а зрізує її, залишаючи на обробленій поверхні нерівності висотою  $H_2$ .

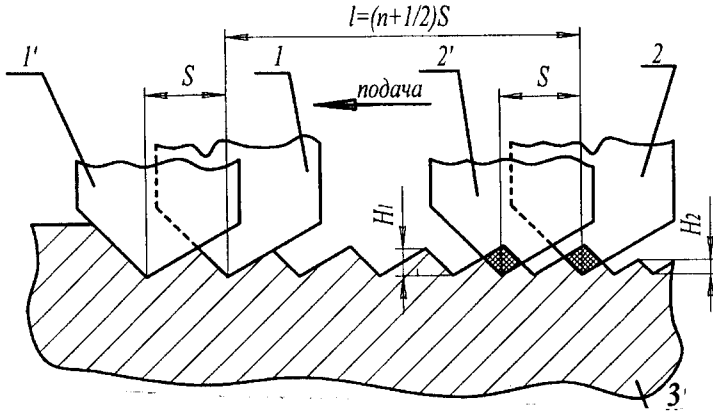


Рис. 115. Схема утворення нерівностей на обробленій поверхні при використанні методу поділу подачі.

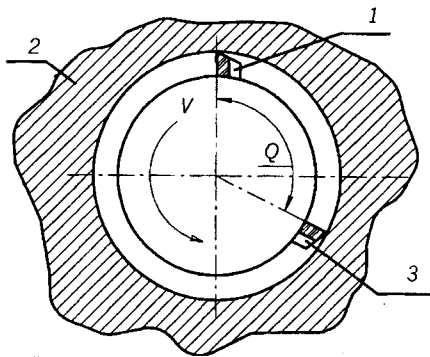


Рис. 116. Схема розвертання на кут  $\theta$  в площині, нормальній до осі борштанги.

При установленні різців під кутом один до одного (в площині, перпендикулярній до осі борштанги) один різець відстає від другого в напрямі обертання борштанги на кут розвороту різців  $\theta^\circ$  (рис. 116), якому відповідає зміщення вершин різців вздовж осі борштанги (в напрямі подачі)

$$l_1 = \frac{\theta^\circ}{360} \cdot S. \quad (116)$$

З урахуванням цього, формула для визначення осьового зміщення вершин різців набуває вигляду

$$l = \left( n + \frac{1}{2} - \frac{\theta^{\circ}}{360} \right) \cdot S. \quad (117)$$

Теоретично метод поділу подачі між двома різцями рівноцінний методу обробки одним різцем з подачею

$$S' = \frac{S}{2}, \quad (118)$$

де  $S$  - фактична подача, мм/об;  $S'$  - подача, приведена до одного різця, мм/об.

Підставляючи подачу, приведену до одного різця, до формули проф. В.Л.Чебишева:

$$R_z = \frac{S^2}{8 \cdot r}, \quad (119)$$

отримаємо для методу поділу подачі

$$R_z = \frac{\left( \frac{S}{2} \right)^2}{8 \cdot r} = \frac{S^2}{32 \cdot r}.$$

Аналіз наведених формул показує, що при застосуванні методу поділу подачі між двома різцями за умови збереження незмінної шорсткості поверхні подача може бути збільшена удвічі або шорсткість обробленої поверхні може бути зменшена вчетверо при незмінній подачі.

Найбільш простим і перспективним конструктивним рішенням застосування методу поділу подачі при тонкому розточуванні є варіант обробки, заснований на протилежному розміщенні двох різців в одному діаметральному отворі борштанги із зміщенням вершин на  $l = 0$ . В цьому випадку процес поділу подачі між різцями буде виконуватися автоматично при будь-яких числових значеннях подачі, оскільки один різець завжди буде відставати від іншого в напрямі обертання на половину обороту. При цьому забезпечується висока продуктивність обробки та значно спрощується заточування та настроювання різців.

Протилежне розміщення різців зменшує похибки обробки, зв'язані з пружними деформаціями технологічної системи, оскільки зусилля від кожного з різців взаємно значно врівноважуються.

Внаслідок дії цілого ряду причин, таких як неточності заточування різців за шаблоном, похибки їхнього налагодження на однаковий діаметральний розмір обробки, помилки в розташуванні вершин різ-

ців вздовж осі оброблюваної заготовки тощо, умови протікання процесу різання на кожному з різців можуть стати зайвими. Різна глибина різання та товщина зрізу приводять до різного темпу зносу ріжучих кромek кожного різця. Тому першочерговий ефект, отриманий на знов заточених та з допустимою похибкою встановлених різцях, через певний проміжок часу може бути значною мірою загублений. Навіть при високій точності заточування та встановленні різців зниження ефекту поділу подачі може бути зв'язане з різницею якості інструментального матеріалу парних різців, що також приведе до різної швидкості їхнього зносу.

Із наведеного витікає необхідність здійснення періодичного контролю розташування вершин різців та коригування цього розташування до необхідного рівня. В багатьох випадках достатньо контролювати лише налагодження різців на однаковий діаметральний розмір обробки. Періодичність такого контролю може збігатися з моментами звичайного підналагодження інструмента залежно від середнього темпу його зносу та величини поля допуску на оброблюваний розмір. Більш точно проводити контроль та коригування розташування вершин різців можна на верстатах, оснащених спеціальними пристроями діагностики стану ріжучих кромek інструмента та при наявності конструктивних можливостей для зміщення вершин різців у радіальному та осьовому по відношенню до оброблюваної заготовки напрямках. При цьому достатньо, щоб один із різців мав можливість пересуватися тільки в радіальному напрямі, а інший - в радіальному та осьовому.

Можливі кілька способів вирішення завдання підвищення ефективності обробки методом поділу подачі.

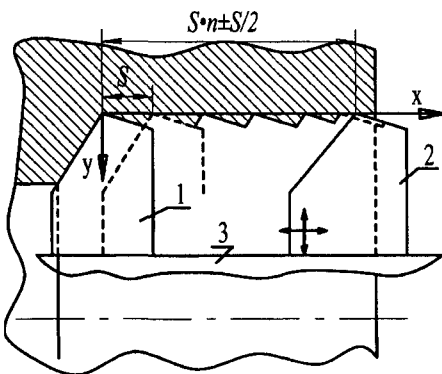


Рис. 117. Принципова схема реалізації нового способу обробки двома різцями.

Перший з них полягає в такому. В процесі обробки через час  $T$  від її початку або від попереднього підналагодження контролюють відстань між вершинами різців в осьовому та радіальному напрямках, визначають складові вектори зміщення вершини першого різця і коректують стан другого різця зміщенням його вершини на



вектор розузгодження у протилежному напрямі. Після цього за необхідності обидва різця погоджено пересувають у радіальному напрямі до заданого рівня налагодження. На рис. 117 показано принципову схему реалізації способу обробки двома різцями. Встановлюють різці 1 та 2 у борштанзі або в оправці 3 так, щоб відстань між їхніми вершинами за віссю  $X$  була:

$$L_x = S \cdot (n \pm 0,5), \quad (121)$$

де  $S$  - величина подачі;  $n$  - ціле число, яке вибирається виходячи з конструктивно-технологічних міркувань.

При цьому зміщення між вершинами різців в напрямі осі  $Y$  відсутньо ( $L_y = 0$ ). Після точного встановлення різців проводять обробку заготовок різанням.

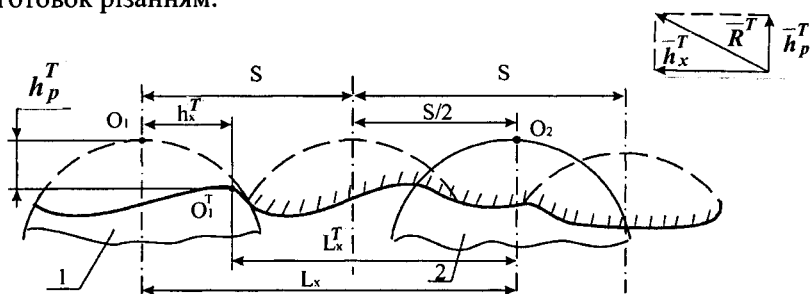


Рис. 118. Схема формування складових вектора розузгодження стану вершин різців.

На рис. 118 показано схему формування складових вектора розузгодження стану вершин різців після зносу першого різця та зміни припуску, зрізаємого другим різцем. Внаслідок зносу вершина першого різця з точки  $O_1$  пересувається через час  $T$  в точку  $O_1^T$ . При цьому вектор розузгодження напрямлений з точки  $O_1^T$  в точку  $O_1$ . Періодично (через час  $T$ ) проводять вимірювання складових вектора розузгодження  $\vec{h}_p^T$  та  $\vec{h}_x^T$  і визначають вектор

$$\vec{R}^T = \vec{h}_p^T + \vec{h}_x^T. \quad (122)$$

Схема коригування стану другого різця відносно першого зображена на рис. 119. Вершина другого різця з точки  $O_2$  пересувається в точку  $O_2^T$ . При цьому осьова відстань між вершинами різців відновлюється від величини  $L_x^T$  до потрібної величини  $L_x$ , а радіальне зміщення вершин знову стає рівним нулю ( $L_y = 0$ ). Таким чином, внаслідок

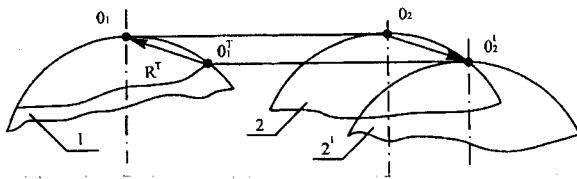


Рис. 119. Схема коригування стану другого різця відносно першого.

що описаний раніше спосіб обробки не враховує зміну профілю першого різця в результаті його підвищеного зносу порівняно з другим різцем. При цьому змінюється форма гребінців нерівностей, які залишаються першим різцем, і навіть при точній розрахунковій величині осевого зміщення вершин різців  $L_x$  ефект поділу подачі буде неповним. З метою усунення вказаного недоліку розроблено ще один спосіб реалізації методу поділу подачі. Його суть полягає в додатковому осевому зміщенні другого різця таким чином, щоб остаточна висота нерівностей після обробки двома різцями ставала мінімальною. На рис. 120 показано схему реалізації способу обробки двома різцями. Як і в попередньому випадку різці 1 та 2 встановлюють у борштанзі або державці так, щоб відстань між їхніми вершинами (точки  $O$  та  $K$ ) складала за віссю  $X - L_x = S(n \pm 0,5)$ , а за віссю  $Y - L_y = 0$ . Після закріплення різців в цьому стані проводять обробку заготовки різанням.

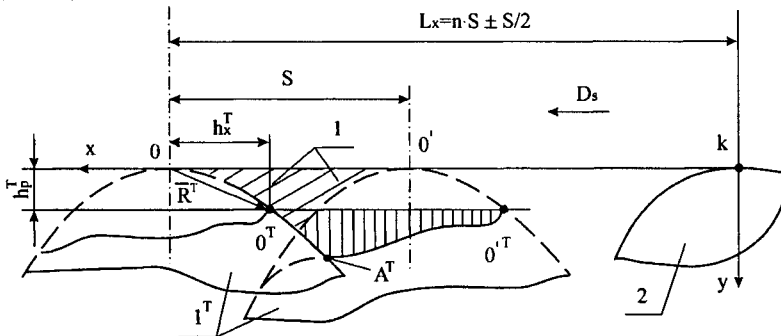


Рис. 120. Схема реалізації способу обробки двома різцями з урахування профілю першого різця внаслідок зносу.

Періодично, через деякий час обробки  $T$ , виводять борштангу (державку) в контрольну позицію та рееструють проекції ріжучих кромок першого та другого різців на загальну площину. Проектування ріжучих кромок кожного різця виконують в положенні, коли його

док коригування процес ефективного поділу подачі практично повністю відновлюється.

Разом з тим слід відзначити,

основна площина паралельна загальній площині.

На профілях (проекціях) ріжучих кромок виділяють формоутворюючі ділянки та вершини кожного з різців. Формоутворюючу ділянку ріжучих кромок (тобто ділянку, безпосередньо формуючу профіль залишкового гребінця) першого різця виділяють шляхом зсуву профілю його ріжучих кромок відносно вихідного стану на величину подачі  $S$  та спільного визначення двох профілів. Так, для зношеного першого різця  $I^T$  формоутворююча ділянка складається з ділянок головної  $A^T O^{1T}$  та допоміжної  $O^T A^T$  ріжучих кромок ( $O^T, O^{1T}$  - вершинні точки зношеного першого різця в двох сусідніх станах), формоутворююча ділянка першого різця формує залишковий гребінець. Внаслідок зносу першого різця його вершина зміщена відносно вихідного положення на відстані  $h_p^T, h_x^T$ , початок вектора - точка  $O$ , кінець - точка  $O^T$ .

У загальній системі координат  $XKY$  визначають профіль залишкового гребінця  $O^T, O^{1T}, A^T$ , який формується зношеним першим різцем, та знаходять положення вершини другого різця, що забезпечує найкраще перекривання остаточного гребінця після першого різця контуром формоутворюючої ділянки ріжучих кромок другого різця.

Для отримання мінімальної висоти нерівностей необхідно вершину одного із різців змістити на величину вектора  $\bar{R}^T$ , щоб забезпечити положення вищих точок профілів обох різців на одній лінії.

Схему формування вектора розузгодження та коригування положення першого різця відносно другого показано на рис. 121. Коригування може бути виконано послідовним зміщенням спочатку першого різця на величину вектора  $\bar{R}^T$  (рис. 120) в протилежному цьому вектору напрямі, а потім зміщенням другого різця вздовж осі  $X$  на величину вектора  $\bar{l}^T$  або  $-\bar{l}^T$ . Можна також виконати коригування одним

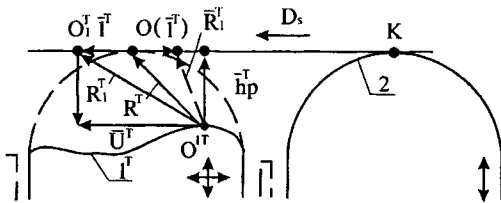


Рис. 121. Схema формування вектора розузгодження та коригування першого різця відносно другого.

загальним зміщенням одного із різців (наприклад, зміщенням першого різця) на величину сумарного вектора (рис. 121).

Описані напрями розвитку методу поділу подачі суттєво підвищують його ефективність.

Незалежно від вибраного методу деформування поверхні (розкачування або алмазного вигладжування), в будь-якому випадку виникає задача розрахунку та вибору радіуса деформуючого елемента. При цьому необхідно враховувати, що профіль обробленої різанням поверхні є сполученням похибок форми, хвилястості та шорсткості поверхні.

Задача тонкого пластичного деформування - зменшити шорсткість поверхні без зміни досягнутих тонким розточуванням похибок форми та хвилястості. Розв'язати дану задачу можна, вибираючи радіус деформуючого елемента меншим від радіуса кривизни хвилі на поверхні отвору після розточування, тобто за умови  $R < \rho$ .

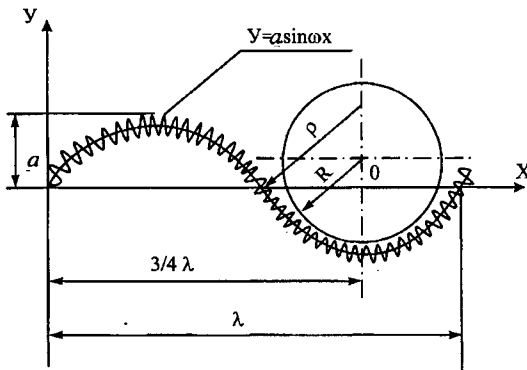


Рис. 122. Схема розрахунку геометрії інструмента для тонкого пластичного деформування поверхні.

Відомо, що головним фактором, який визначає хвилястість поверхні, є відношення частоти гармонічного відносного руху деталі та інструмента  $f_K$  до частоти обертання деталі або інструмента  $f_B$ . Причому утворення хвилястості в поздовжньому перерізі залежить від того, чи буде відношення  $f_K / f_B$  цілим або дробовим числом. Поздовжні хвилі виникають тільки при дробовому відношенні  $f_K / f_B$ . Тому дане відношення в розрахунках виражають як суму:

$$\frac{f_K}{f_B} = \psi \pm \psi'', \quad (123)$$

де  $\psi$  - ціле число;  $\psi''$  - дробова частина відношення.

Висота і довжина хвиль визначаються податливістю технологічної системи та елементами режиму різання.

Хвилястість поверхні в поздовжньому перерізі деталі (рис. 122) можна зобразити виразом

$$y = a \cdot \sin \omega x, \quad (124)$$

де  $a$  - амплітуда хвиль;  $\omega$  - частота хвиль.

При цьому радіус кривизни поздовжньої хвилі

$$|\rho| = \frac{(1 + \dot{y}^2)^{1,5}}{\ddot{y}}. \quad (125)$$

Підставляючи значення  $y$  з (124) до (125), отримуємо:

$$|\rho| = \frac{(1 + a^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos^2 ax)^{1,5}}{-a \cdot \omega^2 \cdot \sin ax}.$$

Найменше значення радіуса кривизни хвиль отримується при  $\cos ax = 0$ , отже

$$\rho = \frac{1}{a \cdot \omega^2}, \quad (126)$$

або, беручи до уваги, що  $\omega = 2\pi / \lambda$ , отримуємо

$$\rho = \frac{\lambda^2}{4\pi^2 \cdot a}, \quad (127)$$

де  $\lambda$  - довжина поздовжньої хвилі.

Таким чином, визначивши радіус кривизни поздовжньої хвилі  $\rho$  та видержуючи умову  $R < \rho$ , можна вибрати оптимальний радіус деформуючого елемента для зім'яття нерівностей в поздовжньому напрямі. Якщо дана умова не буде виконана, то не буде гарантовано контакт інструмента із западинами хвиль та шорсткість поверхні буде зменшено тільки на вершинах хвиль.

Якщо відношення частоти гармонічного відносного руху (коливання) деталі та інструмента до частоти обертання шпинделя виражається цілим числом, то колова хвиля після одного оберту замикається (враховуючи зміщення вздовж осі на величину оборотної подачі) і поздовжня хвиля в цьому випадку відсутня.

Радіус деформуючого елемента для зім'яття нерівностей колової хвилі отримується за умови  $R' < \rho'$  та визначається так:

$$R' < R_0 + \frac{a_{max} \cdot \left( a_{max} - 2 \cdot R_0 \cdot \cos \frac{3f_B}{2f_K} \right)}{2 \cdot \left[ a_{max} + R_0 \cdot \left( 1 - \cos \frac{3f_B}{2f_K} \right) \right]}, \quad (128)$$

де  $R_0$  - радіус геометрично правильного кола;  $a_{max}$  - максимальна амплітуда колової хвилі.

Внаслідок цього отримуються два значення радіуса деформуючого елемента  $R$  та  $R'$  для зім'яття нерівностей поздовжньої та колової

хвиль. Менший з цих двох радіусів гарантовано забезпечить зім'яття нерівностей як колової, так і поздовжньої хвилі.

При обробці отворів тонким пластичним деформуванням з поздовжньою подачею рівнодіюча всіх сил як і при обробці різанням розкладається на три складові: нормальну  $F_y$ , дотичну  $F_z$  та осьову  $F_x$ . Основною складовою, що створює необхідний тиск у зоні контакту деформуючого елемента та заготовки, є нормальна сила  $F_y$ .

Відповідно до поставленої задачі операції оптимальним буде зусилля  $F_y$ , за яким досягається зім'яття тільки шорсткості поверхні без зміни досягнутих попередньою обробкою параметрів точності форми та хвилястості поверхні.

Зусилля  $F_y$ , необхідне для зім'яття нерівностей попередньої обробки, може бути визначене таким чином:

$$\text{при алмазному вигладжуванні } F_y = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sigma_T \cdot K_m \cdot R_z^{eux}; \quad (129)$$

$$\text{при розкатуванні } F_y = 5,14 \cdot \pi \cdot R \cdot \sigma_T \cdot R_z^{eux}, \quad (130)$$

де  $R$  - радіус деформуючого елемента;  $\sigma_T$  - границя текучості оброблюваного матеріалу;  $R_z^{eux}$  - висота нерівностей вихідної поверхні;  $K_m$  - параметр, який враховує характер тертя деформуючого елемента та заготовки,

$$K_m = \frac{3\pi}{4} - \frac{\arccos 2f}{2} + \frac{\sqrt{1-4 \cdot f^2}}{2} + \frac{1}{2}, \quad (131)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя.

При обробці на обробно - розточних верстатах, коли деформуючий елемент обертається разом з розточною борштангою, необхідно також враховувати і відцентрові сили, які діють на деформуючий елемент. В цьому випадку сумарне нормальне зусилля, що діє на оброблювану поверхню, буде визначатися так:

$$F_y = F_H + F_u, \quad (132)$$

де  $F_H$  - зусилля, яке розвивається пружиною деформуючого інструмента (зусилля налагодження);  $F_u$  - відцентрова сила, яка діє на пружно закріплений деформуючий елемент.

Тоді

$$F_y = F_H + \frac{m \cdot V^2}{r_u}, \quad (133)$$

де  $m$  - маса деформуючого елемента;  $V$  - швидкість обробки, м/с;  $r_u$  -

радіус центру ваги деформуючого елемента.

Оскільки відцентрова сила  $F_u$  виникає при обертанні борштанги під час обробки незалежно від сили попереднього налагодження пружного елемента (пружини) деформуючого інструмента, налагодження цього елемента треба здійснювати не на розрахункову величину  $F_y$ , а на зусилля налагодження

$$F_H = F_y - F_u = F_y - \frac{m \cdot V^2}{r_u}. \quad (134)$$

Сполучення операцій тонкого розточування і тонкого пластичного деформування поверхні дозволяє не тільки підвищувати якість обробленої поверхні, але за певних умов дає змогу одночасно підвищувати й продуктивність обробки. Кращим варіантом сполучення вказаних операцій з точки зору продуктивності є такий, коли і різець, і деформуючий інструмент розташовуються діаметрально протилежно в одному отворі розточної борштанги. В цьому випадку необхідно, щоб вершина різця була зміщена за рахунок заточування на величину  $L$  для виключення дотикання сфери деформуючого інструмента з необробленою поверхнею.

Зміщення  $L$  може бути визначено таким чином:

$$L = R \cdot \sin \varphi - [R \cdot (1 - \cos \varphi)] - t_v \cdot \operatorname{ctg} \varphi + \frac{S}{2}, \quad (135)$$

де  $R$  - радіус деформуючого елемента;  $\varphi$  - головний кут різця в плані;  $t_v$  - глибина впровадження деформуючого елемента в оброблюваний матеріал.

При обробці на обробно - розточних верстатах деформуванню підлягають тільки гребінці нерівностей, тому можна вважати, що

$$t_v = R_z = \frac{S^2}{8 \cdot r}. \quad (136)$$

Оскільки величина  $S$  є однаковою для розточування та пластичного деформування, шорсткість розкатої (вигладженої) поверхні буде визначатися так:

$$R_{z\partial} = \frac{r}{R} \cdot R_{zp} \quad (137)$$

де  $R_{z\partial}$  - шорсткість поверхні після пластичного деформування;  $r$  - радіус заокруглення вершини різця;  $R$  - радіус деформуючого елемента;  $R_{zp}$  - шорсткість поверхні після розточування.

Із виразу (137) виходить, що висота нерівностей після обробки методами тонкого пластичного деформування значно залежить від вихідної шорсткості поверхні. Тому для досягнення мінімальної шорсткості процес тонкого розточування необхідно вести на невеликих подачах до (0,04 мм/об). У свою чергу зменшення подачі приводить до збільшення шляху різання, внаслідок чого збільшується розмірний знос інструмента та конусність розточених отворів. Отже, виходячи з умов підвищення точності при тонкому розточуванні, необхідно працювати в зоні збільшених подач.

З іншого боку, при обробці тиском, подача повинна бути меншою від діаметра відбитку деформуючого елемента на оброблюваній поверхні, інакше на ній запишуться необроблені ділянки. До цього ж слід врахувати, що найбільш плавно обробка тиском буде проходити в тому випадку, коли в контакті з деформуючим елементом знаходиться на відстані не менше трьох виступів нерівностей. Число виступів  $z$ , які знаходяться в контакті з деформуючим елементом

$$z = \frac{d_{eio}}{S}, \quad (138)$$

де  $d_{eio}$  - діаметр відбитка деформуючого елемента на оброблюваній поверхні при оптимальному зусиллі притиску.

Підставляючи у вираз (138) оптимальне число виступів нерівностей  $z = 3$  та експериментально отриманий діаметр відбитка для прийнятих значень діаметра деформуючого елемента та зусилля притиску, можна визначити оптимальну для даних умов подачу.

Внаслідок описаного зміщення операцій проявляється ефект одночасного досягнення високої точності обробки головних отворів в корпусних деталях за рахунок операції тонкого розточування, малої шорсткості поверхні, за рахунок її пластичного деформування та високої продуктивності, за рахунок концентрації вказаних операцій на одному верстаті. Одночасно знижується і собівартість обробки, оскільки відсутня додаткова обробна операція та відповідне верстатне обладнання.

#### **9.4.4. КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТІ РОЗМІРІВ ТА ВЗАЄМНОГО ПОЛОЖЕННЯ ОБРОБЛЮВАНИХ ПОВЕРХОНЬ У КОРПУСНИХ ДЕТАЛЯХ**

Точність розмірів, геометричної форми та взаємного розташування оброблюваних поверхонь в корпусних деталях контролюють за



допомогою рівней, лінійок, косинців, кінцевих мір, індикаторних пристроїв, шаблонів та універсальних вимірювальних пристроїв.

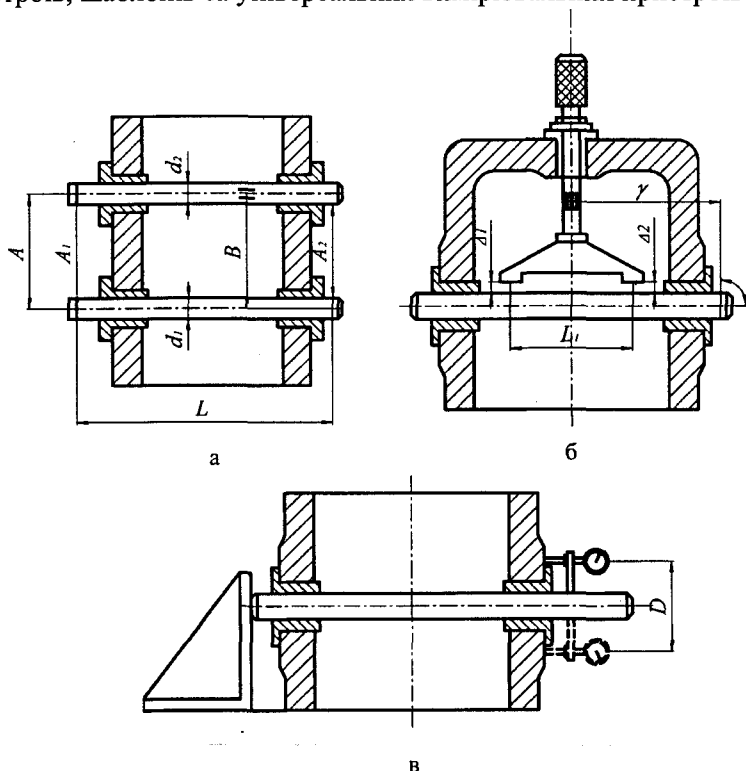


Рис. 123. Схеми контролю параметрів точності корпусної деталі: а-точність міжосьової відстані; б-перпендикулярності одного отвору до другого; в- перпендикулярності торцевої поверхні до отвору.

При виборі вимірювальних засобів необхідно враховувати вимоги до точності деталі та граматичні похибки вимірювальних приладів. Гранична похибка вимірювальних засобів не повинна перевищувати 10-20% допуску на контрольований параметр. Для визначення точності геометричної форми отвору (огранка, овальність) проводять вимірювання діаметральних розмірів у двох взаємно перпендикулярних напрямках:  $D_1$  і  $D_2$ ;  $D_1 = D_{max}$ ;  $D_2 = D_{min}$ .

Відхилення від круглості (овальність)  $\Delta_{кр} = (D_{max} - D_{min}) / 2$ .

Для визначення конусності вимірюють діаметри в двох перерізах, розташованих на відстані  $L$ . Знаходять конусність

$$\Delta_{\text{прод}} = (D_{\text{max}} - D_{\text{min}}) / L.$$

Точність міжцентрової відстані та паралельність осей отворів контролюють за двома контрольними оправками (рис. 123, а). Мікрометром або штангенциркулем вимірюють відстані між утворюючими двох контрольних оправок на базовій довжині  $L$ . Відхилення від паралельності одного отвору по відношенню до другого  $\Delta_{\beta} = (A_1 - A_2) / L$ .

Міжцентрова відстань  $A = 0,5 \cdot [(A_1 + A_2) + (d_1 + d_2)]$ .

Відхилення від перпендикулярності осі одного отвору до осі другого перевіряють за допомогою калібру та щупа. Фіксують два відхилення  $\Delta_1$  та  $\Delta_2$ , на базовій довжині  $L$  (рис. 123, б). Відхилення від перпендикулярності  $\Delta$ , визначають як відношення різниці  $(\Delta_1 - \Delta_2)$  базової довжини  $L_1$ . Відхилення від перпендикулярності торцевої площини до осі отвору перевіряють за допомогою індикатора, встановленого в спеціальній оправі (рис. 123, в). Відхилення від перпендикулярності торцевої площини до осі отвору оцінюють за різницею показів індикатора, віднесеною до базової довжини  $D$ .

#### Запитання для самостійного контролю

1. Обґрунтувати маршрут обробки деталі. Розмір **25H6**, заготовка - штамповка (**IT16**).
2. Визначити діаметральні технологічні розміри валів  $\varnothing$  **25H6**, **40H7**, **50H8** з використанням теорії графів (заготовка - штамповка **IT 15**).
3. Обґрунтувати маршрут обробки зубчастих коліс 3-го та 4-го ступенів точності.
4. Розробити технологію виготовлення зубчастих коліс 5-го а 6-го ступенів точності.
5. Провести розмірний аналіз технологічного процесу виготовлення зубчастого колеса з використанням теорії графів. Вихідні дані заготовки **IT16**. Ширина зубчастого вінця 20<sub>0,02</sub>.
6. Визначити похибку базування шатуна на операції свердління отворів. Розглянути два варіанти базування на пристосуванні з використанням двох призм.
7. Обґрунтувати найбільш раціональний спосіб базування корпусної деталі, яка має площину, центральний отвір та шість кріпильних отворів.
8. Розглянути спосіб поділу подачі при розточуванні отворів.

## ГЛАВА 10

### ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ

Технологічні задачі з точки зору системного підходу можливо поділити на два класи. Перший пов'язаний з оптимізацією структури, другий – з оптимізацією параметрів.

Задачі першого класу формулюються так:

1. Знайти оптимальне розміщення технологічних операцій за елементами технологічної системи при заданій послідовності виконання цих операцій.
2. Знайти оптимальну структуру технологічного процесу (маршруту), якщо задано закріплення операцій за обладнанням (елементами технологічної системи).
3. Серед деякої (кінцевої) множини варіантів розміщення операцій знайти оптимальне.
4. Серед деякої (кінцевої) множини варіантів технологічного процесу знайти оптимальне розміщення операцій.

Задачі другого класу:

1. Знайти оптимальні режими обробки для заданих характеристик обладнання, інструментів і технологічних вимог до деталі.
2. Знайти оптимальні умови здійснення процесу для заданих вимог до деталі і заданому процесу обробки.
3. Знайти оптимальний варіант технологічного процесу, який відповідає мінімальній собівартості обробки.

#### 10.1. ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ПРОЦЕСУ І СИСТЕМИ

Існують щонайменше дві задачі структурного синтезу і оптимізації структури при технологічному проектуванні.

Перша задача має місце при проектуванні “нового” технологічного процесу (маршруту) і “нового обладнання”.

Друга задача зустрічається в умовах існуючого виробництва, коли технологічний процес розробляється для діючого обладнання.

Вихідна інформація для цих задач задається двохмірною структурою поверхонь оброблюючого об'єкту.

На основі такого представлення із застосуванням правил відповідності і процедур трансляції формується матриця технологічних операцій. В ній кожна операція формально і фактично відповідає

представленій оброблюваній поверхні технологічного об'єкту. Далі матриця операцій представляється графом Феррі (нульовим графом). Цей граф відображає двохмірне поле операцій – кожна вершина графа відображає технологічну операцію.

Приклад:

$$\begin{array}{c}
 \left| \begin{array}{cccc}
 a_1 & b_1 & c_1 & d_1 \\
 a_2 & b_2 & c_2 & d_2 \\
 a_3 & b_3 & c_3 & d_3
 \end{array} \right| \rightarrow \left| \begin{array}{cccc}
 A_1 & B_1 & C_1 & D_1 \\
 A_2 & B_2 & C_2 & D_2 \\
 A_3 & B_3 & C_3 & D_3
 \end{array} \right| \rightarrow \left| \begin{array}{cccc}
 \otimes & \bullet & \bullet & \bullet \\
 \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\
 \bullet & \bullet & \bullet & \otimes
 \end{array} \right|
 \end{array}$$

Матриця поверхонь
Матриця операцій
Граф Феррі

Як відмічалось раніше (гл.5), масив операцій може формувати відповідну кількість маршрутів технологічних операцій згідно умови фіксування першої (початкової) і останньої (кінцевої) операцій (на графі позначені кружечками). Їх загальна кількість визначається формулою

$$M = \frac{(\sum x - 2)!}{(i_a - 1)! i_b! i_c (i_d - 1)!} = \frac{(12 - 2)!}{2!3!3!2!} = 252 \cdot 10^2.$$

Безумовно, така значна кількість варіантів може бути проаналізована за допомогою ЕОМ і процедур діалогового програмування. Для зменшення розмірності задачі рекомендується по методу декомпозиції розділити матрицю операцій на дві однакові і симетричні:

$$\left| \begin{array}{cc}
 \odot & \bullet \\
 \bullet & \bullet \\
 \bullet & \odot
 \end{array} \right| \quad \left| \begin{array}{cc}
 \bullet & \odot \\
 \bullet & \bullet \\
 \odot & \bullet
 \end{array} \right|$$

Тоді розмірність (кількість варіантів маршруту) значно зменшиться

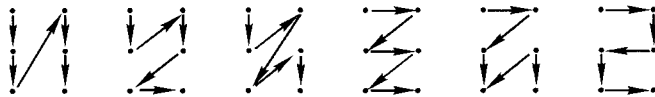
$$M_1 = M_2 = \frac{(\sum X - 2)!}{(i - 1)! (i - 1)!} = \frac{4!}{2!2!} = 6.$$

Загальна кількість варіантів  $M_1 \times M_2 = 6 \times 6 = 36$ .

Таким чином, декомпозиція масиву операцій зменшила розмірність варіантів технологічних маршрутів.

Розглянемо технологічний маршрут у вигляді орієнтованої графі Гамільтона. (В графі Гамільтона дуги проходять через кожен вершину один раз). Точки означають операції, а дуги-перехід від однієї операції до другої.

Розглянемо ці шість варіантів:

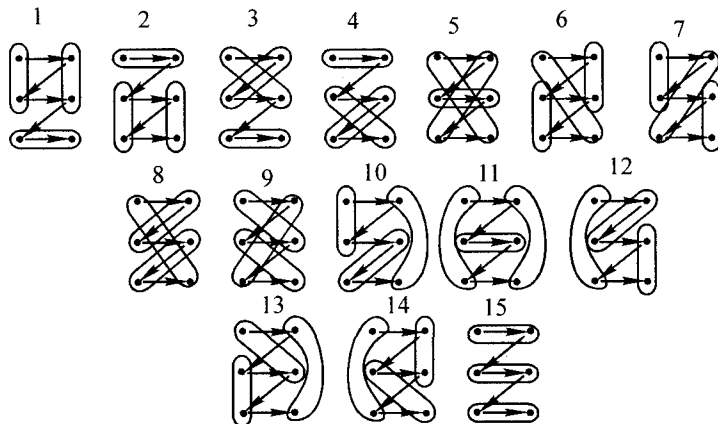


Із представлених варіантів вимогам традиційної технології (послідовність: чорнові - напівчистові - чистові операції ) більш відповідає четвертий.

Подальше процедура розробки (синтезу) системи вимагає застосування принципу розміщення операцій за елементами технологічної системи (тобто за верстатами). Припустимо, що на кожному верстаті виконуються по дві операції. Тоді способів розміщення операцій ( $\Sigma X=6$ ), по верстатах ( $n=3$ ) по  $k=2$  операцій

$$C = \frac{(\Sigma X)!}{n!(k!)^n} = \frac{6!}{3!(2!)^3} = 15.$$

Розглянемо їх, для чого поділимо поле графі технологічного маршруту межами на три верстата по дві операції в кожному



Для того щоб визначити оптимальне розміщення операцій потрібно, за критерій оптимальності прийняти кількість переходів (рухів) технологічного об'єкту (деталі) з верстата на верстат.

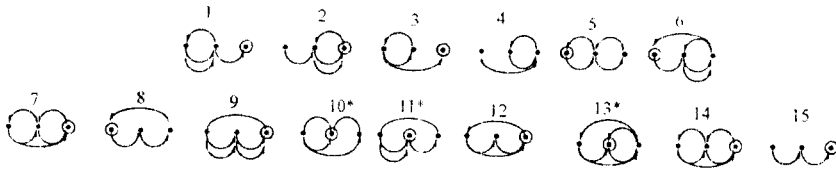
Природно, ця умова визначає мету оптимізації структури

$$\text{opt } H = (S-1) \rightarrow \min,$$

де  $H$  - кількість переходів об'єкту по елементах технологічної системи;  $S$  - кількість елементів (верстатів) технологічної системи.

На цьому етапі синтезу будемо для кожної структури орієнтований граф Ейлера, в якому кожній дузі відповідає тільки одна дія – один перехід. В цьому графі вершини – верстата, а дуги - переміщен-

ня деталі з верстата на верстат у відповідності з прийнятим маршрутом (послідовністю операцій).



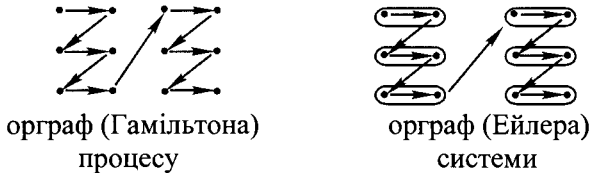
<i>N</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>H</i>	4	4	3	3	4	5	5	3	5	4	4	4	5	5	2

\* \* \* \* \*

Аналізуючи наведені схеми орієнтованих графів, можна зробити наступні висновки: - схеми 5, 6, 8, 10, 11, 13 (відзначенні зірочками) не відповідають вихідній умові, яка полягає у тому, що початок і кінець процесу не повинні бути на одному верстаті;

- схеми 3, 4-близькі до оптимальної;
- схема 15-оптимальна, так як  $H=2$ .

Зазначимо, що вихідна схема процесу була поділена на дві симетричні. Тому згадане перетворення і вибір поширюються і на другу її частину. Виконаємо композицію схем із двох частин і одержимо наступні рішення:



Перейдемо до структури системи в оперативному представленні:

$$S_1 = \langle A_1 B_1 \rangle; S_2 = \langle A_2 B_2 \rangle; S_3 = \langle A_3 B_3 \rangle;$$

$$S_4 = \langle C_1 D_1 \rangle; S_5 = \langle C_2 D_2 \rangle; S_6 = \langle C_3 D_3 \rangle.$$

Враховуючи те, що міжверстатний зв'язок реалізується лінійним транспортером  $\rho_\alpha$ , а верстати – агрегатні двосторонні (горизонтальні), одержимо наступні рішення:

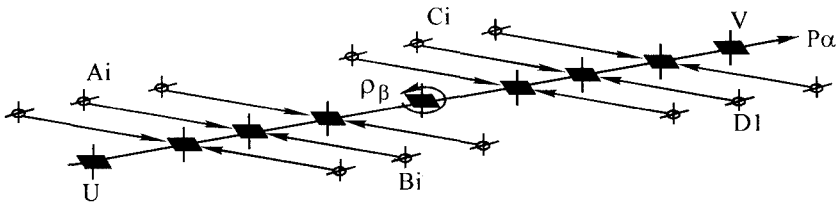


Схема з структурою  $Al$  з агрегатних верстатів із одним потоком умовно поділена оператором  $p_\beta$  (поворотнім столом) на дві частини  $S_1 \dots S_3$  і  $S_4 \dots S_6$ . В такій лінії переміщення оброблюваної деталі виконується без супутника.

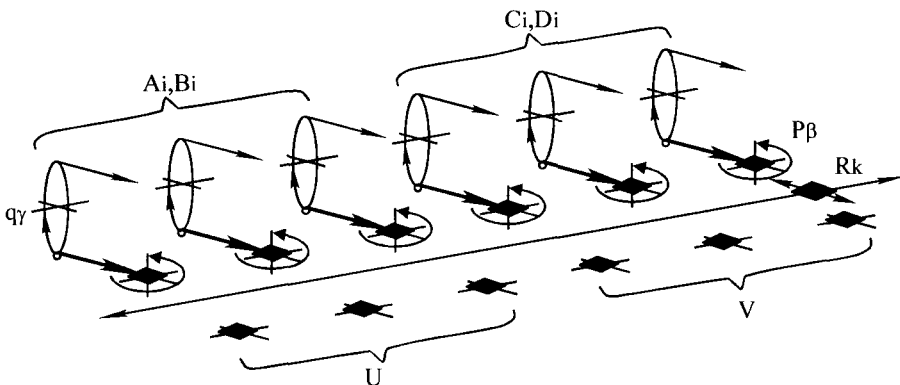
Алгоритм роботи  $Al$  слідує наступний:

$$Up_\alpha \circ (A_1 \circ B_1)p_\alpha \circ (A_2 \circ B_2)p_\alpha \circ (A_3 \circ B_3)p_\alpha \circ p_\beta p_\alpha \circ \\ \circ (C_1 \circ D_1)p_\alpha \circ (C_2 \circ D_2)p_\alpha \circ (C_3 \circ D_3)p_\alpha \circ V.$$

Характеристика системи (при  $1H \cong 1EB$ )

$$\pi_c=30; \tau_c=2; E=2; F=1; G=16; H=23.$$

Можливо розглянути схему з структурою РТК (робототехнічного комплексу), яка включає агрегатні верстати з револьверною головною, механізм транспортування: робот-кар (напільна теліжка). Поворот деталі виконується за рахунок повороту механізму верстата.



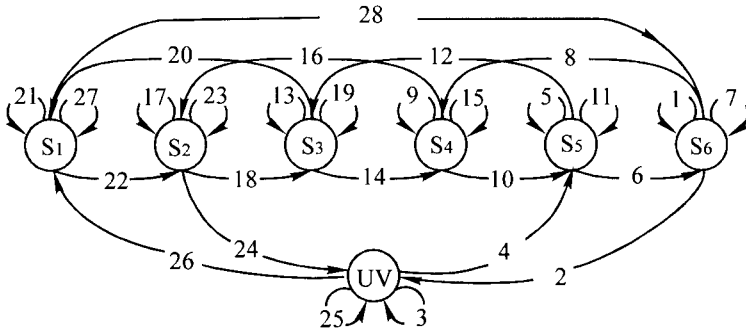
В цьому РТК робот-кар ( $Rk$ ) має одномісний ложемент, який дозволяє прийняти на себе одну деталь. Тому робота  $Rk$  починається з вивантаження останнього верстату  $S_6$ . Оброблені деталі надходять в магазин на позицію  $V_0$ . Після цього відбувається переміщення деталі з верстата  $S_5$  на верстат  $S_6$  і інше згідно алгоритму роботи  $Rk$ .

Характеристика РТК (при  $1H \approx 1EB$ )

$$\pi_c=2; \tau_c=28; E=12, (6+6); F=1; G=25; H=64 (36+28).$$

Перевіримо умови достатності часу роботи верстата

$$[\tau] = \tau_c - \tau_0 = 28 - 7 = 21EB.$$

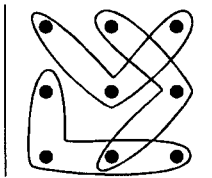


Алгоритм роботи верстата  $(A_1q_\gamma p_\beta B_1q_\gamma p_\beta)=6$ , час роботи (запас  $\tau=15EB$ ).

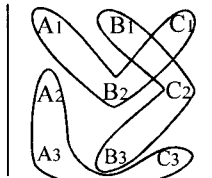
Розглянемо розв'язання другої задачі – проектування процесу на діючому обладнанні.

Формально цей випадок задається графом Феррі, розміченим на області, які відповідають розміщенню операцій в елементах ТС, тобто верстатах.

Приклад:



Граф Феррі



Матриця операцій

$$S_1 = \langle A_1 B_2 C_1 \rangle$$

$$S_2 = \langle B_1 C_2 B_3 \rangle$$

$$S_3 = \langle A_2 A_3 C_3 \rangle$$

Склад ТС

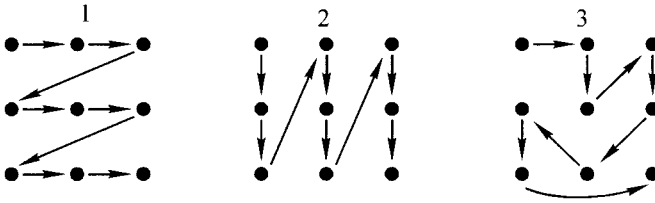
Розв'язок задачі полягає в знаходженні технологічного маршруту, на більш відповідаючому заданому розміщенню операцій.

Критерій оптимальності ( $H \rightarrow \min$ ) - кількість переміщень деталі між верстатами – повинен задовольняти раніше сформульовану вимогу (умови функції мети).

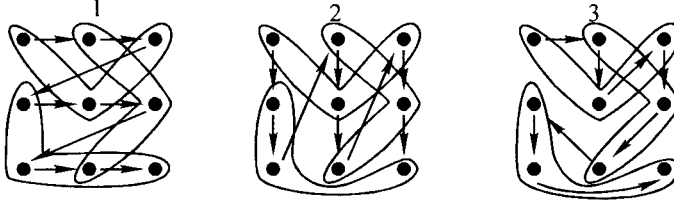
Рішення у певній мірі реалізує метод “проб і помилок”. Запропонований маршрут (орграф Гамільтона) накладають на матрицю Феррі, далі перетворюють у орграф Ейлера і перевіряють на умову оптимальності.

Типові маршрути:

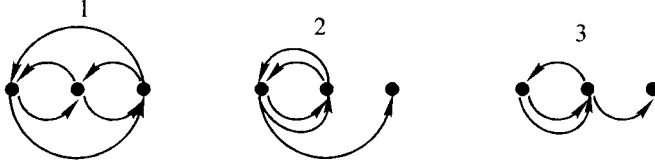




Сумісний оргграф:



Оргграф Ейлера:

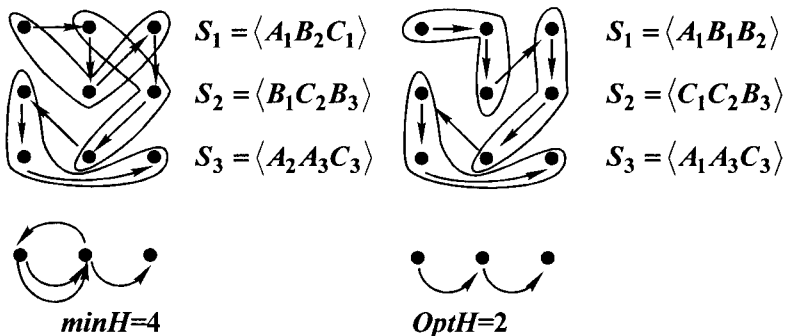


$N$	1	2	3
$H$	6	5	$4 = \min H \neq \text{opt} H$

Аналіз показує на відсутність оптимального рішення. Має рішення близьке до оптимального, яке є найменшим серед можливих. Для того щоб при такій постановці задачі одержати рішення, не проводячи повного перебору варіантів маршруту ( $M=210$ ), необхідно діяти за правилом: якщо дано закріплення (розміщення) операції в обладнанні, необхідно розглядати технологічні маршрути, які в максимальній мірі хоч би частинами, містились в прийнятних межах.

В даному прикладі в кожній області графу (виробничому) повинно послідовно виконуватись по три операції. Тут ця умова виконана тільки в верстаті  $S_3$  для схеми 3. Тому оптимальним ніякий маршрут при даному розміщенні операцій бути не може.

Для приведення мінімальної структури до оптимальної необхідно виконати перестановку операцій між першим і другим верстатами. Її можливо виконати тільки одним способом (покажемо цю можливість оргграфом)

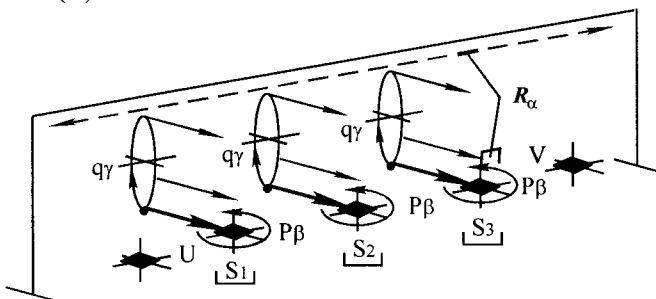


Як видно, при перестановці тільки однієї операції верстата  $S_1$  і однієї операції верстата  $S_2$  приходимо до оптимальної технологічної системи. На практиці така перестановка називається модернізацією технологічного процесу.

Структура технологічної системи, яка відповідає схемі орграфа 4 в операторному представленні, є:

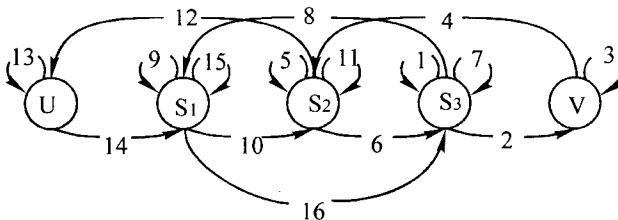
$$S_1 = \langle A_1 B_1 B_2 \rangle; S_2 = \langle C_1 C_2 B_3 \rangle; S_3 = \langle A_2 B_3 C_3 \rangle.$$

Синтезуюча структурна схема відповідності до постановленої задачі представляє собою РТК, який складається з трьох верстатів ( $S=3$ ), транспортного робота ( $R_\alpha$ ), магазину заготовок ( $U$ ) і оброблених деталей ( $V$ ).



В цьому РТК застосовуються підвісний лінійний транспортер, який виконує переміщення деталі до верстатів згідно технологічного процесу, повертаючи до першого і другого верстатів у відповідності орграфа схеми 3.

Алгоритм роботи промислового робота  $R_\alpha$  слідуючий



Характеристика РТК (при  $1H \approx 1EB$ )

$$\pi_c=3,8; \tau_c=16; E=5(3+2); F=1; G=15; H=43(16+27).$$

При цьому допустимий час роботи:

$$[\tau_s]=\tau_c-\tau_0s=16-7=9EB \text{ при } 1H \approx 1EB;$$

$$S_1=A_1qpB_1qB_2qp; \tau_1=\tau(A_1qpB_1qB_2qp)=8EB;$$

$$S_2=C_1qC_2qpB_3qp; \tau_2=\tau(C_1qC_2qpB_3qp)=8EB;$$

$$S_3=A_2qA_1qpC_3qp; \tau_3=\tau(A_2qA_1qpC_3qp)=8EB.$$

При умові, що технологічний час кожного верстата складає  $8EB$ , робимо висновок:  $S$  має запас  $1EB$ .

## 10.2. ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РІЗАННЯ

Оптимізація параметрів обробки визначається знанням фізичних і техніко – економічних залежностей, пов'язаних окремі фактори, які мають місце в процесі різання. На практиці застосовують часткову оптимізацію з урахуванням тільки деяких оптимальних факторів. Знання решти факторів передбачається.

Основні види часткової оптимізації параметрів різання:

- 1) однокритеріальна (критерій – мінімальна одинична вартість);
- 2) двокритеріальна (критерії - мінімальна одинична вартість і необхідна шорсткість поверхні);
- 3) трьохкритеріальна (критерії - мінімальна одинична вартість, необхідна шорсткість поверхні і точність розмірів).

Існують і деякі різновиди методів оптимізації.

Основою оптимізації умов обробки є встановлені технічні обмеження в виді рівнянь. При обробці різанням необхідні наступні залежності – обмеження.

Обмеження 1. Зв'язок між стійкістю інструмента, його конструкцією і матеріалом ріжучої частини, глибиною різання, подачею, механічними властивостями оброблюючого матеріалу, з однієї сторони, і максимально можливою швидкістю різання, з другої сторони, визна-

часться формулою

$$V = \frac{C_V \cdot d^{z_v} \cdot K_V}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v} \cdot Z^{n_v} \cdot B^{r_v}} \quad (140)$$

або, з урахуванням  $V = \pi d n / 1000$

$$n S^{y_v} = 318 C_V \cdot d^{z_v-1} K_V \cdot (T^m t^{x_v} Z^{n_v} B^{r_v})^{-1}, \quad (141)$$

$V$  - швидкість різання, м/хв.;  $C_V$  - коефіцієнт швидкості різання, який характеризує нормативні умови обробки;  $d$  - діаметр оброблюваної поверхні чи діаметр інструмента, м;  $K_V$  - сумарний коригуючий коефіцієнт на швидкість різання, який враховує різницю з нормативними умовами обробки;  $T$  - стійкість інструмента, хв;  $t$  - глибина різання, мм;  $S$  - подача (мм/об; мм/зуб; мм/подвійний крок; мм/хв);  $Z$  - кількість ріжучих кромки;  $B$  - ширина різання, мм;  $n$  - частота обертання, об/хв;  $m$  - показник степеня стійкості інструмента;  $x_v, y_v, z_v, n_v, r_v$  - показники степенів відповідно глибини різання, подачі, діаметру інструменту, кількості ріжучих кромки, ширини різання.

Залежність (141) показує, що частота обертання  $n$  і подача  $S$  для заданих умов (стійкості інструменту, матеріалу тощо) не повинна перевищувати значень, визначених нерівністю  $n S^{y_v} \leq B_1$ , де  $B_1$  - права частина загальної залежності.

З метою встановлення лінійних залежностей, необхідних для розв'язку задачі на основі лінійного програмування, логарифмують функції, визначаючи обмеження.

Позначимо:  $\ln n = x_1$ ;  $\ln(100S) = x_2$ ;  $\ln B_1 = b_1$ . Тоді рівняння, яке визначає перше обмеження, буде мати вигляд

$$x_1 + y_1 x_2 \leq b_1. \quad (142)$$

Обмеження 2. Зв'язок між потужністю різання  $N_{ef}$  і потужністю головного приводу верстата  $N_z$  виражається формулою

$$N_{z\phi} \leq N_{z\eta}. \quad (143)$$

Ця залежність також може бути виражена рівнянням обмеження, яке має вигляд:

$$n_2 x_1 + y_2 x_2 \leq b_2. \quad (144)$$

Розрахункова швидкість різання, подача і задана продуктивність верстата пов'язані рівнянням – обмеженням.

Обмеження 3. Це обмеження встановлює зв'язок між розрахунковою швидкістю обертання при різанні і найменшою частотою обертання, виходячи з кінематики верстата. Природно, розрахункова частота обертання шпинделя  $n = n_{розр}$  не повинна бути меншою мінімаль-

ної частоти  $n_{cmr\ min}$ , визначеної кінематикою верстата. Так як  $\ln n = x_1$ , а  $\ln n_{cmr\ min} = b_4$ , то рівняння – обмеження приймає вигляд

$$x_1 \geq b_3. \quad (145)$$

Обмеження 4. Встановлення зв'язку між розрахунковою частотою обертання при різанні і максимальною частотою обертання, виходячи з кінематики верстата, приводить до рівняння

$$x_1 \leq b_4. \quad (147)$$

Тобто  $n_{розр} \leq n_{cm\ max}$ .

Обмеження 5. Зв'язок між розрахунковою подачею  $S$  і мінімальною подачею  $S_{cmr\ min}$ , допустимою кінематикою верстата, може бути одержаний з нерівності  $S \geq S_{cmr\ min}$ :

$$x_2 \geq b_5, \quad (148)$$

де  $b_{11} = \ln S_{cmr\ min}$ .

Обмеження 6. Зв'язок між розрахунковою подачею і максимальною подачею  $S_{cmr\ max}$ , допустимою кінематикою верстата, встановлюється залежністю  $S \leq S_{cmr\ max}$ , тобто

$$x_2 \leq b_6. \quad (149)$$

Обмеження 7. Розрахункова швидкість різання  $V$  і подача  $S$ , допустимі за умови міцності інструмента, пов'язані рівнянням

$$n_7 x_1 + y_7 x_2 \leq b_7. \quad (150)$$

Обмеження 8. Зв'язок між розрахунковими величинами  $V$  і  $S$ , допустимими за умови жорсткості інструмента, встановлюється рівнянням

$$n_8 x_1 + y_8 x_2 \leq b_8. \quad (151)$$

Обмеження 9. Розрахункові параметри  $V$ ,  $S$  і точність обробки, допустимі жорсткістю оброблюваної деталі і способом її закріплення, пов'язані залежністю

$$n_9 x_1 + y_9 x_2 \leq b_9. \quad (152)$$

Обмеження 10. Зв'язок між розрахунковою подачею і подачею, допустимою за умови одержання заданої шорсткості поверхні, визначається залежністю  $S \leq \sqrt[uz]{R_z r / 125}$ , де  $R_z$  – допустима (задана) шорсткість;  $r$  – радіус закруглення вершини ріжучої кромки інструмента.

Тоді рівняння обмеження набуває вигляд

$$x_2 \leq b_{10}. \quad (153)$$

Одержані нерівності визначають математичну модель процесу різання металу на металорізальному верстаті. Система нерівностей  $A$  характеризує основні обмеження обробки

$$A \begin{cases} x_1 + y_1 x_2 \leq b_1; \\ n_2 x_1 + y_2 x_2 \leq b_2; \\ x_1 \geq b_3; \\ \dots\dots\dots \\ n_9 x_1 + y_9 x_2 \leq b_9; \\ x_2 \leq b_{10}. \end{cases} \quad (154)$$

Математична модель вимагає встановлення функції мети. В даному випадку функцію мети можна записати у вигляді

$$f_0 = x_1 \cdot x_2 = \max. \quad (155)$$

При обробці з встановленою економічною стійкістю інструмента параметри процесу різання будуть оптимальними: час обробки – мінімальний, а об'єм знятого металу ( $A = V \cdot S \cdot t$ ) – максимальний.

Так як час обробки зворотно пропорційний добутку подачі і швидкості різання (чи частоті обертання), він буде мінімальним, коли добуток  $S \cdot V$  (чи  $S \cdot n$ ) максимальний. При заданій глибині різання продуктивність обробки буде найбільшою.

Приклад. Розробити математичну модель процесу різання і визначити оптимальні режими різання при точінні заготовки  $\varnothing=100\text{мм}$ ,  $L=700\text{мм}$ , матеріал – сталь 45, необхідна шорсткість  $R_z=40\text{мкм}$ , глибина різання  $t=2,5\text{мм}$ .

Рішення. Враховуючи розміри заготовки, для обробки приймають токарно – гвинторізний верстат з числовим програмним керуванням 16K20Ф3. Точіння виконують прохідним різцем з ріжучою пластиною T15K6 з охолодженням. Розміри державки різця приймають  $B=12\text{мм}$ ,  $H=16\text{мм}$ , виліт різця  $l_{op}=50\text{мм}$ . Визначимо найбільш важливі обмеження.

Обмеження 1. Ріжучі можливості інструменту, обумовлені його періодом стійкості. Згідно залежності (140) знаходимо значення періоду стійкості інструмента і коефіцієнтів, які входять в рівняння для  $V$ :

$$T = 60 \text{ хв}, \quad C_V = 350, \quad x_V = 0,15, \quad y_V = 0,35, \quad m = 0,2$$

$$K_V = K_{MV} \cdot K_{nV} \cdot K_{\varphi_1 V} \cdot K_{rV} \cdot K_{qV} \cdot K_0^V = 1,44,$$

$$nS^{0,35} \leq \frac{318 \cdot 350}{100 \cdot 60^{0,2} \cdot 2,5^{0,15}} 1,44; \quad nS^{0,35} \leq 613,95.$$

Наведені нерівності прологарифмуємо і введемо нові позначення

$$x_1 + 0,35x_2 \leq b_1; \quad b_1 = \ln(613,95 \cdot 100^{0,35}) = 8,03.$$

Обмеження 2. Потужність електродвигуна головного приводу

верстата. Це обмеження визначається умовою  $N_{ef} \leq N\eta$ , де  $N$  - потужність електродвигуна головного приводу верстата, кВт;  $\eta$  - коефіцієнт корисної дії кінематичного ланцюга від електродвигуна до інструмента.

Ефективна потужність (кВт), витрачувана на процес різання,

$$N_{ef} = \frac{P_z \cdot V}{102 \cdot 60},$$

де  $P_z$  - сила різання, яка визначається залежністю

$$P_z = C_{Pz} \cdot t^{x_{Pz}} \cdot S^{y_{Pz}} \cdot V^{n_{Pz}} \cdot K_p.$$

З урахуванням цих залежностей одержимо нерівність для другого технічного обмеження

$$n^{n_{Pz}+1} S^{y_{Pz}} \leq \frac{6120(10^3)^{n_{Pz}+1} N\eta}{C_{Pz} t^{x_{Pz}} D^{n_{Pz}+1} \pi^{n_{Pz}+1} K_p}.$$

Значення коефіцієнтів для наведеного прикладу:

$$C_{Pz} = 300; x_{Pz} = 1,0; y_{Pz} = 0,75; n_{Pz} = -0,15;$$

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 1,05.$$

Потужність електродвигуна для верстата 16К20ФВ  $N=10$ кВт,  $\eta = 0,85$ . Тоді

$$n^{0,85} \cdot S^{0,75} \leq \frac{6120(10^3)^{0,85} 10 \cdot 0,85}{300 \cdot 2,5^{1,0} \cdot 100^{0,85} \cdot \pi^{0,85} \cdot 1,05} \leq 177,1.$$

Після приведення до лінійної форми і введення нових позначень, маємо

$$0,85x_1 + 0,75x_2 \leq b_2; \text{ де } b_2 = \ln(177,1 \cdot 100^{0,75}) = 8,63.$$

Обмеження 3. Найменш допустима швидкість різання, обумовлена кінематикою верстата.

Для частоти обертання шпинделя верстата  $n$  це обмеження має вигляд  $n \geq n_{cm.min}$ .

Для верстата 16К20Ф3  $n_{cm.min.}=12,5$  1/хв. Тоді  $x_1 \geq b_3$ , де  $b_3 = \ln 12,5 = 2,52$ .

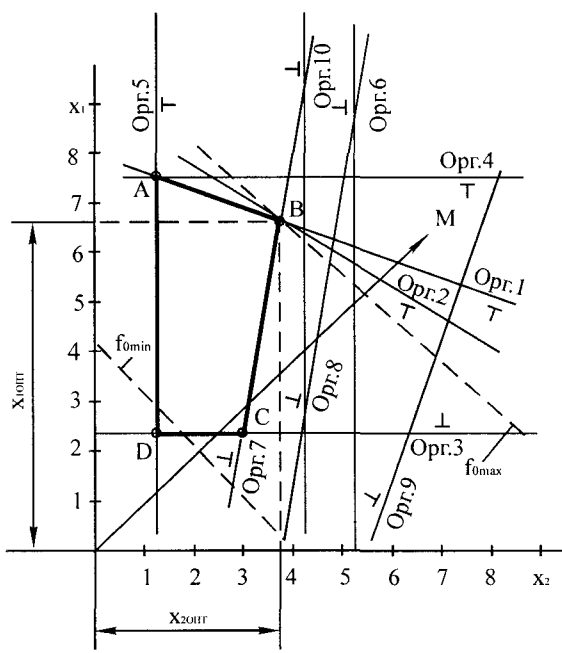
Обмеження 4. Найбільш допустима швидкість різання, обумовлена кінематикою верстата. Для частоти обертання шпинделя верстата це обмеження має вигляд  $n \leq n_{cm.max}$ . Для верстата 16К20Ф3  $n_{cm.max.}=2000$  1/хв. Тоді  $x_1 \leq b_4$ , де  $b_4 = \ln 2000 = 7,6$ .

Аналогічно одержані в лінійній формі наступні обмеження: 5-по найменший подачі; обмеження 6-по найбільшій подачі; обмеження 7-

по міцності ріжучого інструмента; обмеження 8-по жорсткості ріжучого інструмента; обмеження 9-по жорсткості заготовки; обмеження 10-по заданій шорсткості поверхні. Обмеження 1-10 складають математичну модель процесу різання в аналітичній формі. Крім технічних обмежень, представлених системою нерівностей, в склад моделі входить оціночна функція мети:

$$A \left\{ \begin{array}{l} x_1 + 0,35x_2 \leq 8,03; \\ 0,85x_1 + 0,75x_2 \leq 8,63; \\ x_1 \dots \dots \dots \geq 2,52; \\ x_1 \dots \dots \dots \leq 7,6; \\ \quad \quad \quad x_2 \geq 1,61; \\ \quad \quad \quad x_2 \leq 5,63; \\ -0,15x_1 + 0,75x_2 \leq 1,81; \\ -0,15x_1 + 0,75x_2 \leq 2,84; \\ -0,3x_1 + 0,6x_2 \leq 3,34; \\ \quad \quad \quad x_2 \leq 4,09. \end{array} \right.$$

$$f_0 = (x_1 \cdot x_2) \max$$



Встановити оптимальні значення  $x_{1opt}$  і  $x_{2opt}$  можна з застосуванням числових методів лінійного програмування чи графічних методів. Кожне технічне обмеження представляється граничною прямою, де можливо існування рішень системи нерівностей. Прямі, скресуючись, складають багатокутник рішень АВСД (рис.124), в якому будь яка фіксована точка задовольняє всім без винятку нерівностям. Для визначення оптимальних значень  $x_{1opt}$  і  $x_{2opt}$  під

Рис.124. Графічне представлення математичної моделі визначення оптимальних режимів різання



кутом  $45^\circ$  до осей  $x_1$  і  $x_2$  будується вектор максімізації  $M$  для функції  $f_0 = x_1 + x_2$ , яка зображується прямою (штрихова лінія), перпендикулярною цьому вектору. В точці  $D$ , де пряма функція мети дотикається багатокутника рішень, функція приймає мінімальне значення  $f_0 \min$ , а в точці  $B$  - максимальне  $f_0 \max$ .

Координати цієї точки є оптимальними значеннями  $x_{1onm}$  і  $x_{2onm}$ , вони визначаються графічно (рис.124) з урахуванням прийнятого масштабу  $x_{1onm} = 6,5$  і  $x_{2onm} = 3,8$ .

Числові значення оптимального режиму різання визначаються з слідуючих залежностей

$$n_{onm} = e^{x_{1onm}} = e^{6,5} = 665 \text{ хв}^{-1},$$

$$S_{onm} = \frac{1}{100} e^{x_{2onm}} = \frac{1}{100} e^{3,8} = 0,447 \text{ мм/об.}$$

На верстаті:  $n = 660 \text{ хв}^{-1}$ ;  $S = 0,5 \text{ мм/об.}$

#### Зпитання для самостійного контролю:

1. Область застосування лінійного програмування в технології.
2. Чим відрізняється оптимізація токарної обробки від фрезерної?
3. Що собою представляє оргграф Ейлера?
4. Як представляють технологічний маршрут в виді оргграфа?

## ГЛАВА 11

### МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРОБКИ ІНТЕГРОВаниХ І ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

До даного розділу головна увага приділялась питанням автоматизації і технології виробництва. В цьому розділі розглядається методологія автоматизації підготовчої і виконавчої фаз виробничого процесу, виходячи з умови забезпечення органічної єдності цих фаз на основі комп'ютерних технологій і технологічного менеджменту – єдиного об'єднуючого процесу управління [61].

#### 11.1. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ НОВОГО ПІДХОДУ ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ

Традиційний поділ виробничого процесу на підготовчу і виконавчу фази в умовах гнучкого автоматизованого виробництва має характерні ознаки, пов'язані з інтеграцією цих фаз в єдиний виробничий процес. В цих умовах технологічна підготовка виробництва відрізняється від традиційної, так як гнучке технологічне обладнання має більш широкі технологічні можливості і дозволяє оброблювати значну номенклатуру деталей. Завдання підготовчого етапу, яке пов'язане з проектуванням, вибором та виготовленням засобів технологічного оснащення, замінюється в цьому разі розробленим алгоритмом функціонування діючих засобів оснащення. Ефект від такої заміни приблизно дорівнює ефекту, який дає, наприклад, групова наладка верстата з числовим програмним управлінням при обробці конкретної деталі з групи деталей, на яку розрахована наладка. Крім цього, гнучкість виробничого процесу дозволяє реалізувати так зване ситуаційне керування цим процесом (коли маршрут обробки невідомий), тобто не тільки з урахуванням виробничих умов, а й виробничої ситуації. В умовах гнучкого виробництва задача зводиться до алгоритму функціонування технологічної системи, її наладки на наступну роботу і виконання цієї роботи.

При цьому підготовча фаза закінчується складанням управляючої програми і наладкою обладнання, а виконавча – реалізацією управляючої програми і регулюванням параметрів стану функціонування технологічної системи. Таким чином, є можливість сформулювати слідуєчи технологічні передумови для нового підходу до авто-

матизації:

- технологічний процес; розроблений з урахуванням всіх елементарних переміщень робочого органу технологічної системи представляє собою основу алгоритму функціонування цієї системи;
- управління технологічною системою на етапі обробки представляє собою процес підтримки параметрів стану, а також вхідних і вихідних параметрів цієї технологічної системи на заданому рівні у відповідності з запропонованим алгоритмом функціонування;
- в залежності від ступеня підготовки алгоритм функціонування може бути маршрутним (відповідає маршрутному технологічному процесу) чи операційним (відповідає операційному технологічному процесу);
- алгоритм функціонування розробляється на підготовчій фазі виробництва на основі інформаційних моделей елементарних технологічних операцій і переходів з урахуванням базування заготовки і правил вибору засобів технологічного оснащення. Прикладом інформаційної моделі елементарних технологічних операцій може бути, слідуюча таблична модель

Номер етапу	Вид обробки	Точність обробки (квалітет)	Шорсткість поверхні, мкм
1	Чорнова лезвійна	11-12	$40 < R_a < 80$
2	Напівчистова лезвійна	9-11	$2,5 < R_a < 20$
3	Чистова лезвійна	7-8	$0,32 < R_a < 2,5$
4	Фінішна абразивна	6-7	$0,16 < R_a < 0,32$

- розроблений алгоритм функціонування в умовах гнучкого виробництва представляє собою не більш ніж початковий (попередній) план дії, який конкретизується на етапі функціонування технологічної системи (виконавчій фазі). Ця конкретизація може мати слідуючи можливі форми: 1) уточнюються параметри технологічного процесу на основі контролю, діагностики чи “самонавчання” технологічної системи при незмінній структурі технологічного процесу; 2) уточнюються структура і параметри технологічного процесу, наприклад, при застосуванні одного з альтернативних маршрутів обробки. У першому випадку уточнення параметрів може бути викликано, наприклад, необхідністю врахування індивідуальних особливостей елементів технологічної системи

(жорсткості верстата, похибки – пристосування, ріжучих властивостей інструмента, параметрів оброблюваної деталі). При цьому уточнення параметрів може здійснюватися, наприклад, шляхом додавання (з урахуванням знаку) відповідних приростів до абсолютних значень їх величин, одержаних на підготовчому етапі.

У другому випадку – корекція алгоритму функціонування може бути обумовлена, наприклад, перевантаженням чи виходом з строю відповідної одиниці технологічного обладнання.

Аналіз існуючої літератури по розробленню гнучких і інтегрованих виробничих систем показує, що в ній розглядаються або часткові технічні питання автоматизації, або проблеми календарного планування і оперативного керування процесом виробництва. Однак відсутня література по методології розроблення систем автоматизації проектування і виробництва зокрема, інтегрованих виробничих і технологічних систем, які в іноземній літературі одержали назву **Integrated Manufacturing Systems**.

Тому ціль даного розділу-дати повну характеристику нової методології автоматизації для умов малолюдного і безлюдного виробництва.

## 11.2. ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕТАПІВ ПІДГОТОВКИ І ФУНКЦІОНУВАННЯ ГНУЧКОГО ВИРОБНИЦТВА

Загальновідомий умовний поділ виробничого процесу на підготовчу і виконавчу фази (рис.125), які розглядаються як два незалежних напрямки робіт.

Поява і швидкий розвиток комп'ютерних технологій сприяв зближенню і взаємопроникненню цих фаз виробництва, інтегруванню їх в єдину систему.

В ході підготовчої фази (етап технологічної підготовки виробництва) розглядається маршрутний чи операційний технологічний процес, на основі якого формують алгоритм функціонування технологічної системи. Вибір будь яких технологічних рішень на цьому етапі має властивість зворотності в тому розумінні, що завжди є можливість повернутися на будь який попередній етап прийняття рішень і змінити раніше одержаний алгоритм функціонування шляхом заміщення якогось попереднього рішення чи сукупності попередніх рішень. Отже, процес прийняття рішень на підготовчому етапі

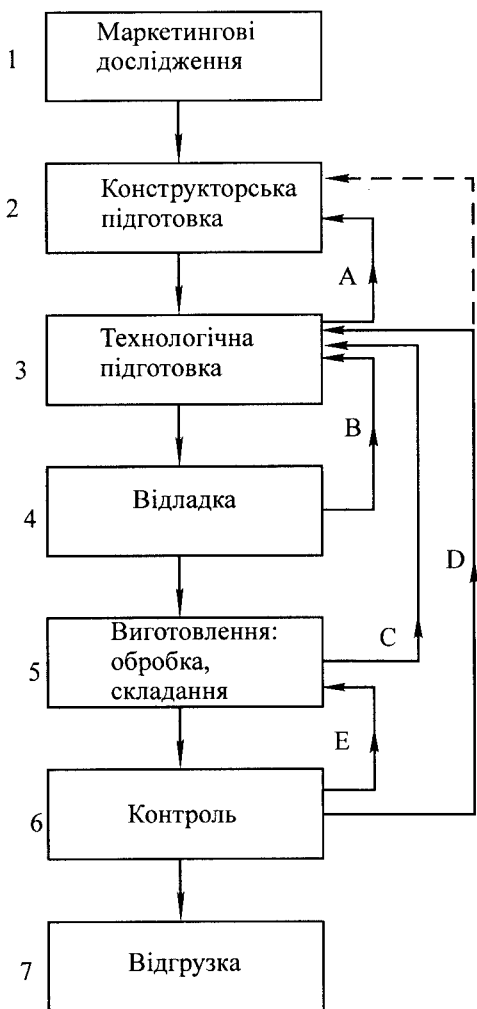


Рис.125. Схема виробничого процесу в машинобудуванні.

можливо рахувати успішно виконаним і рухатись далі. В протилежному випадку необхідно ще раз повернутися до попереднього рішення і внести відповідну корекцію.

Зовсім інакше необхідно поступити на етапі функціонування технологічної системи.

Потрібно безперервно слідкувати за формуванням точності за-

виробництва є рекурентним і рекурсивним і виконується по інтеграційній процедурі. В той же час на виконавчій фазі вибір будь яких рішень має властивість зворотності в тому розумінні, що всі попередні дії закінчені і не можливо змінити прийняті і реалізовані рішення. Пояснимо це прикладом. Припустимо, що замикаюча ланка (конструкторський розмір) технологічного розмірного ланцюга на етапі формування алгоритму функціонування технологічної системи не задовільняє допуску, прийнятому конструктором. В цьому випадку технолог чи програміст – проектувальник може замінити попереднє рішення, наприклад, додаючи ще одну технологічну операцію (перехід). Якщо в цьому випадку замикаюча ланка розмірного ланцюга одержує необхідну точність, то відповідний етап технологічного проектування мо-

микаючої ланки на основі застосування, наприклад, системи автоматизованого контролю чи діагностики технологічних операцій, щоб не допустити появи браку.

Розглянуті вище особливості підготовчої і виконавчої фаз виробничого процесу дозволяють сформулювати наступні висновки:

1. Розроблення алгоритму функціонування технологічної системи на підготовчій фазі виробництва є необхідною, однак не достатньою умовою забезпечення заданих показників якостей виробів на виконавчій фазі (на підготовчій фазі не враховуються, наприклад, фактична жорсткість верстата чи індивідуальні особливості оброблюваної деталі).
2. Наявність автоматизованого контролю, діагностики і управління на виконавчій фазі дозволяє контролювати правильність розроблення алгоритму функціонування технологічної системи і вносити відповідну корекцію в цей алгоритм.
3. Відомі два методи забезпечення точності обробки – пробних проходів – промірювань і автоматичного одержання розміру – для гнучкого виробництва необхідно доповнити методом автоматичного регулювання розміру і других показників якості виробів при обробці, наприклад, на основі діагностики технологічних операцій і корекції режимів різання.

Підводячи підсумки, слід зазначити, що для умов гнучкого виробництва необхідно (для забезпечення ефективності цього виробництва) інтегрувати підготовчу і виконавчу фази виробничого процесу в єдиний процес управління, який охоплює також задачі календарного планування і диспетчерування. Єдність процесу управління на різних фазах виробництва (підготовчої і виконавчої) забезпечується комп'ютерними технологіями прийняття рішень, в яких враховуються не тільки виробничі умови, а й виробнича ситуація. В цьому зв'язку схема виробничого процесу для умов гнучкого виробництва по структурі і зв'язках відповідає блок-схемі комп'ютерної програми рішення задачі, яка має вбудовані цикли (підпрограми) і зворотні зв'язки (загальні і місцеві).

Наприклад, на рис.125 показані наступні зворотні зв'язки: А - визначення конструкції виробу на технологічність; В,С - корекція алгоритму функціонування технологічної системи по результатах, відповідно, відладки і виконання технологічного процесу; Д,Е - корекції, які виконуються на етапах розроблення і виконання технологічного процесу, відповідно.

### 11.3. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ УМОВ МАЛОЛЮДНОГО І БЕЗЛЮДНОГО ВИРОБНИЦТВА

Головною особливістю гнучкого виробництва є його малолюдний і безлюдний характер, що веде до появи додаткових вимог до розроблення технологічних процесів і їх виконання.

Назвемо деякі із цих вимог.

1. Інтегрована система автоматизації проектування і виробництва повинна бути інтелектуальною, тобто системою, володіючою – здатністю до виживання.
2. Люба дія в інтелектуальній системі повинна бути наслідком керування (прийняття рішення) і направлена на зменшення ентропії в системі (під ентропією розуміється міра неупорядкованості об'єкта).

Наслідок 1. Дія, яка не є наслідком керування в інтелектуальній системі, беззмістовна.

Наслідок 2. Дія, яка не є наслідком невірного (помилкового) керування (прийняття рішення), помилкова.

3. Помилкова чи беззмістовна дія в інтелектуальній системі повинна визивати появу інформації і нових рішень, направлених на ліквідування негативних наслідків цієї дії.
4. Всяка дія в інтелектуальній системі створює нову інформацію про об'єкт (на двох фазах виробництва), яка повинна застосовуватись для керування цим об'єктом, тобто для зменшення ентропії в системі.
5. На етапі підготовки виробництва всяка дія, наприклад, технологічний перехід, має характер передбачуваного технологічного рішення. Сукупність послідовних рішень, прийнятих на цьому етапі, представляє собою план, який з точки зору оптимізації всієї інтегрованої системи може бути повністю або частково вірним. Неоптимальність плану може бути скорегована на етапі його виконання шляхом зміни рішень раніше прийнятих з урахуванням виробничої ситуації.
6. Помилки плану або в діях по його корекції на етапі виробництва викликає відхилення показників якості виготовляємих виробів від їх заданих значень (наприклад, таких показників якості як параметри макро – і мікрогеометрії, фізико-механічного стану поверхневого шару, похибки форми і взаємного розташування, а також економічні показники якості). Але неможливо розпочинати вико-

навчу фазу виробництва до тих пір, поки не буде сформований попередній план дій (попередня траєкторія розвитку), окремі частини якого можуть бути неефективні. Застосування виникаючої при обробці інформації дозволяє коригувати неефективні рішення плану.

7. Етап відладки технологічного процесу, характерний для традиційних виробничих систем, в умовах гнучкого виробництва часто відсутній і може бути замінений етапом попереднього самонавчання технологічної системи на основі контролю фактичних значень показників якості виготовляємих виробів. Процес навчання дозволяє коригувати попередній план з урахуванням індивідуальних особливостей технологічної системи.
8. При значному відхиленні фактично виконуючого і попередньо підготовленого планів (обробки деталей) повинна працювати система зворотнього зв'язку, коригуюча попередній план, одержаний на підготовчому етапі.

#### 11.4. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ В ІНТЕГРОВАНІХ І ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ

Особливістю сучасного етапу розвитку машинобудування є гостра конкурентна боротьба на світовому ринку між підприємствами (фірмами) за просування своєї продукції. Для комерційного успіху фірми її продукція повинна відповідати по своїм споживчим якостям існуючому запиту на ринку і при цьому мати найменшу вартість і мінімальний виробничий цикл виготовлення. Випуск такої конкурентноздатної продукції в умовах її безперервної зміни є складним системним завданням, охоплюючим всі етапи життєвого циклу виготовляючих виробів, починаючи від одержаного заказу на виготовлення і закінчуючи її відвантаженням замовнику [62]. Відомо, що однією з форм принципово нової організації машинобудівного виробництва, яка дозволяє розв'язати проблему випуску конкретнотоздатної продукції, є розроблення гнучких виробничих систем (ГВС). В межах цього напрямку в останні 10-15 років з'явилися нові системні ідеї, до яких можна віднести CAD/CAM (інтегрована комп'ютерна система конструкторської і технологічної підготовки виробництва) [63], інтегровані виробничі [62] і технологічні [64] системи. Крім цього, наслідком розвитку цих ідей є програмні продукти типу **Master-CAM, Solid**



**Works, Pro-Engineer**, які з'явилися недавно на ринку.

Відомі інтегровані системи типу CAD/CAM і інші розробляються по методології загальної теорії систем, у відповідності з якою властивості окремих елементів системи визначають виходячи з попередньо поставленої мети.

Ця теорія, відома як “системний підхід”, дозволяє розглядати в межах єдиної системної задачі такі різноманітні дисципліни, як теорію конструювання, технологію машинобудування, організацію (менеджмент) і економіку виробництва тощо. При цьому вихідні дані для системного проектування задаються на вході системи один раз і багаторазово застосовуються у відповідності з розробленим алгоритмом функціонування виробничої системи до тих пір, поки не будуть одержані необхідні кінцеві результати, визначені метою роботи.

Поряд із несумнівними методологічними перевагами загальна теорія має значні недоліки:

1. В процесі розробки і постановки продукції на виробництво можливо рухатись в напрямку мети, який здається правильним, але в кінці виконаної роботи може трапитись так, що мета не досягнута або досягнута частково.
2. Загальна теорія систем не розкриває збуджуючого стимулу (вимоги), у відповідності з яким виконуються будь які проміжні роботи в ході розроблення і постановки продукції на виробництво.
3. При інтегруванні в одну технологічну або виробничу систему декількох етапів життєвого циклу виробу загальна теорія систем не розкриває механізм прийнятності цих етапів, зокрема це торкається різноманітних етапів підготовки виробництва і виготовлення виробів.

Вказані недоліки загальної теорії систем не дозволяють розробити ефективні інтегровані технологічні і виробничі системи, охоплюючи етапи підготовки виробництва і виготовлення виробів, і які призначені для роботи в умовах малолюдного і безлюдного виробництва, наприклад, системи типу ГВС. Для розробки таких систем необхідно нова методологія технологічного проектування і керування. В цьому випадку, враховуючи вказані недоліки загальної теорії систем, є можливість сформулювати визначення для нового методологічного підходу до розв'язку проблеми. Загальна теорія керування – це методологія системного дослідження (аналізу і синтезу) об'єктів, у відповідності з якою керування на основі постановленої мети є необхідним (необхідність виступає як вимога), багатоетапним, прийнят-

ним процесом наближення до мети, охоплюючим всі етапи життєвого циклу виробу, виходячи з забезпечення властивостей системи зберігати в процесу взаємодії з зовнішнім середовищем значення значних змінних в деяких заданих межах.

Таким чином, новий методологічний підхід до автоматизації – загальна теорія керування – представляє собою розвиток загальної теорії систем застосовано до проектування і реалізації технологічних процесів для малолюдного і безлюдного комп'ютерно – інтегрованого виробництва.

Значними ознаками загальної теорії керування є: мета керування, об'єкт керування, керуючий орган, зворотній зв'язок (загальний, місцевий), інформаційна технологія (перетворення і застосування інформації), пам'ять (накопичення попереднього досвіду і поточних результатів), інформаційна модель об'єкта.

Загальна задача керування при розробці і постановці продукції на виробництво розв'язується в межах інтегрованої виробничої системи підприємства. Її особливістю є об'єднання науково – дослідних, конструкторських, технологічних, організаційних і економічних завдань на етапах підготовки виробництва, виготовлення виробів і складання.

Застосовно до інтегрованих технологічних систем (ІТС) ця задача формулюється так. Маємо технологічний об'єкт (засоби технологічного оснащення підприємства), вихідне завдання (інформаційна модель або креслення виробу, програма і строки виготовлення) і мету керування (максимальна продуктивність, мінімальні затрати і інше). Необхідно перевести цей об'єкт з деякого початкового стану в задане кінцеве з урахуванням його текучого стану. Іншими словами, необхідно розробити і реалізувати технологічний процес, який повинен забезпечити виконання всіх вимог до точності і якості виробу, передбачуваних кресленням і технічними умовами при найменших затратах праці і мінімальній собівартості, а також при виготовленні виробів в необхідній кількості і в строки, встановлені виробничого програмного [39]. Рішення цієї загальної задачі керування дозволяє конструювати інтегровані системи, включаючи підсистеми інтелектуального керування [64]. При цьому ефект обумовлений оптимізацією всієї інтегрованої системи на основі врахування єдиного механізму виробництва і його підготовки. Відомо, що основна доля ефекту приходить на етап підготовки виробництва [22].

Методологія загального керування на етапах підготовки і функ-

ціювання виробництва дозволяє по новому розглядати такі відомі в технології машинобудування задачі, як організацію групового (одичного і дрібносерійного) виробництва, розробки нормованих (стандартних) технологічних процесів, розробку систем автоматизованого технологічного проектування (планування), систем автоматизованого програмування, календарного планування, диспетчування і інше. Наприклад, розглянемо тенденцію розвитку методу групової технології в машинобудуванні по мірі розширення технологічних можливостей верстатів з ЧПУ. Груповий метод є цією організаційною формою виробництва, яка дозволила в умовах обмеження технологічних можливостей обладнання представити в компактному вигляді структуру технологічної і виробничої системи підприємства [22]. Ідея групового методу полягає в тому, що структурна формула інформаційної моделі підприємства залишається однією для різних виробів, які входять в одну і ту ж групу, і визначає структуру групової технологічної системи. При цьому кількість структурних формул дорівнює кількості сформованих груп виробів. Груповий метод дозволив упорядкувати виробничі потоки виробів і одночасно упорядкувати структуру інформаційної моделі підприємства, представляючи її у вигляді сукупності інформаційних потоків – групових рішень: групове технологічне обладнання, групова оснастка і інше. З точки зору сформульованої загальної теорії керування це означає покращення керування об'єктів, так як всяка зміна у конкретному виробі може бути оперативна обчислена по всім етапам життєвого циклу цього виробу.

З'являється можливість кількісно пов'язати зміни, наприклад, геометричних параметрів виробу з зміною його собівартості, і на самому ранньому етапі життєвого циклу (маркетингові дослідження) прийняти принципові рішення про необхідність відповідних змін.

Головною проблемою метода групової технології є сам процес групування і пов'язані з ним задачі класифікації і кодування виробів. По мірі розширення технологічних можливостей сучасних верстатів з ЧПУ; їх оснащення додатковими пристроями, якими виробники верстатів комплектують свою продукцію, має місце тенденція зменшення кількості груп, на які поділяються вироби в процесі групування. В цьому зв'язку зникає сама проблема групування. В граничному випадку кількість груп дорівнює одиниці. Це веде до появи нової ідеї формування потоку різнотипних виробів, який проходить через одне і те ж технологічне обладнання.

При цьому особливості кожного виробу враховуються при роз-

роблені управляючої програми. Для реалізації даної ідеї в режимі організації потоку виробів з урахуванням виробничої ситуації оброблювані центри механообробки можуть мати пряме числове керування чи вкладені системи оперативного технологічного проектування і програмування. При цьому в інформаційній моделі підприємства зберігається впорядкованість, яку дає метод групової технології, а сама задача групування замінюється на задачу оперативного технологічного проектування.

Принцип приємності багатостопного керування, який витікає з загальної задачі керування на етапах підготовки і функціонування виробництва, дозволяє конструювати принципово нові в порівнянні з **CAD/CAM** інтегровані системи, охоплюючи етапи підготовки виробництва і виготовлення виробів. Наприклад, це можуть бути інтегровані системи технологічного проектування, програмування і обробки, реалізовані на основі оброблюючого центру.

Наведена загальна задача керування (технологічного менеджменту) не суперечить граничному випадку, коли етап технологічної підготовки виробництва є частиною автоматизованого розроблення змінно-денного завдання, тобто відноситься до задачі оперативного керування обладнанням. Більш того, запропонований методологічний підхід на основі загальної теорії керування органічно вписується в інформаційну технологію комп'ютерно – інтегрованого виробництва, так як ліквідуються традиційні межі, наприклад, між етапами технологічної підготовки виробництва і виготовлення виробів: (**CD-ROM**) з програмними продуктами типу **Master-CAM** і **Solid Works**, які з'явились недавно, дозволяють автоматизувати в межах ІТС етапи технологічного проектування і програмування. Суть цих програмних систем полягає в застосуванні інтерактивного машинного креслення для автоматизації програмування верстатів з ЧПУ. Такий підхід до програмування є важливим кроком вперед в порівнянні з відомими високорівневими мовами програмування типу **APT (Automatically Programmed Tool)**. Наприклад, з застосуванням програмної системи **Solid Works** в систему **Master-CAM** може бути внесена вся інформація, яка є на кресленнях виготовляючої деталі і заготовки для цієї деталі. Далі процедура проектування операції механічної обробки в системі **Master-CAM** включає такі етапи:

1. Задання методу обробки (точіння, фрезерування, свердління).
2. Задання етапу обробки заготовки (чорнова, фінішна).
3. Задання ріжучого інструмента з каталогу, який пропонує система

в режимі “меню”.

4. Задання матеріалу оброблюючої деталі (з каталогу).
5. Проектування, оптимізація і програмування технологічних переходів з моделюванням траєкторії руху інструмента на екрані дисплею.

Для побудови ІТС на основі наведеного методологічного підходу необхідно мати інформаційну модель, дозволяючу прийняти рішення на основі реалізації рекурентних, рекурсивних і ітераційних циклів проектування. При цьому важливі два варіанти виробничих умов: для знов організуючого виробництва (перспективний технологічний процес), для діючого виробництва (працюючий технологічний процес).

Необхідно зазначити, що в діючому виробництві вказана інформаційна модель уже є. Вона включає всі необхідно підсистеми, наприклад, технологічного проектування, розмірний аналіз, розрахунок режимів різання, нормування технологічних процесів, розрахунок виробничого персоналу, утримань виробництва, собівартості продукції і інше. У випадку зміни параметрів чи номенклатури виготовлених виробів змінюються вихідні дані на вході інформаційної моделі. Потім в ітераційному режимі може бути здійснена оцінка внесених змін по собівартості виготовлюваної продукції. Це дозволяє приймати рішення про випуск тої чи іншої конкурентоздатної продукції на самому ранньому етапі її життєвого циклу - етапі маркетингових досліджень. При запуску виробу у виробництво загальна задача керування розв'язується з врахуванням задач календарного планування і диспетчерування.

### **11.5. ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В МАШИНОБУДУВАННІ**

Для аналізу методології розроблення технологічних процесів, основаних на застосуванні принципів загальної теорії керування (технологічного менеджменту), розглянемо схему на рис.126. з позиції не тільки автоматизованого, але й звичайного виробництва.

На етапі 1 виконується підготовка і вивчення вихідних даних на основі слідуючої інформації: конструкція деталі, дані про заготовку і спосіб її одержання, організаційно-технічні фактори.

На етапі 2 розроблюється загальний маршрут (або декілька

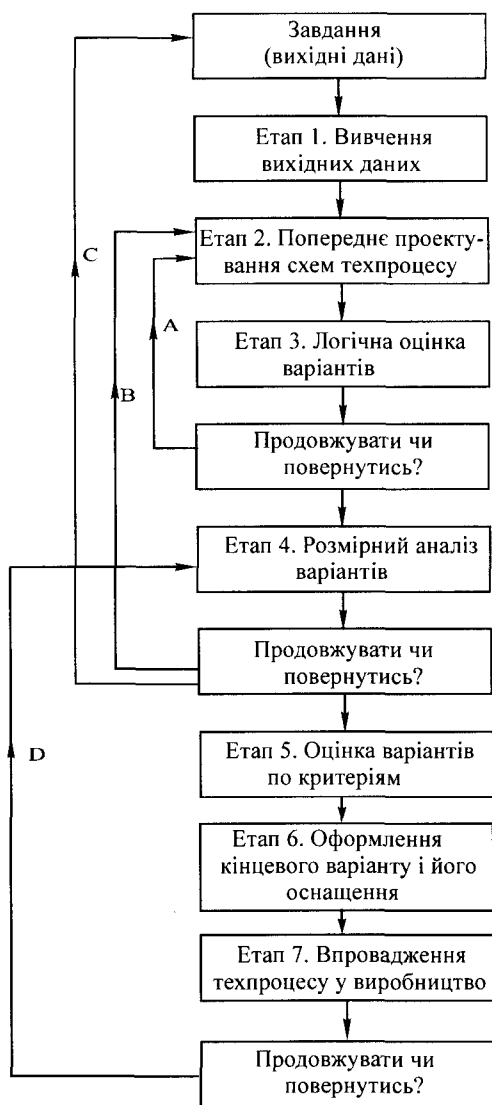


Рис.126. Структурна схема прийняття рішень при підготовці і впровадженні технологічних процесів.

маршрутів) обробки деталі. Для цього попередньо здійснюється вибір технологічних баз і розроблення елементарної технології на кожен з оброблюваних поверхонь. Також здійснюється вибір засобів технологічного оснащення, виходячи з виробничих умов підприємства чи можливостей їх придбання на стороні (покупка, кооперація інше).

На етапі 3 здійснюється попередній вибір ефективних варіантів по слідуючим напрямкам:

1. Оцінка доцільності прийнятого методу виготовлення заготовки.
2. Оцінка надійності забезпечення точності на кожній операції.
3. Оцінка можливості автоматизації технологічних операцій і процесу в цілому.
4. Оцінка надійності і працездатності запропонованих технологічних систем.
5. Можливості застосування стандартного ріжучого, вимірюваного інструментів і

приспосувать.

6. Можливості виготовлення і придбання спеціальних верстатів,

приспосовувань, інструментів і другої технологічної оснастки в задані строки підготовки виробництва.

7. Зручність розміщення обладнання на виробничих площах з оцінкою можливостей автоматизації транспортування деталей, відділення стружки, багатостатного обслуговування.
8. Комплексна оцінка всього маршруту технологічного процесу з аналізом доцільності вибраної послідовності механічних, термічних, гальванічних, контрольних і інших операцій.

Часто в ході логічної оцінки має місце повернення до етапу 2 проектування (локальний зворотній зв'язок А на рис.126).

В результаті виконання етапу 3 залишається один або декілька альтернативних варіантів процесу, які оформляються з усіма подробицями. Наприклад, на кожному операційному ескізі вказуються бази, розмірні лінії, допуски розмірів і технічні вимоги до розташування поверхонь, їх шорсткість.

На етапі 4 здійснюється розмірний аналіз технологічного процесу. При переході від попередніх якісних оцінок на етапі 3 до кількісних оцінок на етапі 4 може опинитись необхідність корекції запропонованих варіантів із зворотньою логічною оцінкою цих змін.

При цьому можливі два види місцевих (локальних) зворотніх зв'язків: лінія В (повернення до етапу 2) і лінія С (повернення до вихідного завдання, наприклад, при необхідності додаткового відпрацювання конструкції деталі на технологічність).

На етапі 5 виконується оцінка альтернативних варіантів процесу по критеріям ефективності, наприклад, по критеріям надійності і економічності. Після такої оцінки керівництвом для подальших дій приймається найбільш ефективний варіант (з усіх альтернативних).

На етапі 6 здійснюється оформлення кінцевого варіанту процесу на технологічних картках встановленого зразка з попереднім розрахунком режимів різання, норм часу на виконання операцій, норм витрат матеріалів і інше. Цей етап технологічного проектування є завершальним етапом технологічної підготовки виробництва.

На етапі 7 здійснюється випровадження розроблюваного варіанту технологічного процесу. На цьому етапі виявляються недоліки виконаного проектування і вноситься додаткова корекція процесу. Це, як правило, відбувається із-за невідповідності фактичної жорсткості верстата її розрахунковому значенню, прийнятому з довідника на етапі технологічної підготовки (фактично економічна досягнута точність обробки в цьому випадку не відповідає довідковим нормати-

вам). Якщо вказана невідповідність має місце, можливі наступні варіанти її врахування:

1. При значній невідповідності необхідно повернутися від етапу 7 до етапу 4 (локальний зворотній зв'язок D), а від етапу 4 є можливість повернутися на більш ранні етапи (зворотні зв'язки В і С).
2. При незначній невідповідності необхідно стабілізувати точність обробки на верстатах за допомогою, наприклад, систем адаптивного чи інтелектуального керування. В цьому випадку не потрібно повертатися до етапу технологічної підготовки. Найбільш раціональним є спосіб технологічного проектування, який опирається на точнісні параметри стабілізуючих технологічних процесів. В даному випадку з'являється можливість проектування нормалізованих (стандартних) технологічних процесів і ліквідується зворотній зв'язок D, згідно рис.126.

Аналізуючи схему прийняття технологічних рішень (рис.126.), можна відмітити наступні її особливості, які витікають з загальної теорії керування.

1. Багатоваріантність технологічного проектування з якісною і кількісною оцінкою варіантів.
2. Структурна і параметрична оптимізація за рахунок багатократних ітераційних процедур (зворотні зв'язки А, В, С і D).
3. Умовність меж між етапами 6 і 7, тобто між технологічною підготовкою виробництва і самим виробництвом.

Таким чином, етапи підготовки і виконання технологічного процесу представляються послідовними етапами попереднього і кінцевого керування технологічним процесом, відповідно. При цьому на етапі підготовки розв'язуються задачі визначення структури і параметрів процесу, які забезпечують максимальну продуктивність чи мінімальну собівартість наступної обробки з урахуванням вимог до якості поверхневого шару і точності виготовлення виробу, а на етапі обробки розв'язується задача стабілізації параметрів процесу з урахуванням індивідуальних особливостей елементів технологічної системи "верстат-присосування-інструмент-деталь".

Для реалізації наведеної в даній главі методології розроблення інтегрованих і гнучких виробничих і технологічних систем потрібні інформаційні (в тому числі математичні) моделі прийняття рішень по структурі і параметрах проектуючих технологічних процесів. Цьому питанню були присвячені всі попередні глави даного підручника.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковшов А.Н. Технология машиностроения. - М.: Машиностроение, 1987. - 318 с.
2. Шарин Ю.С. Обработка деталей на станках с ЧПУ. - М.: Машиностроение, 1983. - 114с.
3. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов. - К. : Вища шк., 1990. - 418 с.
4. Гавриш А.П., Ефремов А. И. Автоматизация технологической подготовки машиностроительного производства. - К. : Техніка, 1982. - 214 с.
5. Автоматизация процессов машиностроения / Я. Буда, В.С. Гановский, А. И. Дашенко и др. - М.: Высш. шк., 1991. - 478 с.
6. Дерябин А.П. Программирование технологических процессов для станков с ЧПУ. - М. : Машиностроение, 1964. - 223 с.
7. Робототехника и гибкие производственные комплексы /Сост. П.Г. Алексеев. - Брянск, 1985. - 82 с.
8. Патон Б. Е., Спыну Г. А., Тимошенко В.Г. Промышленные роботы. - К.: Наук. думка, 1977. - 228 с.
9. Вольничинский Ю.С., Тучкова Т. И. Применение промышленных роботов для нанесения защитно – декоративных покрытий // Технология автомобилестроения - 1980. - № 9. - С. 11-12.
10. Карпенко В.И. Автоматические манипуляторы семейства "Бриг" // Механизация и автоматизация производства. - 1981. - № 7. - С. 1-4.
11. Костюк В.И., Гавриш А.П. и др. Промышленные роботы. - К.: Выща шк., 1985. - 358 с.
12. Маталин А. А., Дашевский Т.Б., Княжицкий И.И. Многооперационные станки. - М.: Машиностроение, 1974. - 319 с.
13. Гавриш А. П., Воронец Б. М. Роботизированные механообрабатывающие комплексы машиностроительного производства. - К. : Техніка, 1984. -197с.
14. Костюк В.И., Ямпольский Л. С., Карпов А.Г. Промышленные роботы и их применение. - К. : Об-во "Знание" УССР, 1983. - 64 с.
15. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: Справочник. - М.: Машиностроение, 1983. - 374 с.
16. Гусев А. А., Ковальчук Е. Р., Колесов И. М. Технология машиностроения. - М.: Машиностроение, 1986. - 479 с.
17. Адаптивное управление технологическими процессами / Ю. М. Соломенцев, В. Г. Митрофанов, С. И. Протопопов и др. - М.: Машиностроение, 1969. - 560 с.
18. Робототехника / Под ред. Е. П. Попова, Е. И. Юревича. - М.: Машиностроение, 1984. - 286 с.
19. Макаров И. М. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. Кн. 1. Системные принципы создания гибких автоматизированных производств. - М.: Высш. шк., 1986. - 170 с.
20. Черпаков Б. И., Волчеквич Л.И., Усов Б. А. Транспортно - накопительные

- системы ГПС. - М.: Высш. шк., 1989. - 110 с.
21. Иващенко И. А. Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации. - М.: Машиностроение. 1975. - 221 с.
  22. Митрофанов С. П. Групповая технология машиностроительного производства. - Л.: Машиностроение, 1983. - Т. 1. - 404 с; Т. 2. - 376 с.
  23. Горнеев В. Ф., Савинов А.М., Валиков В.И. Комплексные технологические процессы ГПС. - М.: Высш. шк., 1989. - 109 с.
  24. Волчкевич Л.И., Усов Б. А. Транспортно - накопительные системы ГПС. - М: Высш. кш.. 1989. - 107 с.
  25. Тимофеев В.А. Управление точностью гибких технологических систем: Обзор. - М.: НИИМАШ, 1983. - 64 с.
  26. Шаушан Г. А. АВТОМАТЫ - М.: Машиностроение, 1965 - 405 с.
  27. Кошкин Л. И. Роторные и роторно-конвейерные линии. - М.: Машиностроение. 1982. - 230 с.
  28. Гжиров Р. И., Серебрицкий П. П. Программирование обработки на станках с ЧПУ. - Л.: Машиностроение, 1990. - 591 с.
  29. А.с. 1125107А (СССР). Способ определения жесткости станков /А.В. Якимов, В. П. Гугнин, А. А. Якимов. В 23 В 1/100. Опубликовано 23.11.84. - Бюл. №43.
  30. Гибкие автоматизированные линии массового и крупносерийного производства / Б.И. Черпаков, В.В. Земляной, А.Н. Феофанов и др. -М.: Высш. шк., 1989. -113с.
  31. Управление процессом шлифования / А. В. Якимов, А. Н. Паршаков, В. И. Сверщев, В. П. Ларшин. - К.: Техніка, 1983. - 184 с.
  32. Глушко В.В., Бутенко Ю.П., Гечепов Г.Г. Научное обоснование процесса унификации элементов адаптивных систем // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. Респ. межвед. науч. -техн. сб.-1977.-Вып. 43.-С. 117-127.
  33. Размерный анализ конструкций: Справочник / С. Г. Бондаренко, О. Н. Чередников, В. П. Губий, Т. М. Игнатцев. -К.: Техніка, 1989.- 149с.
  34. Артоболевский С.И. Технологические машины - автоматы. - М.: Машиностроение, 1964.- 180 с.
  35. Чарнко Д. В. Основы выбора технологического процесса механической обработки. - М.: Машиностроение, 1963. - 320 с.
  36. Клусов И. А. Проектирование роторных машин и линий. - М.: Машиностроение, 1991. - 320с.
  37. Гусарев В.С. Автоматизированные системы станков //Металлорежущие станки. Респ. межвед. науч. - техн. сб. - 1982. - Вып. 10. -С.23-27.
  38. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении / В. В. Бабук , В. А. Шкред, Г. П. Кривко, А.И. Медведев. Под ред. В. В. Бабука. - М.: Высш. шк., 1987. - 253 с.
  39. Маталин А. А. Технология машиностроения. - Л.: Машиностроение, 1985.- 511 с.
  40. Никитин А. Н. Технология сборки двигателей летательных аппаратов: Учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 1982. - 269 с.

41. Косилов В.В. Технологические основы проектирования автоматического сборочного оборудования. - М.: Машиностроение, 1976. - 248 с.
42. Биргер И.А. Расчет резьбовых соединений.-М.: Оборонгиз, 1959.
43. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. - 5-е изд., испр. - М.: Машиностроение, 1980.-529 с.
44. Владзиевский А.П. Автоматические линии в машиностроении.- М.: Машгиз, 1958.-256 с.
45. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов. - М.: Машиностроение, 1973.-640 с.
46. Вороничев Н.М., Генин В.Б., Тарковский Ж.Э. Автоматические линии из агрегатных станков. - М.: Машиностроение, 1971.-551 с.
47. Демьянюк Ф.С. Технологические основы поточного и автоматизированного производства. - М.: Машгиз, 1964. -265 с.
48. Зелинский А.Н. Основы математического моделирования. -К.: УМК ВО, 1991.-231 с.
49. Проектирование технологии: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / И.М. Баранчукова, А.А. Гусев, Ю.Б. Краменко и др.: Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. - М.: Машиностроение, 1990.-416 с.
50. Якимов А.В., Слободяник П.Т., Усов А.В. Теплофизика механической обработки : Уч. пособ. - К.: Одеса, Либідь, 1991.-240 с.
51. Гусарев В.С. Структурные схемы автоматических линий для групповой обработки деталей. //Автоматизация процессов механической обработки и сборки. - М.: Наука, 1967. -С. 93-106.
52. Гусарев В.С. Маневренные и саморегулирующиеся технологические машины автоматы. // Теория машин автоматического действия. - М.: Наука, 1970. -С. 63-74.
53. Линчевский П.А., Ница Г.Л. Технологическое проектирование операций тонкого растачивания точных отверстий. //Известия АИНУ. -Отд. "Тяжелого и транспортного машиностроения", Вып. 3.- 1998. -С. 176-183.
54. Линчевский П.А., Ница Г.Л. Проектирование инструментальных наладок отделочно-расточных станков. // Известия АИНУ, -Отд. "Тяжелого и транспортного машиностроения", -Вып.3.- 1999.-С. 51-56.
55. Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якимов А.А. Алмазная обработка. - К.: ИСМО, 1996.-168 с.
56. Муценек К.Я. Основы проектирования сборочных автоматов и линий. - Рига: Зинатне, 1981,-221 с.
57. Иоффе Б.А., Калнинь Р.К. Ориентирование деталей электромагнитным полем. - Рига: Зинатне, 1972. - 300 с.
58. Аверченков В.И., Горленко О.А. и др. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения: Уч. пособ. -М.: Машиностроение, 1988. - 192с.
59. Горанский Г.К. Расчет режимов резания при помощи ЭВМ. - Минск:

ГИНТЛ, 1963. - 192 с.

60. Оре О. Графы и их применение. - М.: Мир, 1965. - 175 с.
61. Ларшин В.П. Интегрированные технологические системы в машиностроении // Тр. Одес. политехи. ун-та.-1999.-3(9).-С.55-58.
62. Hitomi K. Stratwgc Indegrated Manufacturing Systems : The Concept and Structures // International Journal of Production Economics.-Elsevier.-v.25.-NOS 1-3, December 1991.-P.5-12.
63. Грувер М., Зимерс Э. САПР и автоматизация производства.- Пер. с англ. - М.: Мир, 1987.-582 с.
64. Larshin V.P., Yakimov A.V. Computer – Aided Development, Machining and Training in Precision Thread Grinding // Proceedings of the 9 th International Precision Engineering Seminar. - Braunschweig, Germany, 1997.-P17-519.

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	3
<b>Глава 1. Технологія виготовлення деталей на верстатах з число- вим програмним управлінням</b> .....	5
1.1. Суть числового програмного управління верстатами .....	5
1.2. Технологічна класифікація верстатів з ЧПУ .....	10
1.3. Вибір осей координат у верстатах з ЧПУ .....	12
1.4. Технологічні засоби налагодження верстатів з ЧПУ .....	13
1.5. Вибір технологічних баз при обробці деталей на верстатах з ЧПУ .....	17
1.6. Підготовка управляючих програм .....	22
1.6.1. Підготовка інформації для УП .....	22
1.6.2. Розрахунок траєкторії переміщення інструмента при об- робці .....	26
1.6.3. Загальні поняття про підготовку управляючої програми обробки .....	31
1.7. Вибір пристосовань та ріжучого інструмента на верстатах з ЧПУ .....	39
1.8. Приводи виконавчих органів верстатів з ЧПУ .....	42
1.9. Ефективність застосування верстатів з ЧПУ .....	43
1.10. Високопродуктивні способи обробки деталей на верстатах з ЧПУ .....	44
1.10.1. Обробка контура деталей на фрезерних верстатах з ЧПУ .....	44
1.10.2. Обробка отворів на верстатах з ЧПУ .....	47
1.10.3. Програмування свердлильних операцій .....	49
1.10.4. Обробка деталей на токарних верстатах з ЧПУ .....	52
1.10.5. Вплив конструктивної складності деталей на ефектив- ність їхньої обробки на верстатах з ЧПУ .....	54
1.10.6. Вимоги до технологічності оброблюваних деталей на ве- рстатах з ЧПУ .....	57
1.11. Точність обробки деталей на верстатах з ЧПУ .....	61
1.11.1. Фактори, які впливають на точність обробки .....	61
1.11.2. Жорсткість пружної системи верстат-пристрій- інструмент-деталь .....	65
1.11.3. Методи визначення жорсткості верстатів .....	68
1.12. Управління процесом шліфування на верстатах з ЧПУ .....	73
1.13. Діагностика режимів, проектування та оптимізація техноло- гічних процесів обробки деталей на верстатах з ЧПУ .....	77
<b>Глава 2. Деякі особливості технології виробництва деталей на ба- гатоопераційних верстатах</b> .....	81
2.1. Технологічні можливості багатоопераційних верстатів .....	81
2.2. Вимоги до технологічності конструкцій деталей, оброблюва- них на багатоопераційних верстатах .....	84
2.3. Вимоги до робочого креслення .....	86
2.4. Розробка стандартних циклів виконання технологічних опе-	

рацій .....	86
2.5. Визначення ефективності застосування багатоопераційних верстатів .....	89
2.6. Особливості проектування технологічних процесів обробки деталей на багатоопераційних верстатах .....	91
2.6.1. Основні етапи проектування та вибір установчих баз .....	91
2.6.2. Точність обробки деталей на багатоопераційних верстатах .....	102
<b>Глава 3. Технологічні можливості та область застосування промислових роботів .....</b>	<b>107</b>
3.1. Загальні відомості про роботи.....	107
3.2. Класифікація промислових роботів.....	110
3.3. Технологічні можливості промислових роботів.....	113
3.4. Область застосування промислових роботів.....	114
3.4.1. Застосування роботів у ливарному виробництві .....	116
3.4.2. Застосування роботів у ковальському виробництві .....	116
3.4.3. Застосування роботів у термічних цехах .....	117
3.4.4. Застосування роботів при зварюванні .....	117
3.4.5. Застосування роботів при склеюванні деталей .....	119
3.4.6. Застосування роботів для монтажу інтегральних схем .....	119
3.5. Роботизація механоскладального виробництва.....	119
3.5.1. Відпрацювання виробів на технологічність .....	121
3.5.2. Розробка технологічного процесу із застосуванням роботів .....	122
3.6. Системи управління промисловими роботами .....	129
3.7. Оцінка економічної ефективності роботизації .....	133
<b>Глава 4. Комплексна автоматизація технологічних процесів.....</b>	<b>138</b>
4.1. Загальні відомості .....	138
4.2. Класифікація ГВС та основні принципи побудови технологічних процесів.....	140
4.3. Принцип інтеграції автоматизованих технологій та управління багатономенклатурним виробництвом.....	141
4.4. Типізація технологічних процесів у багатономенклатурному виробництві.....	142
4.5. Приклад проектування технологічного процесу для ГВС.....	146
4.6. Вимоги, що ставляться до проставлення розмірів на кресленнях деталей, оброблюваних на верстатах, настроєваних на розмір .....	152
4.7. Технологічна надійність ГВС.....	156
4.8. Компонування конструкцій гнучких автоматичних ліній з уніфікованих вузлів.....	158
4.9. Транспортно-накопичувальні системи ГВС .....	161
4.10. Автоматизовані склади .....	166
<b>Глава 5. Задачі та методи синтезу технологічних автоматизованих систем.....</b>	<b>169</b>

5.1.	Задачі структурного та параметричного синтезу автоматизованих систем .....	169
5.2.	Конструктивний об'єкт .....	174
5.3.	Конструктивні об'єкти в технологічній системі .....	176
5.4.	Технологічний об'єкт .....	176
5.5.	Технологічний процес .....	179
5.6.	Закони технології .....	180
5.7.	Технологічний маршрут .....	181
5.8.	Розміщення технологічних операцій за елементами технологічної системи .....	184
5.9.	Гнучкість ТС ГАВ за номенклатурою .....	184
5.10.	Гнучкість ТС ГАВ за маршрутами .....	185
<b>Глава 6.</b>	<b>Технологічні автоматизовані системи. Області раціонального застосування в машинобудуванні .....</b>	<b>187</b>
6.1.	Загальні відомості .....	187
6.2.	Елементи структури технологічної автоматизованої системи .....	190
6.3.	Принципи аналітичного опису технологічних автоматизованих систем .....	195
6.4.	Структура окремих позицій автоматичних ліній .....	197
6.5.	Найпростіші випадки компонування автоматичних ліній .....	202
6.6.	Закони композиції (компонування) агрегатних верстатів та автоматичних ліній .....	205
6.7.	Структура технологічних автоматичних систем з накладеними потоками .....	210
6.8.	Структура агрегатних верстатів та автоматичних ліній з операторами-дублерами .....	214
6.9.	Синтез автоматичних ліній та агрегатних верстатів як технологічних автоматів .....	218
6.10.	Алгоритми функціонування структурних схем технологічного призначення .....	233
6.11.	Типовий приклад розробки структури ТС та алгоритму її функціонування .....	236
6.12.	Аналіз роботи робототехнічного комплексу (РТК) .....	240
6.13.	Аналіз продуктивності та надійності РТК .....	243
6.14.	Структура та алгоритми функціонування РТК .....	246
<b>Глава 7.</b>	<b>Особливості проектування технологічних операцій обробки деталей на агрегатних верстатах .....</b>	<b>254</b>
7.1.	Загальні відомості .....	254
7.2.	Аналіз технологічності деталей, оброблюваних на агрегатних верстатах .....	256
7.3.	Вибір і обґрунтування типу та організаційної форми виробництва .....	256
7.4.	Вибір та обґрунтування технологічних баз .....	260
7.4.1.	Вибір чорнової бази .....	260
7.4.2.	Вибір та обґрунтування чистових баз .....	261

7.5.	Обґрунтування вибору конструкції пристроїв .....	263
7.6.	Обґрунтування компоновок агрегатних верстатів .....	264
7.7.	Автоматичні лінії з агрегатних верстатів .....	266
<b>Глава 8.</b>	<b>Автоматизація складальних процесів</b> .....	<b>270</b>
8.1.	Методи досягнення точності при автоматичному складанні .....	270
8.2.	Розробка технологічного процесу автоматизованого складання.....	277
8.3.	Склад і компонування складального обладнання.....	282
8.4.	Автоматизоване складання різьбових з'єднань.....	288
8.5.	Складання нерухомих нероз'ємних з'єднань.....	297
8.5.1.	Запресовка з нагрівом охоплюючої деталі .....	298
8.5.2.	Запресовка з охолодженням охоплюваної деталі .....	299
8.5.3.	Складання поздовжньо-пресовим методом.....	300
8.5.4.	З'єднання деталей зварюванням, паянням та склеюванням .....	303
<b>Глава 9.</b>	<b>Виготовлення типових деталей машин</b> .....	<b>308</b>
9.1.	Виготовлення валів .....	308
9.1.1.	Матеріали та способи отримання заготовок для валів .....	308
9.1.2.	Технологічний процес обробки валів .....	308
9.1.3.	Термічна обробка валів .....	311
9.1.4.	Типові технологічні процеси механічної обробки валів .....	312
9.1.5.	Обґрунтування маршруту обробки валів та розмірний аналіз.....	313
9.1.6.	Визначення діаметральних операційних розмірів вала.....	318
9.2.	Виготовлення зубчастих коліс .....	320
9.2.1.	Технічні вимоги до зубчастих коліс та область їхнього застосування.....	320
9.2.2.	Вибір та обґрунтування деяких етапів маршруту обробки, зв'язаних із забезпеченням точності обробки.....	321
9.2.3.	Технологічний маршрут виготовлення зубчастих коліс 5-го та 6-го ступенів точності .....	323
9.2.4.	Розмірний аналіз технологічного процесу обробки зубчастого колеса.....	326
9.2.5.	Розподіл припуску за проходами при зубошліфуванні.....	329
9.2.6.	Автоматизовані технологічні ділянки для виготовлення зубчастих коліс .....	331
9.3.	Виготовлення деталей класу важелів та вилок .....	334
9.3.1.	Технічні вимоги, матеріали та способи отримання заготовок .....	334
9.3.2.	Вибір баз і послідовність обробки заготовок важелів і вилок.....	334
9.4.	Виготовлення корпусних деталей в автоматизованому виробництві.....	340
9.4.1.	Особливості конструкції, технічні вимоги та матеріали корпусних деталей.....	340



9.4.2. Вибір баз і послідовність обробки корпусних деталей .....	342
9.4.3. Обробка головних отворів в корпусних деталях на обробно-розточних верстатах .....	349
9.4.4. Контроль точності розмірів та взаємного положення оброблюваних поверхонь у корпусних деталях .....	368
<b>Глава 10. Оптимізація технологічних процесів і систем .....</b>	<b>371</b>
10.1. Оптимізація структури процесу і системи .....	371
10.2. Оптимізація параметрів різання .....	379
<b>Глава 11. Методологія розробки інтегрованих і гнучких виробничих систем .....</b>	<b>386</b>
11.1. Технологічні передумови для нового підходу до автоматизації .....	386
11.2. Технологічна характеристика етапів підготовки і функціонування гнучкого виробництва .....	388
11.3. Особливості розробки технологічних процесів для умов малолюдного і безлюдного виробництва .....	391
11.4. Технологічний менеджмент в інтегрованих і гнучких виробничих системах .....	392
11.5. Загальна методика розроблення технологічних процесів в машинобудуванні .....	397
<b>Список літератури .....</b>	<b>401</b>

**НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ**

**Олександр Васильович Якимов  
Володимир Сергійович Гусарев  
Олексій Олександрович Якимов  
Павло Адамович Лінчевський  
Федір Васильович Новіков  
Григорій Васильович Новіков  
Василь Петрович Ларшин**

**ТЕХНОЛОГІЯ  
АВТОМАТИЗОВАНОГО  
МАШИНОБУДУВАННЯ**

**ПІДРУЧНИК**

**Редактор Т.І. Лучнева  
Коректор З.І. Вальх**

**Підписано до друку 28.02.2005 Формат 64 x 90/16.  
Папір офсетний. Друк офсетний.  
Умовн. друк. арк. 25,5. Зам. № 342**

**Одеський Національний політехнічний університет  
м. Одеса, проспект Шевченка,1**