

Міністерство освіти і науки України  
Державний університет «Одеська політехніка»  
Інститут промислових технологій, дизайну та менеджменту  
Кафедра технології машинобудування

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**  
**З ДИСЦИПЛІНИ**  
**«ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МАШИНОБУДУВАННЯ»**

Одеса – 2021

Конспект лекцій з дисципліни «Технологічні основи машинобудування» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 133 Галузеве машинобудування / Укладачі Ю.В. Яровий, В.М. Колеснік, І.М. Буюклі – Одеса: Національний університет «Одеська політехніка», 2021 – 101 с.

*Затверджено на засіданні кафедри технології машинобудування  
Протокол № 1 від 30.08.2021*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
ЛЕКЦІЯ 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ, ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ .....	7
1.1 Технологія машинобудування – прикладна технічна наука. Основні питання, які визначаються в технології машинобудування, типові технологічні задачі. Рівень розвитку сучасної технології виробництва та світові тенденції розвитку конкурентоспроможних технологій .....	7
1.2 Об’єкти машинобудівного виробництва та їх елементи. Вихідна заготовка, оброблена заготовка, деталь, збиральний комплект, комплектуючий вибір, вузол, виріб.....	8
1.3 Виробничий і технологічний процеси та їх коротка характеристика. Технологічна операція та її структура .....	10
Запитання для самоконтролю .....	12
ЛЕКЦІЯ 2. ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ У МАШИНОБУДУВАННІ ТА МЕТОДИ ЇЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	13
2.1 Точність обробки, як головна складова характеристика виробу. Елементарні похибки обробки в технологічній системі, їх фізична природа, шляхи їх зменшення та урахування при обробці .....	13
2.2 Методи досягнення точності в технології машинобудування. Метод пробних ходів та вимірів. Його суть, основні переваги та недоліки, область практичного використання .....	14
2.3 Метод автоматичного забезпечення розмірів на налагоджених верстатах, його суть, основні переваги та недоліки, область практичного використання. Кількісна оцінка точності обробки величиною сумарної похибки на операції у технологічному процесі в цілому.....	15
Запитання для самоконтролю .....	15
ЛЕКЦІЯ 3. СИСТЕМАТИЧНІ ПОХИБКИ ОБРОБКИ. ПОХИБКИ СХЕМИ ОБРОБКИ ТА ВЕРСТАТА .....	16
3.1. Похибки теоретичної схеми обробки.....	16
3.2. Похибки обробки, які визначаються кінематичною та геометричною точністю металорізального верстата, деформаціями та зношуванням його елементів.....	17
Запитання для самоконтролю .....	20
ЛЕКЦІЯ 4. СИСТЕМАТИЧНІ ПОХИБКИ ОБРОБКИ. ПОХИБКИ ВІД ІНСТРУМЕНТУ ТА ТЕПЛОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ. ....	21
4.1 Похибки, які визначаються геометричною неточністю різального інструменту .....	21
4.2 Похибки від розмірного зносу інструменту, їх розрахунок.....	21
Запитання для самоконтролю .....	23
ЛЕКЦІЯ 5. ЖОРСТКІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ.....	24
5.1 Похибки, які визначаються пружними деформаціями елементів технологічної системи .....	24
5.2 Вплив жорсткості елементів технологічної системи на точність та продуктивність механічної обробки .....	26

Запитання для самоконтролю .....	28
ЛЕКЦІЯ 6. ВИПАДКОВІ ПОХИБКИ ОБРОБКИ. ЗАКОНИ РОЗСІЮВАННЯ РОЗМІРІВ .....	29
6.1 Випадкові похибки обробки в технологічній системі. Їх вплив на розсіювання розмірів .....	29
6.2 Міри положення та міри розсіювання випадкових величин.....	29
6.3 Закон нормального розподілу.....	31
6.4 Інші закони розподілу, що застосовуються в технології машинобудування .....	33
6.5 Загальна похибка обробки .....	35
Запитання для самоконтролю .....	36
ЛЕКЦІЯ 7. ВИПАДКОВІ ПОХИБКИ ОБРОБКИ. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ РОЗМІРІВ .....	37
7.1 Вибір та обґрунтування методів обробки .....	37
7.2 Статистичний аналіз точності виконання технологічної.....	38
7.3 Умови обробки деталі без браку .....	41
7.4 Розрахунок ймовірної величини браку для заданих умов обробки.....	42
7.5 Визначення кількості заготовок, які потребують додаткової обробки .....	43
Запитання для самоконтролю .....	44
ЛЕКЦІЯ 8. БАЗУВАННЯ ТА БАЗИ В МАШИНОБУДУВАННІ. ТЕОРІЯ БАЗУВАННЯ. ТИПОВІ СХЕМИ БАЗУВАННЯ .....	45
8.1 Основні поняття, терміни та визначення теорії базування.....	45
8.2 Класифікація баз за призначенням, за кількістю ступенів вільності, яких позбавляють заготовку, за характером проявлення .....	46
8.3 Типові теоретичні та практичні схеми базування призматичних та циліндричних заготовок .....	50
8.4 Налагоджувальні, перевірочні, штучні та чорнові технологічні бази.....	51
8.5 Умовне позначення технологічних баз на операційних ескізах.....	52
Запитання для самоконтролю .....	53
ЛЕКЦІЯ 9. БАЗУВАННЯ ТА БАЗИ В МАШИНОБУДУВАННІ. ПРИНЦИПИ ТЕОРІЇ БАЗУВАННЯ. ПОХИБКИ БАЗУВАННЯ. ....	55
9.1. Принципи суміщення баз.....	55
9.2 Принцип незмінності баз .....	56
9.3 Визначення похибок базування.....	57
Запитання для самоконтролю .....	59
ЛЕКЦІЯ 10. ЯКІСТЬ ВИРОБІВ. ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯКОСТІ. ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВСТАНОВЛЕНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНІ. ....	60
10.1 Якість. Показники якості. Методи оцінки рівня.....	60
10.2 Якість робочих поверхонь деталей машин. Геометричні та фізико-механічні характеристики якості.....	62
10.3 Технологічне забезпечення заданої шорсткості поверхні.....	63
10.4 Технологічне забезпечення параметрів зміцнення поверхневого шару та залишкових напружень в ньому .....	65

Запитання для самоконтролю .....	67
ЛЕКЦІЯ 11. ПРИПУСКИ НА МЕХАНІЧНУ ОБРОБКИ. ЗАГАЛЬНА ТЕОРІЯ РОЗРАХУНКУ ПРИПУСКІВ .....	68
11.1 Загальний припуск. Операційний припуск. Схема розміщення припусків та допусків для методу пробних ходів та вимірів Мінімальний операційний припуск .....	68
11.2 Схема для методу автоматичного отримання розмірів на налагоджених верстатах. Розрахунки проміжних розмірів для технологічних переходів.....	70
Запитання для самоконтролю .....	73
ЛЕКЦІЯ 12. ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЕКОНОМІЧНІСТЬ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО НОРМУВАННЯ. ....	74
12.1 Продуктивність та собівартість обробки .....	74
12.2 Основи технологічного нормування .....	75
12.2 Визначення економічної ефективності технологічного процесу .....	77
Запитання для самоконтролю .....	78
ЛЕКЦІЯ 13. МЕТОДИ ОДЕРЖАННЯ ЗАГОТОВОК. ....	79
13.1 Заготовки, які одержують литтям.....	79
13.2 Заготовки, що одержують тиском .....	80
13.3 Заготовки які виготовляють зварюванням.....	83
Запитання для самоконтролю .....	84
ЛЕКЦІЯ 14 МЕТОДИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН. ....	85
14.1 Обробка на токарних верстатах.....	85
14.2 Обробка на фрезерних верстатах.....	87
14.3 Обробка заготовок на свердлильних верстатах .....	91
14.4 Нарізання зубчатих коліс .....	92
14.5 Обробка заготовок на шліфувальних верстатах .....	94
Запитання для самоконтролю .....	95
ЛЕКЦІЯ 15. ЕТАПИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....	97
15.1 Класифікація технологічних процесів .....	97
15.2 Принципи та задачі технологічного проектування. Вихідні дані для розробки технологічних процесів. Стадії розробки ТП. Особливості проектування ТП для різних типів виробництва.....	98
Запитання для самоконтролю .....	100
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	101

## Вступ

Навчальна дисципліна «Технологічні основи машинобудування» належить до групи обов'язкових дисциплін професійної підготовки.

*Предметом навчальної дисципліни* є теоретичні положення та закономірності які впливають на експлуатаційні характеристики, якість та собівартість виробів при їх виробництві.

*Мета навчальної дисципліни* полягає у оволодінні майбутніми спеціалістами основними теоретичними положеннями технології машинобудування про структуру, зв'язки та закономірність технологічних процесів, що забезпечують потрібні параметри точності та інших показників якості при виробництві машин різноманітного призначення.

*Завдання вивчення навчальної дисципліни* передбачає формування у студентів компетенцій, теоретичних знань та практичних умінь, що включають: теорію похибок механічної обробки та методи їх розрахунку; теорію та методи забезпечення точності механічної обробки; теорію базування оброблюваних заготовок та методику вибору технологічних баз; теорію та методи розрахунків припусків на механічну обробку; теорію впливу технології обробки на формування якості поверхневого шару та експлуатаційні властивості деталей машин.

# Лекція 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ, ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

**1.1 Технологія машинобудування – прикладна технічна наука. Основні питання, які визначаються в технології машинобудування, типові технологічні задачі. Рівень розвитку сучасної технології виробництва та світові тенденції розвитку конкурентоспроможних технологій**

*Технологія машинобудування* – це наука про виготовлення машин потрібної якості у встановленій виробничою програмою кількості і в заданий термін при найменших витратах живої та уречевленої праці, тобто при найменшій собівартості.

Технологія машинобудування як дисципліна має ряд особливостей:

1 Технологія машинобудування є прикладною наукою, яка викликана потребами промисловості.

2 Будучи прикладною наукою, технологія машинобудування разом з тим має значну теоретичну основу, яка включає в себе вчення про:

- типізацію технологічних процесів і групову обробку;
- теорію базування;
- жорсткість технологічної системи;
- аналітичні методи визначення точності процесів обробки;
- ймовірно-статистичний метод визначення точності обробки;
- вплив механічної обробки на стан металу поверхневого шару заготовок та експлуатаційні властивості деталей машин;
- припуски на обробку;
- шляхи підвищення продуктивності та економічності технологічних процесів;

3 Технологія машинобудування є комплексною інженерною та науковою дисципліною

Саме визначення технології машинобудування як науки про виготовлення машин трактує її як синтез:

- технічних проблем (виготовлення машини потрібної якості);
- організації виробництва (у встановленій виробничою програмою кількості);
- планування (у заданий термін);
- економіки машинобудування (при найменшій собівартості).

Деякі важливі розділи цих наук стали органічною частиною технології машинобудування, наприклад: визначення трудомісткості та технічне нормування; зіставлення економічності варіантів технологічних процесів і розрахунки собівартості технологічного оснащення та ін..

Безпосередньо зв'язані з технологією машинобудування:

- економіка та організація виробництва;
- проектування технологічного оснащення;
- проектування механоскладальних цехів.

4 Технологія машинобудування – наймолодша наука. Вона швидко розвивається та поновлюється новими відомостями.

5 Технологія машинобудування розвивається працею вітчизняних вчених, інженерів, новаторів виробництва.

7 Технологія машинобудування є основною профільною дисципліною однойменної спеціальності, вона суттєво визначає професійний рівень інженера та його здатність до практичного використання досягнень загальнотеоретичних і загальноінженерних наук.

Основні напрямки розвитку технології машинобудування у сучасний період наступні:

- упровадження малоопераційних технологічних процесів, процесів безвідходної та маловідходної, ресурсо- і енергозберігаючої технологій;
- удосконалення заготівельного виробництва;
- удосконалення методів механічної обробки;
- підвищення потужності та продуктивності металорізального обладнання та його автоматизація;
- покращення геометрії та стійкості різального інструменту і поліпшення оброблюваності матеріалу виробу шляхом тимчасової зміни його механічних властивостей (охолодженням чи нагріванням);
- механізація та автоматизація технологічних процесів, застосування адаптивних систем керування технологічними процесами, створення автоматичних ліній, гнучких виробничих систем та ін.;
- застосування САПР.

## **1.2 Об'єкти машинобудівного виробництва та їх елементи. Вихідна заготовка, оброблена заготовка, деталь, збиральний комплект, комплектуючий вибір, вузол, виріб**

Об'єктами виробництва машинобудівної промисловості є різні машини.

*Машина* – це механізм або сполучення механізмів, що здійснюють доцільні рухи для перетворення енергії або виконання робіт. Залежно від основного призначення розрізняють два класи машин: машини-двигуни, за допомогою яких один вид енергії перетворюється в інший, зручний для використання, і робочі машини (машини-знаряддя), за допомогою яких провадяться змінювання форми, властивості і положення об'єкта праці.

Інше визначення машини:

*Машина* – неживий перетворювач продукту в корисну для людини продукцію. Будь-яка машина створюється для здійснення технологічного процесу з метою задоволення тієї чи іншої потреби людини. Потреби людського суспільства є головним стимулом у створенні машини.

Машини, механізми і устаткування, їх агрегати чи деталі в процесі виробництва їх на машинобудівному підприємстві є виробами, тобто виріб – це продукт кінцевої стадії виробництва, або це набір (чи предмет) виробництва, що належить виготовленню на підприємстві.

Вироби залежно від призначення поділяються на вироби основного і допоміжного виробництва. До виробів основного виробництва відносять вироби,



які призначені для реалізації, а до виробів допоміжного виробництва – вироби, які призначені тільки для власних потреб підприємства, що їх виготовляє.

Згідно зі стандартом встановлено такі види виробів.

*Деталь* – це первинний елемент виробу виготовлений з однорідного за найменуванням і маркою матеріалу без використання складальних операцій.

*Базові деталі* – це деталі з базовими поверхнями, які виконують у складальному з'єднанні (у вузлі) роль з'єднуючої ланки, що забезпечує при складанні відповідне положення інших деталей.

*Базовий вузол* – виконує ту ж функцію що і базова деталь, але це стосується, як правило, загального складання.

*Складальна одиниця (вузол)* – це частина виробу, яка складається окремо на підприємстві-виготовлювачі і в подальшому бере участь в процесі складання як одне ціле. Складальні одиниці (вузли), які в процесі загального складання безпосередньо входять у виріб, називаються складальними одиницями першого порядку. Складальні одиниці, що входять в складальну одиницю першого порядку, називаються складальними одиницями другого порядку і т.д.

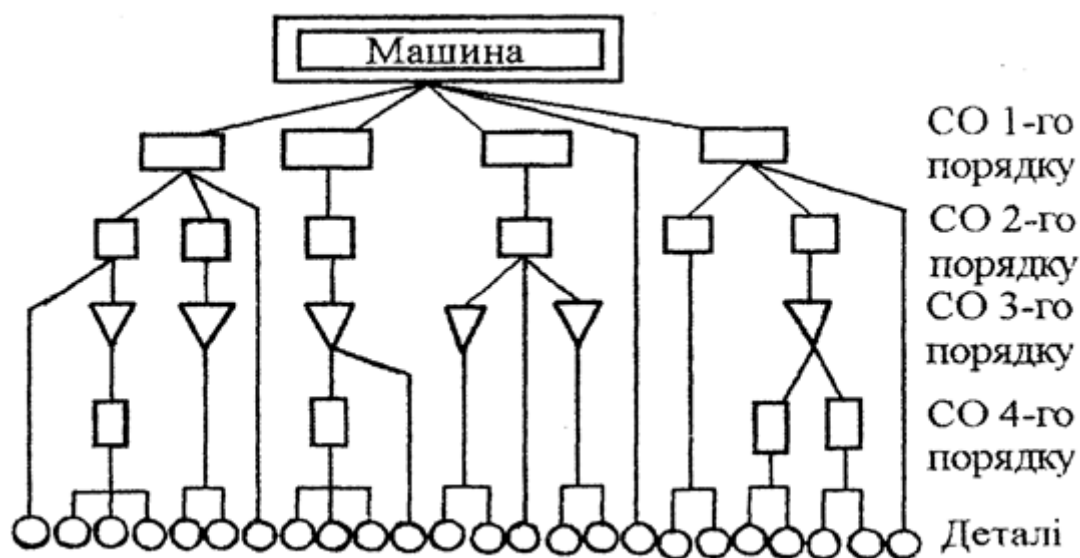


Рисунок 1.1 – Схема складальних елементів машин

*Складальний комплект* – це група складових частин виробу, які необхідно подати на робоче місце для складання виробу чи його складової частини.

Об'єктами виробництва машинобудівних підприємств можуть бути комплекси і комплекти виробів, крім окремих машин і їх частин.

*Комплекс* – це два і більше спеціфіцированих вироби, не з'єднаних на підприємстві – виготовлювачі складальними операціями, але призначених для виконання взаємопов'язаних експлуатаційних функцій; наприклад: автоматична лінія, цех – автомат, верстат з ЧПК з керуючими панелями і т. ін..

*Комплект* – це два і більше виробів не з'єднаних на підприємстві – виготовлювачі складальними операціями і уявляючи собою набір виробів, які мають загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру; наприклад,

комплект запасних частин, інструмента та приналежності, вимірювальної апаратури, упакованої тари і т. ін.

*Комплектуючи вироби* – це виріб підприємства – постачальника, який застосовується як складова частина виробу, що випускається підприємством – виготовлювачем.

*Конструктивна складальна одиниця* – це одиниця, що спроектована лише за функціональним принципом без врахування особливого значення умов незалежного і самостійного складання. Прикладами таких складальних одиниць можуть бути механізми газорозподілення, системи паливопроводів і мастилопроводів двигуна і т. ін..

*Технологічна складальна одиниця чи вузол* – це складальна одиниця, яка може складатись окремо від інших складових частин виробу і виконувати певну функцію у виробі одного призначення тільки разом з іншими складовими частинами.

*Агрегат* – це складальна одиниця, якій притаманні такі властивості: - повна взаємозамінність; можливість складання окремо від інших складових частин виробу; здатність виконувати певну функцію у виробі або самостійно. Складання виробів з агрегатів називається агрегатним або модульним. Виріб, спроектований за агрегатним принципом, без сумніву, має кращі техніко-економічні показники як у виготовленні, так і в експлуатації та ремонті, цикл складання значно скорочується.

### **1.3 Виробничий і технологічний процеси та їх коротка характеристика. Технологічна операція та її структура**

*Виробничий процес* являє собою сукупність всіх дій людей і знарядь виробництва, необхідних на даному підприємстві для виготовлення та (або) ремонту виробів, що випускаються.

*Технологічний процес* – це частина виробничого процесу, яка містить цілеспрямовані дії по зміні і (або) визначення стану об'єкта (предмета) праці.

Технологічні процеси складаються з окремих частин, операцій, установ, переходів і ходів. У найзагальнішому випадку будь-яка технологія містить три основні елементи: ТО – технологічний об'єкт, ТП – технологічний процес, ТС – технологічні засоби (рис. 1.1.).

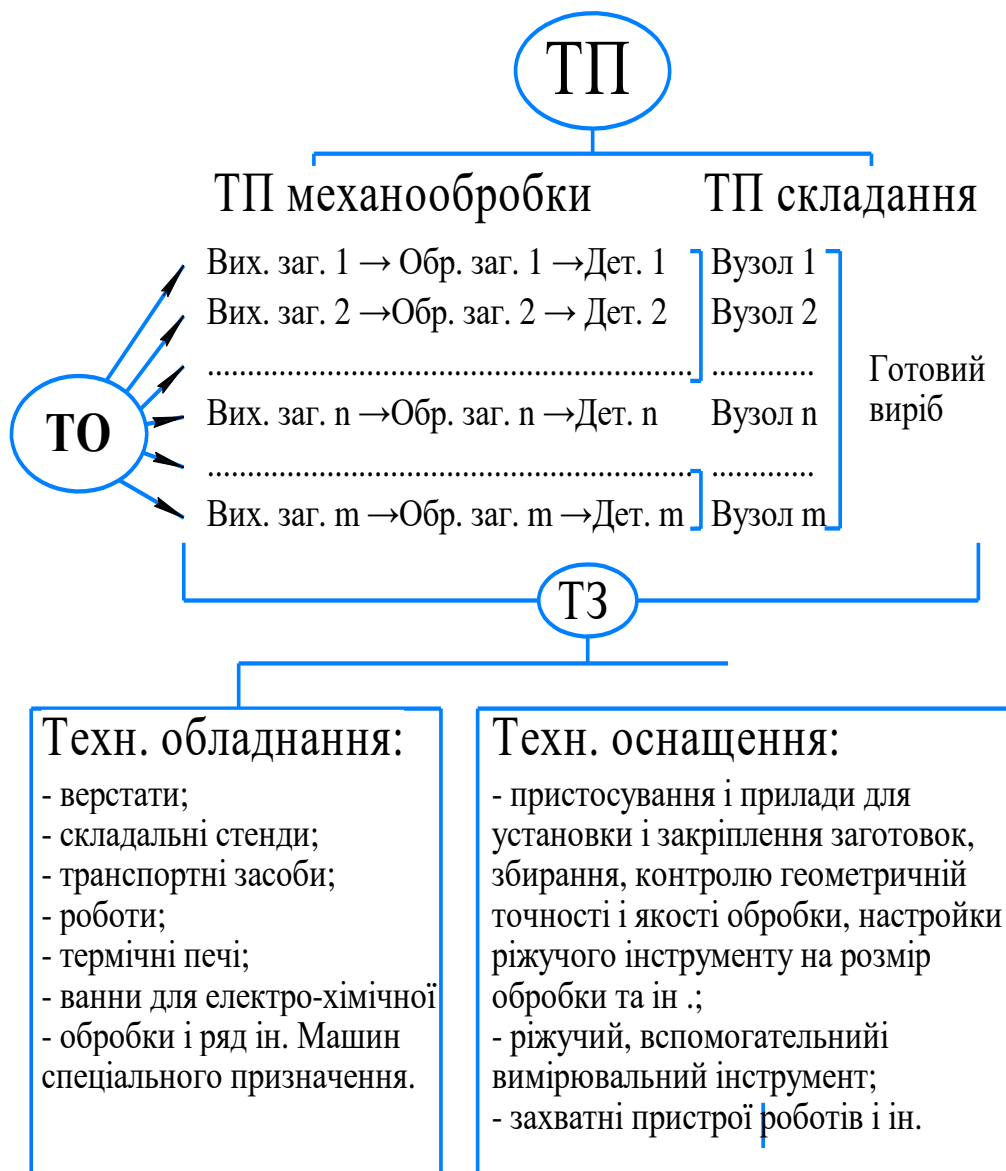


Рисунок 1.2 – Структура технологічного процесу

*Операцією* називається закінчена частина технологічного процесу, що виконується на одному робочому місці, над однією деталлю або сукупністю декількох одночасно оброблюваних деталей одним робітником або групою робітників без розриву в часі. В операцію входять не лише роботи, пов'язані зі зміною форми чи розмірів деталі, а й дії, пов'язані з обслуговуванням верстата, пристрою та інструмента.

*Установом* називається частина операції, що виконується при незмінному закріпленні оброблюваної деталі або складальної одиниці. Він може включати одну або більше позицій.

*Позиція* – це фіксоване положення, яке займає незмінно закріплена оброблювана заготовка або складальна одиниця разом з пристроєм відносно інструмента або нерухомої частини обладнання для виконання операції або її частини. Зміна положення деталі відносно верстата при незмінному закріпленні її може відбуватися за рахунок поворотних елементів пристрою або стола верстата.

Кожна позиція, установ або операція може мати різну кількість переходів.

*Технологічний перехід* – закінчена частина технологічної операції, що характеризується постійністю використання інструмента і поверхонь, утворених обробкою або з'єднаних при складанні та супроводжуваних відповідно зміною розмірів, форми, шорсткості та взаємного розташування поверхонь, або відносного розташування з'єднаних деталей (рис. 1.2, а-в, д).

*Допоміжний перехід* – це закінчена частина технологічної операції, яка складається із дій людини і (або) обладнання, які не супроводжуються зміною розмірів, шорсткості та взаємного розташування поверхонь, або відносного розташування з'єднаних деталей, але необхідні для виконання технологічного переходу, наприклад, встановлення заготовки, зміна інструмента тощо.

*Робочий хід* – це закінчена частина технологічного переходу, яка складається із одноразового переміщення інструмента відносно заготовки і супроводжуваного зміною форми, розмірів, шорсткості та взаємного розташування поверхонь, або відносного розташування з'єднаних деталей.

*Допоміжний хід* – це закінчена частина технологічного переходу, що складається з одноразового переміщення інструмента відносно заготовки, яка не супроводжується зміною розмірів, шорсткості або відносного розташування поверхонь чи властивостей заготовки, але необхідна для виконання робочого ходу.

*Робочий прийом* – це закінчена дія робітника, яка має цільове призначення і необхідна для виконання даної операції.

### **Запитання для самоконтролю**

1 Дайте визначення понять «машина», «складальна одиниця», «деталь», «виріб» та наведіть структуру машини.

2 Дайте визначення поверхонь деталі та сформулюйте функції що вони виконують.

3 Дайте визначення службового призначення машини, та зазначте важливість його докладного формулювання для створення нової машини.

4 Накресліть структуру технічної підготовки виробництва машин, та перелічіть функції що виконуються на кожному її етапі.

5 Дайте визначення понять «Виробничий процес», «Технологічний процес», в чому їх принципова різниця.

6 Дайте визначення понять елементів технологічного процесу: операція, установ, позиція, перехід (технологічний, допоміжний), хід (робочий, допоміжний), елемент прийому.

## Лекція 2. Точність обробки у машинобудуванні та методи її технологічного забезпечення

### 2.1 Точність обробки, як головна складова характеристика виробу. Елементарні похибки обробки в технологічній системі, їх фізична природа, шляхи їх зменшення та урахування при обробці

Під точністю деталі розуміють ступінь її наближення до геометрично правильного її прототипу.

*Допуск* – це найбільше значення похибки, при якій деталь ще задовольняє своє службове призначення.

Точність деталі характеризують наступні основні показники:

1 Точність відстані між якими-небудь її двома поверхнями, чи точність розмірів поверхні деталі, що надають їй ті чи інші геометричні форми (наприклад, діаметр і довжина циліндричної поверхні).

2 Точність повороту (взаємного положення) однієї поверхні відносно іншої, вибраної за базу. Оскільки деталь представляє собою просторове тіло, то точність повороту (відносного положення) однієї поверхні відносно іншої звичайно розглядають в двох перпендикулярних координатних площинах.

3 Точність геометричних форм поверхонь деталі чи правильність геометричних форм. Під цим розуміють найбільше наближення кожної з поверхонь деталі до її геометричного представлення.

Точність машини. Розглянуті вище показники, що характеризують точність деталі, використовуються і для характеристики точності машини. Різниця полягає тільки в тому, що у деталі всі показники точності відносяться до поверхонь однієї даної деталі, у машини ж вони відносяться до виконавчих поверхонь, які належать різним зв'язаним одна з одною деталям машини.

Точність машини характеризується такими основними показниками:

- точність відносного руху виконавчих поверхонь машини;
- точність відстаней між виконавчими поверхнями чи замінюючими їх сполученнями та їх розмірів;
- точністю відносних поворотів виконавчих поверхонь;
- точністю геометричних форм виконавчих поверхонь;
- шорсткістю виконавчих поверхонь.

Встановлення оптимальних допусків. Встановлення заданої точності є відповідальним етапом роботи конструктора. Вона встановлюється на основі аналізу умов роботи машини із врахуванням економії її виготовлення і наступної експлуатації. Задача розв'язується на базі теоретичних та експериментальних даних із врахуванням досвіду експлуатації машин аналогічного типу.

В залежності від того, які вимоги необхідно витримати, підхід до забезпечення точності може бути різним. У простіших випадках необхідну точність знаходять на основі геометричного аналізу і розрахунку розмірних ланцюгів виробу. Для швидкохідних машин розрахунки потрібно проводити із врахуванням динамічних явищ. Для рухомих з'єднань необхідно врахувати

умови змащування контактуючих поверхонь, а для з'єднань з гарантованим натягом обов'язкова перевірка за силами зсуву і моментами. Враховують також теплові явища, вимоги взаємозамінності, якість поверхонь спряжених деталей, умови складання та ремонту, допустиме зношування, яке визначає тривалість роботи машини до ремонту. Проте надто висока точність підвищує витрати при виробництві машин і мало підвищує їх функціональні якості. При жорстких допусках, тобто з підвищенням точності виготовлення машини, зростає трудомісткість та собівартість її виготовлення.

Для кожного конкретного випадку допуски на всі показники якості машини повинні встановлюватись на основі техніко-економічних розрахунків, які повинні мати на увазі досягнення найменших затрат суспільно необхідної праці на вирішення задач, для виконання яких створюється машина.

Допуски на всі показники точності машини, які встановлені виходячи із її службового призначення, поділяють звичайно на дві складові: першу, яку використовують при виготовленні машини, і другу, яку залишають на зношування машини під час її експлуатації.

Складові допусків, що призначені на виготовлення машини, прийнято називати допусками на приймання готової машини в робочому стані. Ці складові допусків, в свою чергу, також доводиться ділити на декілька нерівних частин, що робиться для компенсації відхилень, які виникають внаслідок:

1) використання наближених, замість точних, законів відносного руху виконавчих поверхонь машини, а також застосування через недостатність знань наближених методів розрахунку;

2) недостатньої жорсткості самих деталей машини, які деформуються як під впливом діючих сил і коливань температури, так і внаслідок перерозподілу внутрішніх напружень;

3) недостатньої жорсткості стиків;

4) похибок регулювання та складання машини і виготовлення її деталей.

## **2.2 Методи досягнення точності в технології машинобудування. Метод пробних ходів та вимірів. Його суть, основні переваги та недоліки, область практичного використання**

Методом пробних робочих ходів:

– встановити та вивірити заготовку;

– послідовно знімати пробні стружки та замірювати одержані розміри, і так продовжувати до одержання необхідного результату.

Метод трудомісткий, застосовується в одиничному та дрібносерійному виробництвах.

### **2.3 Метод автоматичного забезпечення розмірів на налагоджених верстатах, його суть, основні переваги та недоліки, область практичного використання. Кількісна оцінка точності обробки величиною сумарної похибки на операції у технологічному процесі в цілому**

Суть методу полягає в тому, що партію заготовок обробляють на попередньо настроєному верстаті зі встановленням заготовок у пристроях без вивірення їх положення, а різальний інструмент при налагодженні верстата встановлюють на визначений розмір, який називається настроювальним. Одержання заданого розміру досягають за один робочий хід, тобто при однократній обробці. Цей метод більш продуктивний, ніж метод пробних ходів, але потребує спеціальних пристроїв і більш стабільних за розмірами вихідних заготовок.

Обробку методом автоматичного одержання заданих розмірів широко застосовують в серійному і масовому виробництвах.

В обох розглянутих методах на точність обробки впливають суб'єктивні фактори – кваліфікація робітника: при першому методі цей вплив проявляється на точності встановлення та вивірення заготовки і на точності встановлення інструмента, при другому методі – на точності встановлення інструмента і пристрою в процесі налагодження верстата перед обробкою партії заготовок.

#### **Запитання для самоконтролю**

1. Що розуміють під точністю деталі?
2. Що розуміють під точністю машини.
3. Дайте визначення поняття «допуск параметра якості», як встановлюються оптимальні допуски.
4. Схарактеризуйте методи досягнення заданої точності розміру деталі.
5. Наведіть основні недоліки методу пробних ходів та промірів.
6. Наведіть основні недоліки методу автоматичного отримання розмірів.

## **Лекція 3. Систематичні похибки обробки. Похибки схеми обробки та верстата**

Систематичними називаються похибки, які для всіх оброблених заготовок (деталей) розглядуваної партії залишаються постійними або ж закономірно змінюються від кожної попередньої заготовки до наступної. У першому випадку похибка називається постійною, а у другому – змінною.

Основними причинами виникнення систематичних постійних та змінних похибок можуть бути:

1 Похибки теоретичної схеми обробки.

2 Неточність, зношування та деформації верстатів, пристроїв та інструментів у ненавантаженому стані, а також під впливом зусиль різання.

3 Силіві пружні деформації оброблюваних заготовок.

4 Теплові деформації елементів технологічної системи.

5 Похибки налагодження верстатів на розміри обробки (загальна похибка обробки утворюється з декількох випадкових величин, а у випадку обробки всієї партії заготовок на одному налагодженні верстата діє як постійна систематична похибка).

### **3.1. Похибки теоретичної схеми обробки**

Цей вид похибок виникає внаслідок заздалегідь свідомо допущених відхилень за конструктивно-технологічними, або економічними міркуваннями від теоретично точної схеми обробки.

При обробці деяких складних профілів фасонних деталей сама схема обробки припускає певні допущення і приблизні розв'язання кінематичних задач та спрощення конструкції різальних інструментів, що викликає появу систематичних похибок (звичайно систематичних похибок форми).

Наприклад, при нарізанні зубчастих коліс черв'ячними фрезами теоретична схема операції (кочення зубчастого колеса, що нарізається по прямолінійній рейці осьового перерізу черв'ячної фрези) свідомо порушується нахилом канавки, що створює різальні леза фрези, і це призводить до появи систематичної похибки евольвентного профілю зуба. Аналогічно виникають похибки евольвенти зуба в процесі стругання довбачем у зв'язку з порушенням правильного профілю останніх при створенні переднього кута при заточуванні.

При нарізанні зуба модульними фрезами систематичну похибку профілю зуба викликає невідповідність кількості зубів, що нарізаються, розрахунковому числу, для якого спроектована фреза.

При фрезеруванні та нарізанні різі обертовими різцями (вихрове нарізання) кінематична схема операції визначає появу огранки (хвилястості) поверхні різі, що є систематичною похибкою форми поверхні.

Нарізання зубів зубчастих коліс дисковими або кінцевими модульними фрезами методом копіювання (ділення). Профіль робочої частини модульної фрези (рис. 3.1) представляє собою копію профілю западини зубчастого колеса, що нарізається.



Профіль западини зубчастого колеса залежить від числа зубів  $z$  та модуля  $m$  при однаковому куті профілю. Тому для кожного модуля і числа зубів колеса теоретично необхідно мати окрему фасонну фрезу.

З техніко-економічних міркувань з метою зменшення номенклатури інструменту застосовують комплекти у складі 8 або 15 номерів фрез однакового модуля. Кожна фреза комплекту призначена для обробки групи коліс з різним числом зубів. Так, фреза другого номера з комплекту у 8 фрез призначена для коліс з числом зубів від 14 до 16, а фреза сьомого номера – для коліс з числом зубів від 55 до 134. Розрахунок профілю фрези ведеться по колесу з мінімальним числом зубів кожної групи. Всі інші колеса групи будуть мати заздалегідь визначені похибки обробки.

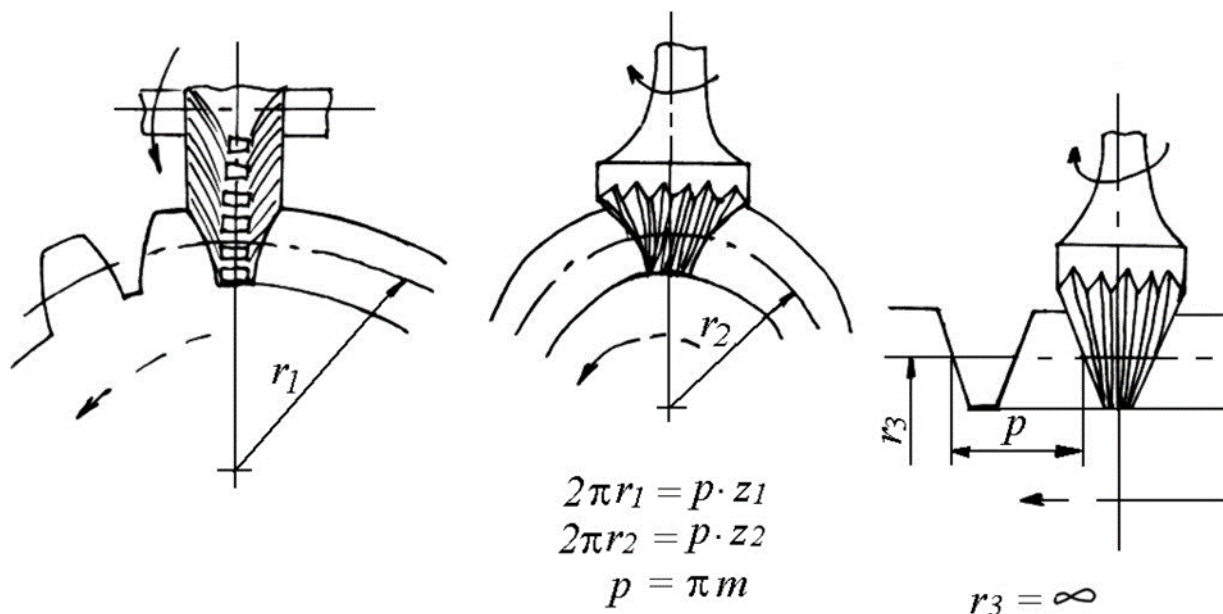


Рисунок 3.1 – Схема утворення систематичної похибки при нарізанні зубів методом копіювання

### 3.2. Похибки обробки, які визначаються кінематичною та геометричною точністю металорізального верстата, деформаціями та зношуванням його елементів

Похибки виготовлення та складання верстатів обмежуються нормами державних стандартів, які визначають допуски і методи перевірки геометричної точності верстатів, тобто точності верстатів у ненавантаженому стані. Дані про точність верстатів наведені у паспортах на них.

Похибки геометричної точності верстатів повністю або частково переносяться на оброблювані заготовки. Похибка обробки виникає внаслідок відхилення фактичної траєкторії переміщення різального інструменту відносно оброблюваної поверхні від траєкторії, передбаченої кінематичною схемою при виготовленні. На нових верстатах похибка, що пов'язана з їх геометричною точністю, порівняно мала, але при спрацюванні елементів верстата похибка значно збільшується.

Геометричні неточності верстата викликають сталу систематичну похибку форми і взаємного розташування поверхонь оброблюваних заготовок. Величина цих систематичних похибок піддається попередньому аналізу і підрахунку.

При непаралельності осі шпинделя токарного верстата напрямку руху супорта у горизонтальній площині циліндрична поверхня обробленої заготовки, закріпленої в патроні верстата, перетворюється в конічну (рис. 3.2, а). При цьому зміна радіуса  $r$  заготовки дорівнює відхиленню  $a$  осі від паралельності по відношенню до напрямних на довжині заготовки, тобто:

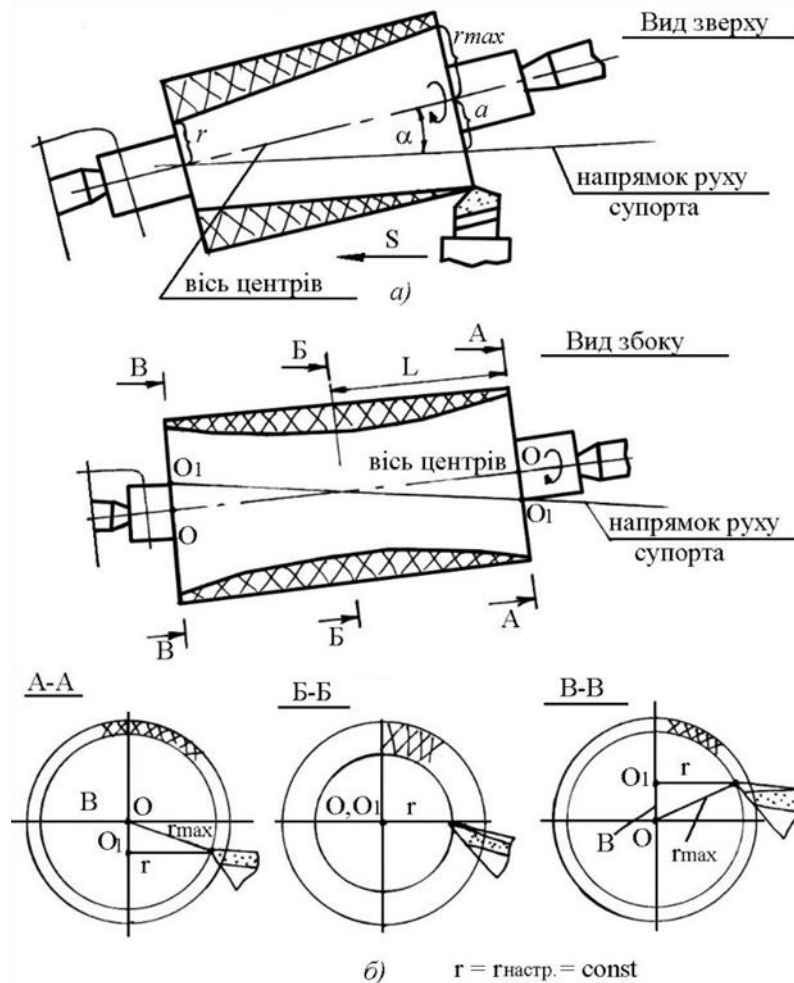


Рисунок 3.2 – Похибки форми при обточуванні циліндричних заготовок

При непаралельності осі шпинделя відносно напрямних у вертикальній площині оброблювана поверхня набуває форми гіперболоїда обертання (рис. 3.2, б), найбільший радіус якого:

Биття шпинделів токарних і круглошліфувальних верстатів, що викликається овальністю підшипників та опорних шийок шпинделів, викривлює форму обробленої заготовки у поперечному перерізі. Овальність шийок шпинделів в цьому випадку переноситься на заготовку, оскільки при її обробці шийки шпинделів весь час притискаються до певних ділянок поверхонь підшипників.

Биття передніх центрів токарних і круглошліфувальних верстатів при правильному положенні осі шпинделя викликають перекошення осі

оброблюваної поверхні при збереженні правильного кола у поперечному перерізі заготовки.

Причинами биття переднього центра в цьому випадку можуть бути: биття осі конічного отвору шпинделя; биття осі переднього центра по відношенню до осі його хвостовика; неточність посадки переднього центра в конічному отворі шпинделя.

На рис. 3.3, а показано, що при битті переднього центра центрована лінія в процесі обробки описує конус з вершиною біля заднього центра. Основа цього конуса дорівнює биттю переднього центра, а віссю конуса є вісь обертання шпинделя верстата. В результаті обточування у поперечному перерізі заготовки (переріз А – А) виходить правильне коло заданого радіуса (оскільки обертання заготовки відбувається навколо правильно розташованої і постійної осі обертання ОО шпинделя), але слід центральної лінії, що з'єднує центрові отвори заготовки, опиняється зміщеним від центра перерізу на відстань  $e$ . Після обробки заготовка набуває форми циліндра, вісь якого нахилена по відношенню до лінії центрових отворів на кут  $\alpha$ . У окремих випадках при обточуванні за два встановлення оброблена заготовка має дві осі з найбільшим кутом перетину осей, рівним  $2\alpha$  (рис. 3.4, б).

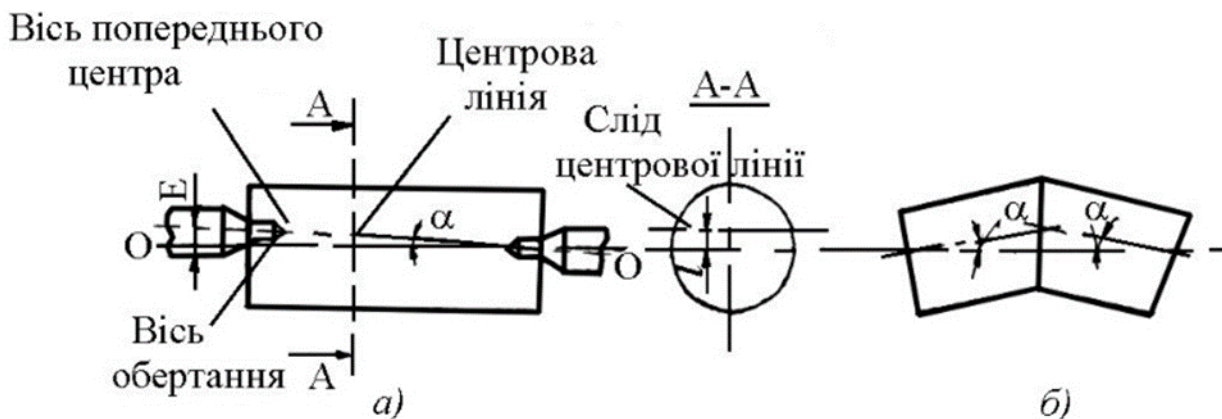


Рисунок 3.4 – Вплив биття переднього центра на точність обробки: а – похибка при обточуванні за одне встановлення; б – похибка при обточуванні з переустановленням заготовки

Зношування напрямних призводить до зміни положення окремих вузлів верстата, що викликає додаткові похибки оброблюваних заготовок. Нерівномірне зношування передньої та задньої напрямних токарного верстата викликає нахил супорта і зміщення вершини різця у горизонтальній площині, що безпосередньо збільшує радіус оброблюваної поверхні. Нерівномірність зношування напрямних по їх довжині призводить до появи систематичної похибки форми оброблюваної заготовки.

Відхилення від перпендикулярності шпинделя вертикально-фрезерного верстата до поверхні стола у поздовжньому напрямку викликає ввігнутість поверхні

Не перпендикулярність осі шпинделя вертикально-фрезерного верстата відносно площини його стола поперечному напрямку викликає непаралельність

оброблюваної площини по відношенню до установчої, яка за величиною дорівнює лінійному відхиленню від перпендикулярності на ширині заготовки.

### **Запитання для самоконтролю**

1 Сформулюйте визначення систематичних похибок обробки та наведіть приклади.

2 Які причини викликають систематичні похибки?

3 Як впливають на точність заготовок похибки теоретичної схеми обробки? Наведіть приклади.

4 Наведіть приклади похибок обробки в наслідок геометричної неточності верстатів. Як ці похибки можна класифікувати, який вплив вони чинять на форму кривої розподілення розмірів, як їх зменшити, чи усунути.

## Лекція 4. Систематичні похибки обробки. Похибки від інструменту та теплових деформацій

### 4.1 Похибки, які визначаються геометричною неточністю різального інструменту

У процесі механічної обробки різальний інструмент піддається зношуванню. З точки зору впливу зношування на точність обробки необхідно розглядати так зване розмірне зношування, яке вимірюється у напрямку нормалі до оброблюваної поверхні.

При значних розмірах заготовки зношування впливає на геометричну форму (рис. 4.1, а), а також розташування (рис. 4.1, б) оброблюваної поверхні. При обробці заготовок невеликих розмірів зношування позначається на зміні розмірів послідовно оброблюваних заготовок.

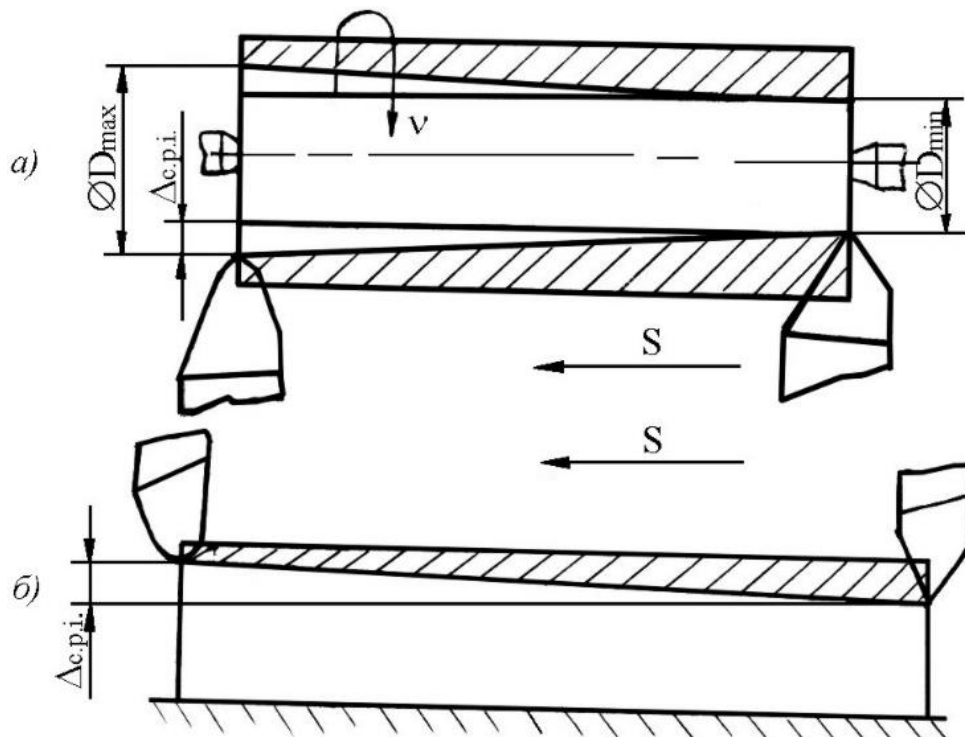


Рисунок 4.1 – Вплив спрацювання різального інструменту на точність обробки при точінні (а) та струганні (б)

### 4.2 Похибки від розмірного зносу інструменту, їх розрахунок

Зношування інструмента у залежності від шляху різання характеризується кривою, наведеною на рис. 4.1.

Процес зношування можна поділити на три періоди: перший період (відрізок I) короткочасний і характеризується активним зношуванням у зв'язку з припрацюванням інструменту; другий період (відрізок II) – це нормальне зношування інструмента, коли спостерігається приблизно лінійна залежність зношування від шляху різання; третій період (відрізок III) характеризується різким зростанням зношування, за яким настає недовзі руйнування різальної

кромки. Зношування інструмента по закінченню другого періоду називають гранично допустимим зношуванням.

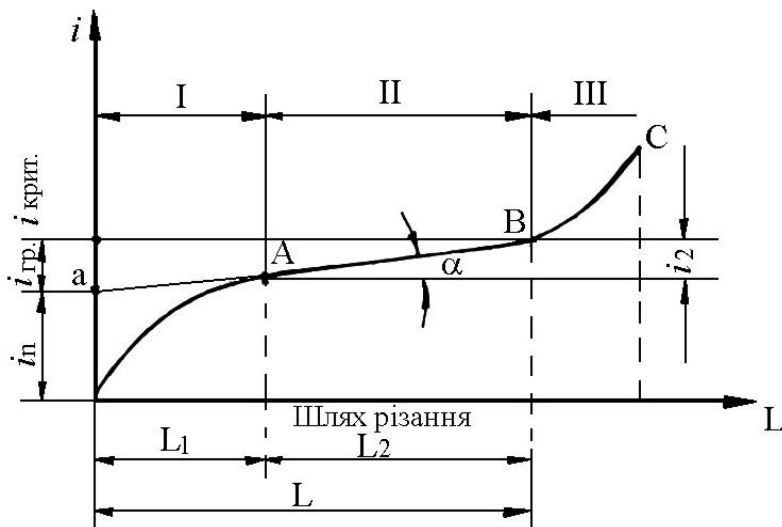


Рисунок 4.2 – Зношування різального інструменту

На другій (основній) ділянці кривої розмірного зношування його інтенсивність характеризується значенням тангенса кута нахилу кривої до осі абсцис, який називається відносним (питомим) зношуванням  $i_o$ :

$$i_o = \operatorname{tg} \alpha = \frac{i_2}{L_2}, \quad (4.1)$$

де  $i_2$  – розмірне зношування за другий період роботи інструмента;  $L_2$  – шлях різання, що відповідає другому періоду роботи інструмента.

В період припрацювання залежність зношування від шляху різання виражається степеневою функцією. Для спрощення розрахунків розмірного зношування криву на цій ділянці замінюють прямою  $aA$ , яка є продовженням прямої  $AB$  що характеризує період нормального зношування; лінія  $aA$  відсікає від осі ординат величину  $i_n$ , яка характеризує зношування за період припрацювання. Величина  $i_n$  називається початковим зношуванням  $\Delta i$  виражається в мікрометрах.

Отже, для конкретних умов обробки за даними  $i_o$  та  $i_n$  можна розрахувати розмірне зношування  $\Delta i$  в мікрометрах на довжині шляху різання:

$$\Delta i = i_n + i_o \frac{L}{1000}, \quad (4.2)$$

де  $L$  – шлях різання, м.

У зв'язку з переривчастим характером процесу фрезерування інтенсивність зношування більша ніж при точінні і визначається за формулою:

$$i_{o.фр} = \left(1 + \frac{100}{B}\right) i_o, \quad (4.3)$$

де  $B$  – ширина фрезерування, мм;  $i_o$  – інтенсивність зношування, мкм/км.

Різальний інструмент поділяється на такий, що допускає коригування налагоджувального розміру (різці, фрези, шліфувальні круги, регульовані розвертки), тобто дозволяє компенсувати вплив розмірного зношування на

точність обробки, і такий, що не дозволяє цього робити (це – профільні інструменти).

При обробці заготовок методом пробних робочих ходів, розмірне зношування враховується при настроюванні на розмір.

При обробці заготовок на налагоджених верстатах компенсація розмірного зношування може відбуватись автоматичними підналагодчиками.

Основними шляхами скорочення впливу розмірного зношування на точність обробки є:

- покращення стабільності якості виготовлення інструмента;
- підвищення доводки його різальних кромки для скорочення величини початкового розмірного зношування;
- стабілізація сил різання;
- скорочення вібрацій в технологічній системі;
- вибір найбільш економічних режимів обробки;
- своєчасна зміна інструмента для його переточування;
- правильний вибір і застосування мастильно-охолоджувальної рідини;
- своєчасна компенсація розмірного спрацювання шляхом підналагодження технологічної системи.

### **Запитання для самоконтролю**

1 Як впливає на точність обробки розмірне зношування різального інструменту?

2 Як визначається похибка обробки з розмірного зношування різального інструменту при обточуванні?

3 Як визначається похибка обробки з розмірного зношування різального інструменту при фрезеруванні?

4 Якими заходами можна зменшити чи усунути ці похибки?

5 Як впливає на точність обробки геометрична неточність різального інструменту?

## Лекція 5. Жорсткість технологічної системи

### 5.1 Похибки, які визначаються пружними деформаціями елементів технологічної системи

Технологічна система верстат – пристрій – інструмент – деталь представляє собою систему (рис. 5.1), деформації якої в процесі обробки обумовлюють виникнення систематичних та випадкових похибок розмірів і геометричної форми оброблюваних заготовок. Разом з тим, ця технологічна система є замкненою динамічною системою, здатною до збудження та підтримання вібрацій, що породжують похибки форми оброблюваних поверхонь (некруглість, хвилястість) і збільшують їх жорсткість.

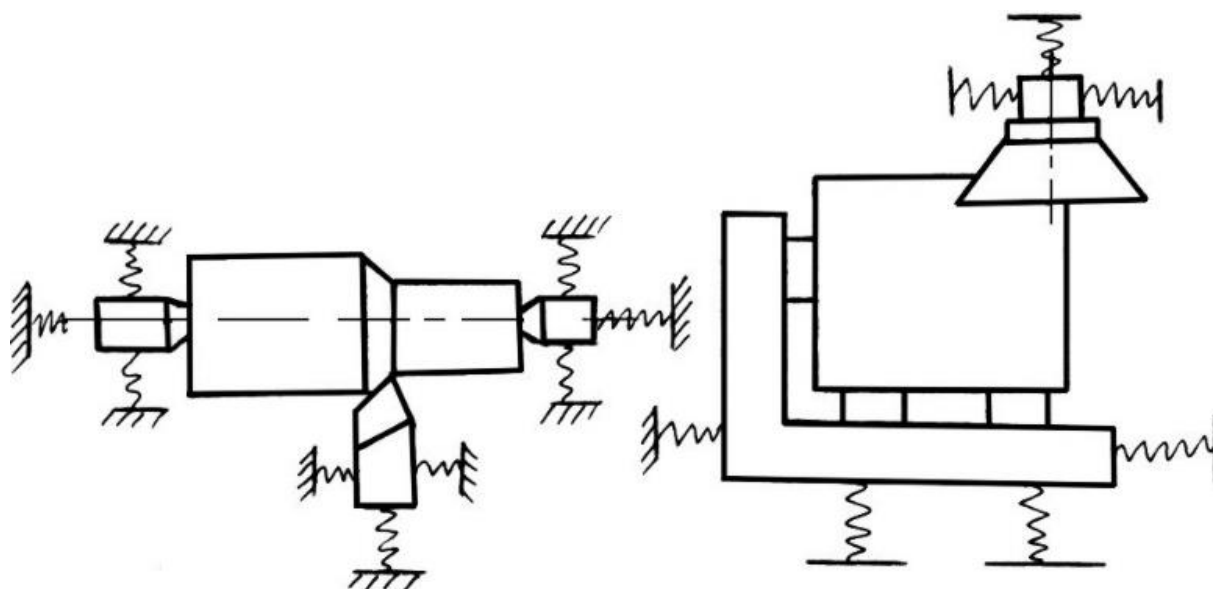


Рисунок 5.1 – Спрощені моделі токарної та фрезерної пружних технологічних систем

При обробці в центрах на токарному верстаті гладкого валу (рис. 5.2) у початковий момент, біля різця знаходиться у правого кінця валу, вся нормальна складова  $P_y$  зусилля різання передається через заготовку на задній центр, піноль і задню бабку верстата, викликаючи пружну деформацію названих елементів (згинання заднього центра і пінолі, відтискання  $y_{з.б}$  корпусу задньої бабки) в напрямку «від робітника». Це призводить до збільшення відстані від вершини різця до осі обертання заготовки на величину  $y_{з.б}$  і до відповідного збільшення радіуса оброблюваної заготовки.

Одночасно з цим під дією  $P_y$  відбувається пружне відтискання  $y_{інстр.}$  різця і супорта в напрямку «на робітника», що у свою чергу, тягне за собою збільшення відстані від вершини різця до осі обертання заготовки, а отже, і радіуса обробленого виробу. Таким чином, у початковий момент діаметр обробленої поверхні фактично виявляється більшим за діаметр, встановлений при настроюванні, на величину  $\Delta = 2(y_{з.б} + y_{інстр.})$ . При подальшому обточуванні та переміщенні різця від задньої бабки до передньої відтискання задньої бабки зменшується, але виникає відтискання передньої бабки  $y_{п.б}$  і оброблюваної



заготовки  $y_{заг.}$ , які також збільшують фактичний діаметр обробки (рис. 5.2). В деякому перерізі А–А фактичний діаметр оброблюваної заготовки виявляється рівним:

$$D_{факт}^{A-A} = D_{настр.}^{A-A} + 2\left(y_{з.б.}^{A-A} + y_{п.б.}^{A-A} + y_{інстр.}^{A-A} + y_{заг.}^{A-A}\right), \quad (5.1)$$

де  $D_{настр.}^{A-A}$  – налагоджувальний діаметр.

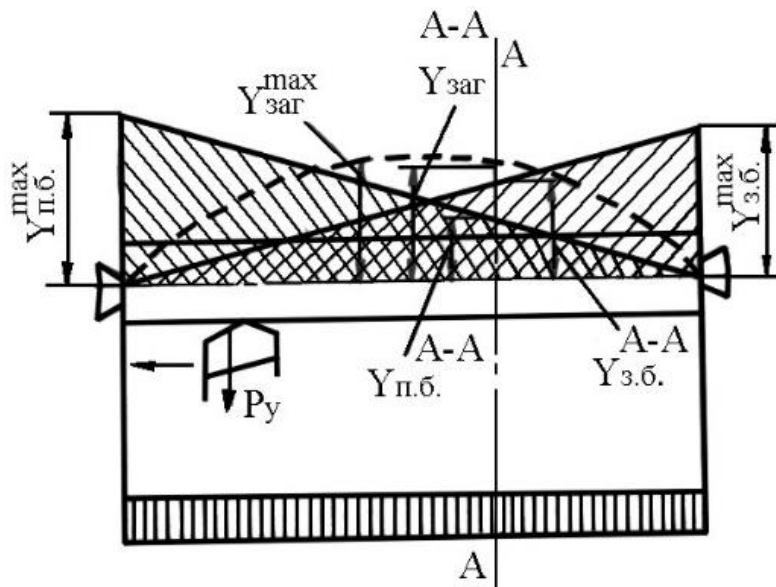


Рисунок 5.2 – Пружні відтискання технологічної системи

У зв'язку з тим, що пружні відтискання елементів верстата (крім відтискання  $y_{інстр.}$  супорта та інструмента) змінюються по довжині оброблюваної заготовки, її діаметр, а отже, і форма виявляються змінними по довжині. Похибка розміру і форми заготовки у даному випадку дорівнюють подвоєній сумі пружних відтискань в технологічній системі. Пружні відтискання визначаються діючими у напрямку цих відтискань зусиллями і жорсткістю технологічної системи.

Жорсткістю  $j$  технологічної системи називається здатність цієї системи чинити опір дії деформуючих її сил.

Якщо жорсткість елементів верстата дуже велика, а жорсткість оброблюваної заготовки мала (обточування довгого і тонкого валу на масивному верстаті), то відтискання  $y_{п.б.}$  і  $y_{з.б.}$  малі, а  $y_{заг.}$  значне. В результаті цього форма заготовки стає бочкоподібною. Навпаки, при обробці масивної заготовки, яка дає мінімальний прогин, на верстаті малої жорсткості ( $y_{п.б.}$  і  $y_{з.б.}$  значні) форма заготовки виявляється корсетоподібною з найменшим діаметром біля середині заготовки.

Для обчислення похибок обробки, пов'язаних з пружними відтисканнями технологічної системи, жорсткість цієї системи повинна мати кількісний вираз. Запропоновано виражати жорсткість  $j$ , кН/м, технологічної системи відношенням нормальної складової  $P_y$ , кН, сили різання до сумарного зміщення  $y$ , м (мм), леза різального інструмента відносно оброблюваної поверхні заготовки, вимірюваного в напрямку нормалі до цієї поверхні, тобто:

$$j = \frac{P_y}{y}, \quad (5.2)$$

Як впливає з вищесказаного:

$$y = y_v + y_{пр} + y_{заг} + y_{інстр}. \quad (5.3)$$

При визначенні жорсткості переміщення завжди вимірюється в напрямку, перпендикулярному до оброблюваної поверхні, і в розрахунок вводиться нормальна складова зусилля  $P_y$  різання, проте при цьому одночасно враховується вплив на  $y$  і решти складових сили різання ( $P_z$  і  $P_x$ ). Дослідження показали, що пружне зміщення  $y$ , розраховане тільки в умовах дії  $P_y$ , завжди більше (а отже, чисельне значення жорсткості системи менше), ніж при визначенні його із врахуванням одночасної дії складових  $P_z$  і  $P_x$ . У зв'язку з цим при експериментальному визначенні жорсткості технологічну систему необхідно навантажувати системою сил, близькою до експлуатаційної.

Жорсткість системи можна також обчислити з рівняння:

$$j = \frac{\Delta P_y}{\Delta y}, \quad (5.4)$$

де приріст нормальної сили  $\Delta P_y$  і сумарного зміщення  $\Delta y$  виражаються у тих же одиницях, що і в формулі, наведеній вище.

При знаходженні жорсткості технологічної системи за значеннями жорсткості окремих її ланок, а також при розрахунку похибок обробки, пов'язаних з пружними відтисканням окремих елементів системи, зручно користуватись поняттям піддатливості, яка чисельно дорівнює величині, оберненій жорсткості.

Піддатливістю  $\omega$  технологічної системи називається здатність цієї системи пружно деформувати під дією зовнішніх сил.

Піддатливість  $\omega$ , м/МН, можна виразити відношенням зміщення леза інструмента відносно заготовки, вимірюваного по нормалі до оброблюваної поверхні, до складової сили різання, діючої в тому ж напрямку, тобто:

$$\omega = \frac{y}{P_y} \text{ або } \omega = \frac{1}{j}. \quad (5.5)$$

Під власними деформаціями окремих деталей розуміють деформації розтягування, стискання, кручення та різні їх поєднання в межах пружності матеріалу, які виникають під дією прикладених до деталі сил.

## 5.2 Вплив жорсткості елементів технологічної системи на точність та продуктивність механічної обробки

Вплив жорсткості та піддатливості системи на точність розмірів і форми оброблюваних заготовок можна з'ясувати на основі аналізу схеми обробки, наведеної на рис. 5.3.

При настроюванні верстата різець встановлюють в положення, при якому заготовка повинна оброблятися на деякий радіус  $r_{теор}$  (рис. 5.3, а). Проте, в результаті пружного відтискання вузлів верстата  $y_v$  і відтискання заготовки  $y_{заг}$

вісь обертання заготовки зміщується з положення  $O_1$  в положення  $O_3$ , що призводить до збільшення фактичної відстані вершини різця до осі обертання заготовки. Одночасно у зв'язку з прогином і відтисканням різця (рис. 5.3, б) відстань від вершини до центра обертання заготовки додатково збільшується на величину  $y_{інстр}$ .

Пружні відтискання в технологічній системі призводять до збільшення фактичного радіуса обточування заготовки ( $r_{факт} = r_{теор} + y_в + y_{заг} + y_{інстр}$ ) при відповідному зменшенні фактичної глибини різання до величини:

$$t_{факт} = t_{теор} - (y_в + y_{заг} + y_{інстр}). \quad (5.6)$$

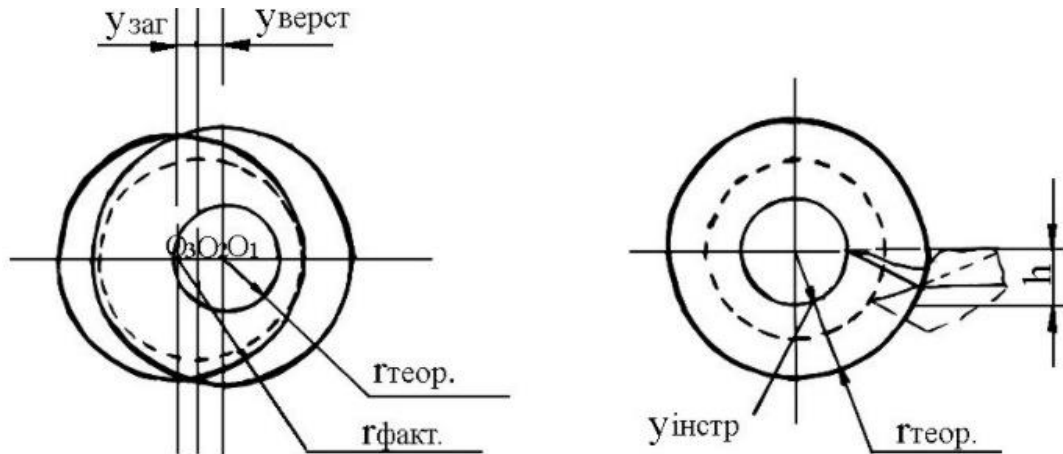


Рисунок 5.3 – Вплив пружних відтискань на розмір оброблювальної заготовки:  
 а – зміщення осі заготовки із-за відтискань верстата і заготовки;  
 б – зміщення вершини різця від центра заготовки у зв'язку з відтисканням і прогинанням різця

Загальне збільшення діаметра  $\Delta D$  оброблюваної заготовки у порівнянні з його теоретичним значенням, встановленим при настроюванні верстата, дорівнює подвоєному приросту фактичного радіуса або подвоєному сумарному відтисканню технологічної системи:

$$\Delta D = 2(r_{факт} - r_{теор}) = 2(y_в + y_{заг} + y_{інстр}) = 2y = \frac{2P_y}{j} \dots \quad (5.7)$$

Оскільки

$$P_y = C_y S^{y_p} t^{x_p} HB^n, \quad (5.8)$$

то

$$\Delta D = 2C_y S^{y_p} t^{x_p} HB^n \left( \frac{1}{j_в} + \frac{1}{j_{заг}} + \frac{1}{j_{інстр}} \right). \quad (5.9)$$

При постійній жорсткості технологічної системи по довжині обробки, незмінному режимі обробки і постійній твердості заготовки приріст діаметра у порівнянні з теоретичним його значенням зберігається однаковим по всій довжині заготовки і не викликає появи похибки її форми. Приріст діаметра залишається постійним для всіх заготовок партії (систематична похибка) і може бути врахованим при настроюванні верстата відповідним зменшенням розміру.

## **Запитання для самоконтролю**

- 1 Що розуміють під жорсткістю технологічної системи?
- 2 Що розуміють під податливістю технологічної системи?
- 3 Як визначається жорсткість технологічної системи?
- 4 Як визначається та податливість технологічної системи?
- 5 Як жорсткість та податливість технологічної системи впливає на точності розмірів?
- 6 Як жорсткість та податливість технологічної системи впливає на форми оброблюваних заготовок?

## **Лекція 6. Випадкові похибки обробки. Закони розсіювання розмірів**

### **6.1 Випадкові похибки обробки в технологічній системі. Їх вплив на розсіювання розмірів**

*Випадковими* називаються похибки, які для різних заготовок розглядуваної партії мають різні значення, причому їх поява не підкоряється ніякій очевидній закономірності.

Випадкові похибки виникають в результаті дії великої кількості незв'язаних між собою факторів. Визначити заздалегідь момент появи і точну величину цієї похибки для кожної конкретної деталі в партії не можливо.

Випадкові похибки можуть бути безперервними і дискретними.

Прикладами безперервних випадкових похибок можуть бути: положення заготовки на верстаті; похибки обробки, що викликаються відтисканням елементів технологічної системи під впливом нестабільних сил різання.

Дискретні випадкові похибки в технології машинобудування зустрічаються рідко. До них можна віднести, наприклад, похибку регулювання при використанні пристосувань ступінчастого типу.

Причинний зв'язок між випадковою похибкою і факторами, що викликають її появу, іноді буває відомим (явним), а іноді не достатньо відомим. Наприклад, для конкретного випадку обробки може бути виявлена залежність пружних відтискань технологічної системи від величини припуску, що знімається. Фактори, що викликають отримання різних діаметрів отворів, оброблених однією розверткою, є поки ще повністю нез'ясованими.

Типовими причинами, що викликають появу випадкових похибок, діють одночасно і незалежно одна від одної, можуть бути:

- 1 Коливання величини припуску на обробку поверхні.
- 2 Коливання твердості оброблюваного матеріалу.
- 3 Зміни положення оброблюваних заготовок у пристроях, пов'язані з похибками їх базування та закріплення.
- 4 Неточності встановлення елементів технологічної системи на упорах.
- 5 Коливання температурного режиму обробки.
- 6 Коливання пружних відтискань елементів технологічної системи під впливом нестабільних зусиль різання.

### **6.2 Міри положення та міри розсіювання випадкових величин**

Визначення показників точності технологічної операції можливо визначити за допомогою математичних методів на основі узагальнення нагромадженої масової статистичної інформації зі сфери їх механічної обробки дає змогу встановлювати ймовірнісні закономірності та співвідношення між випадковими чинниками, які впливають на точність обробки. При цьому застосовують апарат теорії ймовірностей і математичної статистики.

Практичним підґрунтям для використання цих розділів математичних наук є досвід, спостереження, активний експеримент.

Уживають ще й такі специфічні поняття, як випробування (дослід), подія, випадкова величина, імовірність, частота, частість.

Випробування (дослід) – це практичне здійснення деяких умов чи правил. Під час виконання дослідів виникають явища (події). Вони бувають поодинокими, коли явище виникло один раз при багаторазовому повторенні досліду і більше не виникає. Переважно ж події бувають масовими, тобто такими, які повторюються за багаторазового проведення дослідів. У практиці експлуатації технологічного обладнання галузі маємо справу з масовими подіями.

*Подія* – це явище, яке виникає у результаті досліду. Отже, експлуатація об'єктів харчової промисловості з позицій теорії ймовірностей - це випробування (дослід), а виникнення їх відмов за певний період часу чи наробітку – це події.

Події бувають вірогідні, неможливі, випадкові, сумісні, несумісні, рівноможливі та незалежні.

*Вірогідні події* – такі, які в дослідах виникають завжди (наприклад, зміна розмірів деталей унаслідок їх спрацювання).

*Неможливі події* – такі, які в дослідах ніколи не виникають (наприклад, наявність незношеного колінчастого вала холодильного компресора, який надійшов у ремонт чи вичерпав свій ресурс).

*Випадкові події* – такі, які в результаті досліду можуть виникати або не виникати (відмова якогось конструктивного елемента об'єкта на заданому проміжку часу або наробітку).

*Сумісні події* – дві випадкові події, одна з яких не виключає можливості появи іншої (наприклад, відмова контрольних приладів дифузійного апарата цукрового заводу, як подія А, не виключає відмови його приводу, як події В).

*Несумісні події* – такі дві події, коли при випробуваннях поява однієї унеможливорює появу іншої (відмова приводу і роботоздатний стан дифузійного апарата - це події, які не можуть виникати одночасно).

*Рівноможливі події* – декілька можливих подій, які з'являються у процесі випробування (відмови дозувального механізму пакувальної машини, вимірювальних приладів, конвеєра тощо). До них належать також сумісні події.

*Незалежні події* – такі, поява яких не залежить від того, яка подія виникла перед цим (наприклад, попередня відмова системи контролю не впливає на наступну відмову системи забезпечення вакууму в ректифікаційному апараті спиртового заводу).

Очевидно, що факти виникнення подій (відмов) є якісною характеристикою результатів випробувань. Кількісну характеристику становлять випадкові величини та їхні значення.

*Дискретна випадкова величина* – така, кількість можливих значень якої можна перелічити і яка має певний обсяг вибірки (наприклад, кількість дефектних деталей, значень спрацювання, відмов тощо).

*Безперервна випадкова величина* – така, яка за певного інтервалу часу може набувати будь-якого значення. З метою кількісної оцінки виникнення

випадкових подій під час реалізації різних дослідів користуються виразом, числове значення якого буде тим більшим, чим вища можливість появи подій. Цей вираз у теоретичному розумінні називають імовірністю події і визначають із співвідношення

$$P(A) = \frac{m}{n}, \quad (6.1)$$

де  $P(A)$  – імовірність появи події  $A$ ;  $m$  – кількість випадків у досліді, які сприяють появі події  $A$ ;  $n$  – загальна кількість дослідів.

*Міри положення* – середнє арифметичне положення вибірки  $\bar{X}$  для не згрупованих даних

$$\bar{X} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6.2)$$

де  $n$  – об'єм вибірки;  $x_i$  – розмір деталі.

*Міри розсіювання* – розмах вибірки – характеристика називається так само широтою розподілу

$$W = x_{\max} - x_{\min} \quad (6.3)$$

де  $x_{\max}$ ,  $x_{\min}$  – максимальний та мінімальний розмір деталі.

*Систематична постійна похибка* – це така похибка, значення і напрямок якої можна визначити вимірюванням.

*Систематична змінна похибка* – це похибка, значення і напрямок якої можна визначити за законом згідно з яким вона змінюється.

За різних умов обробки заготовок розсіяння їх істинних розмірів підкоряється різним математичним законам.

В технології машинобудування велике практичне значення мають наступні закони: нормального розподілу (закон Гаусса); рівної ймовірності; трикутника (Сімпсона); ексцентриситету (Релея) і функції розподілу, що представляють собою композиції цих законів.

### 6.3 Закон нормального розподілу

Експериментально встановлено, що у більшості випадків при стійкому процесі механічної обробки заготовок на налагоджених верстатах з точністю 8–10 квалітетів і грубіше та за відсутності змінюваних в часі систематичних похибок точність обробки підкоряється закону нормального розподілу, який зображується кривою Гаусса, рівняння якої має вигляд:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} \quad (6.4)$$

Графічно закон нормального розподілу (закон Гаусса) зображується у вигляді кривої горбоподібного типу (рис. 6.1), гілки якої входять у  $+\infty$  та  $-\infty$ , асимптотично наближуючись до осі абсцис.

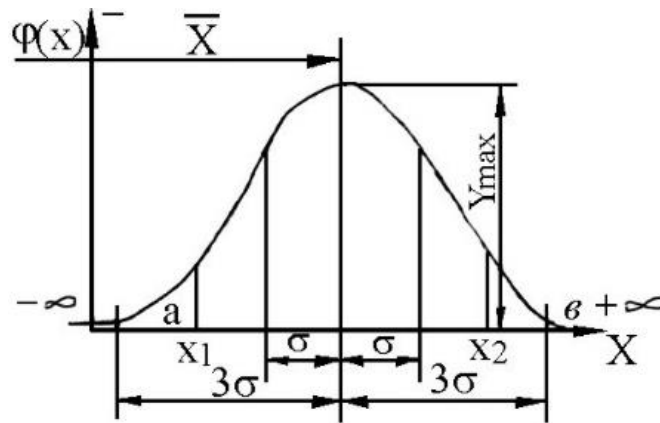


Рисунок 6.1 – Крива нормального розподілу (закон Гаусса)

Закон нормального розподілу характеризується двома параметрами:  $\sigma$  і  $\bar{X}$ . Параметр  $\sigma$  є мірою розсіювання випадкової величини  $X$ . Зі збільшенням  $\sigma$  крива розподілу стає більш пологою, а її гілки розсовуються ширше, зі зменшенням  $\sigma$  крива нормального розподілу робиться більш витягнутою, а її гілки зближуються (рис. 6.2).

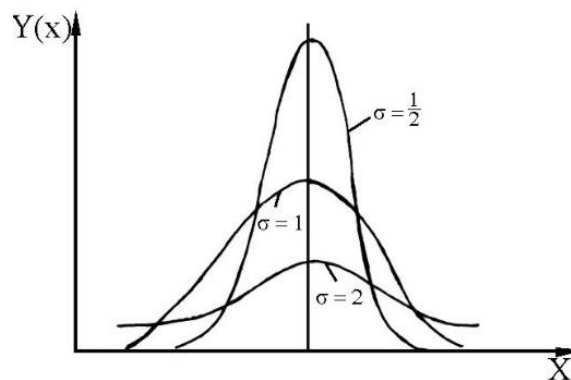


Рисунок 6.4 – Вплив середнього квадратичного відхилення на форму кривої нормального розподілу

Приблизно, за результатами вимірювань, розраховується за формулою для не згрупованих даних:

$$\sigma \approx S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{X})^2}{n}}, \quad (6.5)$$

Часто на практиці спочатку будують емпіричну криву розподілу, де емпіричне середнє квадратичне відхилення визначається за формулами (6.5), а потім визначається  $\sigma$  за формулою:

$$\sigma = \gamma S, \quad (6.6)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт, який враховує похибку визначення  $\sigma$  при малих розмірах партії вимірюваних заготовок.

Нормальний закон розподілу спостерігається в тих випадках, коли досліджувана випадкова величина є результатом дії великої кількості різних факторів, причому всі фактори за інтенсивністю свого впливу діють однаково. Цьому закону підкоряється велика кількість безперервних величин: розміри



деталей, оброблених на настроєних верстатах; маса заготовок і деталей машин; твердість та інші механічні властивості матеріалу; висота мікронерівностей на оброблених поверхнях; похибки вимірювань та деякі інші величини. У всіх перелічених випадках доводиться спостерігати невеликі відхилення від нормального закону.

#### 6.4 Інші закони розподілу, що застосовуються в технології машинобудування

*Закон рівної ймовірності.* Якщо розсіювання розмірів залежить тільки від змінних систематичних похибок (наприклад, від зношування різального інструменту), то розподіл дійсних розмірів партії оброблених заготовок підкоряється закону рівної ймовірності.

При сталому процесі різання зношування різального інструмента відбувається за законом прямої лінії. Отже, за цим законом буде відбуватись і зміна розмірів заготовки (рис. 6.8, а). А це означає, що в будь-який проміжок часу ми будемо мати однакову (постійну) кількість заготовок, тобто щільність ймовірності  $\phi(x) = \text{const}$ , і розподіл щільності ймовірності графічно буде зображуватись у вигляді прямокутника з основою  $av$  і висотою  $\phi(x) = \text{const}$  (рис. 6.5, б). При інтервалі зміни випадкової величини  $X$  від  $a$  до  $v$ :

$$p(a < X < v) = \int_a^v \phi(x) dx = 1, \quad (6.7)$$

тобто ймовірність того, що випадкова величина  $X$  при дослідженнях буде приймати значення в інтервалі від  $a$  до  $v$ , дорівнює площі під диференціальною кривою розподілу. У відповідності з рисунком 6.5, б ця площа представляє собою прямокутник з основою  $av$  і висотою  $\phi(x)$ . Отже:  $(v - a) \cdot \phi(x) = 1$ .

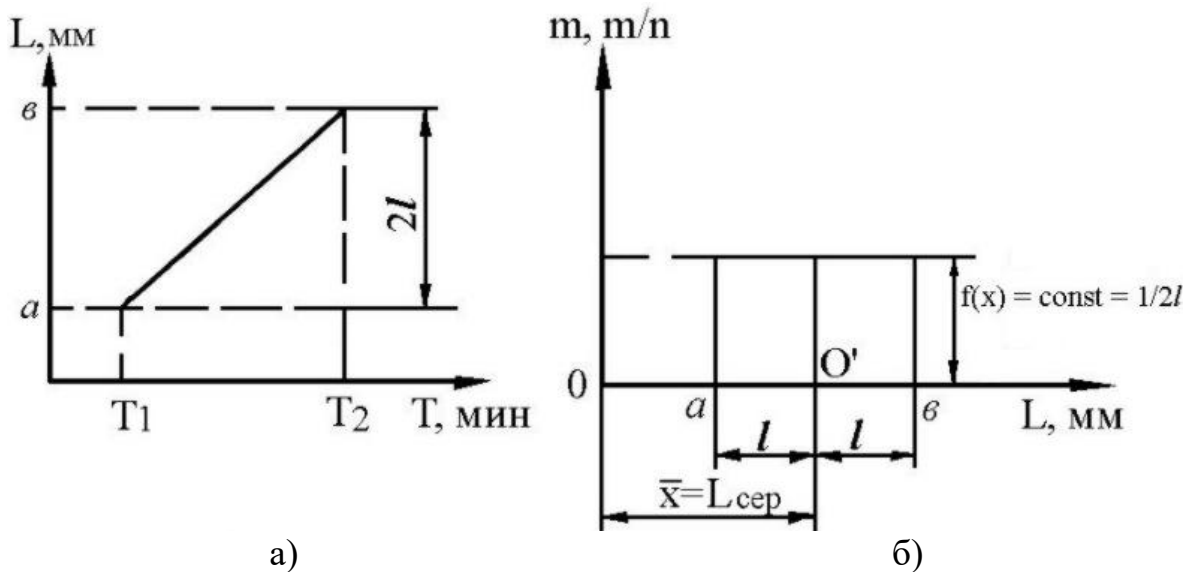


Рисунок 6.5 – Розподіл розмірів оброблених заготовок за законом рівної ймовірності

Фактичне поле розсіяння дорівнює:

$$\Delta_p = 2\ell = 2\sigma\sqrt{3} = 3,46\sigma. \quad (6.8)$$

Закон рівної ймовірності розповсюджується на розподіл розмірів заготовок підвищеної точності (5 – 6 квалітет і вище) при їх обробці за методом пробних ходів. Через складність отримання розмірів дуже високої точності ймовірність попадання розміру заготовки у вузькі границі допуску за середнім, найбільшим чи найменшим його значенням стає однаковою.

*Закон трикутника (закон Сімпсона).* У тому випадку, коли розмір  $x$  інтенсивно зростає на початку різання (інтенсивне зношування інструмента, його припрацювання), потім його ріст сповільнюється (сталій період зношування інструмента) і знову збільшується (в кінці стійкості різального інструменту), що показано на рис. 6.6, крива розподілу розмірів, яка показана на рис. 6.6, відповідає закону трикутника (закону Сімпсона), який представляє собою поєднання двох незалежних випадкових величин, розподілу розмірів яких підлягає закону рівної ймовірності.

Закон застосовується при обробці заготовок з точністю 7-го, 8-го, а в деяких випадках і 6-го квалітетів поля розсіювання:

$$\Delta_p = 2\sqrt{6}\sigma = 4,9\sigma.. \quad (6.9)$$

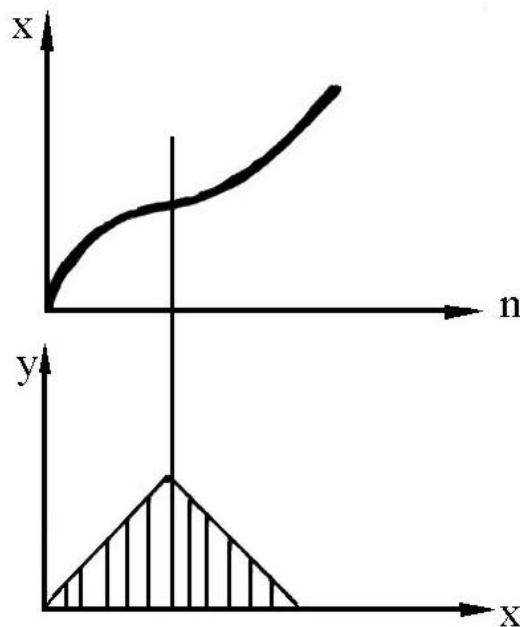


Рисунок 6.6 – Розподіл за законом трикутника

*Закон ексцентриситету (закон Релея).* Закон розподілу ексцентриситету чи закон Релея має місце при відхиленнях ексцентриситету осей чи биття поверхонь деталей, які є безперервними випадковими величинами. Ці похибки є додатними величинами, вони змінюються від нуля до певного значення. Крива розподілу ексцентриситетів  $R$  ступінчастих циліндричних деталей показана на рис. 6.7, б. Вона має несиметричну форму, деталей з нульовим ексцентриситетом немає, більша частина деталей має середній ексцентриситет, деталей з великим ексцентриситетом мало.

Закону ексцентриситету (закону Релея) підкоряється також розподіл значень непаралельності та не перпендикулярності двох поверхонь, різностінності порожнистих деталей (при нефіксованій площині вимірювання).

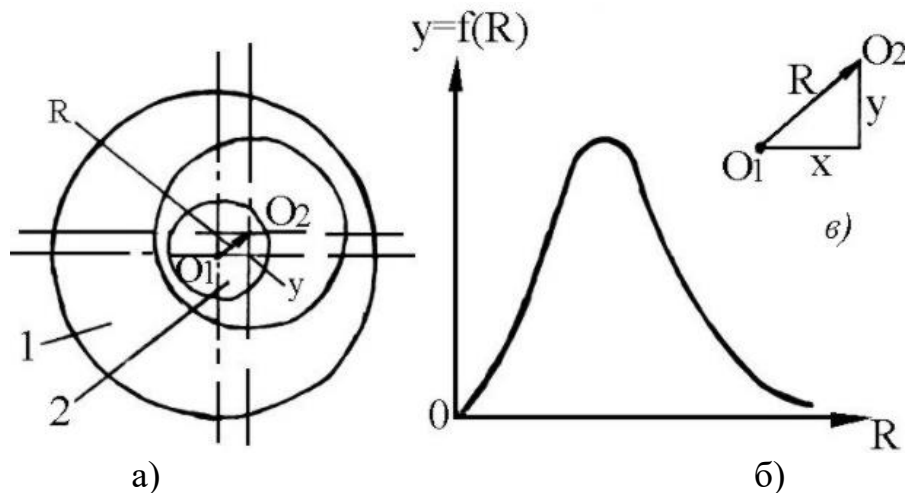


Рисунок 6.10 – Утворення ексцентриситету (радіуса-вектора) втулки 1 при її обробці на циліндричній оправці 2 при різниці зазору між оправкою та отвором втулки (а) і функція  $y = f(R)$  розподілу розмірів за законом Релея (б)

Фактичне поле розсіювання значень змінної величини радіуса-вектора  $R$  (ексцентриситету, різностінності, непаралельності тощо) знаходять з виразів:

$$\Delta_p = 5,252\sigma_R; \quad (6.10)$$

$$\Delta_p = 3,44\sigma \quad (6.11)$$

### 6.5 Загальна похибка обробки

Розрахунок сумарної похибки обробки звичайно виконують за чотири етапи:

1 Проводять схематизацію реальної операції з відкиданням факторів, які не можуть суттєво впливати на точність (наприклад, для корпусу не враховують похибку форми технологічних баз).

2 Виконують теоретичний аналіз ситуації, встановлюють співвідношення для розрахунку складових похибок  $\Delta_i$ .

3 Визначають складові похибки  $\Delta_i$  за теоретичними чи емпіричними залежностями.

4 Підсумовуючи за певними правилами складові похибки  $\Delta_i$ , визначають сумарну похибку обробки.

При розрахунку за методом максимуму-мінімуму:

$$\Delta_{обр} = \sum_{i=1}^n \Delta_i, \quad (6.12)$$

де  $n$  – кількість складових похибок.

При розрахунку за ймовірнісним методом:

$$\Delta_{обр} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i \Delta_i)^2}, \quad (6.13)$$

де  $K_i$  – коефіцієнт відносного розсіювання, який характеризує відмінність між дійсним розсіюванням складової  $i$ -ої похибки і розсіювання за нормальним законом.

Зазвичай при розрахунках невідомий закон розподілу елементарної складової похибки, тому для всіх похибок приймають  $K = 1,2$ .

Сумарну похибку обробки заготовок на налагоджених верстатах визначають за рівнянням:

$$\Delta_{обр} = 1,2 \sqrt{\Delta_m^2 + \varepsilon_y^2 + \Delta_n^2} + \Delta_{сист} \quad (6.14)$$

де  $\Delta_m$  – похибка методу обробки;  $\varepsilon_y$  – похибка встановлення заготовки;  $\Delta_n$  – похибка налагодження з технологічної системи;  $\Delta_{сист}$  – алгебраїчну суму систематичних похибок, що не усуваються при обробці заготовок і впливають на їх розміри, та найбільших значень змінних систематичних похибок.

### Запитання для самоконтролю

- 1 Які причини виникнення випадкових похибок?
- 2 Схарактеризуйте закон нормального розподілення, його основні параметри, умови проявлення та застосування
- 3 В яких умовах проявляється та застосовується розподілення за законом «рівної ймовірності», основні параметри цього закону.
- 4 В яких умовах проявляється та застосовується розподілення за законом «трикутника», основні параметри цього закону
- 5 В яких умовах проявляється та застосовується розподілення за законом «ексцентриситету», основні параметри цього закону?
- 6 Як визначити сумарну похибку обробки?

## Лекція 7. Випадкові похибки обробки. Практичне застосування законів розподілу розмірів

### 7.1 Вибір та обґрунтування методів обробки

На використанні цих законів базується імовірно-статистичний метод дослідження та розрахунку точності технологічних процесів.

Суть цього методу полягає в тому, що в результаті обробки даних експерименту визначають точність обробки. Він може бути застосований за умови обробки значної кількості заготовок (50 і більше) як методом пробних робочих ходів, так і методом автоматичного отримання розмірів. Після обробки в певних умовах партії заготовок проводять вимірювання зацікавленого параметра інструментом за шкалою і на основі методів математичної статистики виявляють точність обробки досліджуваного процесу.

Простота визначення характеристик розсіювання і побудови кривих розподілу за даними вимірювання звичайних виробничих заготовок в нормальних умовах роботи цеху, дає можливість за допомогою цього методу: вибрати метод обробки; визначити показники точності та стабільності технологічної операції (коефіцієнт розсіювання, коефіцієнт надійності операції, точність налагодження тощо); визначити кількість ймовірного браку при обробці; визначити кількість оброблюваних заготовок, що потребують додаткової обробки; розрахувати економічну доцільність використання високопродуктивних верстатів зниженої точності; розрахувати настройки верстатів; порівняти точність обробки заготовок при різному стані обладнання, інструменту, мастильно-охолоджуючої рідини; порівняти точність обробки на різних верстатах; оцінити якість ремонту верстатів (шляхом порівняння кривих розсіювання розмірів заготовок, оброблених до і після ремонту верстатів); порівняти точність обробки одних і тих же заготовок у денні та нічні зміни.

До особливих переваг методу відноситься можливість проведення різноманітних досліджень точності та стійкості технологічних процесів без зупинки нормального виробничого процесу і без виготовлення спеціальних експериментальних зразків.

До недоліків методу можна віднести: метод потребує великого обсягу спостережень, тому економічно доцільний у крупносерійному та масовому виробництвах; не враховується послідовність обробки; не визначається вплив на точність окремих факторів і не вказуються шляхи підвищення точності.

*Вибір методу обробки.* Метод обробки чи набір технологічних переходів для виконання будь-якої операції вибирають на основі порівняння допуску за кресленням на оброблюваний розмір з полем розсіювання методу  $\Delta_m$ . При цьому повинна виконуватись умова  $T > \Delta_m$ .

Величину  $\Delta_m$  беруть з довідника технолога. Конкретний верстат вибирає технолог цеху за статистичними даними про його технічний стан (за величиною емпіричного середнього квадратичного відхилення). Тоді теоретичне середнє квадратичне відхилення дорівнює  $\sigma = \gamma S$ . Допуск розміру за кресленням має задовольняти умові  $T > 6\sigma$ .

## 7.2 Статистичний аналіз точності виконання технологічної

Визначити точність та стабільність операції токарної обробки валу  $D = 80^{+0,27}_{+0,22}$  мм при випадковій вибірці деталей, що оброблені на верстаті при декількох налагодженнях.

Розв'язання

1 З метою забезпечення випадковості вибірки деталі, що складають генеральну сукупність, ретельно переміщуємо в тарі і відбираємо з різних місць тари вибірку для досліджень з кількості 88 шт.

2 Вимірюємо деталі інструментом за шкалою (індикаторною скобою) з ціною поділки  $c = 0,002$  мм. Результати вимірювань заносимо в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Початкові дані

80,247	80,246	80,235	80,252	80,245	80,257	80,244	80,246
80,250	80,241	80,250	80,240	80,251	80,239	80,249	80,228
80,259	80,253	80,238	80,246	80,264	80,248	80,243	80,253
80,233	80,262	80,247	80,244	80,258	80,255	80,245	80,234
80,242	80,251	80,236	80,249	80,243	80,241	80,256	80,247
80,260	80,245	80,255	80,248	80,247	80,250	80,242	80,252
80,252	80,248	80,231	80,242	80,254	80,236	80,243	80,241
80,239	80,237	80,251	80,256	80,243	80,248	80,254	80,248
80,254	80,242	80,234	80,238	80,253	80,235	80,239	80,244
80,240	80,249	80,244	80,245	80,237	80,249	80,246	80,250
80,251	80,257	80,247	80,252	80,255	80,241	80,258	80,240

За результатами вимірювань визначаємо різницю між найбільшим і найменшим розмірами:

$$W = x_{\max} - x_{\min} = 80,264 - 80,228 = 0,036 \text{ мм.}$$

3 Отримані значення розбиваємо на 7 інтервалів ( $d = 0,006$  мм)

4 Для кожного інтервалу визначаємо частоту, тобто підраховуємо кількість деталей, що ввійшли в кожен з інтервалів, причому в кожен інтервал включаються деталі з розмірами, які лежать в межах від найменшого значення інтервалу включно до найбільшого значення інтервалу, виключаючи його. Отримані дані заносимо в табл. 7.2.

5 Побудова гістограми та емпіричної кривої розподілу похибок.

Для побудови гістограми розподілу на осі абсцис відкладаємо інтервали розмірів і на кожному з цих інтервалів, як на основі, будуємо прямокутник, висота якого пропорційна частоті емпіричного розподілу. З'єднуючи середини верхніх сторін прямокутників відрізками прямих, отримуємо графік, який називається емпіричною кривою або полігоном розподілу (рис. 7.3).

На основі полігону розподілу похибок за гіпотезу теоретичного розподілу частот досліджуваного параметра приймаємо закон нормального розподілу.

Таблиця 7.2 Підрахунок частот емпіричного розподілу

Інтервали розмірів		Середина інтервалу $x_i$	Підрахунок частот	Частота $n_i$
від	до			
80,225	80,231	80,228	1	1
80,231	80,237	80,234	11111111	8
80,237	80,243	80,240	111111111111111111	18
80,243	80,249	80,246	111111111111111111111111	26
80,249	80,255	80,252	11111111111111111111	22
80,255	80,261	80,258	1111111111	11
80,261	80,267	80,264	11	2
Всього				88

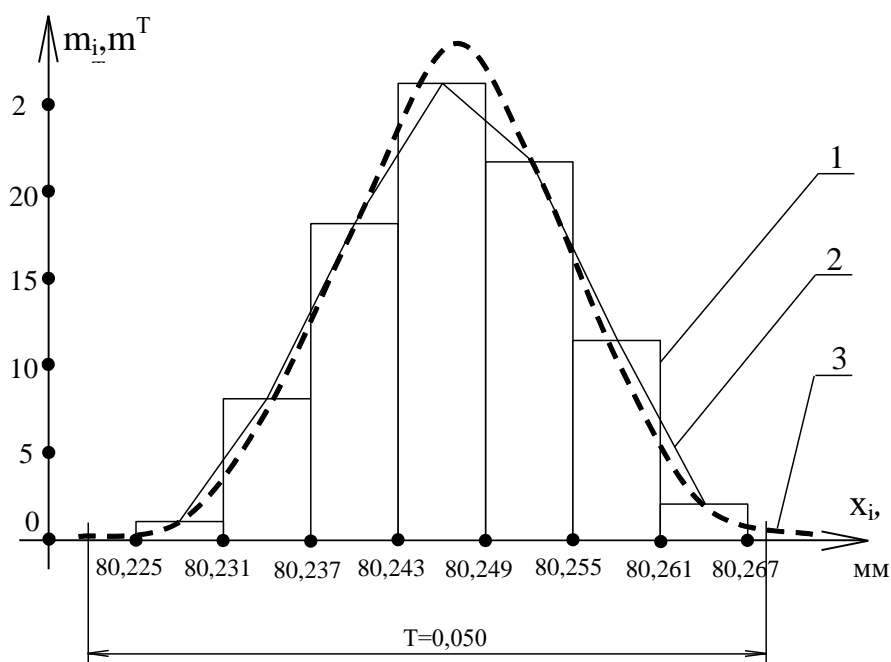


Рисунок 7.1 – Гістограма (1), емпірична крива (2) та теоретична крива нормального розподілу (3) розмірів деталей

6 Визначення основних параметрів прийнятого закону розподілу.

За оцінку основних параметрів закону нормального розподілу використовують вибіркове середнє арифметичне значення досліджуваного параметра  $\bar{X}$  і вибіркове середнє квадратичне відхилення  $S$ , які обчислюються за формулами:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^f x_i m_i}{f}; \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^f (x_i - \bar{X})^2 m_i}{f}}$$

Для полегшення розрахунків використовуємо табл. 7.3.

Вибіркове середнє арифметичне значення  $\bar{X}$  дорівнює:

$$\bar{X} = \frac{7061,726}{88} = 80,247, \text{ мм}$$

а вибіркове середнє квадратичне відхилення  $S$ :

$$S = \sqrt{\frac{0,00508}{88}} = 0,0076 \text{ мм.}$$

Таблиця 7.3 – Допоміжна таблиця для обчислення  $\bar{X}$  і  $S$  вибірки

Інтервали розмірів		Середина інтервалу $x_i$	Частота $m_i$	$x_i m_i$	$ x_i - \bar{X} $	$(x_i - \bar{X})^2$	$m_i (x_i - \bar{X})^2$
від	до						
80,225	80,231	80,228	1	80,228	0,019	0,000361	0,000361
80,231	80,237	80,234	8	641,872	0,013	0,000169	0,001352
80,237	80,243	80,240	18	1444,32	0,007	0,000049	0,000882
80,243	80,249	80,246	26	2086,396	0,001	0,000001	0,000026
80,249	80,255	80,252	22	1765,544	0,005	0,000025	0,00055
80,255	80,261	80,258	11	882,838	0,011	0,000121	0,001331
80,261	80,267	80,264	2	160,528	0,017	0,000289	0,000578
Всього			88	7061,726			0,00508

7 Порівняння емпіричного розподілу з теоретичним та побудова теоретичної кривої

За зовнішнім виглядом емпіричної кривої можна приблизно встановити закон розподілу похибок в генеральній сукупності. Для більш точного висновку необхідно співставити емпіричну криву з кривою, що передбачається теоретично. З цією метою для кожного інтервалу значень необхідно обчислити теоретичні частоти або частоти і по них побудувати теоретичну криву розподілу.

При побудові теоретичної кривої нормального розподілу приймається, що  $\bar{X}_o = \bar{X}$  і  $\sigma = S$ .

Теоретичну частоту обраховуємо за формулою:

$$m_i^T = \frac{nd}{S} z_t = \frac{88 \times 0,006}{0,0076} z_t = 69,5 z_t . \quad (7.1)$$

Величина  $z_t$  обчислена для різних значень  $t$  і наведена в довідниковій літературі. Значення  $t$  для кожного інтервалу розмірів знаходяться за формулою:

$$t = \frac{|x_i - \bar{X}|}{S} . \quad (7.2)$$

Отже, для підрахунку теоретичних частот необхідно для кожного інтервалу розмірів за формулою (7.2) визначити значення  $t$ , за таблицею довідникової літератури знайти  $z_t$  і потім скористатися формулою (7.1). При підрахунку теоретичних частот доцільно використовувати допоміжну табл. 7.4.

Для точної побудови теоретичної кривої нормального розподілу обчислюють координати характерних точок кривої нормального розподілу за формулами, які наведені в табл. 7.4 і будується табл. 7.5



Таблиця 7.4 – Обчислення теоретичних частот нормального розподілу

Інтервали розмірів		Середина інтервалу $x_i$	Частота $m_i$	$ x_i - \bar{X} $	$t$	$z_t$	Теоретична частота $m_i^T$	Теоретична частота $m_i^T$ (з округленням)
від	до							
80,225	80,231	80,228	1	0,019	2,5	0,0175	1,2	1
80,231	80,237	80,234	8	0,013	1,71	0,0925	6,4	7
80,237	80,243	80,240	18	0,007	0,92	0,2613	18,2	18
80,243	80,249	80,246	26	0,001	0,13	0,3956	27,5	28
80,249	80,255	80,252	22	0,005	0,66	0,3209	22,3	22
80,255	80,261	80,258	11	0,011	1,45	0,1394	9,7	10
80,261	80,267	80,264	2	0,017	2,24	0,0325	2,3	2
Всього			88					88

Таблиця 7.5 – Координати характерних точок кривої нормального розподілу

Характерні точки	Абсциса		Ордината	
Вершина кривої	$\bar{X}$	80,247	$m_{i_x}^T = 0,4 \frac{nd}{S}$	28
Точка перегину	$\bar{X} \pm S$	80,2546	$m_{i_s}^T = 0,242 \frac{nd}{S}$	17
		80,2394		
Точка перегину	$\bar{X} \pm 2S$	80,2622	$m_{i_{2s}}^T = 0,054 \frac{nd}{S}$	4
		80,2318		
Точка перегину	$\bar{X} \pm 3S$	80,2698	$m_{i_{3s}}^T = 0$	0
		80,2242		

Графік теоретичної кривої нормального розподілу поєднується з гістограмою та емпіричною кривою, тобто зображено на рис. 7.1.

### 7.3 Умови обробки деталі без браку

Умови обробки без браку для закону нормального розподілу. Для обробки без браку повинні виконуватися дві наступні умови:

– перша:

$$T_n = \frac{T}{6\sigma} = \frac{T}{6\gamma S} > 1, \quad (7.3)$$

де  $T_n$  – коефіцієнт точності процесу; якщо  $T_n > 1,12$  процес вважається надійним, при  $T_n = 1 \dots 1,12$  – процес точний, але ненадійний;  $T$  – поле допуску на розмір, що аналізується;

– друга:

$$e_{\text{факт}} \leq e_{\text{доп}} \quad (7.4)$$

де  $e_{\text{факт}}$  – фактичний коефіцієнт точності настроювання;  $e_{\text{доп}}$  – допустимий коефіцієнт точності настроювання.

Коефіцієнти точності визначаємо за формулами:

$$e_{\text{факт}} = \frac{|\bar{X} - \Delta_o|}{T}; \quad (7.5)$$

$$e_{\text{доп}} = \frac{T - 6\sigma}{2T}. \quad (7.6)$$

Порушення будь-якої з цих умов призводить до неминучої появи браку

Необхідною умовою обробки деталі без браку є виконання двох умов за формулами (7.3) та (7.4):

– перевірка першої умови за формулою (7.13):

$$T_n = \frac{T}{6\sigma} = \frac{0,05}{0,055} \approx 0,91.$$

Умова не виконується

– перевірка другої умови за формулою (7.14)

$$e_{\text{факт}} = \frac{80,247 - 80,245}{0,05} = \frac{0,002}{0,05} = 0,4;$$

$$e_{\text{доп}} = \frac{0,05 - 0,092}{0,05} = \frac{0,0204}{0,05} = 0,408;$$

Умова виконується.

Одна з умов (перша) не виконується. Отже уникнути браку неможливо, необхідно розрахувати величину ймовірного браку.

#### 7.4 Розрахунок ймовірної величини браку для заданих умов обробки

Якщо задані допуск на розмір і граничні розміри деталі за кресленням  $x_g$  і  $x_n$ , то ймовірний відсоток браку буде рівним:

– по верхній границі поля допуску:

$$P_{\text{б.в}} = [0,5 - \Phi(t_g)] \cdot 100 \%; \quad (7.7)$$

– по нижній границі поля допуску:

$$P_{\text{б.н}} = [0,5 - \Phi(t_n)] \cdot 100 \%. \quad (7.8)$$

У формулах (7.7) і (7.8):

$$\left. \begin{aligned} t_g &= \frac{|x_g - \bar{x}|}{\sigma} \\ t_n &= \frac{|x_n - \bar{x}|}{\sigma} \end{aligned} \right\} \quad (7.9)$$

У наведеному прикладі:

$$\sigma = 1,21 \cdot 0,0076 = 0,0092 \text{ мм};$$

$$\Delta_p = 6 \cdot 0,0092 = 0,055 \text{ мм};$$

$$t_g = \frac{|80,27 - 80,247|}{0,0092} = 2,5; \quad \Phi(t_g) = 0,4940;$$

$$t_n = \frac{|80,22 - 80,247|}{0,0092} = 2,93 ; \Phi(t_n) = 0,4980.$$

– по верхній границі поля допуску (виправний брак):

$$P_{\bar{o}.g} = [0,5 - 0,4940] \cdot 100 \% = 0,6 \%;$$

– по нижній границі поля допуску (невиправний брак):

$$P_{\bar{o}.n} = [0,5 - 0,4980] \cdot 100 \% = 0,2 \%.$$

Отже, можливий брак складає – 0,8 %, що дорівнює 1 деталі при об'ємі вибірки – 88.

Отже, точність технологічної операції недостатня і ймовірний відсоток браку складає 0,8 %, процес обробки ненадійний, хоча точність налагоджування виконана правильно.

Технологічний допуск, який можна витримати на даній операції, при обробці деталі без браку згідно з першою умовою складає:

$$T = 1,12\Delta_p = 1,12 \times 0,055 = 0,062 \text{ мм.}$$

## 7.5 Визначення кількості заготовок, які потребують додаткової обробки

Визначення кількості заготовок, що потребують додаткової обробки. З цією ситуацією доводиться зустрічатись, коли на заводі немає обладнання необхідної точності та обробку доводиться виконувати на верстаті менш точному, але, як правило, більш продуктивному, наприклад, замість револьверної обробки виконується робота на токарному автоматі. При цьому з економічних міркувань не допускається отримання браку.

В таких випадках настроювання верстата проводять зі свідомим зміщенням  $t$  вершини кривої розподілу по відношенню до середини поля допуску з таким розрахунком, щоб весь брак заготовок, який отримується на даній операції, можна було виправити шляхом додаткової обробки заготовок.

*Приклад.* На токарному верстаті обробляється партія валиків  $\varnothing 50 \pm 0,1$ . У результаті контролю визначили середній розмір вибірки  $\bar{X} = 49,98$  мм та середньо квадратичне відхилення  $\sigma = 0,05$  мм. Визначити кількість браку. Наведіть графічну схему розташування завищених та занижених розмірів.

Розв'язування. Максимальний та мінімальний розмір деталі:  $d_{\min} = 49,9$  мм,  $d_{\max} = 50,1$  мм. Допуск на обробку:

$$T = d_{\max} - d_{\min} = 50,1 - 49,9 = 0,2 \text{ мм.}$$

Будуємо схему графічного розташування завищених та занижених розмірів (рис. 7.2).

Кількість завищених розмірів:

$$\begin{aligned} q_{\text{зав}} &= \left[ 0,5 - \Phi\left(\frac{0,5T + \Delta_n}{\sigma}\right) \right] \cdot 100\% = \left[ 0,5 - \Phi\left(\frac{0,1 + 0,02}{0,05}\right) \right] \cdot 100\% = \\ &= [0,5 - \Phi(2,4)] \cdot 100\% = [0,5 - 0,4918] \cdot 100\% = 0,82\% \end{aligned}$$

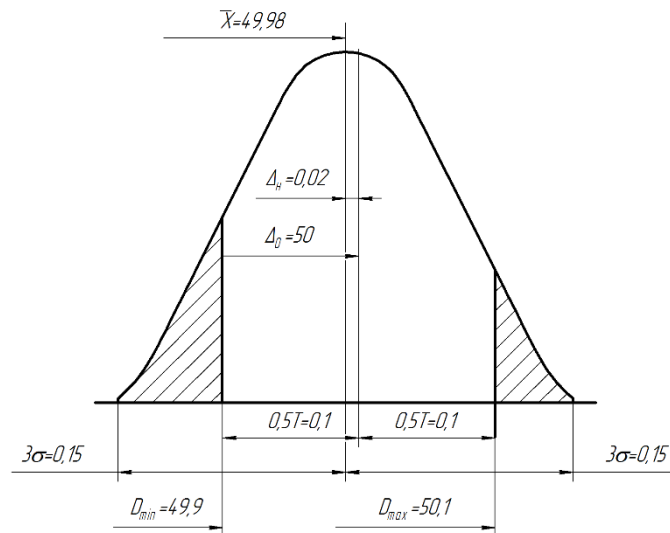


Рисунок 7.2 – Схема розрахунку

Кількість занижених розмірів:

$$q_{\text{зан}} = \left[ 0,5 - \Phi \left( \frac{0,5T - \Delta_{\text{н}}}{\sigma} \right) \right] \cdot 100\% = \left[ 0,5 - \Phi \left( \frac{0,1 - 0,02}{0,05} \right) \right] \cdot 100\% =$$

$$= [0,5 - \Phi(1,6)] \cdot 100\% = [0,5 - 0,4452] \cdot 100\% = 5,48\%$$

Сумарний брак складає

$$q = 0,82 + 5,48 = 6,3 \%$$

*Відповідь:* брак складає 6,3 %.

### Запитання для самоконтролю

- 1 Правила вибору методів обробки.
- 2 Основна послідовність статистичного аналізу точності виконання технологічної операції.
- 3 Наведіть умови роботи без браку.
- 4 Розрахунок ймовірної величини браку.
- 5 Послідовність визначення кількості заготовок, які потребують додаткової обробки.
- 6 Послідовність побудови розрахункової схеми.

## Лекція 8. Базування та бази в машинобудуванні. Теорія базування. Типові схеми базування

### 8.1 Основні поняття, терміни та визначення теорії базування

Базування – це надання заготовці або виробу потрібного положення відносно вибраної системи координат: при складанні – надання деталі потрібного положення у виробі відносно інших, раніше встановлених деталей або виробів; при механічній обробці – надання заготовці потрібного положення на верстаті відносно його елементів, що визначають траєкторію відносного руху деталі та оброблювального інструменту; при вимірюванні – надання заготовці або деталі потрібного положення відносно вимірювального інструменту.

Базами можуть бути: площина (рис. 8.1, а), циліндр (рис. 8.1, б), сукупність поверхонь (рис. 8.1, в, г), лінія: вісь (рис. 8.1, д), коло (рис. 8.1, е), точка (точки) (рис. 8.1, ж).

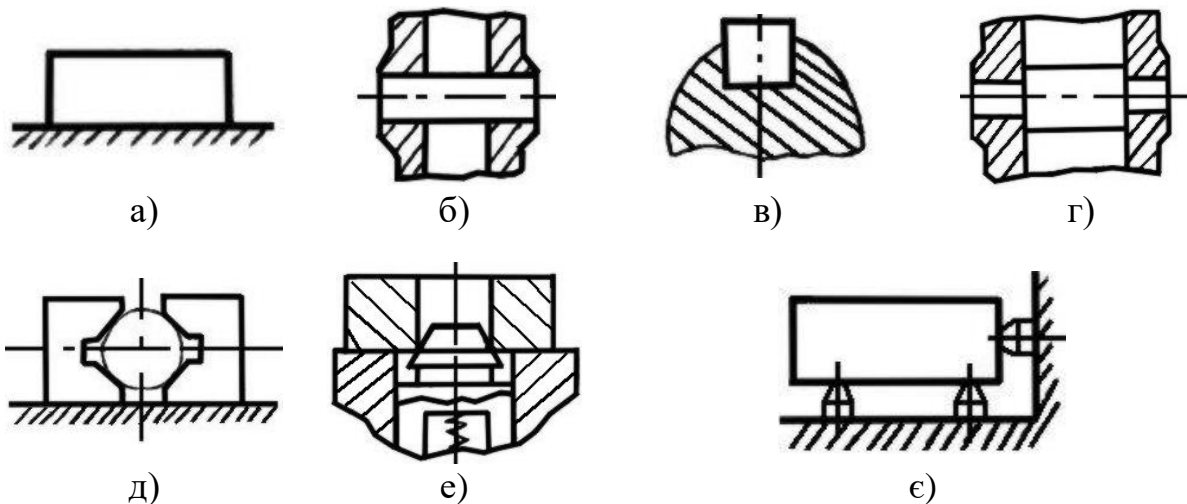


Рисунок 8.1 – Види баз: а – площина; б – циліндр; в, г – сукупність поверхонь; д – вісь; е – коло; ж – точка

В основу теорії покладений розділ теоретичної механіки про визначення положення твердого тіла в просторі.

Як відомо, теоретична механіка розглядає два стани тіла: спокою та руху. Ці поняття мають сенс лише тоді, коли вказується система відліку. Якщо положення тіла відносно системи відліку протягом часу не змінюється – тіло перебуває в стані спокою, якщо змінюється – в стані руху.

Потрібні положення або рух тіла відносно системи розрахунку досягається накладанням на нього геометричних або кінематичних зв'язків.

Зв'язками називають умови, які накладаються або на положення, або на швидкості точок тіла. В першому випадку зв'язки називають геометричними, в другому – кінематичними. Якщо на тіло накладені геометричні зв'язки, то завдяки їм деякі переміщення тіла виявляються неможливими.

Можливим переміщенням тіла називаються елементарні переміщення, які можна здійснити без порушення накладених на тіло зв'язків. Кількість таких можливих переміщень називають числом ступенів вільності даного тіла.

Якщо тверде тіло може одержувати будь-яке переміщення в просторі, то таке тіло називають вільним. Таке тіло має шість ступенів вільності: три переміщення вздовж координатних осей і три – повороту навколо цих осей.

Таким чином, щоб зробити тіло нерухомим, потрібно позбавити тіло шести ступенів вільності, а для цього накласти на нього шість зв'язків.

Виберемо за систему відліку прямокутну систему координат  $OXYZ$ . В цій системі розташуємо абсолютно тверде тіло, з яким жорстко зв'язана система координат  $O'X'Y'Z'$  (рис. 8.2). Тому зв'язки можна накладати на цю систему.

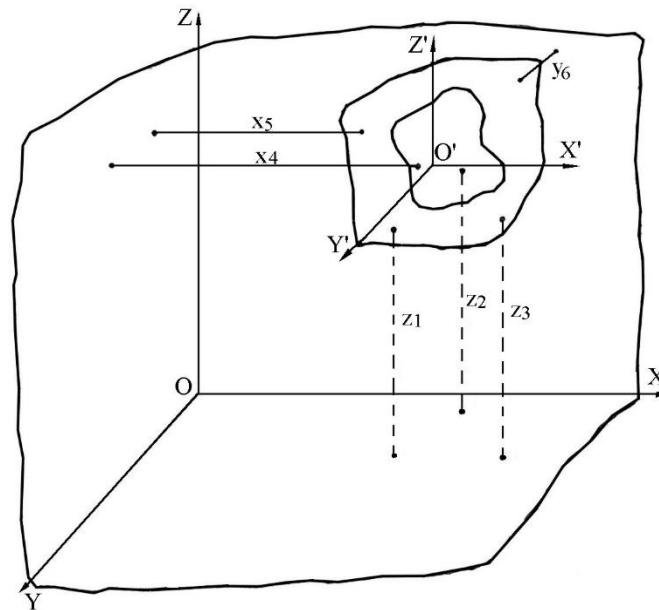


Рисунок 8.2 – Зв'язки твердого тіла

Реальні тіла-деталі обмежені криволінійними поверхнями, тому можуть контактувати лише на окремих елементарних площадках, які умовно вважаються точками контакту.

Для того щоб реальні зв'язки відповідали теоретичним (жорсткий двосторонній зв'язок), для фіксації досягнутого положення необхідне прикладання сил і пар сил – силового замикання.

Таким чином, матеріалізація геометричних зв'язків досягається за допомогою шести точок, розташованих відповідним чином на поверхнях деталі і силового замикання.

## 8.2 Класифікація баз за призначенням, за кількістю ступенів вільності, яких позбавляють заготовку, за характером проявлення

*Базування призматичного тіла.* Відповідно до висновків теоретичної механіки, для визначення положення призматичного тіла відносно системи координат  $OXYZ$  необхідно зв'язати його нижню поверхню А трьома жорсткими двосторонніми утримуючими зв'язками з площиною  $XOY$  прямокутної системи координат (рис. 8.3).

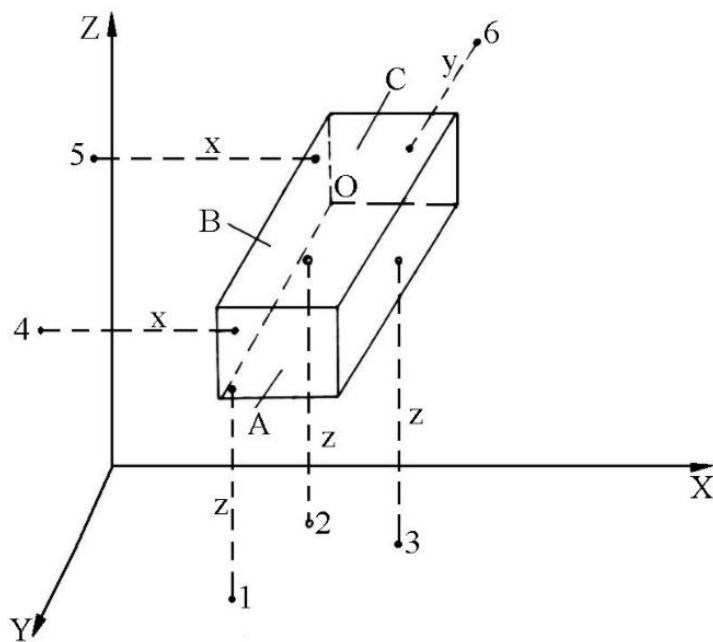


Рисунок 8.3 – Базування призматичного тіла

Зв'язки  $z$  позбавляють тіло переміщення вздовж координатної осі  $OZ$ , обертання навколо осей  $OY$  та  $OX$ .

Поверхня  $A$ , яка несе на собі 3 опорні точки і позбавляє тіло 3 ступенів вільності (переміщення вздовж однієї з координатних осей і обертання навколо двох інших координатних осей), називається *установчою базою*.

Розташування опорних точок визначається з умови рівноваги тіла під дією сил тяжіння.

Для того щоб виключити переміщення тіла вздовж осі  $OX$  і обертання навколо осі  $OZ$ , зв'яжемо поверхню  $B$  відповідно двома зв'язками  $x_4$ ,  $x_5$  з площиною  $ZOY$ .

Поверхня  $B$ , яка позбавляє тіло (заготовку) двох ступенів вільності (переміщення вздовж однієї координатної осі і обертання навколо іншої осі), називається *напрямною базою*.

Таким чином, тіло має можливість тільки переміщуватись вздовж осі  $OY$ . Для виключення і цього переміщення зв'яжемо поверхню  $C$  одним жорстким двостороннім зв'язком з площиною  $ZOX$ .

Поверхня  $C$ , яка несе на собі одну опорну точку і позбавляє тіло 1 ступеня вільності (переміщення вздовж однієї з координатних осей), називається *опорною базою*. Сукупність трьох баз, що утворює систему координат заготовки (виробу), складає комплект баз.

Реалізація розглянутої теоретичної схеми базування здійснюється встановленням заготовки на установчі елементи пристрою.

Невідривний контакт баз із установчими елементами пристрою забезпечується прикладанням сил затискання.

*Базування циліндричного тіла.* Зв'язавши циліндричну поверхню  $A$  (рис. 8.4) двома жорсткими двосторонніми зв'язками з площиною  $XOY$  і двома – з площиною  $YOZ$ , циліндричне тіло позбавляється 4 ступенів вільності, зв'язки

Z позбавляють тіло переміщення вздовж осі OZ і обертання навколо осі OX, зв'язки X – переміщення вздовж осі OX і обертання навколо осі OZ.

Поверхня А, яка несе на собі чотири опорні точки і позбавляє тіло чотирьох ступенів вільності (переміщень вздовж двох координатних осей і обертання навколо цих самих осей), називається *подвійною напрямною базою*.

Для усунення можливості переміщення тіла вздовж осі OY необхідно з'єднати його торець С двостороннім зв'язком – координатою у з площиною XOZ.

Поверхня С позбавляє тіло одного ступеня вільності. Переміщення вздовж осі OY називається *опорною базою*.

Для позбавлення тіла шостого ступеня точності (можливості обертання навколо власної осі) повинен бути передбачений шостий двосторонній зв'язок у вигляді опорної точки, що розташована на поверхні шпонкової канавки В.

Поверхня В, яка несе в собі одну опорну точку і позбавляє тіло одного ступеня вільності (обертання навколо однієї з координатних осей), називається *другою опорною базою*.

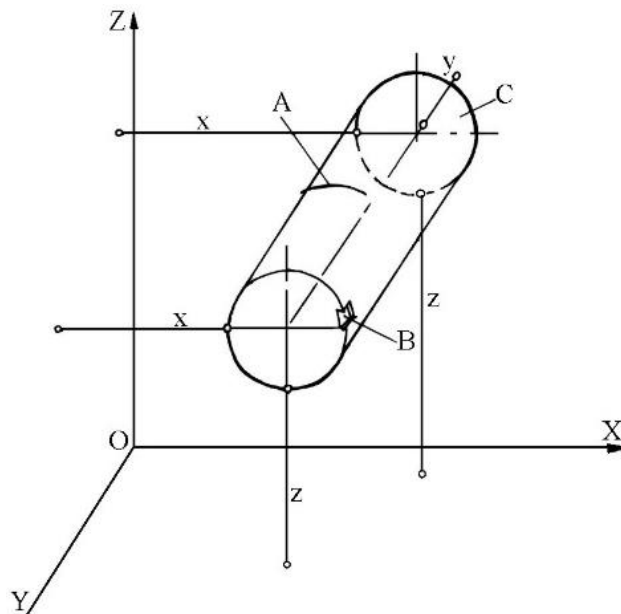


Рисунок 8.4 – Базування циліндричного тіла (довгого)

Реалізація теоретичної схеми базування найчастіше здійснюється за допомогою призм

*Базування диска.* Диск – це циліндрична деталь, у якої довжина циліндричної поверхні менша за діаметр. У зв'язку з цим можливості орієнтування деталі у циліндричній поверхні значно обмежені порівняно з циліндром, проте у торцевої поверхні такі можливості зростають.

У відповідності з цим при орієнтуванні у просторі короткого циліндричного тіла (типу тонкого диска) необхідно з'єднати його торцеву поверхню А (рис. 8.5) трьома двосторонніми зв'язками (координатами) з площиною XOZ. При цьому тіло позбавляється трьох ступенів вільності: можливості переміщення вздовж осі OY і обертання навколо осей OX та OZ.



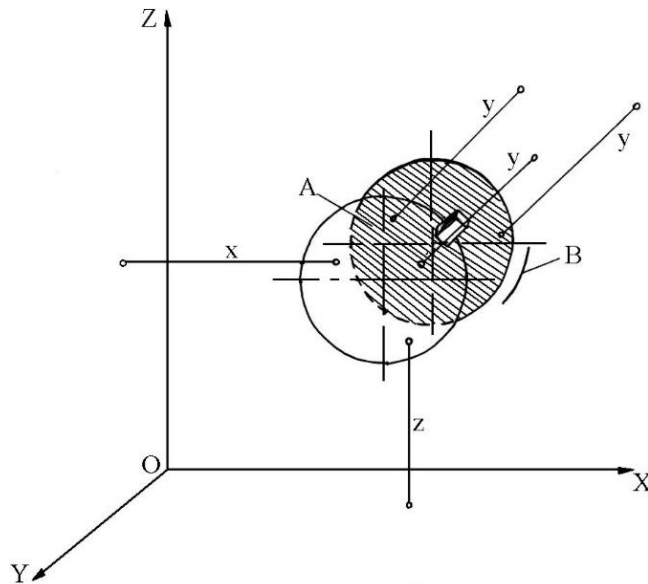


Рисунок 8.5 – Базування диска

Для позбавлення тіла можливості переміщення вздовж осей  $OX$  та  $OZ$  необхідно з'єднати його циліндричну поверхню  $B$  двосторонніми зв'язками, тобто координатами  $X$  та  $Z_1$  з площинами  $XOY$  та  $YOZ$ ; шостий двосторонній зв'язок, що позбавляє тіло можливості обертатись навколо власної осі, яка паралельна осі  $OY$ , створюється розташуванням опорної точки на поверхні шпонкової канавки  $C$ .

При відповідній заміні двосторонніх зв'язків опорними точками торцева поверхня  $A$  (рис. 10.5) диска, що контактує з трьома опорними точками, і яка позбавляє диск трьох ступенів вільності, називається установчою базою; циліндрична поверхня  $B$ , що контактує з двома опорними точками і позбавляє диск двох ступенів вільності, називається *подвійною опорною* (чи центруючою) базою, а поверхня шпонкової канавки  $C$ , що позбавляє диск одного ступеня вільності, – опорною базою.

Необхідно зазначити, що схеми базування заготовок із внутрішніми циліндричними поверхнями принципово подібні розглянутим. Бази відрізняються за призначенням, позбавленням ступенів вільності та характером прояву.

*Правило шести точок.* Повне і неповне базування. Для забезпечення нерухомості заготовки або виробу у вибраній системі координат на них необхідно накласти шість двосторонніх геометричних зв'язків, для створення яких необхідний комплект баз, що несуть шість опорних точок. Ця умова отримала назву правила шести точок.

За призначенням відрізняють бази конструкторські, технологічні та вимірювальні.

Конструкторська база (КБ) служить для визначення положення деталі або складової одиниці у виробі.

*Конструкторською базою* називається база деталі або складальної одиниці, відносно яких визначають на кресленнях розрахункове положення

інших деталей або складальних одиниць, або інших поверхонь і геометричних елементів даної деталі.

Дуже часто як конструкторську базу використовують геометричні елементи деталі: осьові лінії, бісектриси кутів, осі симетрії, ділильне коло зубчастого вінця тощо що зручно для оформлення креслень і розмірних розрахунків конструкцій.

Конструкторська база може бути основною та допоміжною.

*Основна база* – це конструкторська база, що належить даній деталі або складальній одиниці і використовується для визначення її положення у виробі.

*Допоміжна база* – конструкторська база, що належить даній деталі або складальній одиниці і використовується для визначення положення приєднаних до них виробів.

*Технологічна база* – це база, що використовується для визначення положення заготовки або виробу в процесі виготовлення або ремонту.

Технологічна база (ТБ) при складанні – це поверхня, лінія або точка деталі чи складальної одиниці, відносно яких орієнтуються інші деталі або складальні одиниці виробу.

Технологічна база при обробці – це поверхня, лінія або точка заготовки, відносно яких орієнтуються її поверхні, що обробляються на даному установленні.

*Вимірвальна база (ВБ)* – це база деталі або складальної одиниці, від якої виконується відлік виконуваних розмірів при обробці або складанні виробу чи перевірка відносного розташування поверхонь деталі чи елементів виробу.

Вимірвальна база на кресленні зв'язана з контрольними поверхнями деталі безпосередніми розмірами або певними умовами. Звичайно вимірвальна база збігається з конструкторською.

За характером прояву бази поділяють на явні та приховані.

*Явна база* – це база заготовки чи виробу у вигляді реальної поверхні, розмічального штриха або точки перетину штрихів.

*Прихована база* – це база заготовки або виробу у вигляді уявної площини, осі або точки (площина симетрії, вісь, точки).

### **8.3 Типові теоретичні та практичні схеми базування призматичних та циліндричних заготовок**

Найбільш поширеними комплектами баз при виготовленні корпусних і коробчастих деталей – три взаємно перпендикулярні площини, які належать деталі і знаменують собою установчу базу, напрямну базу і упорну базу (рис. 8.6)

Переваги: порівняно проста конструкція пристрою; простота встановлення заготовки.

Недоліки: неможливість забезпечити рівномірність припусків на отворах і поверхнях паралельних і перпендикулярних напрямній базі; необхідність додержання правильного контакту деталі з установчими елементами пристрою при силовому замиканні

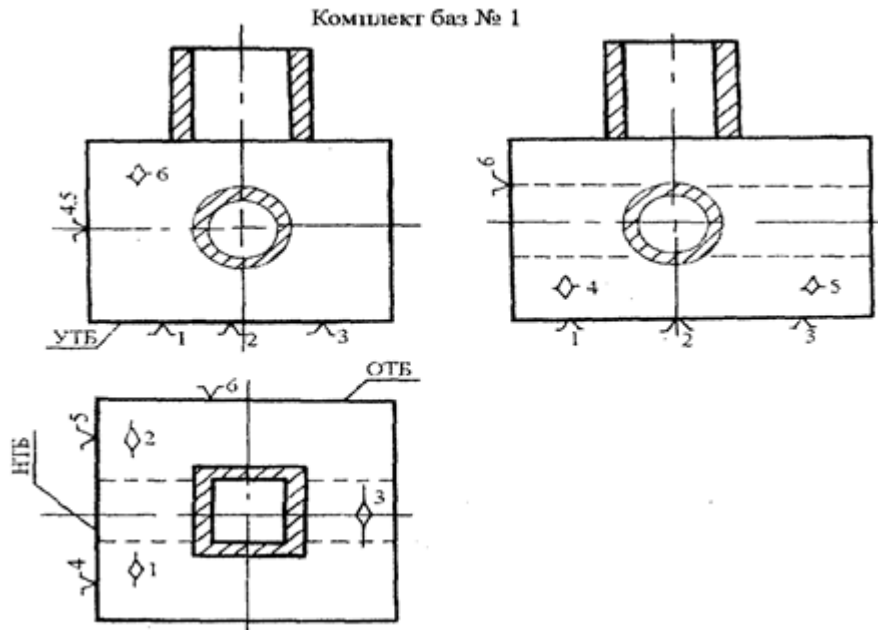


Рисунок 8.6 – Базування корпусної деталі по трьох взаємно перпендикулярних площинах

Найбільш поширеними комплектами баз при виготовленні деталей типу тіл обертання – циліндрична поверхня і торець. Циліндрична поверхня у даному випадку повинна бути довгою і виконувати роль подвійної напрямної бази. Торець виконує роль опорної бази. Даний комплект баз застосовується в двох різновидах: циліндрична поверхня, використувувана як подвійна напрямна база, є зовнішньою і циліндрична поверхня є внутрішньою (рис. 8.7.)

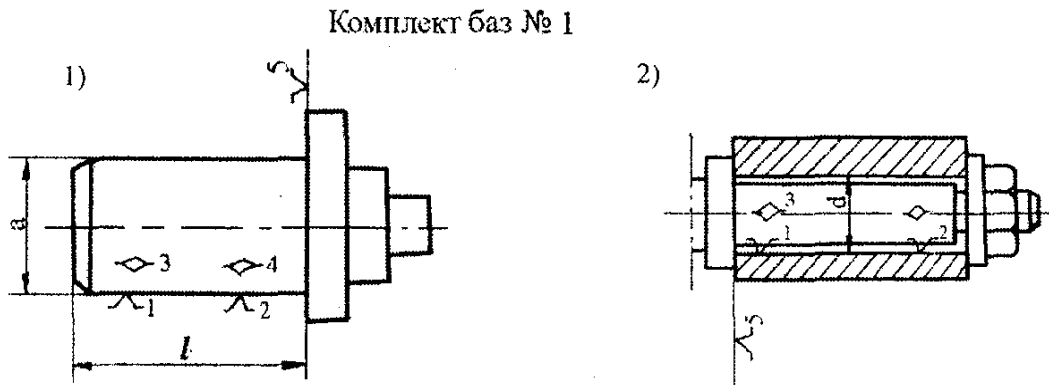


Рисунок 8.7 – Теоретичні схеми базування довгих заготовок типу тіл обертання

#### 8.4 Налагоджувальні, перевірочні, штучні та чорнові технологічні бази

За особливостями застосування технологічні бази, що використовуються при механічній обробці, поділяються на контактні, налагоджувальні та перевірочні.

Контактними базами називають технологічні бази, які безпосередньо стикаються з відповідними установчими елементами пристроїв чи верстатів.

Від цих баз можна витримати розмір безпосередньо при роботі на налагоджених верстатах з точністю даного методу обробки.

Контактні технологічні бази широко використовуються при роботі на налагоджених верстатах у великосерійному виробництві.

Налагоджувальні бази – це поверхні заготовки, по відношенню до яких орієнтуються оброблені поверхні, і які зв'язані з ними безпосередніми розмірами і створюються при одному встановленні з поверхнями заготовки, що розглядаються.

Перевіркові технологічні бази – це поверхня, лінія або точка заготовки чи деталі, по відношенню до яких проводиться вивірення положення заготовки на верстаті або встановлення різального інструменту при обробці заготовки, а також вивірення положення інших деталей чи складальних одиниць при складанні виробу.

Перевіркова технологічна база, яка застосовується при складанні та механічній обробці, може бути матеріальною (уявною) або умовною (прихованою). В останньому випадку вона матеріалізується за допомогою ватерпасів, оптичних коліматорів та інших пристосувань.

Якщо конфігурація заготовок не дає можливості вибрати технологічну базу, що дозволяє зручно, стійко і надійно орієнтувати і закріпити заготовку в пристосуванні або на верстаті, то вдаються до створення штучних технологічних баз. До категорії штучних технологічних баз відносяться також такі технологічні бази, які з метою підвищення точності базування оброблюваної заготовки в пристосуванні попередньо обробляються з більш високою точністю, ніж це потрібно для готового виробу за кресленням.

Характерним прикладом штучних технологічних баз можуть служити центрові отвори, не є необхідною умовою для готового вала і необхідні виключно з технологічних міркувань. Коли збереження центрових отворів за умовами експлуатації вала неприпустимо, після його обробки їх зрізають. Якщо центрові отвори використовуються при експлуатації деталі та є конструктивно необхідними, то вони не можуть розглядатися як штучні технологічні бази.

Технологічна база, яка використовується при першому установе заготовки, називається чорновий технологічною базою.

Чорнова технологічна база (так само як і бази, що застосовуються для інших операцій технологічного процесу) може бути контактною або перевіркою, проте її призначення має деякі особливості.

## **8.5 Умовне позначення технологічних баз на операційних ескізах**

При розробленні різних технологічних документів - операційних ескізів, схем базування і закріплення при проектуванні оснащення, тощо - необхідно позначити бази і зазначити форму поверхонь, застосовуваних для базування, число ступенів вільності, що вони позбавляють, точки прикладання сил затиску, зазначити джерело їх виникнення. Для цього використовуються спеціальні умовні позначення згідно з ГОСТом 3.1107-81 «Обозначения условные

графические, применяемые в технологических процессах. Опоры и зажимы.» (рис. 8.8)

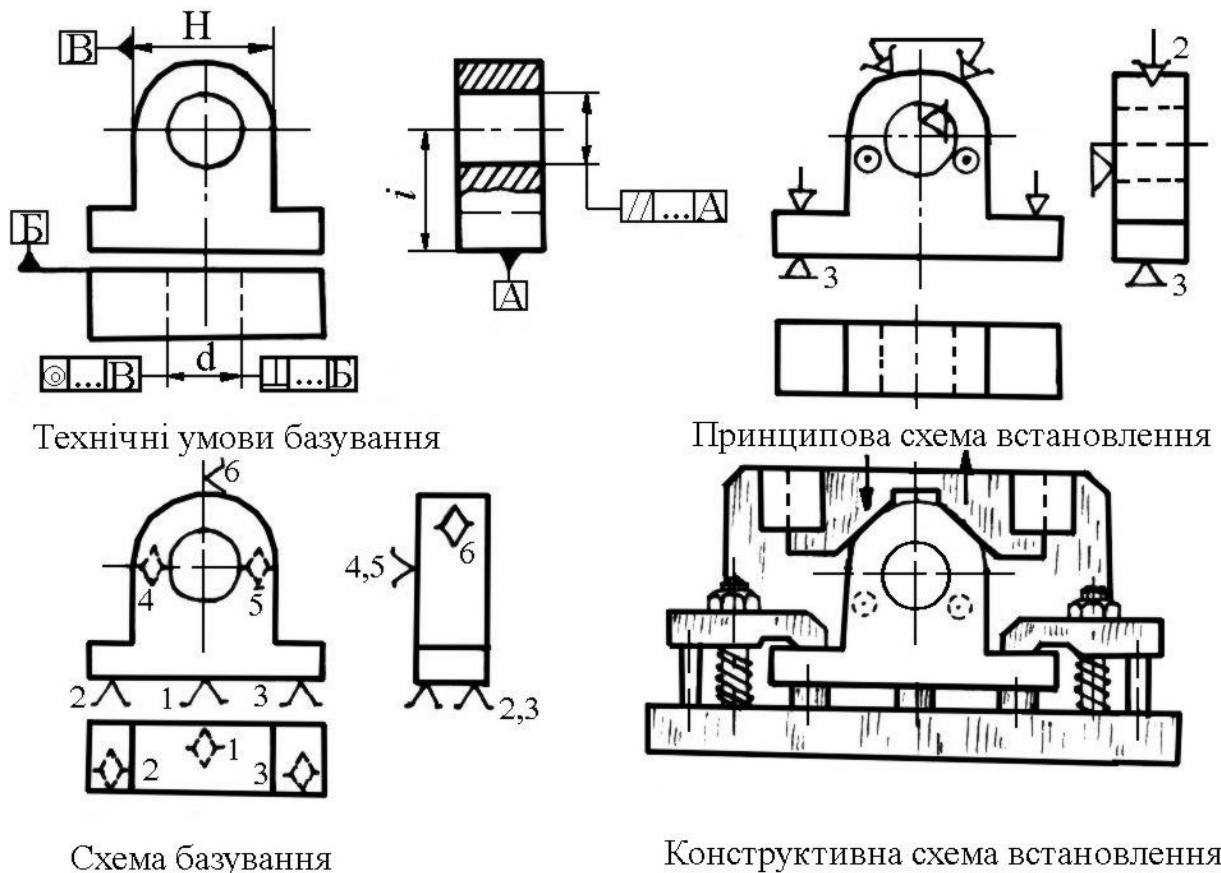


Рисунок 8.8 – Приклад формалізації конструкторського рішення встановлення і базування з використанням умовних позначень

### Запитання для самоконтролю

- 1 Дайте визначення базування і бази при виготовленні деталей, складанні та ремонті машин.
- 2 Наведіть схему базування призматичного тіла, які бази при цьому беруть участь, їх роль та способи практичної реалізації.
- 3 Наведіть схему базування циліндричного тіла, які бази при цьому беруть участь, їх роль, та способи практичної реалізації.
4. Наведіть схему базування диска, які бази при цьому беруть участь, їх роль та способи практичної реалізації.
- 5 Наведіть схему базування в центрах, які бази при цьому беруть участь, їх роль.
- 6 Сформулюйте “правило шести точок”.
- 7 Що розуміється під повним і неповним базуванням ?
- 8 За якими ознаками класифікуються технологічні бази, дати їх коротку характеристику.
- 9 Наведіть приклади явних і прихованих баз, яка суттєва різниця між ними?

10 Що розуміється під визначеністю та невизначеністю базування? Причини, за якими може відбуватись невизначеність базування.

## Лекція 9. Базування та бази в машинобудуванні. Принципи теорії базування. Похибки базування.

### 9.1. Принципи суміщення баз

*Принцип суміщення баз.* Цей принцип полягає в тому, що при призначенні технологічних баз для формоутворення окремих поверхонь чи складання за технологічні бази потрібно приймати поверхні, які одночасно є конструкторськими та вимірювальними базами (див. рис. 9.1)

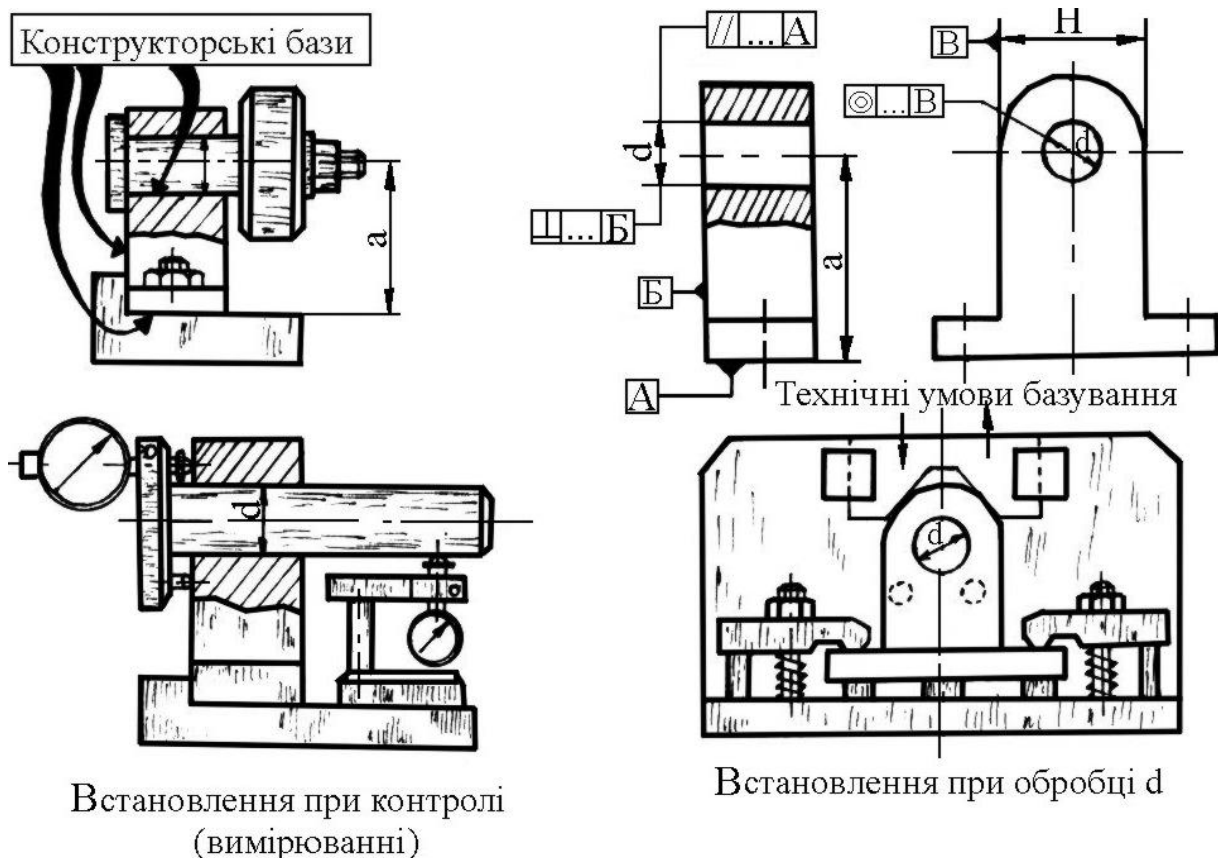


Рисунок 9.1 – Принцип суміщення (єдності баз)

При використанні цього принципу точність не залежить від розмірів, отриманих при виконанні попередніх операцій. Обробка заготовок здійснюється за розмірами, що визначають координатне положення поверхонь і проставлені в робочому кресленні з використанням всього поля допуску на розмір, нормованого конструктором. При цьому технологічні бази повинні забезпечувати можливість застосування простої та надійної конструкції пристрою для зручного встановлення, підведення оброблювального інструменту до оброблюваних поверхонь і досягнення заданих технічних вимог.

Проте, дотримання принципу єдності баз може призвести до необхідності застосування складного технологічного оснащення на окремих операціях, а в багатьох випадках різне координування конструктивних елементів взагалі не дозволяє витримувати цей принцип повністю.

Порушення принципу суміщення баз, коли технологічна база не збігається з конструкторською чи вимірювальною, вимагає необхідності заміни розмірів,

проставлених в робочих кресленнях від конструкторських баз, більш зручними для обробки технологічними розмірами, проставленими безпосередньо від технологічних баз. Це призводить до створення технологічних розмірних ланцюгів і до необхідності зменшення допусків на деякі конструкторські розміри, а отже, і до подорожчання процесу обробки та зниженню його продуктивності.

## 9.2 Принцип незмінності баз

Зміна баз. Під зміною баз розуміють заміну одних поверхонь деталей, заготовок або складальних одиниць машини, які використовуються як бази, іншими.

Розрізняють організовану і неорганізовану заміну баз. Під організованою заміною баз розуміють заміну, якою керують.

Неорганізована заміна баз відбувається випадково, або без керування цим явищем (наприклад, при закріпленні заготовки у звичайних затискних лещатах) (рис. 9.2).

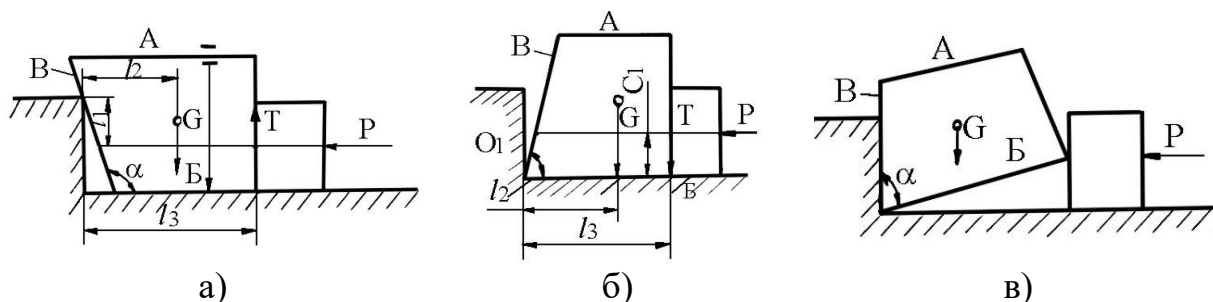


Рисунок 9.2 – Схема встановлення та закріплення деталі в лещатах

Причинами заміни є: похибки геометричної форми заготовки (рис. 9.2, а); неправильне розташування і похибки установочних елементів (рис. 9.2, б); неправильне прикладання і послідовність прикладання затискних сил (рис. 9.2, в); недостатня кваліфікація робітника (рис. 9.3, г).

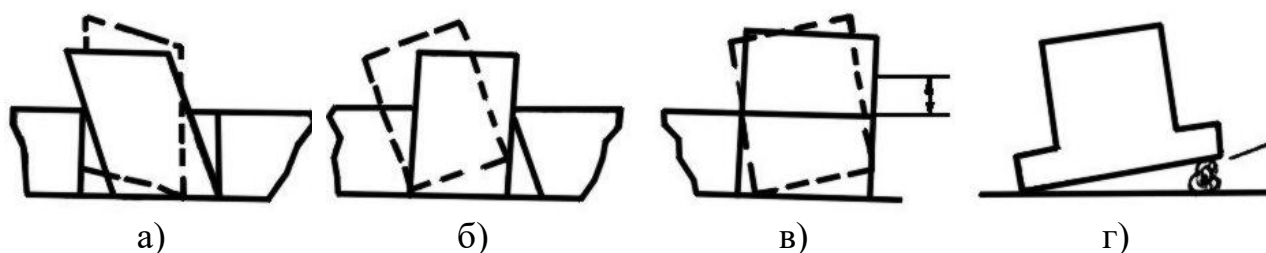


Рисунок 9.3 – Неорганізована зміна баз з різних причин: а – похибки геометричної форми заготовки; б – неправильне розташування і похибки установочних елементів; в – неправильне прикладання і послідовність прикладання затискних сил; г – недостатня кваліфікація працюючого

Необхідність в організованій зміні однієї або декількох баз виникає в таких випадках: неможливість обробки всіх поверхонь деталі з одного встановлення; неможливість використання вимірнувальної бази як технологічної, або коли для цього потрібні складні, незручні пристосування;



коли виникає можливість досягти потрібну точність більш простим, зручним і економічним шляхом.

За необхідності одні технологічні бази можуть бути організовано замінені іншими з обов'язковим виконанням наступних дій:

1. Встановлення розмірних зв'язків між поверхнями попередньої та нової баз.

2. Встановлення розмірних зв'язків між оброблюваною поверхнею та новою вибраною технологічною базою.

3. Виявлення технологічних розмірних ланцюгів в тих координатних площинах, в яких відбувається зміна баз.

4. Виконання необхідних розрахунків виявлених технологічних розмірних ланцюгів.

### 9.3 Визначення похибок базування

Похибки встановлення заготовок. Оскільки процес встановлення заготовок в пристроях чи на верстаті полягає у їх базуванні та закріпленні, то очевидно, похибку встановлення заготовки можна визначити як суму похибки базування та похибки закріплення, тобто:

$$\bar{\varepsilon}_y = \bar{\varepsilon}_\delta + \bar{\varepsilon}_z, \quad (9.1)$$

де  $\varepsilon_\delta$ ,  $\varepsilon_z$  – похибки базування і закріплення.

Похибка встановлення – це відхилення фактично досягнутого положення заготовки чи виробу при встановленні від потрібного.

Похибка базування – це відхилення фактичного досягнутого положення заготовки чи виробу при базуванні від потрібного.

Похибка закріплення – це відхилення досягнутого положення заготовки чи виробу при закріпленні від потрібного.

Похибки закріплення та базування, які визначають похибку встановлення, виникають у зв'язку з такими фактичними причинами (рис. 9.4):

1 Теорія базування відноситься до твердих тіл. Реальні заготовки чи вироби не є абсолютно твердими тілами. Контактні та об'ємні деформації, які під дією сил і моментів сил закріплення змінюють положення тіл, що базуються, визначають відповідну похибку. Очевидно, що контактні деформації обернено пропорційні площі контакту опор, затискачів і установчих елементів. При даній силі закріплення зменшення площі контакту призводить до зростання тисків, і відповідно, до збільшення деформацій та похибки закріплення. Звичайно похибку закріплення розраховують за емпіричною залежністю деформації від сил із врахуванням діючих сил, твердості та розмірів контактуючих тіл (опор, затискачів та установчих елементів).

2. При базуванні потрібне положення баз, що утворюють системи координат, визначаються геометричними зв'язками (координатними розмірами), накладеними на точки, які належать ідеальним лініям чи поверхням, вказаним в конструкторській чи технологічній документації. Деталі машин, заготовки чи вироби обмежені реальними поверхнями і лініями, які мають певний рельєф і профіль, що не враховуються при ідеалізованому представленні тіл. Наявність у

реальній базі точок, що не лежать на ідеальній лінії чи різновіддалених від ідеальної поверхні, призводить при базуванні та накладанні реального фізичного зв'язку до появи відповідної похибки базування. Якщо базування здійснюється не по опорних точках, а по поверхні, то похибка базування буде тим більшою, чим більше відхилення розмірів і форми конструктивних елементів, що виконують функції баз. Як наслідок, базування за допомогою точкових опор краще за поверхневе сполучення. З тієї ж причини похибка базування буде тим меншою, чим більше напрямні бази наближаються до прямої лінії, а опорні – до точок. Проте при цьому необхідно враховувати, що точність положення заготовок чи виробів при їх установленні залежить не тільки від похибки базування, але й від деформацій закріплення, вказаних вище, які обернено пропорційні площі контакту.

В технологічних системах при незбіганні технологічних і вимірювальних чи конструкторських баз, від яких задається потрібне положення, в ланцюг елементів технологічної системи включаються додаткові системи координат, створюючи розмірні ланцюги. Результируюча похибка визначається відповідною сумою відхилень розмірів, похибок форм і закріплень.

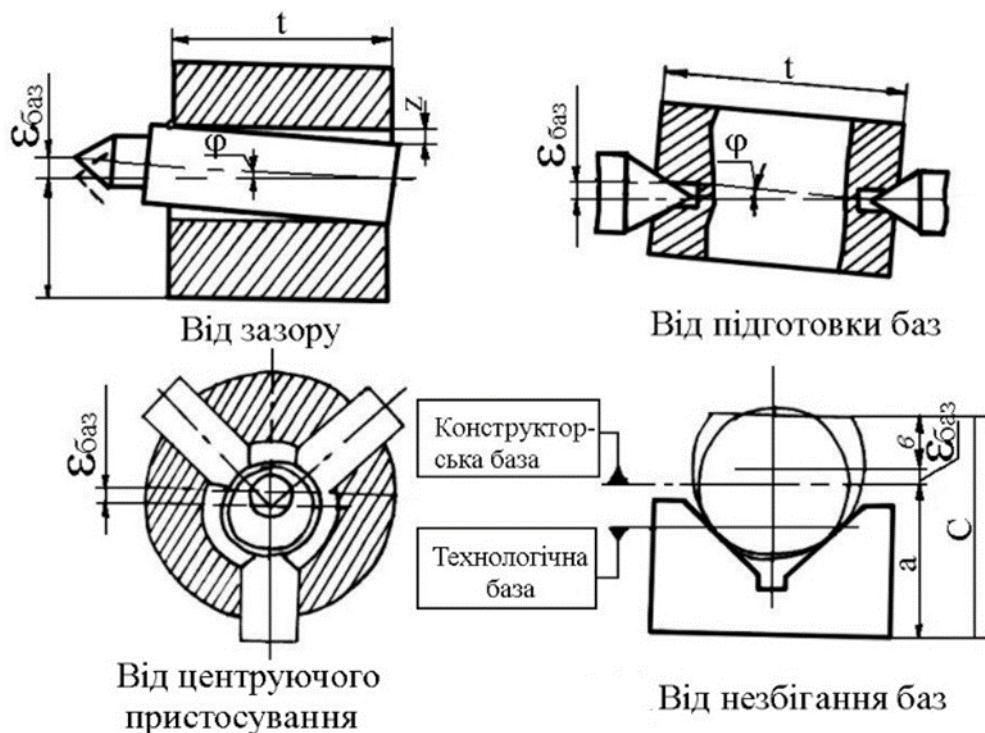


Рисунок 9.4 – Похибки базування

З наявності зазорів у з'єднаннях чи посадках при встановленні заготовок чи виробів визначає відхилення фактичного положення від потрібного і характеризує відповідну складову похибки базування (рис. 9.4). Для виключення впливу зазорів і похибки баз на точність встановлення використовують приховані бази центрування заготовок і виробів по площинах, осях і точках симетрії. Похибка базування в цьому випадку зв'язана тільки з точністю

центрування та відповідною характеристикою розмірного ланцюга, в яку входить розмір, що розглядається.

4 Відхилення кутового і лінійного положень поверхні та ліній, що виконують функції базових площин і осей, є причинами похибки базування. Вони визначають відповідну точність координатних систем базування. Накладання потрібних координатних розмірів на точки базових систем координат визначає відповідні геометричні зв'язки, положення баз і тим самим тіл, що базуються. Отже, чим менше відхилення від кутового положення площин і ліній, що виконують функції координатних площин і осей, тим менша похибка базування. Чим більша відстань між реальними опорами, тим також менша похибка базування.

В кожному конкретному випадку відповідна схема базування і встановлення визначає ті чи інші вказані причини і похибку.

### **Запитання для самоконтролю**

- 1 Що розуміється під організованою зміною баз, які при цьому треба виконати заходи для забезпечення точності обробки?
2. Як утворюється похибка установа заготовки у пристрої, її основні причини?
3. Що розуміється під похибкою базування, умови її виникнення.
4. Що розуміється під похибкою закріплення заготовки? Заходи по її зменшенню та усуненню.
5. Розкрийте суть принципу «незмінності баз».
6. Розкрийте суть принципу «сталості баз».

## **Лекція 10. Якість виробів. Загальні характеристики якості. Технологічні закономірності забезпечення встановлених геометричних та фізико-механічних характеристик поверхні**

### **10.1 Якість. Показники якості. Методи оцінки рівня**

Якість машин закладається в їх конструкцію при проектно-конструкторських розробках, забезпечується на заданому рівні у виробництві і підтримується протягом певного часу в експлуатації.

За державним стандартом під якістю промислової продукції розуміють сукупність властивостей, що обумовлюють її придатність задовольняти певні потреби у відповідності з її призначенням.

Якість машин характеризується системою показників, на кожен з яких має бути встановлена кількісна величина з допуском на її відхилення, яка б забезпечувала економічність виконання машиною її службового призначення.

Система якісних показників зі встановленими на них кількісними даними і допусками, які описують службове призначення машини, отримали назву технічних умов та норм точності на приймання готової машини.

До найбільш важливих показників якості відносять експлуатаційні показники: технічний рівень машини, її надійність, ергономічність та естетичні характеристики.

Технічний рівень (потужність, ККД, продуктивність, точність роботи, ступінь автоматизації, економічність та ін.) визначає ступінь досконалості машини. Її можна оцінити в абсолютних і відносних одиницях.

Ці показники використовують при порівнянні якості машин, що виготовляються, з кращими вітчизняними та зарубіжними зразками. В деяких випадках застосовують інтегрований (комплексний) показник. Він може, зокрема, відображати відношення загального корисного ефекту від експлуатації машини до сумарних витрат на її створення та експлуатацію.

Технічний рівень машини залежить не тільки від її конструкції, але й від технології її виготовлення.

Надійність є комплексним показником, який включає безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, а також властивість машини зберігати справний і працездатний стан протягом певного проміжку часу. Надійність машини суттєво залежить від технології її виготовлення, яка впливає на естетичні характеристики машини (її загальний вигляд, оформлення), а деякою мірою й на її ергономічні характеристики.

Крім експлуатаційних показників якості машини, надійність оцінюється системою виробничо-технологічних показників, які характеризують ефективність конструктивних рішень з точки зору забезпечення оптимальних затрат праці та коштів на виготовлення виробу, його технічне обслуговування та ремонт. До цих показників відносять: трудомісткість, верстатомісткість, виробничий цикл, конструктивну та технологічну спадкоємність виробу та ін.

Економічні показники якості машини (капіталовкладення у виробництво та експлуатацію машини, собівартість виготовлення машини і собівартість

одиниці продукції, що виготовляється машиною) також суттєво залежать від технології виготовлення машини.

Кожен з перелічених основних показників відносно того чи іншого типу машини конкретизується у вигляді цілої системи додаткових якісних і кількісних показників, які характеризують особливості машини даного типу і призначені для виконання даного службового призначення.

Технічними умовами ставиться задача, яку потрібно розв'язати машинобудівному підприємству як в процесі конструювання машини, так і під час її виготовлення. Правильне та чітке формулювання задачі деякою мірою зумовлює успіх найбільш швидкого та економічного її розв'язання.

Отже, розробка якісних і кількісних показників технічних умов є однією з найбільш відповідальних задач, оскільки від її правильного розв'язання залежить якість та економічність виконання машиною службового призначення, швидкість освоєння та економічність виготовлення. На найбільш поширену промислову продукцію технічні умови і стандарти розробляються і затверджуються на державному рівні. Як приклади можна навести стандарти на електродвигуни, автомобілі, верстати, підшипники та ін.

Показником якості машин, досягнення та забезпечення якого викликає найбільші труднощі і затрати в процесі створення і особливо в процесі виготовлення машин, є точність машин. Встановлення необхідної точності та технологічне забезпечення її у виробничих умовах є відповідальною задачею конструктора виробу і технолога.

Загальні поняття про точність деталей та точність машин. Точність деталі. Під точністю деталі розуміють ступінь її наближення до геометрично правильного її прототипу.

Виготовити будь-яку деталь абсолютно точно, тобто у повній відповідності її з геометричним представленням, практично неможливо, тому за міру точності приймають величини відхилень від теоретичних значень. Ці відхилення після їх вимірювання порівнюють з відхиленнями, які допускаються службовим призначенням деталі в машині. Отже, по всіх показниках якості деталі, що характеризують її службове призначення, необхідно встановлювати допустимі відхилення чи допуски.

*Допуск* – це найбільше значення похибки, при якій деталь ще задовольняє своє службове призначення.

Точність деталі характеризують наступні основні показники:

1 Точність відстані між якими-небудь її двома поверхнями, чи точність розмірів поверхні деталі, що надають їй ті чи інші геометричні форми (наприклад, діаметр і довжина циліндричної поверхні).

2 Точність повороту (взаємного положення) однієї поверхні відносно іншої, вибраної за базу. Оскільки деталь представляє собою просторове тіло, то точність повороту (взаємного положення) однієї поверхні відносно іншої звичайно розглядають в двох перпендикулярних координатних площинах.

Під точністю повороту (взаємного положення) розуміють величину відхилення від потрібного куткового положення однієї поверхні відносно іншої в кожній з двох координатних площин.

3 Точність геометричних форм поверхонь деталі чи правильність геометричних форм. Під цим розуміють найбільше наближення кожної з поверхонь деталі до її геометричного представлення.

Точність машини характеризується такими основними показниками:

- 1) точність відносного руху виконавчих поверхонь машини;
- 2) точність відстаней між виконавчими поверхнями чи замінюючими їх сполученнями та їх розмірів;
- 3) точністю відносних поворотів виконавчих поверхонь;
- 4) точністю геометричних форм виконавчих поверхонь (включаючи макрогеометрію та хвилястість);
- 5) шорсткістю виконавчих поверхонь.

## **10.2 Якість робочих поверхонь деталей машин. Геометричні та фізико-механічні характеристики якості**

Параметри, які характеризують якість поверхні. Один із основних показників якості машин – надійність – суттєво залежить від експлуатаційних властивостей їх деталей і з'єднань, які визначаються технологією виготовлення.

Надійність деталі багато в чому залежить від стану поверхневих шарів, оскільки руйнування починається якраз із зовнішніх поверхонь. Вимоги до їх якості безперервно підвищуються в міру інтенсифікації режимів роботи деталей.

Якість поверхні – це комплексний показник, що характеризується фізико-механічними і геометричними параметрами поверхневого шару.

*Фізико-механічні параметри.* До фізико-механічних параметрів відносять: твердість; деформаційне зміцнення (наклеп); залишкові напруження.

Твердість – це здатність поверхні чинити опір проникненню більш твердого тіла.

Розрізняють твердість вихідного матеріалу (серцевини) і поверхневого шару. З точки зору експлуатації деталей, більший інтерес викликає твердість поверхневого шару, яка звичайно вища твердості серцевини.

Зміцнення поверхневого шару відбувається на фінішних операціях та операціях що їм передують (технологічна спадковість).

Наклеп характеризується наступними показниками:

- товщиною наклепаного шару  $h'$  (це – глибина шару, zdeформованого в результаті силової взаємодії інструмента з оброблюваною поверхнею);
- інтенсивністю наклепу, яка визначається відношенням мікротвердості  $H_{\mu p}$  досліджуваної поверхні до мікротвердості матеріалу, розташованого під наклепанним шаром.

Залишкові напруження характеризують: величина, характер розподілу і знак внутрішніх напружень.

Внутрішні напруження – це прояв внутрішніх сил у поверхневих шарах металу після закінчення силової чи теплової дії. Вони можуть бути розтягуючими і стискаючими

Глибина та інтенсивність наклепаного шару, а також внутрішні напруження на кресленнях не вказуються головним чином через відсутність

надійних методів контролю цих параметрів у виробничих умовах. Шорсткість і твердість завжди вказуються на робочих кресленнях.

*Геометричні параметри.* До геометричних параметрів відносять: макрота мікрогеометрію поверхні, хвилястість.

Макрогеометрія поверхні характеризується похибками форми (овальність, конусність, бочкоподібність), які відносяться до параметрів точності обробки.

Мікрогеометрія поверхні (шорсткість) обумовлена наявністю мікронерівностей, які є результатом взаємодії оброблюваної поверхні з різальним інструментом на фінішних операціях.

Шорсткість прийнято визначати за профілем, який утворюється в перерізі цієї поверхні площиною, перпендикулярною до номінальної (зображеної на кресленні) поверхні. При цьому профіль розглядається на довжині базової лінії, яка використовується для виділення нерівностей і кількісного визначення їх параметрів.

Хвилястість займає проміжне положення між шорсткістю та похибкою форми поверхні. Критерієм для розмежування шорсткості та хвилястості служить величина відношення кроку до висоти нерівностей.

При вирішенні задач технологічного забезпечення якості поверхні деталей та їх експлуатаційних якостей технолог повинен вміти:

- забезпечувати параметри якості поверхневого шару деталей машин відповідно до їх службового призначення;
- прогнозувати режими механічної обробки, що забезпечують одержання заданих параметрів якості;
- визначати комплекс методів механічної обробки, що забезпечують одержання заданих параметрів якості поверхневого шару з найбільшою продуктивністю.

### **10.3 Технологічне забезпечення заданої шорсткості поверхні**

Всі різноманітні фактори, що обумовлюють шорсткість обробленої поверхні, можна об'єднати в три основні групи:

- причини, пов'язані з геометрією процесу різання;
- причини, пов'язані з пластичною та пружною деформаціями оброблюваного матеріалу;
- причини, пов'язані з виникненням вібрацій різального інструменту.

За один оберт заготовки різець переміщується на величину подачі  $S_1$  (мм/об) і переходить з положення 2 в положення 1 (рис. 10.1, а). При цьому на обробленій поверхні залишається деяка частина металу, не знята різцем, і вона створює залишковий гребінець  $m$ . Цілком очевидно, що величина і форма нерівностей поверхні, що складається із залишкових гребінців, визначається подачею  $S_1$  і формою різального інструменту. Наприклад, при зменшенні подачі до значення  $S_2$  висота нерівностей  $R_z$  знижується до  $R'_z$  (рис. 10.1, б). Зміна кутів  $\varphi$  і  $\varphi_1$  в плані впливає не тільки на висоту, але й на форму нерівностей поверхні (рис. 10.1, в). При використанні різців із заокругленою вершиною достатньо великого радіуса  $r_1$  форма нерівностей стає відповідно також заокругленою (рис.

10.1, г). При цьому збільшення радіуса заокруглення вершини різця до  $r_2$  призводить до зменшення висоти  $R_z$  шорсткості (рис. 10.1, д).

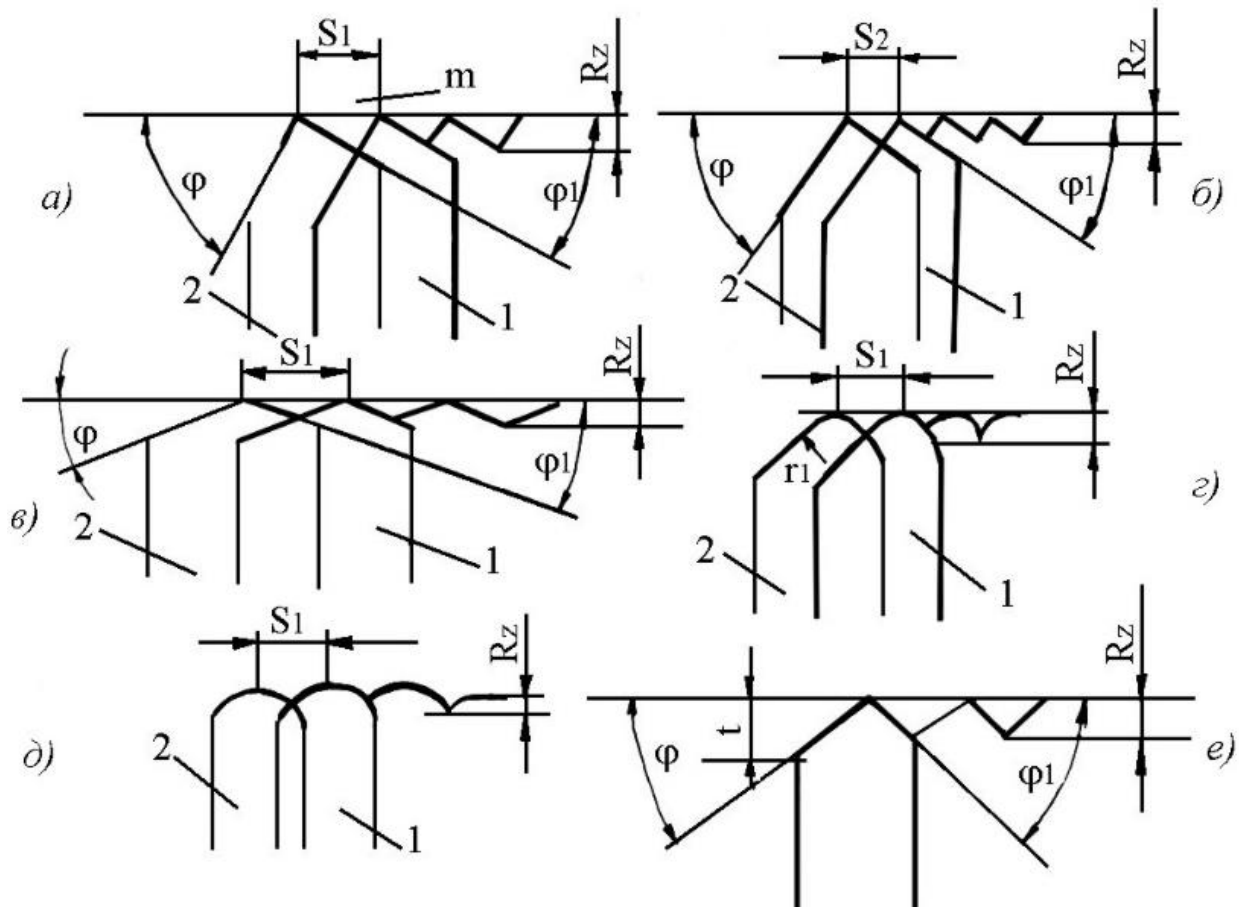


Рисунок 10.1 – Геометричні причини утворення шорсткості під час точіння

Виходячи з наведених міркувань геометричного характеру визначати висоту  $R_z$  нерівностей при обробці різцем в залежності від подачі  $S$  і радіуса  $r$  заокруглення вершини різця за формулою:

$$R_z = \frac{S^2}{8r}. \quad (10.1)$$

В процесі створення нерівностей при точінні різцями з невеликими радіусами заокруглення і з великими подачами беруть участь не тільки криволінійна частина різальної кромки різця, створена радіусом  $r$  заокруглення, але й прямолінійна ділянка різального леза (рис. 10.1, е). В цьому випадку у формулу включають значення головних кутів  $\varphi$  і  $\varphi_1$  в плані:

$$R_z = \frac{S \sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)}. \quad (10.2)$$

Якщо шорсткість формується повністю заокругленою частиною різальної кромки, то висота мікронерівностей може бути визначена за формулою:

$$R_z = r - 0,5\sqrt{4r^2 - S^2}. \quad (10.3)$$

Наведені вище відомості про геометричні причини виникнення нерівностей при точінні дають можливість зробити наступні висновки.



1 Збільшення подачі, головного  $\phi$  і допоміжного  $\phi_1$  кутів різця у плані призводить до зростання висоти нерівностей. При чистовій обточці доцільно користуватись прохідними різцями з малим значенням кутів  $\phi$  і  $\phi_1$ . Не слід без особливої необхідності застосовувати підрізні різці.

2 Зростання радіуса заокруглення вершини різця знижує висоту шорсткості поверхні.

3 Зниження шорсткості різальних поверхонь інструмента за допомогою ретельного (бажано алмазного) доведення усуває вплив нерівностей різального леза на оброблювану поверхню. Разом зі зменшенням шорсткості оброблюваної поверхні, доведення помітно підвищує стійкість різального інструмента, а отже, і економічність його використання.

Формування шорсткості поверхні при різних видах механічної обробки (фрезеруванні, свердлінні, шліфуванні, тощо) підкоряється взагалі тим же закономірностям, що і при точінні. Характер цих закономірностей видозмінюється в залежності від зміни співвідношення впливу геометричних причин, пластичних деформацій та вібрацій, пов'язаних з особливостями окремих видів механічної обробки.

#### **10.4 Технологічне забезпечення параметрів зміцнення поверхневого шару та залишкових напружень в ньому**

При обробці заготовок різанням під дією прикладених сил в металі поверхневого шару відбувається пластична деформація, яка супроводжується його деформаційним зміцненням (наклепом). Інтенсивність та глибина поширення наклепу зростають зі збільшенням сил і тривалості їх дії та з підвищенням ступеня пластичності деформації металу поверхневого шару. Одночасно зі зміцненням (під впливом нагрівання зони різання) в металі поверхневого шару відбувається розміцнення, що повертає метал в його початковий ненаклепаний стан. Кінцевий стан металу поверхневого шару визначається співвідношенням швидкостей протікання процесів зміцнення та розміцнення, яке залежить від переважання дій в зоні різання силового чи теплового фактору.

Ступінь та глибина поширення наклепу змінюються в залежності від виду і режиму механічної обробки і геометрії різального інструменту. Кожна зміна режиму різання, що викликає збільшення сил різання та ступеня пластичної деформації, веде до підвищення ступеня наклепу. Зростання тривалості дії сил різання на метал поверхневого шару призводить до збільшення глибини поширення наклепу. Зміна режимів обробки, що веде до зростання кількості теплоти в зоні різання та тривалості теплової дії інструмента на метал зони різання, підсилює інтенсивність розміцнення, що знімає наклеп поверхневого шару.

З цих загальних позицій може бути оцінений вплив режимів різання на наклеп поверхневого шару, проте на практиці картина значно ускладнюється впливом сил тертя, зміною умов відведення теплоти із зони різання, структурними змінами металу і деякими іншими явищами, які важко піддаються

попередньому врахуванню та спотворюють очікувані закономірності виникнення наклепу.

В процесі обробки точінням наклеп поверхневого шару підвищується при збільшенні подачі та глибини різання у зв'язку зі збільшенням радіуса заокруглення різального леза і при переході від позитивних передніх кутів різця до від'ємних. У всіх вказаних випадках збільшення наклепу пов'язане з підсиленням ступеня пластичної деформації у зв'язку зі зростанням сил різання.

Вплив швидкості різання найчастіше проявляється через зміну теплової дії та тривалості дії сил і нагрівання металу поверхневого шару. Для металів, які не зазнають при різанні структурних змін, при підвищенні швидкості різання потрібно очікувати зниження наклепу внаслідок скорочення тривалості дії деформуючих сил на метал, що повинно призвести до зменшення глибини наклепу, а також в результаті інтенсифікації тертя та виділення теплоти в зоні різання, що прискорює процес розміщення.

Виникнення залишкових напружень у поверхневому шарі при механічній обробці заготовок пояснюється наступними основними причинами.

1 При дії різального інструменту на поверхню оброблюваного металу в його поверхневому шарі відбувається пластична деформація, яка супроводжується зміцненням і зміною деяких фізичних властивостей металу. Пластична деформація металу викликає зменшення його щільності, а отже, обумовлює зростання питомого об'єму, який досягає 0,3–0,8 % питомого об'єму до пластичної деформації. Збільшення об'єму металу поширюється тільки на глибину проникнення пластичної деформації і не зачіпає шарів металу, які лежать нижче.

Збільшенню об'єму пластично деформованого металу поверхневого шару перешкоджають зв'язані з ним недеформовані шари, що лежать нижче. В результаті цього у зовнішньому шарі виникають стискуючі, а у нижніх шарах – розтягуючі залишкові напруження.

2 Різальний інструмент, що знімає з обробленої поверхні елементну стружку, витягує кристалічні зерна металу підрізцевого шару, які при цьому зазнають пружної та пластичної деформацій розтягу в напрямку різання. Тертя задньої поверхні різального інструменту об оброблювану поверхню в свою чергу сприяє розтягуванню кристалічних зерен металу поверхневого шару. Після віддалення різального інструмента пластично розтягнуті верхні шари металу, зв'язані як єдине ціле з нижніми шарами металу, набувають залишкових напружень стискання, орієнтованих у напрямку різання. Відповідно до цього, в нижніх шарах розвиваються врівноважуючі їх залишкові напруження розтягування. При цьому в напрямку, перпендикулярному до напрямку швидкості різання (тобто в напрямку подачі), також відбувається пружна і пластична деформація кристалічних зерен, які викликають виникнення залишкових напружень (осьові напруження), величина і знак яких можуть збігатися чи не збігатися з величиною і знаком залишкових напружень, орієнтованих в напрямку швидкості різання.

3 При відділенні від оброблюваної поверхні зливної стружки (обробка пластичних металів при відповідних умовах різання) після пластичного

витягування кристалічних зерен металу поверхневого шару у напрямку різання відбувається їх додаткове витягування під впливом зв'язаної з оброблюваною поверхнею стружки у напрямку сходження зливної стружки, тобто вверх. В цьому випадку може відбутись повне переформування кристалічних зерен поверхневого шару (витягування у вертикальному і стискання у горизонтальному напрямках), що призведе до появи в напрямку швидкості різання і подачі залишкових напружень розтягування.

4 Теплота, що виділяється в зоні різання, миттєво нагріває тонкі поверхневі шари металу до високих температур, що викликає збільшення його питомого об'єму. Проте, у розігрітому шарі не виникають внутрішні напруження у зв'язку з тим, що модуль пружності металу знижується до мінімуму, а пластичність зростає. Після припинення дії різального інструмента відбувається швидке охолодження металу поверхневого шару, яке супроводжується стисканням. Цьому перешкоджають нижні шари металу, що залишилися холодними. В результаті у зовнішніх шарах металу розвиваються залишкові напруження розтягування, в нижніх шарах – врівноважуючі їх напруження стискання.

5 При обробці металів, схильних до фазових перетворень, нагрівання зони різання викликає структурні перетворення, пов'язані з об'ємними змінами металу. В цьому випадку у шарах металу зі структурою, що має більший питомий об'єм, розвиваються напруження стискання, а в шарах зі структурою меншого питомого об'єму – залишкові напруження розтягування. Наприклад, перехід аустеніту в мартенсит збільшує об'єм, що призводить до виникнення залишкових напружень стискання. При переході мартенситу в троостит, що має менший об'єм, виникають залишкові напруження розтягування.

### **Запитання для самоконтролю**

1 Які групи параметрів характеризують якість поверхонь деталей машин?

2 Які параметри якості поверхонь деталей відносяться до фізико-механічних?

3 Які параметри якості поверхонь деталей відносяться до геометричних?

4 В чому полягає сутність деформаційного зміцнення (наклепу) металу?

5 Сформулюйте загальні причини виникнення залишкових напружень у поверхневому шарі при механічній обробці.

6 Сформулюйте загальні причини виникнення шорсткості поверхні.

7 Наведіть схеми геометричних причин виникнення шорсткості поверхні.

8 Якими технологічними заходами можна зменшити шорсткість поверхонь; що обумовлена геометричними причинами?

9 Як впливає деформаційне зміцнення металу поверхневого шару на : зносостійкість, втомлену міцність та корозійну стійкість деталей?

## Лекція 11. Припуски на механічну обробку. Загальна теорія розрахунку припусків

### 11.1 Загальний припуск. Операційний припуск. Схема розміщення припусків та допусків для методу пробних ходів та вимірів Мінімальний операційний припуск

Загальні відомості про припуски на обробку. Креслення вихідної (початкової) заготовки відрізняється від креслення готової деталі наявністю на всіх оброблюваних поверхнях припусків на наступну обробку.

В машинобудуванні при обробці матеріалу розрізняють такі види припусків: загальний припуск на обробку, операційний, що задається на операцію і проміжний, що задається на перехід.

*Загальним припуском* на обробку називається шар металу, який повинен бути видалений в результаті виконання всіх передбачених технологічним процесом операцій механічної обробки для отримання готової деталі з заданими розмірами і шорсткістю поверхні.

Загальний припуск дорівнює:

$$Z_3 = \sum_{i=1}^n Z_i, \quad (11.1)$$

де  $Z_i$  – операційні припуски;  $n$  – число операцій.

*Операційним припуском* називається шар металу, що видалається при виконанні даної операції.

Операційний припуск дорівнює

$$Z_i = \sum_{np=1}^m Z_{np}, \quad (11.2)$$

де  $Z_{np}$  – проміжний припуск;  $m$  – кількість переходів.

*Проміжний припуск* – це припуск, тобто шар металу, що видалається за один перехід.

Визначення оптимальних припусків на обробку тісно пов'язане зі встановленням проміжних та початкових розмірів заготовки.

Ці розміри необхідні для конструювання штампів, моделей, прес-форм, стрижневих ящиків, пристроїв, спеціального різального та вимірювального інструмента, а також для настроювання металорізальних верстатів та іншого технологічного обладнання.

На основі визначених припусків можна обґрунтовано визначити масу початкових заготовок, режими різання, а також норми часу на виконання операцій механічної обробки.

Величина припуску, що задається, головним чином залежить від методу виготовлення заготовки деталі при вибраному технологічному процесі, товщини дефектного шару і стану обладнання, на якому виготовляють заготовки. Припуски на обробку вимірюються по нормалі до оброблюваної поверхні і задаються звичайно в мм на сторону. Спосіб задання припуску (на сторону чи діаметр) обов'язково оговорюється в технології.

При обробці будь-якої деталі операційні розміри, як правило, не можуть бути витримані абсолютно точно, тому фактична величина припуску коливається в деяких межах. У зв'язку з цим розрізняють мінімальний, номінальний (розрахунковий) і максимальний припуски.

Розрахункові схеми розташування припусків і допусків для різних методів отримання заданої точності обробки. Схеми для методу пробних ходів. Така схема показана на рис. 11.1. На ній розглянута токарна обробка та шліфування зовнішньої поверхні типу вал.

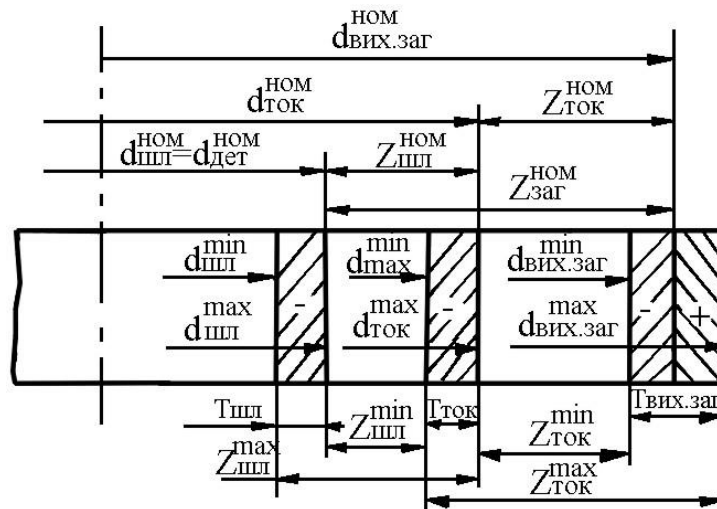


Рисунок 11.1 – Схема розташування припусків і допусків при токарній обробці та шліфуванні валу

З наведеної схеми випливає, що загальний номінальний припуск на обробку дорівнює:

$$Z_{заг}^{ном} = d_{вих.заг}^{ном} - d_{дет}^{ном} \quad \text{або} \quad Z_{заг}^{ном} = \sum_{i=1}^n Z_i^{ном} \quad (11.3)$$

Максимальний припуск на виконуваний технологічній операції складається з мінімального припуску та допусків на цю та попередню операції:

$$Z_i^{max} = Z_i^{min} + Td_i + Td_{i-1}, \quad (11.4)$$

де  $Td_i$  – допуск розміру на виконуваний операції (виконуваному переході);  $Td_{i-1}$  – допуск розміру на попередній операції (попередньому переході).

Допуски також можна позначити  $T_i$  та  $T_{i-1}$ .

У загальному випадку аналогічні схеми для обробки внутрішніх та зовнішніх поверхонь без вказання назв технологічних операцій мають вигляд, показаний на рис. 11.2 та 11.3.

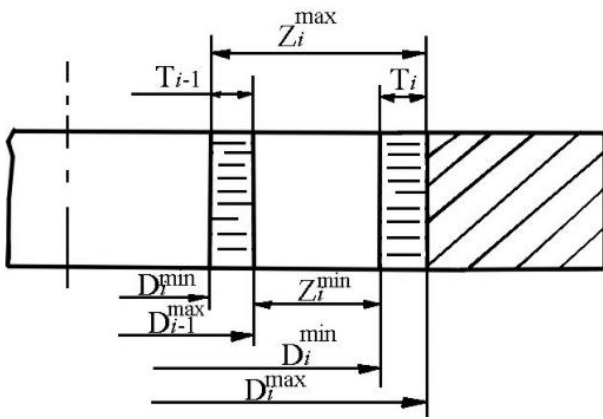


Рисунок 11.2 – Розрахункова схема для визначення проміжних розмірів отворів та внутрішніх лінійних розмірів

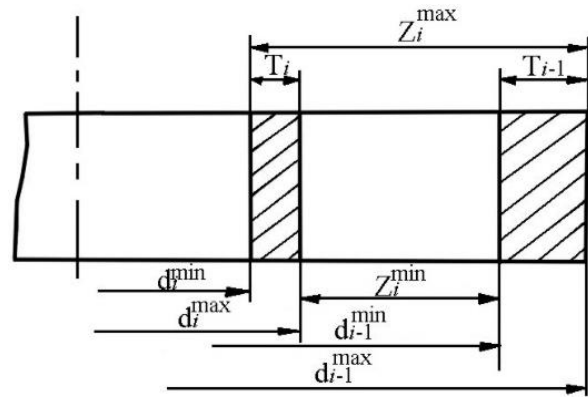


Рисунок 11.3. – Розрахункова схема для визначення проміжних розмірів валів та зовнішніх лінійних розмірів

Розрахунок проміжних розмірів, виходячи з наведених схем, виконується за формулами:

– для зовнішніх поверхонь:

$$\begin{aligned}
 a_{i-1}^{\min} &= a_i^{\min} + T_i + Z_i^{\min}; \\
 a_{i-1}^{\min} &= a_i^{\max} + Z_i^{\min}; \\
 a_{i-1}^{\max} &= a_i^{\min} + T_{i-1} + Z_i^{\min}; \\
 a_{i-1}^{\min} &= a_i^{\min} + Td_i + 2Z_i^{\min}; \\
 a_{i-1}^{\min} &= a_i^{\max} + 2Z_i^{\min}; \\
 a_{i-1}^{\max} &= a_i^{\max} + Td_{i-1} + 2Z_i^{\max}.
 \end{aligned}
 \tag{11.5}$$

– для внутрішніх поверхонь:

$$\begin{aligned}
 a_{i-1}^{\min} &= a_i^{\min} - Z_i^{\min} - T_{i-1}; \\
 a_{i-1}^{\max} &= a_i^{\max} - T_i - Z_i^{\min}; \\
 a_{i-1}^{\max} &= a_i^{\min} - Z_i^{\min}; \\
 D_{i-1}^{\min} &= D_i^{\min} - 2Z_i^{\min} - TD_{i-1}; \\
 D_{i-1}^{\max} &= D_i^{\max} - TD_i - 2Z_i^{\min}; \\
 D_{i-1}^{\max} &= D_i^{\min} - 2Z_i^{\min}.
 \end{aligned}
 \tag{11.6}$$

## 11.2 Схема для методу автоматичного отримання розмірів на налагоджених верстатах. Розрахунки проміжних розмірів для технологічних переходів

Схеми для методу автоматичного отримання розмірів. Щоб ясніше уявити, звідки беруться зміни у розрахункових схемах та формулах цього методу, спочатку розглянемо реальну схему обробки на фрезерному верстаті двох

заготовок з гранично допустимими значеннями розмірів від попередньої обробки (рис. 14.4).

Таким чином, при обробці на розмір  $a_i^{настр} = const$  у заготовки з мінімальним попереднім розміром  $a_{i-1}^{min}$  буде знято мінімальний припуск  $Z_i^{min}$  при мінімальному відтисненні  $Y_i^{min}$ , і буде отриманий остаточний розмір  $a_i^{min}$ . В той же час у заготовки з максимальним попереднім розміром  $a_{i-1}^{max}$  буде отриманий також максимальний остаточний розмір  $a_i^{max}$ .

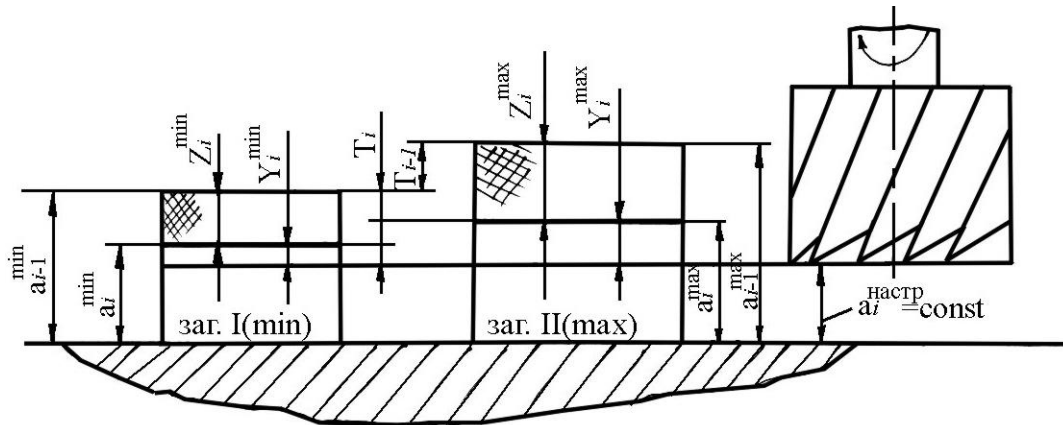


Рисунок 11.4 – Схема фрезерування заготовок на налагодженому верстаті

Як видно з наведеної схеми, мінімальний припуск  $Z_i^{min}$  у цьому випадку включає в себе допуск на виконуваний операції  $T_i$ , а максимальний припуск  $Z_i^{max}$  – допуск попередньої операції  $T_{i-1}$ . Із врахуванням цих особливостей методу автоматичного отримання розмірів на налагоджених верстатах розрахункові схеми для визначення проміжних розмірів змінюють свій вигляд (рис. 11.5, 11.6).

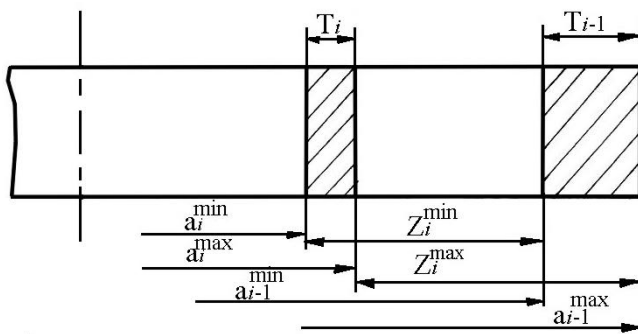


Рисунок 11.5 – Розрахункова схема для зовнішніх поверхонь (метод автоматичного отримання розмірів)

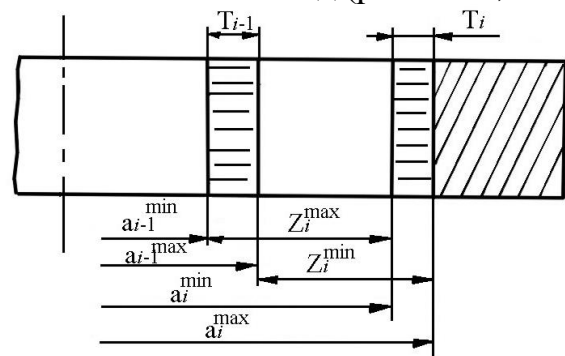


Рисунок 11.6 – Розрахункова схема для внутрішніх поверхонь (метод автоматичного отримання розмірів)

Розрахунок проміжних розмірів для зовнішніх поверхонь ведеться за формулами:

$$\begin{aligned}
a_{i-1}^{\min} &= a_i^{\min} + Z_i^{\min}; \\
a_{i-1}^{\max} &= a_i^{\max} + Z_i^{\max}; \\
a_{i-1}^{\max} &= a_i^{\max} + Z_i^{\min} + T_{i-1}; \\
d_{i-1}^{\min} &= d_i^{\min} + 2Z_i^{\min}; \\
d_{i-1}^{\max} &= d_i^{\max} + 2Z_i^{\max}; \\
d_{i-1}^{\max} &= a_i^{\max} + 2Z_i^{\min} + Td_{i-1}.
\end{aligned}
\tag{11.7}$$

Розрахунки проміжних розмірів для внутрішніх поверхонь ведуться за формулами:

$$\begin{aligned}
a_{i-1}^{\min} &= a_i^{\min} - Z_i^{\max}; \\
a_{i-1}^{\min} &= a_i^{\max} - Z_i^{\min} - T_{i-1}; \\
a_{i-1}^{\max} &= a_i^{\max} - Z_i^{\min}; \\
D_{i-1}^{\min} &= D_i^{\min} - 2Z_i^{\max}; \\
D_{i-1}^{\min} &= D_i^{\max} - 2Z_i^{\min} - TD_{i-1}; \\
D_{i-1}^{\max} &= D_i^{\max} - 2Z_i^{\min}.
\end{aligned}
\tag{11.8}$$

Визначення величини мінімального операційного припуску.

Всі розрахункові залежності, що наведені вище, свідчать, що в основі розрахунків лежить величина мінімального операційного припуску. Допуски на всі операції, чи переходи технологічного процесу легко знайти у довідках згідно з точністю прийнятих методів обробки. Таким чином, задача може бути зведена лише до визначення найбільш точних величин мінімальних припусків.

За теорією професора В.М. Кована, мінімальний операційний припуск обчислюється із врахуванням компенсації дефектів і похибок попередньої обробки, а також похибок встановлення заготовки на виконуваний операції. Відповідно до цієї теорії, мінімальний операційний припуск при послідовній обробці дорівнює:

$$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i \tag{11.9}$$

де  $Rz_{i-1}$  – шорсткість поверхні на попередній операції;  $h_{i-1}$  – глибина дефектного поверхневого шару після попередньої операції;  $\Delta_{\Sigma i-1}$  – сумарне відхилення розташування поверхні (відхилення від перпендикулярності, паралельності, співвісності тощо), а в деяких випадках відхилення форми поверхні на попередній операції;  $\varepsilon_i$  – похибка встановлення заготовки на виконуваний операції.

Ця похибка приблизно розраховується за формулою:

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}, \tag{11.10}$$

де  $\varepsilon_6$  – похибка базування заготовки;  $\varepsilon_3$  – похибка закріплення заготовки.



При обробці зовнішніх та внутрішніх поверхонь обертання (двобічний припуск з випадковим просторовим розташуванням похибок  $\Delta_{\Sigma_{i-1}}$  та  $\varepsilon_i$ ) мінімальний операційний припуск дорівнює:

$$2Z_i^{\min} = \left( Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2} \right) \quad (11.11)$$

Режими різання розраховуються і вибираються за максимальними припусками. У всіх технологічних розрахунках розглядаються номінальні припуски.

Правильний розрахунок і вибір припусків та операційних допусків при механічній обробці деталі є основою при складанні технологічного процесу, оскільки від нього залежить її собівартість, якість, довговічність та надійність.

Вплив величини припуску на економічність процесу обробки великий. Чим більший припуск, тим більше проходів потрібно для зняття відповідного шару металу що призводить до збільшення трудомісткості процесу, зайвих витрат електроенергії, різального інструмента, збільшує кількість стружки, з'являється необхідність у збільшенні парка обладнання і виробничих площ.

Зменшені припуски не забезпечують можливості видалення дефектних поверхневих шарів металу, отримання потрібної точності та шорсткості, тобто призводять до браку.

### **Запитання для самоконтролю**

- 1 Як класифікуються припуски на механічну обробку? Їх визначення та характеристика.
- 2 Від яких факторів залежить величина припусків?
- 3 Надайте схему для визначення проміжних розмірів валів та зовнішніх лінійних розмірів при обробці за методом пробних ходів.
- 4 Надайте схему для визначення проміжних розмірів та внутрішніх лінійних розмірів при обробці за методом пробних ходів.
- 5 Наведіть формули для розрахунку проміжних розмірів для зовнішніх поверхонь при обробці за методом пробних ходів.
- 6 Наведіть формули для розрахунку проміжних розмірів для внутрішніх поверхонь при обробці за методом пробних ходів.
- 7 Надайте схему для визначення проміжних розмірів валів та зовнішніх лінійних розмірів при автоматичному отриманні розмірів.
- 8 Надайте схему для визначення проміжних розмірів отворів та внутрішніх лінійних розмірів при автоматичному отриманні розмірів.
- 9 Наведіть формули для розрахунку проміжних розмірів для зовнішніх поверхонь при автоматичному отриманні розмірів.
- 10 Наведіть формули для розрахунку проміжних розмірів для внутрішніх поверхонь при автоматичному отриманні розмірів.
- 11 Як визначається мінімальний припуск на механічну обробку за методом проф. В.М. Кована?
- 12 Схарактеризуйте складові формули для визначення мінімального припуску на механічну обробку.

## **Лекція 12. Продуктивність та економічність механічної обробки деталей. Основи технологічного нормування**

### **12.1 Продуктивність та собівартість обробки**

Продуктивність і собівартість обробки заготовок в значній мірі залежить від пред'явлених вимог точності і шорсткості поверхонь деталей, що виготовляються.

Встановлено, що зменшення допусків на обробку і висоти мікронерівностей оброблених поверхонь підвищує трудомісткість і собівартість обробки приблизно за законом гіперболи. Це пояснюється тим, що зростає основний час у зв'язку з появленням додаткових ходів і зниженням режимів різання; збільшується допоміжний час, пов'язаний з контрольними операціями, установленням, вивіркою положення заготовки на верстаті, установленням різального інструмента на розмір (при роботі за методом пробних ходів); застосовуються більш складні і точні, а отже, і більш дорогі верстати; зростають затрати на різальний інструмент і в ряді випадків застосовуються більш дорогі способи обробки.

Встановлено, що при підвищенні точності обробки сталевих валиків діаметром 10-18 мм на токарно-револьверних верстатах з 11-го до 7-го квалітетів фактично сумарні затрати часу на обробку, установлення різця на розмір і на вимірювання заготовок зростають у три рази. При цьому особливо різко збільшуються затрати часу на контроль заготовки. Так, наприклад, якщо при підвищенні точності обробки з 10-го до 7-го квалітетів машинний час і час установлення різця на розмір збільшується майже в два рази, то час на контрольні вимірювання заготовок зростають у сім разів. Крім того, в процесі точної обробки з'являється брак, затрати на який складають 2 % загальної вартості обробки заготовок при обробці за 8-м і 17 % вартості при обробці за 7-м квалітетом. При подальшому підвищенні точності обробки до 6-го квалітету затрати на брак досягають 32 % вартості обробки заготовок.

Економічність механічної обробки залежить не тільки від потрібної точності, застосовуваних методів обробки і верстатів. Вона змінюється також у залежності від застосування режимів різання.

Встановлено, що із збільшенням швидкості різання трудомісткість і собівартість обробки спочатку знижується, а потім, переходячи через деяке мінімальне значення і, зростають (у зв'язку зі збільшенням зношування різального інструменту і затрат часу на його заміну).

Вибір швидкості різання за найбільшою продуктивністю чи за найменшими затратами здійснюється для кожного конкретного випадку з урахуванням обставин, що склалися (ступеня терміновості завдання, ступеня завантаженості даного верстата, можливості інструментального цеха поповнювати підвищене витрачання інструмента і таке інше). В будь-якому випадку швидкість різання не повинна виходити за межі оптимальних швидкостей за продуктивністю і собівартістю.

## 12.2 Основи технологічного нормування

Нормування в машинобудуванні – це встановлення технічно обґрунтованих норм часу. Нормування технологічних процесів здійснюють для кожної операції.

Розділяють три методи нормування:

- технічного розрахунку за нормативами – тривалість операції встановлюють розрахунком за мікроелементами на основі аналізу послідовності і змісту дій робітника і верстата;
- порівняння і розрахунку за підвищеними типовими нормами – норму часу визначають наближено, за підвищеними нормативами його застосовують в одиничному і малосерійному виробництві;
- встановлення норм на основі вивчення затрат робочого часу – норми часу встановлюють на основі хронометражу.

Норма підготовчо-заключного часу – це норма часу на підготовку робітників і засобів виробництва до виконання технологічної операції і приведення їх у початковий стан після її закінчення.

Норма підготовчо-заключного часу включає в себе затрати часу на підготовку до заданої роботи і виконання дій, пов'язаних з її закінченням; він передбачає затрати часу на: отримання матеріалів, інструментів, пристроїв, технологічної документації і наряду на роботу; ознайомлення з роботою, технологічною документацією, кресленням, одержання необхідного інструктажу; установа інструментів, пристроїв, налагодження обладнання на відповідний режим роботи; зняття пристроїв і інструмента; здавання готової продукції, залишків матеріалів, пристроїв, інструмента, технологічної документації і наряду.

Підготовчо-заключний час витрачається один раз на партію оброблюваних заготовок, що виготовляються без перерви за даним робочим нарядом і не залежить від кількості заготовок в цієї партії. При нормуванні величина підготовчо-заключного часу визначається за нормативами з урахуванням типорозміру верстата, пристрою, конструкції і маси оброблюваної заготовки і подібне.

Норма оперативного часу – це норма часу на виконання технологічної операції, яка складається з суми норм основного часу і допоміжного часу, що не перекриває основний час.

Затрати оперативного часу на виконання технологічної операції повторяються з кожною одиницею виробу або через суворо певне їх число.

Норма основного часу – це норма часу на досягнення безпосередньої мети даної технологічної операції чи переходу за якісним і (чи) кількісним змінюванням предмета праці.

Основний (технологічний) час уявляє собою час, на протязі якого здійснюється змінювання розмірів і форми заготовки, зовнішнього вигляду і шорсткості поверхні або взаємного положення окремих частин складальної одиниці і їх закріплення і таке інше. Основний час може бути машинним, машинно-ручним, ручним.

При всіх верстатних роботах основний час визначається відношенням величини шляху, пройденого інструментом, до його хвилинної подачі. Для токарних, свердлильних, різьбонарізних робіт, для зенкерування, розвертання і фрезерування основний (машинний) час визначається у відповідності з за формулами

$$t_o = \frac{L}{ns} i = \frac{l_1 + l_2 + l}{ns} \cdot \frac{z}{t}, \quad (12.1)$$

де  $l_1$  – величина врізання;  $l_2$  – величина перебігу;  $l$  – довжина оброблюваної поверхні;  $n$  – частота обертання шпинделя верстата;  $s$  – подача;  $i$  – число проходів;  $z$  – припуск на обробку;  $t$  – глибина різання.

*Норма допоміжного часу* – представляє собою норму часу на здійснення дій, що створюють можливість виконання основної роботи, яка є метою технологічної операції чи переходу і які повторюються з кожним виробом чи через певне їх число (установлення і зняття виробу, вмикання і вимикання верстата, підведення і відведення інструменту, чи його переустановлення, якщо це провадиться на кожний виріб чи через певне їх число).

Допоміжний час, як правило ручний, але може бути і машинним.

Допоміжний час визначається підсумуванням його складових елементів, наведених в таблицях нормативів з технічного нормування. При цьому в його склад включаються затрати часу на установлення і зняття заготовки; час пов'язаний з переходом; час на переміщення частин верстата (супорта, каретки); час на зміну режиму роботи верстата і на зміну інструмента і час на контрольні вимірювання.

*Час обслуговування робочого місця* – представляє собою частину штучного часу, що витрачається виконавцем на підтримання засобів технологічного оснащення в працездатному стані і доглядання за ним і робочим місцем.

В умовах масового виробництва, машинних і автоматизованих операцій час обслуговування робочого місця поділяється на час технічного і час організаційного обслуговування.

*Час технічного обслуговування* – це час, що витрачається на догляд за робочим місцем (обладнанням) на протязі даної конкретної роботи (зміна притуплених інструментів, регулювання інструментів і підналагодження обладнання в процесі роботи, змінання стружки і таке інше). Час технічного обслуговування визначається в процентах до основного часу.

*Час організаційного обслуговування* – це час, що витрачається на догляд за робочим місцем на протязі робочої зміни (час на розкладання і вбирання інструмента на початку і в кінці зміни, час на огляд і випробування обладнання, час на його змащування і очищення і тому подібне). Час організаційного обслуговування визначається в процентах до оперативного часу.

*Час на особисті потреби* – це частина штучного часу, що витрачається людиною на особисті потреби і (при стомливих роботах) на додатковий відпочинок; воно передбачається для всіх видів робіт (крім безперервних) і визначається в процентах до оперативного часу. Звичайно цей час не перевищує 2% від тривалості робочої зміни. На роботах фізично важких, особливо стомлюючих, які відрізняються великим вантажообігом або провадяться

прискореним темпом, крім того, передбачається додатковий час на перерви для відпочинку.

У серійному виробництві назначають норму штучно-калькуляційного часу:

$$T_{шт-к} = \frac{T_{н.з}}{n} + T_{шт}, \quad (12.2)$$

де  $n$  – кількість деталей партії;  $T_{н.з}$  – підготовчо-заклучний час, встановлюється за нормативами;  $T_{шт}$  – штучний час.

В умовах масового виробництва визначають норму штучного часу формулою

$$T_{шт} = T_o + T_d + T_{тех} + T_{орг} + T_{пер}, \quad (12.3)$$

де  $T_{шт}$  – штучний час на виконання однієї операції;  $T_o$  – основний (технологічний час) час;  $T_d$  – допоміжний час (складається з часу на установку та зняття, закріплення та відкріплення деталі, та часу на прийоми керування верстатом);  $T_{тех}$  – час на технічне обслуговування робочого місця;  $T_{орг}$  – час на організаційне обслуговування робочого місця;  $T_{пер}$  – час перерв на відпочинок і природні потреби.

## 12.2 Визначення економічної ефективності технологічного процесу

Технологічна собівартість механічної обробки може бути визначена двома методами: елементарним та бухгалтерським.

*Елементарний метод* (метод прямого розрахунку) полягає в тому, що повна технологічна собівартість відповідає повній цеховій собівартості та визначається наступним чином:

$$C_T = C_z + C_{з.п} + C_e + C_d + C_{реж} + C_m + C_a + C_p + C_n + C_{пл} + C_o + C_{исх.заг}, \quad (12.4)$$

де  $C_z$  – витрати на заробітній платі основних робітників з нарахуваннями, грн;  $C_{з.п}$  – витрати на заробітну плату наладників з нарахуваннями, грн;  $C_e$  – витрати на силову електроенергію, грн;  $C_d$  – витрати на допоміжні матеріали, грн.;  $C_{реж}$  – витрати на амортизацію, ремонт та заточення універсального та спеціального ріжучого інструменту, грн;  $C_m$  – витрати на ремонт та амортизацію універсального та спеціального інструменту, грн;  $C_p$  – витрати на ремонт та модернізацію обладнання, грн;  $C_a$  – витрати на амортизацію обладнання, грн.;  $C_n$  – витрати на ремонт та амортизацію універсального та спеціального пристроїв, грн;  $C_{пл}$  – витрати на амортизацію, ремонт, опалення, освітлення та прибирання виробничого приміщення, грн;  $C_o$  – витрати на загальні цехові витрати (заробітну плату допоміжних робітників, ІТП та службовців цеху з відповідними нарахуваннями, витрати на амортизацію, ремонт загального допоміжного обладнання, інвентарю цеху, витрати на охорону праці), грн.;  $C_{заг}$  – вартість вихідної заготовки, грн.

Метод прямого розрахунку відображає всі складові технологічного процесу та дозволяє точно визначити технологічну собівартість прийнятого варіанта технологічного процесу. Основним недоліком методу є його трудомісткість.

Відповідно до *бухгалтерського методу*, технологічна собівартість обробки заготовлі визначається за виразом:

$$C_T = A + \frac{B}{n}, \quad (12.5)$$

де  $n$  - кількість оброблених заготовок у партії, прим;  $A$  – поточні витрати, тобто витрати, що повторюються під час виготовлення кожної окремої заготовлі, грн;  $B$  – одноразові витрати, тобто витрати, що виробляються один раз на всю кількість заготовок або періодично на певну партію, грн.

Бухгалтерський метод, на відміну елементарного методу простий у розрахунках. Але недоліком даного методу є те, що цехові витрати, що входять до поточних витрат, виражаються у відсотках від зарплати основних робітників. Це не дозволяє врахувати різницю у витратах з експлуатації та амортизації обладнання та оснащення, різних за складністю та розмірами. Тому для порівняння різних варіантів технологічних процесів цей спосіб не підходить.

### **Запитання для самоконтролю**

- 1 Як трудомісткість і собівартість обробки заготовки залежить від точності розмірів деталі та шорсткості її поверхонь?
- 2 Як змінюється трудомісткість обробки заготовки при застосуванні різних методів обробки?
- 3 Що розуміють під «Технічним нормуванням праці»?
- 4 Які задачі вирішуються при нормуванні технологічних процесів?
- 5 Охарактеризуйте дослідно-статистичний метод нормування, його переваги й недоліки.
- 6 Охарактеризуйте технічні норми, їх переваги й недоліки.
- 7 Охарактеризуйте підготовчо-заклучний час.
- 8 Охарактеризуйте основний час, як він визначається?
- 9 Охарактеризуйте допоміжний час, як він визначається?
- 10 Охарактеризуйте час обслуговування робочого місця, як він визначається?
- 11 Складіть формулу штучного часу.
- 12 Складіть формулу штучно-калькуляційного часу.
- 13 Охарактеризуйте бухгалтерський метод визначення ефективності технологічного процесу.
- 14 Охарактеризуйте елементний метод визначення ефективності технологічного процесу.

## Лекція 13. Методи одержання заготовок

### 13.1 Заготовки, які одержують литтям

Литтям одержують заготовки практично будь-яких розмірів як простої так і складної конфігурації шляхом заливання розплавленого металу в форми. Точність розмірів і якість поверхонь залежить від способу лиття. Основні способи лиття – лиття у піщано-глинясті форми, лиття у оболонкові форми, лиття у кокіль, відцентрове лиття, лиття по моделям що виплавляються, а також лиття під тиском.

*Лиття у піщані форми* – найпоширеніший спосіб лиття. В машинобудуванні ним виробляють до 80 % виливок (по масі). В залежності від розмірів відливка і типу виробництва застосовують ручну, або машинну формовку. Виготовлені цим способом заготовки характеризуються низькою точністю, високою шорсткістю і великими припусками на механічну обробку. Вартість виливок мінімальна, а вартість механічної обробки найбільша, у порівнянні з заготовками виготовленими іншими способами лиття. В піщаних формах отримують переважно виливки зі сталі, чавуну і рідше з кольорових металів. Цей спосіб частіше застосовується в одиночному і у серійному виробництві.

*Лиття в оболонкові форми* – полягає в тому, що форма виготовляється з формувальної суміші, яка складається з піску і фенолформальдегідних смол в якості зв'язуючого. Формувальна суміш містить дрібнозернистий пісок і має високу рухомість, це дозволяє одержати більш високу точність відбитку і меншу висоту мікронерівностей поверхонь виливка. Лиття в оболонкові форми скорочує витрати металу на 30...50 %, обсяг наступної механічної обробки на 40...50%, а витрати формувальної суміші зменшує в 10...20 разів. Процес лиття може бути повністю механізований. Лиття в оболонкові форми в основному застосовується для виготовлення дрібних та середніх виливок, а також тонкостінних виливок з чавуну, вуглецевої і легированої сталей та кольорових металів.

*Лиття по моделям, що виплавляються* – застосовується для виготовлення складних і точних заготовок практично з будь-яких сплавів. Для кожної виливки (а виливки можуть бути груповими) виготовляється разова модель з елементами ливникової системи з легкоплавкої модельної суміші (на основі парафіну, стеарину та ін.), а формувальна суміш у виді рідкої суспензії накладається в кілька шарів на модель з наступним висушуванням кожного шару. Після виплавляння моделі і прокалювання мають міцну тонкостінну оболонкову форму з товщиною стінок 1,5...4 мм. Така форма не має роз'ємів і замкових частин, це дає високу точність розмірів і взаємного розташування поверхонь. Механічна обробка таких заготовок мінімальна, а іноді зовсім відсутня. Литтям по моделі що виплавляється частіше виготовляють дрібні, але дуже складні по конфігурації деталі з кольорових сплавів, високолегованих сталей, жароміцних сплавів, котрі важко піддаються обробці різанням.

*Кокільне лиття* – лиття у металеві форми. Його головна особливість багатократне використання металевої форми (кокіль), зменшення витрат металу що виливається на 10...20 % у порівнянні з литтям у піщані форми, зменшуються витрати на наступну механічну обробку. Заміна лиття з піщаних форм на кокільне при достатньо великій програмі зменшує собівартість виливок приблизно на 30 % і продуктивність підвищується у 4...6 разів.

*Відцентрове лиття* – полягає в тому, що розплавлений метал заливається у форму (виливницю) котра обертається до закінчення кристалізації металу. В цьому випадку, як і при кокільному литті отримують високу точність розмірів і низьку шорсткість поверхонь. За рахунок того, що виливниця обертається досягається висока щільність металу виливка, його міцність. При цьому способі лиття зменшуються витрати металу, тому що майже відсутні стержні і ливникова система. До недоліків можна віднести низьку якість внутрішньої порожнини, де накопичуються неметалеві включення і можливість появи повздовжніх і поперечних тріщин під впливом великих відцентрових сил. Цим методом в основному виготовляються деталі типу тіл обертання з чавуну, вуглецевих та легованих сталей і менше з кольорових сплавів.

*Лиття під тиском* – полягає в заливанні розплавленого металу з великою швидкістю в металеві прес-форми (які встановлюються на спеціальних машинах для лиття) і кристалізації його під тиском. Все це дозволяє одержати складні, близькі по конфігурації до готової деталі тонкостінні заготовки з низькою шорсткістю поверхонь і високою точністю розмірів. В основному лиття під тиском застосовують для виготовлення деталей з кольорових сплавів, при серійному виробництві. У порівнянні з литтям у піщані форми, лиття під тиском знижує собівартість виливка на 16...36%.

### **13.2 Заготовки, що одержують тиском**

В наш час цей спосіб залишається найбільш економічним для одержання деформованих заготовок, які називаються поковками.

При куванні формозмінювання відбувається внаслідок вільної течії металу в сторони, що перпендикулярні до руху формоутворюючого інструменту – бойка.

Куванням заготовок на молотах і пресах одержують поковки простої конфігурації з великою масою (до 250 т). Поковки мають хорошу структуру металу по всьому перерізу, оскільки теча металу не обмежується інструментом і він добре проковується. Кування не потребує спеціального інструмента і оснастки. Недоліками є низька продуктивність, велика трудомісткість, великі припуски і напуски на обробку, низька точність. Для одержання поволок більш складної конфігурації застосовують підкладні кільця і штампи. Зменшити припуски на обробку і знизити трудомісткість дозволяє застосування радіально-кувальних машин. Проте сфера їх застосування обмежена тільки тілами обертання.

У залежності від маси поволок для кування застосовують пневматичні молоти, пароповітряні молоти, гідравлічні преси.



У порівнянні з куванням гаряче об'ємне штампування має низку переваг: більш складна форма поковки і краща якість поверхні; зниження припусків на обробку; економія металу; підвищення точності виготовлення заготовок; зменшення штампувальних ухилів за рахунок наявності в конструкції штампувального обладнання виштовхувачів; підвищення продуктивності праці; зменшення трудомісткості; покращення умов праці.

До недоліків гарячого об'ємного штампування відносять: дорогокоштована оснастка (інструмент - штамп), що дозволяє застосовувати штампування тільки при великому об'ємі випуску деталей; обмеження по масі одержуваних поковок; додатковий відхід металу в заусенець (10-30% від маси поковки); більші зусилля деформування, ніж при куванні.

Застосування уніфікованих блоків штампів із змінними вставками та уніфікація іншої оснастки дає можливість застосування штампів навіть в малосерійному виробництві. Позитивний ефект дають комбіновані способи виготовлення заготовок: кування і наступне штампування.

*Гаряче об'ємне штампування* поділяється на різні види у залежності від типів штампа, обладнання, вихідної заготовки, способу встановлення заготовки в штампі і т. ін..

У залежності від обладнання розрізняють такі види об'ємного штампування: на штампувальних пароповітряних молотах подвійної дії; на кривошипних гарячештампувальних пресах (КГШП); на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ); на гідравлічних пресах; на високошвидкісних молотах; на спеціальних машинах (кувальні вальці, горизонтально-згинальні машини, ротаційно-обтискуючі і радіально обтискуючі машини, електровисаджувальні машини, розкатні машини).

У залежності від штампа штампування поділяється на такі види: у відкритих штампах; у закритих штампах; в штампах видавлювання.

*Штампкування у відкритих штампах* – характеризується тим, що штамп в процесі деформування залишається відкритим. Зазор між рухомою і нерухомою частинами штампа є перемінним, в нього затікає (видавлюється) метал при деформуванні, утворюючи заусенець. Основне призначення цього заусениця – компенсація коливань вихідних заготовок по масі. Цей тип штампа можна застосовувати для деталей будь-якої конфігурації. Проте, наявність заусениця збільшує витрати металу, а для обрізання заусениця необхідно застосування спеціальних обрізних пресів і штампів.

*При штампуванні в закритих штампах* (безоблойне штампування) штамп в процесі деформування залишається закритим, тобто метал деформується в закритому просторі. Зазор між рухомою і нерухомою частинами штампа в процесі деформування залишається постійним. Відсутність заусениця скорочує витрати металу, відпадає необхідність в обрізних пресах та інструменті. Макроструктура поковок більш якісна, оскільки нема порушень волокон, що має місце при обрізанні заусениця. Проте, цей тип штампа застосовується для простих деталей, в основному тіл обертання. Крім того, відсутність заусениця потребує використання більш точної вихідної заготовки.

*Штамування в штампах для видавлювання* – найбільш прогресивний спосіб. При цьому знижуються витрати металу (до 30%), підвищується коефіцієнт вагової точності, підвищується точність поковки і чистота поверхонь, продуктивність праці збільшується в 1,5 – 2 рази. Недоліки – високі питомі тиски деформування, великі енергозатрати і низька стійкість штампової оснастки. Застосовується для заготовок з високою пластичністю.

*Холодне штампування* включає в себе велику різноманітність способів: об'ємне холодне штампування; листове штампування; штампування на горизонтально-згинальних машинах; вальцювання; розкатування; накатування; калібрування.

Об'ємне холодне штампування поділяється на низку видів: видавлювання; висаджування; радіальне обтискання; редуцирування та ін.

Цей спосіб формоутворення усуває втрати металу на угар і відходи в окалину, що мають місце при нагріванні металу, забезпечує одержання більш точних розмірів заготовок і якість поверхні. В результаті холодного деформування в металі усуваються деякі внутрішні дефекти, забезпечується однорідність його структури, відбувається зміцнення поверхневого шару, завдяки чому замість високолегованих сталей в ряді випадків можна використовувати вуглецеві.

Листове штампування поділяють на такі види: розділювальні; формозмінювальні; комбіновані; штампо-складальні.

*Розділювальні* види характеризуються наявністю відділення однієї частини металу від іншої: обрізання, надрізання, вирубання, пробивання, проколювання та ін.

*Формозмінювальні* види характеризуються змінюванням форми заготовок без їх руйнування: гнуття, витягнення, відбортування та ін.

*Комбіновані* види сполучують розділювальні і формозмінювальні види обробки.

*Штампо-складальні* види характеризуються механічним з'єднанням окремих листових штампованих деталей. Штампо-складальні операції широко застосовують у масовому і серійному виробництвах: для нероз'ємних з'єднань (клепання, холодне зварювання, з'єднання «в замок», відбортування, обтискання та ін.) і роз'ємних (запресування, відгинання та ін.).

Основні переваги *листового штампування*: можливість виготовлення міцних, легких і жорстких тонкостінних деталей простої і складної форми, одержати які іншими способами утруднено; висока продуктивність і економія металу; широкі можливості автоматизації і роботизації; взаємозамінність деталей і висока чистота поверхні; непотрібна операція нагрівання металу, і поверхневий шар не окислюється; зміцнення оброблюваного матеріалу; відсутність чи незначна наступна механічна обробка.

Доцільність застосування листового холодного штампування визначається низькою умов і, перш за все, серійністю випуску виробу, конфігурацією деталі, механічними властивостями матеріалу, потрібною точністю виготовлення.

Застосування листового штампування вигідно у випадках: деталь має складну форму з розмірами невеликої точності; при наявності у деталей прорізів

з гострими кутами; при виготовленні деталей, заготовки яких мають вид шайб чи шайб з отворами; для виготовлення деталей будь-якої форми з листового матеріалу, якщо будуть виправдані витрати по виготовленню і експлуатації штампа; при обробці деталей Г-подібної, П-подібної чи іншої форми складного обрису, коли обробка із суцільного куска призводить до недоцільних витрат часу і до великого відходу матеріалу

### **13.3 Заготовки які виготовляють зварюванням**

Зварювані заготовки виготовляють різними способами зварювання - від електродугового до електрожужильного. В ряді випадків зварювання спрощує виготовлення заготовки, особливо складної конфігурації і великих розмірів. Зварювані заготовки складаються з окремих частин, котрі можуть бути з різних матеріалів і виконані різними технологічними методами (литтям, штампуванням, розрізанням з профілю та інші). Такі заготовки називаються комбінованими. Обсяг заготовок отриманих зварюванням в загальному обсязі всіх заготовок в машинобудуванні досягає 50 %.

Всі зварювані конструкції поділяються: на балки і колони – які складаються з листових елементів, зварюються автоматичним зварюванням під флюсом і практично обробці різанням не підлягають; оболонкові конструкції до яких ставляться вимоги герметичності при надмірному тиску - та різні резервуари, сосуди, труби, котрі також зварюються автоматично під флюсом; транспортні конструкції - корпуси суден, вагонів, автомобілів, які складаються із листових та каркасних елементів і з'єднуються автоматичним дуговим або контактним зварюванням; деталі машин і приладів різної форми та розмірів – станини, вали, колеса, корпуси приладів, шатуни та інші.

Елементи цих деталей виготовляють з різних матеріалів і різними способами, і різної товщини, тому при зварюванні застосовують різні способи зварювання, але при цьому повинні бути забезпечені певні технологічні умови для якості зварювання: кількість зварюваних з'єднань повинна бути мінімальна; зварювані шви, по можливості, повинні бути прямолінійними і безперервними за довжиною; конструкція та взаємне розташування елементів, що підлягають зварюванню, повинні забезпечувати зручний доступ зварювального інструменту, а також застосування стандартних електродів; при наявності декількох можливих варіантів зварювання необхідно вибрати більш прості та продуктивні; в конструкції не повинно бути різних (ступінчастих) переходів по товщині металу; габарити заготовок повинні забезпечувати можливість термообробки в термпічах.

За рахунок спрощення конструкції зварювання заготовок та раціонального підбору технології зварювання забезпечують економію металу до 30...60 %, скорочення трудомісткості і в цілому собівартості виготовлення заготовки.

До спеціальних способів одержання заготовок відносять наступні: високоенергетичні методи формоутворення під дією імпульсних навантажень, які створюються діями вибуху, тиском випаровуваних зріджених газів, високовольтним електричним розрядом в рідині, імпульсами магнітного поля;

методи порошкової металургії, який полягає в одержанні заготовок з металів подрібнених до порошкового стану. Порошки в процесі виготовлення заготовок пресують із застосуванням зв'язуючи речовин і спікають в печах. Переваги цього методу – безвідходність і можливість одержання заготовок з будь-якими задалегідь заявленими властивостями; заготовки з пластмас, які одержують пресуванням та литтям

### **Запитання для самоконтролю**

- 1 Які основні методи отримання заготовок використовуються у виробництві?
- 2 Приведіть методи отримання заготовок литтям.
- 3 Приведіть методи обробки тиском?
- 4 Чим відрізняється холодне та гаряче штампування?
- 5 Наведіть переваги зварювальних заготовок?
- 6 Наведіть основні операції листового штампування?
- 7 Наведіть основні операції гарячого штампування?

## Лекція 14 Методи механічної обробки поверхонь деталей машин

### 14.1 Обробка на токарних верстатах

Токарні верстати призначені для чорнової, чистової а деякі для викінчувальної (з точністю до 8...7 квалітетів) обробки гладких поверхонь обертання (циліндричних, конічних, торцевих і криволінійно-фасонних як внутрішніх, так і зовнішніх), а також різі (мітчиками, плашками, іноді різцями) на заготовках, як правило, ротаційних деталей (валів, втулок, дисків тощо). В ході обробки заготовка отримує головний обертовий рух, а інструмент – рух подачі: поздовжню подачу (паралельно до осі обертання заготовки) та поперечну (радіальну).

Основні види робіт, що виконуються на верстатах токарної групи показано на рисунку 14.1.

Для закріплення заготовок на токарних верстатах та надання їм обертального руху застосовують різні пристрої, найчастіше використовують *кулачкові патрони, планшайби, люнети, центри*. Надходять вони разом з верстатам, тому їх називають приладдям верстата.

В трикулачкових самоцентруючи токарних патронах закріплюють заготовки круглої і шестигранної форми або круглі прутки великого діаметра. Такі патрони застосовують найчастіше.

В чотирикулачкових самоцентруючих токарних патронах закріплюють прутки квадратного перерізу, а в чотирикулачкових патронах з індивідуальним регулюванням кулачків – деталі прямокутної або несиметричної форми.

В тих випадках, коли заготовки не можуть бути встановлені і закріплені в патронах, застосовують планшайби.

Спосіб встановлення і закріплення заготовок на верстаті обирають у залежності від їх розмірів, жорсткості та необхідної точності обробки.

При  $l/D < 4$  (де  $l$  – довжина оброблювальної заготовки,  $D$  – її діаметр) заготовки закріплюють в патроні, при  $4 < l/D < 10$  – в центрах або в патроні з підтисканням заднім центром, при  $l/D > 10$  – в центрах або в патроні і центрі задньої бабки з підтримкою люнетом.

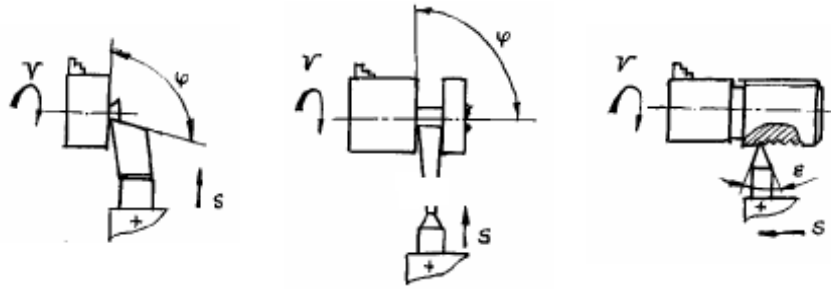
Велика кількість різних технологічних операцій, що виконуються на токарних верстатах, обумовлює різноманітність конструкцій різців що застосовуються. Різці поділяються по призначенню, напрямку руху, формі різальної частини і по конструкції

*За призначенням:* прохідні і прохідні упорні, підрізні, відрізні і прорізні, розточувальні, фасонні, різьові, різці для чистової обробки та ін.

*По напрямку руху:* праві і ліві, радіальні і тангенціальні.

*По формі головки (різальної частини):* прямі, відігнуті, відтягнуті та зігнуті.

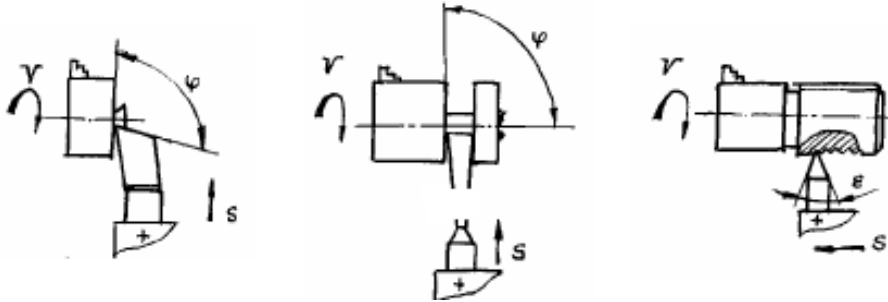
*По конструкції:* суцільні і складені (складної конструкції з різними способами кріплення різальних пластинок) і різцеві блоки.



а) точіння  
прямим

б) точіння і зняття фаски  
прохідним різцем з відігнутою

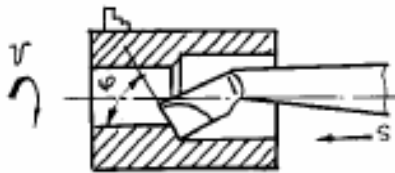
в) точіння  
прохідним упорним



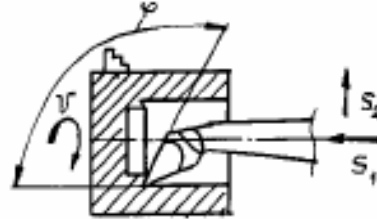
г) підрізання торця  
підрізним різцем

д) відрізання заготовки  
відрізним різцем

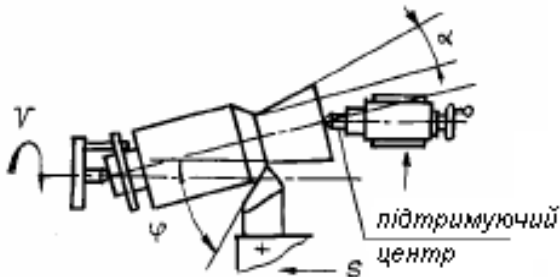
е) нарізання різи  
різьовим різцем



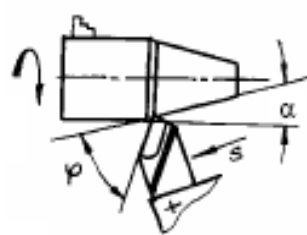
ж) розточування наскрізного  
отвору розточувальним прохідним  
різцем з відтягнутою голівкою



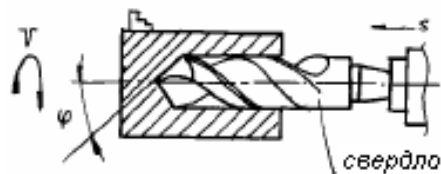
з) розточування глухого  
отвору розточувальним  
упорним різцем з відтягнутою



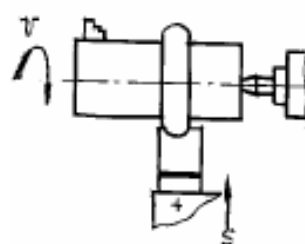
і) точіння конусної поверхні при  
зміщеному підтримуючому центрі



к) обробка конуса подачею  
різця по твірній конуса



л) свердління глухих (наскрізних  
отворів свердлом)



м) обробка фасонної поверхні  
фасонним різцем

Рисунок 14.1 – Точіння: види робіт та інструмент

## 14.2 Обробка на фрезерних верстатах

*Фрезерування* – один з високопродуктивних і поширених методів обробки поверхонь заготовок багатолезовим різальним інструментом – фрезою.

Технологічний метод формоутворення поверхонь фрезеруванням характеризується головним обертальним рухом інструмента і звичайно поступальним рухом подачі. Подачею може бути й обертальний рух заготовки навколо осі стола що обертається чи барабана (карусельно-фрезерні і барабанно-фрезерні верстати).

На фрезерних верстатах обробляють горизонтальні, вертикальні і похилі площини, фасонні поверхні, уступи і пази різного профілю.

Особливість процесу фрезерування – переривчастість різання кожним зубом фрези. Зуб фрези знаходиться в контакті з заготовкою і виконує роботу різання тільки на деякій частині оберту, а потім продовжує рух, не торкаючись заготовки, до наступного врізання.

На *рисунку 14.2* показано схеми фрезерування площини циліндричною (а) і торцевою (б) фрезами. При циліндричному фрезеруванні площини роботу виконують зуби, що розташовані на циліндричній поверхні фрези. При торцевому фрезеруванні площин в роботі беруть участь зуби, що розташовані на циліндричній і торцевій поверхнях фрези.

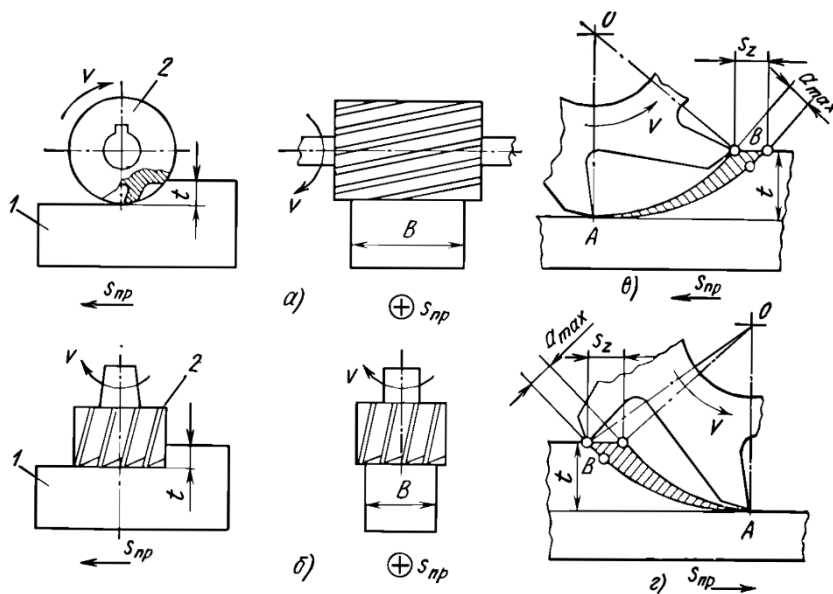


Рисунок 14.2 – Схеми фрезерування циліндричною (а) і торцевою (б) фрезами, проти подачі (в) і по подачі (г): 1 – заготовка, 2 – фрези.

Циліндричне і торцеве фрезерування у залежності від напрямку обертання фрези і напрямку подачі заготовки можна здійснювати двома способами: проти подачі (зустрічне фрезерування), коли напрямок подачі протилежний напрямку обертання фрези (*рисунком 14.2, в*); по подачі (попутне фрезерування), коли напрямок подачі і обертання фрези збігаються (*рисунком 14.2, г*).

При фрезеруванні проти подачі навантаження на зуб фрези зростає від нуля до максимуму, при цьому сила, що діє на заготовку, намагається відірвати її від

столу, що призводить до вібрацій та збільшенню шорсткості обробленої поверхні. Перевагою фрезерування проти подачі є робота зубів фрези „з під кірки”, тобто фреза надходить до твердого поверхневого прошарку знизу і відриває стружку при підході до точки В. Недоліком є наявність початкового ковзання зуба по наклепаній поверхні, що викликає підвищене зношування фрези.

При фрезеруванні по подачі зуб фрези відразу починає зрізувати шар максимальної товщини і піддається максимальному навантаженню. Це виключає початкове ковзання зуба, зменшує зношення фрези і шорсткості обробленої поверхні. Сила, що діє на заготовку, притискує її до столу, що зменшує вібрації.

Види робіт, що виконуються на горизонтально-фрезерних та вертикально-фрезерних верстатах наведено на рисунку 14.3, та рисунку 14.4.

Для закріплення заготовок на фрезерних верстатах застосовують універсальні і спеціальні пристрої. До універсальних пристроїв відносять прихвати, кутники, призми, машинні лещата, ділильні головки, ділильні столи тощо.

У якості допоміжного інструмента застосовують фрезерні оправки для закріплення фрез і передачі крутильного моменту від шпинделя верстата на фрезу. Базою для закріплення фрези на оправці може бути її центровий отвір чи хвостовик (конічний чи циліндричний). За способом закріплення у першому випадку фрези називають насадними, в другому – хвостовими.

*Фреза* – це тіло обертання, на поверхні якого розміщено різальні зуби. У залежності від форми та призначення фрези поділяють на: циліндричні, торцеві, кінцеві, кутові, шпонкові, фасонні, та інші.

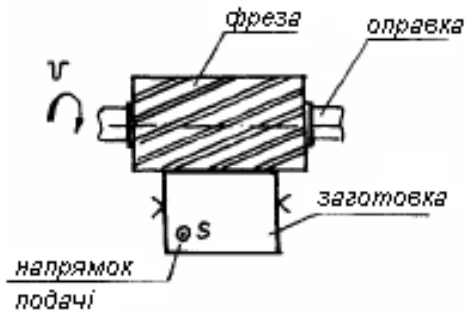
*За конструктивними ознаками* фрези поділяють на суцільні та із вставними ножами.

За формою *задньої поверхні* розрізняють фрези з гостро заточеним та затилованим зубом. Окрім цього, різальні леза у фрез можуть бути прямими (д), гвинтовими (а) та різнонаправленими.

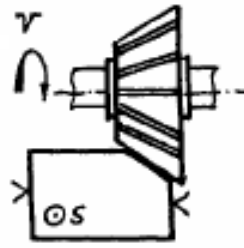
*У залежності від способу кріплення* розрізняють насадні та кінцеві фрези. Насадні закріплюються на оправці, а кінцеві: з циліндричним хвостовиком – в патроні, з конічним – безпосередньо в отворі шпинделя або через перехідну втулку.

Торцеві фрези кріпляться або на кінцевій частини шпинделя, або на оправці.

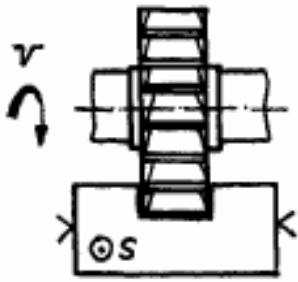




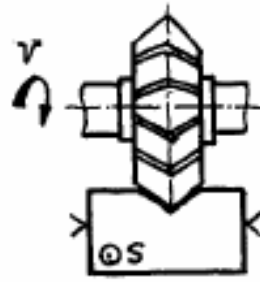
а) обробка плоскої поверхні



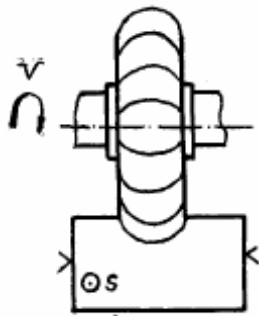
б) обробка скоса кутовою



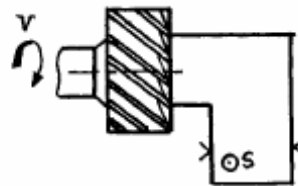
в) обробка прямокутного паза



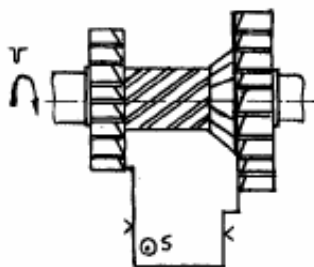
з) обробка кутового паза



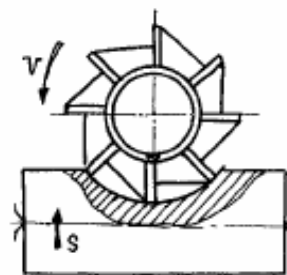
д) обробка фасонного паза



е) обробка вертикальної площини

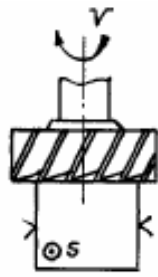


ж) обробка комбінованої поверхні  
наборною фрезою

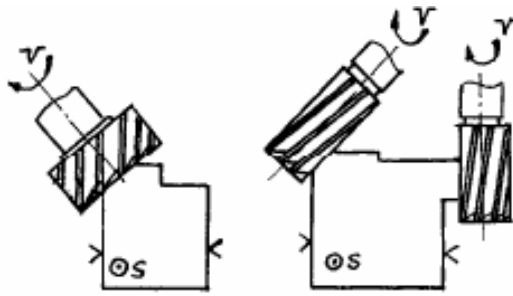


з) обробка паза під сегментну  
шпонку дисковою фрезою

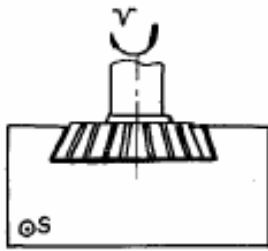
Рисунок 14.3 – Види робіт, що виконуються на горизонтально-фрезерних верстатах



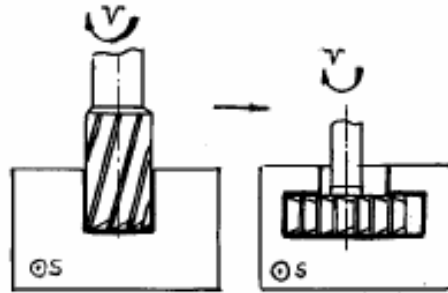
а) обробка горизонтальної площини торцевою фрезою



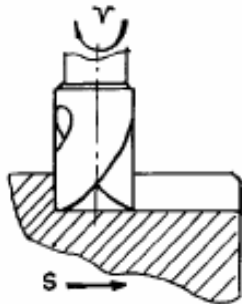
б) обробка скосів і вертикальної площини торцевою і кінцевою фрезою



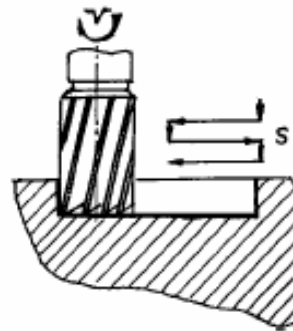
в) обробка паза «ластівки хвіст» кутовою Т-подібною фрезою



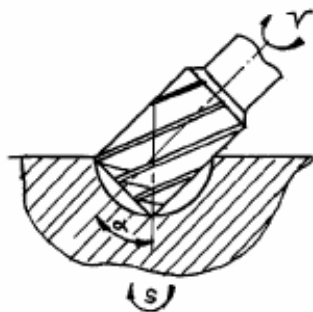
з) послідовність обробки Т-подібного паза кінцевою та Т-подібною фрезами



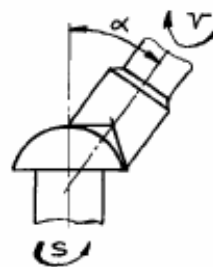
д) обробка відкритого шпонкового паза шпонковою



е) обробка закритого шпонкового паза кінцевою фрезою



ж) фрезування внутрішньої сферичної поверхні кінцевою фрезою



з) фрезування зовнішньої сферичної поверхні різцевою головкою

Рисунок 14.4 – Види робіт, що виконуються на вертикально-фрезерних верстатах

### 14.3 Обробка заготовок на свердильних верстатах

*Свердління* – поширений метод одержання отворів у суцільному матеріалі. Свердлінням одержують наскрізні і не наскрізні (глухі) отвори і обробляють попередньо отримані отвори з метою збільшення їх розмірів, підвищення точності і зниження шорсткості поверхні.

Свердління здійснюють при сполученні обертального руху інструмента навколо осі – головного руху і поступального його руху уздовж осі – руху подачі. Обидва рухи на свердильному верстаті надають інструменту.

На свердильних верстатах виконують свердління, розсвердлювання, зенкерування, розгортання, цекування, зенкування, нарізання нарізки та обробку складних отворів.

*Свердління* наскрізного отвору показано на рисунку 14.5 а. Різальним інструментом служить спіральне свердло. У залежності від потрібної точності і величини партії оброблюваних заготовок отвори свердлять в кондукторі чи по розмітці.

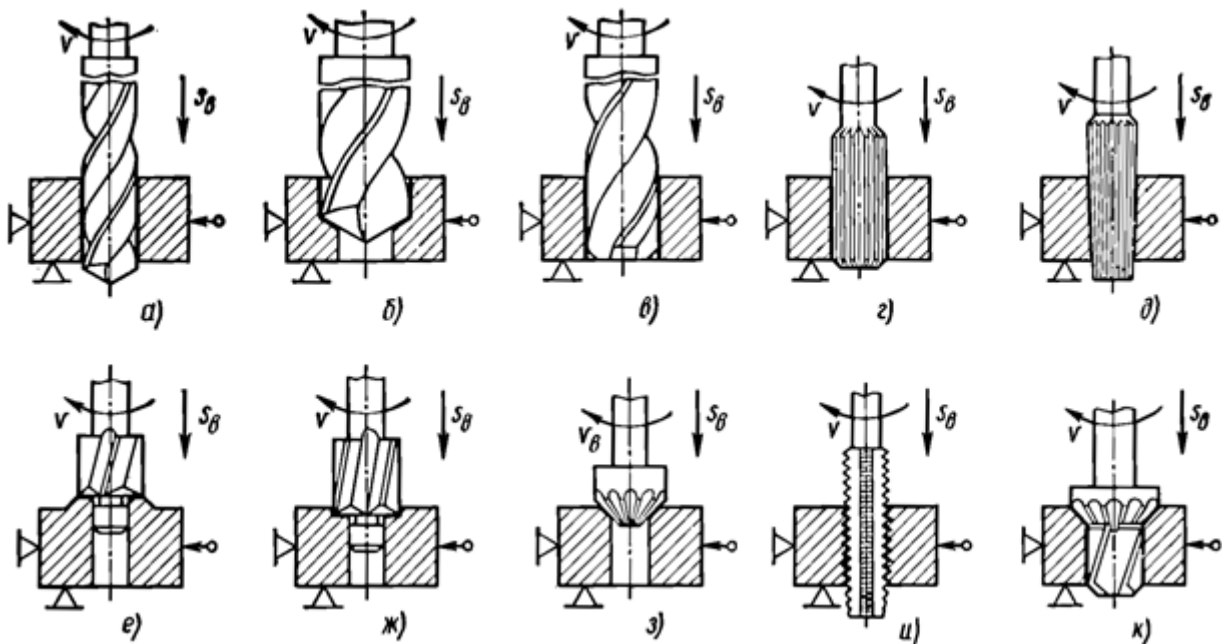


Рисунок 14.5 – Схеми обробки заготовок на свердильних верстатах

*Розсвердлювання* – процес збільшення діаметра раніше просвердленого отвору свердлом більшого діаметра (рисунку 14.5 б). Діаметр отвору під розсвердлювання вибирають так, щоб поперечна різальна крайка в роботі участь не брала. В цьому випадку осьова сила зменшується.

*Зенкерування* – обробка попередньо одержаних отворів для надання їм більш правильної геометричної форми, підвищення точності і зниження шорсткості багатолезовим інструментом – зенкером (рисунку 14.5 в).

*Розгортання* – остаточна обробка циліндричного чи конічного отвору розгорткою (звичайно після зенкерування) з метою одержання високої точності і малої шорсткості обробленої поверхні (рисунку 14.5 г, д).

*Цекування* – обробка торцевої поверхні отвору торцевим зенкером для досягнення перпендикулярності плоскої торцевої поверхні до його осі (рисунку 14.5 е).

*Зенкуванням* одержують у існуючих отворах циліндричні чи конічні поглиблення під головки гвинтів, болтів, заклепок та інших деталей. на рисунку 14.5 ж, з показано зенкування циліндричного поглиблення циліндричним зенкером (зенковкою) і конічного поглиблення конічним зенкером.

*Нарізання різи* – одержання на внутрішній циліндричній поверхні за допомогою мітчика гвинтової канавки (рисунку 14.5 и).

*Отвори складного профілю* – обробляють за допомогою комбінованого інструмента. На рисунку 14.5 к показано комбінований зенкер для обробки двох поверхонь: циліндричної і конічної.

*Свердління глибоких отворів* (довжина отвору більше 5 діаметрів) провадять на спеціальних горизонтально-свердлильних верстатах. При обробці глибоких отворів спіральними свердлами відбувається уведення свердла і «розбивання» отвору: утруднюється підведення мастильно-охолоджуючої рідини і відведення стружки. Тому для свердління глибоких отворів застосовують свердла спеціальної конструкції. Мастильно-охолоджуюча рідина подається в зону різання і вимиває стружку через внутрішній канал свердла.

Отвори на свердлильних верстатах обробляють свердлами, зенкерами, розгортками і мітчиками.

#### 14.4 Нарізання зубчатих коліс

*Нарізання коліс* по методу копіювання здійснюється фрезеруванням, струганням, шліфуванням і протягуванням. Інструмент вирізує на заготовці западини між зубами, при цьому профіль зуба відповідає профілю різального інструмента. Після обробки кожної западини заготовку обертають на один зуб за допомогою ділильної головки. Даний спосіб має невисокі продуктивність і точність обробки (9-10 ступінь точності). Інструментами при цьому можуть бути стругальний різець (рисунок 14.6 а), модульні дискова (рисунок 14.6 б) і пальцева (рисунок 14.6 в) фрези і фасонний шліфувальний круг (рисунок 14.6 г).

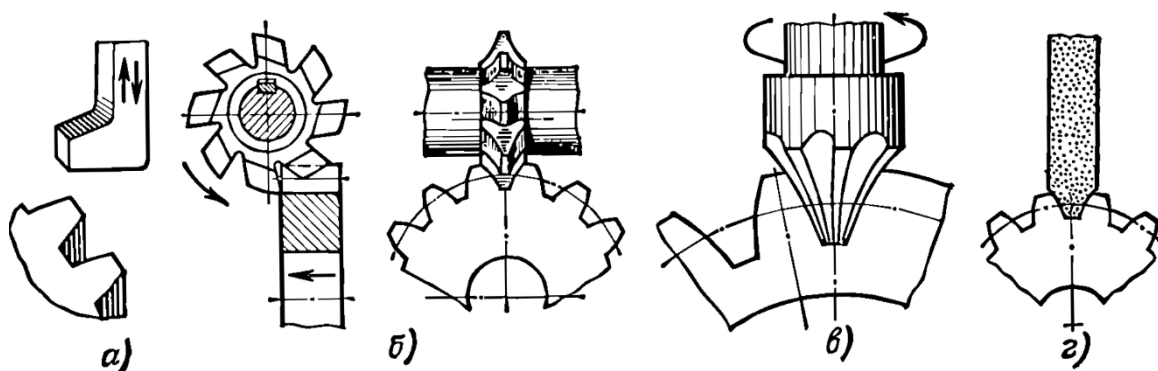


Рисунок 14.6 –Схеми утворення профілю зуба по методу копіювання

Нарізання зубчастих коліс черв'ячними модульними фрезами –метод засновано на імітації зачеплення пари черв'як – черв'ячне колесо. Черв'ячна модульна фреза уявляє собою черв'як з прорізаними поздовжніми стружечними канавками. В результаті цього створюються різальні зуби, які шляхом затилування і заточування отримують необхідні кути. Важливою особливістю методу обкатування є можливість використовувати один і той самий інструмент для обробки коліс з різним числом зубів.

Черв'ячними модульними фрезами можна нарізувати циліндричні колеса з прямими і гвинтовими зубами, а також черв'ячні колеса.

При нарізанні прямозубих циліндричних коліс (рисунок 14.7 а) вісь фрези встановлюється відносно площини, що перпендикулярна осі деталі, під кутом  $\varphi$ , який дорівнює куту підйому гвинтової лінії фрези  $\omega_d$  на ділильному циліндрі. У випадку нарізання циліндричних коліс з гвинтовим зубом (рисунок 14.7 б), де  $\sigma$  – кут нахилу гвинтової лінії зубів нарізуваного колеса. Знак плюс – при різнійменному нахилу зубів фрези і колеса, мінус – при однойменному нахилу.

Для нарізання черв'ячних коліс вісь фрези встановлюють горизонтально  $\varphi=0$  (рисунок 14.7 в), тобто перпендикулярно осі нарізуваного черв'ячного колеса.

В процесі обробки фреза отримує обертальний рух I навколо своєї осі (головний рух) і поступальний рух II (рух подачі). Подача має вертикальний напрямок – при нарізанні циліндричних коліс і радіальний – при нарізанні черв'ячних коліс.

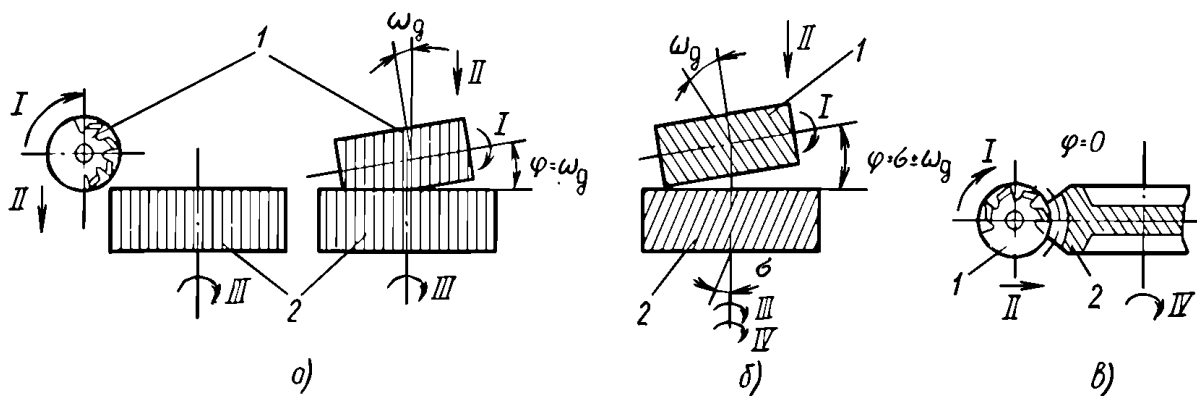


Рисунок 14.7 – Схема роботи черв'ячної модульної фрези: а – при нарізанні циліндричних прямозубих коліс; б - при нарізанні циліндричних коліс з гвинтовим зубом; в - при нарізанні черв'ячних коліс. 1 – фреза, 2 – заготовка.

Заготовка, що закріплена на столі верстата, при нарізанні циліндричних прямозубих і черв'ячних коліс отримує тільки обертальний рух III навколо своєї осі, узгоджене з обертанням черв'ячної фрези (рух ділення).

Умова узгодження обертання фрези і заготовки витікає з умови роботи черв'ячної пари: за один оберт фрези заготовки повинна обернутися на  $K/Z$  частину ділильного кола, де  $K$  – число заходів фрези,  $Z$  – число зубів нарізуваного колеса.

Для нарізання циліндричних коліс з гвинтовими зубами необхідно до розглянутих вище трьох рухів додати додаткове обертання заготовки IV в тому ж напрямку чи протилежному.

#### **14.5 Обробка заготовок на шліфувальних верстатах**

*Шліфуванням* називають процес обробки заготовок різанням за допомогою абразивних кугів. Абразивні зерна розташовані в крузі безладно і утримуються зв'язуючим матеріалом. При обертальному русі круга в зоні його контакту з заготовкою він зрізує матеріал у виді дуже великого числа тонких стружок (до 100000000 за хвилину).

Шліфувальні круги зрізають стружки на дуже великих швидкостях – від 30 м/с і вище. Процес різання кожним зерном здійснюється майже миттєво. Оброблена поверхня уявляє собою сукупність мікрослідів абразивних зерен і має малу шорсткість. Частина зерен орієнтована так, що різати не може. Такі зерна виконують роботу тертя по поверхні різання.

Абразивні зерна можуть також чинити на заготовку суттєву силову дію. Відбувається поверхневе пластичне деформування матеріалу, викривлення його кристалічної решітки. Деформуюча сила викликає зсуви одного шару атомів відносно іншого. Внаслідок упругопластичного деформування матеріалу оброблена поверхня зміцнюється. Але цей ефект є менш помітним, ніж при обробці металевим інструментом.

Теплове і силове діяння на оброблену поверхню призводить до структурних перетворень, змінюванням фізико-механічних властивостей поверхневих шарів оброблюваного матеріалу. Так створюється дефектний поверхневий шар деталі. Для зменшення теплової дії процес шліфування провадять при рясному охолодженні мастильно-охолоджуючою рідиною.

Шліфування застосовують для чистової і викінчувальної обробки деталей з високою точністю. Для заготовок із загартованих сталей шліфування є одним з найбільш поширених методів формоутворення. З розвитком маловихідної технології частка обробки металевим інструментом буде зменшуватись, а абразивним – збільшуватись

Найбільш поширені схеми шліфування наведено на рисунку 14.8. Для всіх технологічних способів шліфувальної обробки головним рухом різання  $v_k$  (м/с) є обертання круга. При плоскому шліфуванні зворотно-поступальне переміщення заготовки є повздовжньою подачею  $S_{пр}$  (м/хв) (рисунок 14.8 а). Для обробки поверхні на всю ширину «в» заготовка чи круг повинні переміщуватись з поперечною подачею  $S_{п}$  (мм/подв.хід). Цей рух відбувається періодично при крайніх положеннях заготовки в кінці поздовжнього ходу. Періодично відбувається і подача  $S_g$  на глибину різання. Це переміщення здійснюється також в крайніх положеннях заготовки, але в кінці поперечного ходу.

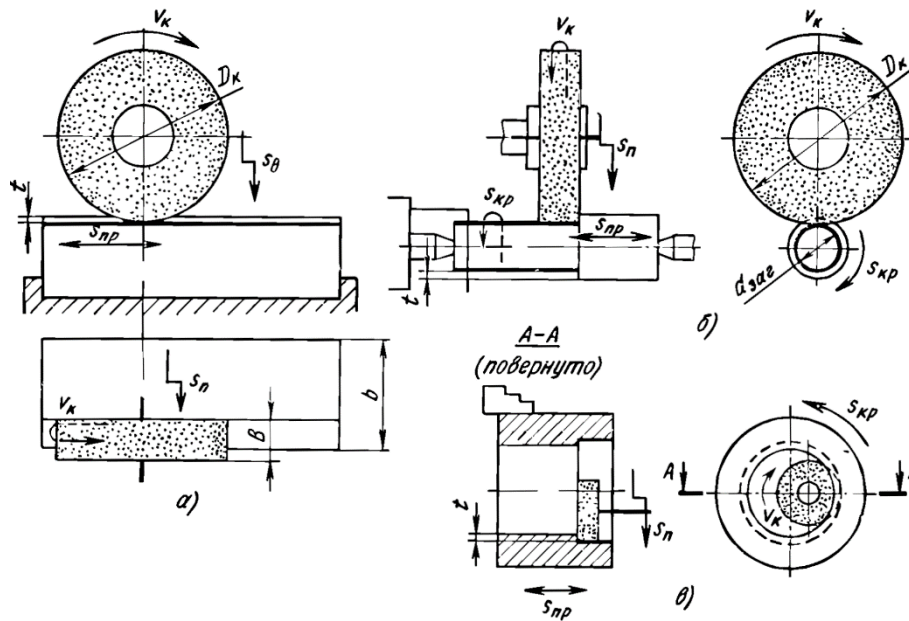


Рисунок 14.8 – Основні схеми шліфування

При круглому шліфуванні (рисунок 14.8 б) поздовжня подача відбувається за рахунок зворотно-поступального переміщення заготовки. Подача  $S_{пр}$  (мм/об. заг) відповідає осьовому переміщенню заготовки за один її оберт. Обертання заготовки є круговою подачею  $S_{кр}$  (м/хв).

Подача  $S_{п}$  (мм/подв.хід чи мм/хід) на глибину різання для наведеної схеми обробки відбувається при крайніх положеннях заготовки.

Рухи, що здійснюються при внутрішньому шліфуванні, показано на рисунку 14.8 в.

Різальною складовою абразивного інструмента є зерна абразивних матеріалів: окису алюмінію, карбиду кремнію, алмаза, кубічного нітриду бора.

### Запитання для самоконтролю

- 1 Які основні види робіт виконуються на токарних верстатах?
- 2 Які основні пристрої застосовують при токарній обробці?
- 3 Як класифікують токарні різці по типах? В чому полягає їх конструктивна особливість? Якими геометричними параметрами вони характеризуються?
- 4 Надайте характеристику методу фрезерування.
- 5 Накресліть схеми фрезерування циліндричною і торцевою фрезами.
- 6 Які види робіт виконуються на горизонтально-фрезерних верстатах?
- 7 Які види робіт виконуються на вертикально-фрезерних верстатах?
- 8 Які пристрої застосовуються на фрезерних верстатах?
- 9 Накресліть схему встановлення і закріплення фрез на верстаті.
- 10 Які існують типи фрез?
- 11 Надайте характеристику методів свердління.
- 12 Накресліть схеми обробки заготовок на свердлильних верстатах.

13 Які існують інструменти для обробки отворів, їх коротка характеристика.

14 Накресліть схему обробки зубів зубчастих коліс методом копіювання.

15 Накресліть схему роботи черв'ячної модульної фрези при обробці зубів зубчастих коліс методом обкатування.

16 Надайте характеристику методу шліфування.

17 Накресліть основні схеми шліфування.



## **Лекція 15. Етапи проектування технологічних процесів**

### **15.1 Класифікація технологічних процесів**

В залежності від умов виробництва та призначення технологічного процесу, що проектується використовують різні види і форми технологічних процесів. Вид технологічного процесу визначається кількістю виробів, які охоплені процесом.

*Одиничний технологічний процес* – це технологічний процес виготовлення або ремонту виробу одного найменування, типорозміру і виконання незалежно від типу виробництва. Розробка одиничних технологічних процесів характерна для оригінальних виробів, які не мають загальних конструктивних і технологічних ознак, з раніше виготовленими на підприємстві.

*Уніфікований технологічний процес* – це технологічний процес, який відноситься до групи виробів, що характеризуються спільними конструктивними і технологічними ознаками. Уніфіковані технологічні процеси поділяються на типові та групові.

Уніфіковані технологічні процеси широко застосовуються серійному виробництві за винятком багатосерійного виробництва. Використання уніфікованих технологічних процесів залежить від наявності спеціалізованих дільниць, робочих місць, технологічного оснащення та устаткування.

*Типовий технологічний процес* – це технологічний процес виготовлення групи виробів з загальними конструктивними та технологічними ознаками. Типовий технологічний процес обумовлений спільним змістом і послідовністю більшості технологічних операцій та переходів для групи таких виробів і використовується як інформаційна основа при розробки робочого технологічного процесу, також як робочий технологічний процес при наявності всій необхідної інформації для виготовлення деталі, слугує базою для розробки стандартів на типові технологічні процеси.

*Груповий технологічний процес* – це технологічний процес виготовлення групи виробів з різними конструктивними, но загальними технологічними ознаками.

Груповий технологічний процес представляє собою процес обробки заготовок різноманітної конфігурації, яка складається з комплексу групових технологічних операцій, що виконуються на спеціалізованих робочих місцях в послідовності технологічного маршруту виготовлення окремої групи виробів. Груповий технологічний процес може складатися також з одної групової операції.

Груповий технологічний процес розробляється для усіх типів виробництва тільки на рівні підприємства.

*Перспективний технологічний процес* – це технологічний процес, який відповідає сучасним досягненням науки и техніки, методи та засобами здійснення якого повністю або частково необхідно впровадити на підприємстві.

*Робочий технологічний процес* – це технологічний процес, який виконується за робочою технологічною або конструкторською документацією.

Робочий технологічний процес розробляється тільки на рівні підприємства та використовується для виготовлення або ремонту конкретного предмету виробництва.

*Проектний технологічний процес* – це технологічний процес, що виконується для попереднього проекту технологічної документації.

*Тимчасовий технологічний процес* – це технологічний процес, який використовується на підприємстві протягом обмеженого проміжку часу із-за відсутності належного обладнання або у зв'язку з аварією до заміни на більш сучасний.

*Стандартний технологічний процес* – це технологічний процес, який встановлюється стандартом.

*Комплексний технологічний процес* – це технологічний процес, в склад якого включені не тільки технологічні операції, але і операції переміщення, контролю або очистки заготовки, що обробляється по ходу технологічного процесу. Комплексний технологічний процес проектується при створюванні автоматичних ліній та гнучких автоматизованих виробничих систем.

## **15.2 Принципи та задачі технологічного проектування. Вихідні дані для розробки технологічних процесів. Стадії розробки ТП. Особливості проектування ТП для різних типів виробництва**

Проектування технологічного процесу механічної обробки є комплексним завданням, для вирішення якого у конкретних умовах треба знайти оптимальний варіант отримання деталі, забезпечивши при цьому якість і точність обробки відповідно до технічних умов.

Технологічні процеси розробляють при проектуванні нових і реконструкції діючих підприємств, а також при організації виготовлення нових видів продукції. Крім того, на діючих заводах при випуску освоєних виробів має місце коригування або розробка нових технологій. Це пов'язано з поточним конструктивним удосконаленням об'єктів виробництва та впровадженням останніх досягнень науки й техніки у даній галузі.

Під час проектування нових і реконструкції діючих заводів розроблені процеси є основою всього проекту. Він визначає потрібне обладнання, виробничі площі, транспортні засоби, матеріали, необхідну робочу силу. Від рівня технологічних розробок залежать техніко-економічні показники діяльності підприємства.

При організації випуску на діючому заводі нових об'єктів розробка технологічних процесів відбувається перед комплексом підготовчих і організаційних робіт. На її підставі виявляються можливості застосування існуючого та необхідність придбання нового обладнання, визначається необхідна кількість робочої сили, інструментів, транспортних засобів та ін.

Вихідні дані для проектування технологічних процесів:

- 1 Робочі креслення машин: робочі креслення деталі; складальні креслення вузлів і механізмів; креслення загальних видів машин
- 2 Річна програма випуску.

3 Виробничі дані: дані про обладнання, різальний інструмент та технологічне оснащення.

4 Довідкові матеріали: загальномашинобудівні нормативи різання; загальномашинобудівні норми часу; заводські норми на різальний і вимірювальний інструмент; тарифно-кваліфікаційний довідник.

5 Бланки технологічної документації: бланки маршрутних технологічних карт; бланки операційних технологічних карт; карти ескізів.

На робочому кресленні деталі повинні бути зазначені: матеріал і його марка; вид заготовки; оброблювані поверхні; позначення класу чистоти поверхні після обробки; допуски на неточність обробки; вид термічної обробки.

Порядок розробки технологічного процесу:

1 Встановлення типу виробництва і організаційної форми виконання технологічного процесу.

2 Визначення величини партії деталі, що запускається у виробництво одночасно.

3 Вибір виду заготовок і визначення їхніх розмірів.

4 Встановлення плану і методів механічної обробки поверхні деталі із вказівкою послідовності технологічних операцій (маршрутний технологічний процес).

5 Вибір типів і визначення технічної характеристики верстатного обладнання, пристосувань, різального і вимірювального інструменту.

6 Визначення розмірів обробки поверхонь деталей.

7 Визначення режимів обробки на кожній операції.

8 Визначення норм часу на обробку по кожній операції.

9 Визначення кваліфікації робітників.

10 Оцінка техніко-економічної ефективності спроектованого технологічного процесу.

11 Оформлення документації технологічної документації.

Встановлення плану і методу обробки має на меті забезпечити найбільш раціональний процес обробки деталі. У плані вказуються послідовність виконання технологічної операції, і по кожній операції вказується метод обробки, використовуване обладнання, оснащення, режим обробки, норма часу і кваліфікація робітників.

План повинен передбачати розчленовування технологічного процесу обробки деталі на складові частини. При складанні плану і виборі методу обробки характер технологічного процесу встановлюється залежно від характеру продукції і типу виробництва.

В одиничному і дрібносерійному виробництві застосовується ущільнений технологічний процес, виконуваний на верстатах загального призначення. У серійному виробництві технологічний процес диференційований на операції із закріпленням їх за певними верстатами. У крупносерійному і масовому виробництві технологічний процес може здійснюватися за одним із двох принципів: за принципом диференціювання на елементарні операції або за принципом концентрації операції.

Для масового виробництва застосовується переважно другий принцип завдяки високій точності, високій продуктивності, меншому машинному й допоміжному часу. Вибір методу обробки залежить від вимог пропонованих точності і шорсткості даної деталі.

При проектуванні технологічного процесу користуються складеними на підставі дослідних даних таблицями середніх величин економічної точності різних методів обробки.

При встановленні послідовності операції треба керуватися наступними правилами:

1 У першу чергу треба обробляти поверхні деталі, які є базами для подальшої обробки.

2 Обробити поверхні, з яких знімається найтовстіший шар металу, тому що при цьому легше виявляються внутрішні дефекти заготовки.

3 Операції, де існує ймовірність браку через дефекти в матеріалі або складності механічної обробки повинні виконуватися на початку процесу.

4 Далі послідовність операції встановлюється в залежності від необхідної точності поверхні: чим точніше повинна бути поверхня, тим пізніше її треба обробляти, тому що обробка кожної наступної поверхні може викликати перекручування раніше обробленої поверхні: це відбувається через те, що зняття кожного шару металу з поверхні деталі викликає деформацію деталі.

5 Поверхні, які повинні бути найбільш точними і з найменшою шорсткістю, повинні оброблятися останніми цим виключає або зменшує можливість зміни розмірів і пошкодження остаточно обробленої поверхні. Якщо такі поверхні були оброблені раніше або потім виконувалися ще іншої операції, то виконується їх повторна обробка.

6 Сполучення чорнової і чистової обробки на тому самому верстаті може привести до зниження точності обробки поверхні в наслідок впливу значних сил різання або сил затиснення при чорновій обробці і великому зношуванню деталей верстату.

Для оформлення технологічного процесу використовуються: маршрутна карта; операційна карта; карта ескізів.

### **Запитання для самоконтролю**

- 1 Як класифікуються технологічні процеси?
- 2 У чому різниця між груповим та типовим технологічним процесом?
- 3 У чому полягає різниця між робочим та перспективним технологічним процесом?
- 4 Які вхідні данні для проектування технологічного процесу?
- 5 Яка послідовність проектування технологічного процесу?
- 6 Які принципи використовуються при проектуванні технологічних процесів для різних типів виробництва?
- 7 Які правила встановлені при проектуванні технологічних процесів?
- 8 При проектуванні технологічного документації, яку технологічну документацію необхідно заповнювати?

## Список літератури

- 1 Мельничук П. П., Боровик А. І., Лінчевський П. А., Петраков Ю. В. Технологія машинобудування: підручник. Житомир: ЖДТУ, 2006. 836 с.
- 2 Горбатюк Є. О., Мазур М. П., Зенкін А. С., Каразей В. Д. Технологія машинобудування: навч. посібник. Львів: Новий Світ-2000, 2009. 358 с.
- 3 Бондаренко С. Г. Основи технології машинобудування: навч. посібник. Львів: Магнолія 2006, 2007. 500 с.
- 4 Захаркін О. У. Технологічні основи машинобудування (основні способи обробки поверхонь та сучасні Т-системи для їх реалізації): навчальний посібник. Суми: Вид-во СумДУ, 2009. 137 с
- 5 Грабченко А. І., Доброскок В. Л. Сучасні технології матеріалізації комп'ютерних моделей: навч. посібник. Харків: НТУ «ХП», 2009. 86 с.
- 6 Якимов О. В., Марчук В. І., Лінчевський П. А., Якимов О. О., Ларшин В. П. Технологія машино- та приладобудування: підручник. Луцьк: ЛДТУ, 2005. 712 с.
- 7 Технологія автоматизованого машинобудування: підручник для вищих техн. навч. закладів / О.В. Якимов та ін. Одеса: ОНПУ, 2005. 410 с.
- 8 Кремнев Г. П., Новиков Ф. В., Колесник В. М. Типовые технологические процессы механической обработки деталей машин: учебное пособие. Днепр: ЛИРА, 2017. 252 с.
- 9 Altintas Y. Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design. Cambridge University Press, 2012. 380p.
- 10 Klocke F. Manufacturing Processes, Cutting. New York: Springer, 2011. 504 p.
- 11 Zhang L. Materials Processing Fundamentals / [Zhang, L., Allanore, A., Wang, C., Yurko, J. A. and Crapps, J. (eds). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2013. 317p.