

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Пухальська Г.В.  
ТЕКСТИ (конспект) лекцій з дисципліни  
«Технологічні основи машинобудування»

для студентів спеціальності  
133 Галузеве машинобудування -  
освітня програма «Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні,  
меліоративні машини і обладнання»  
усіх форм навчання

Тексти (конспект) лекцій з дисципліни “Технологічні основи машинобудування” для студентів спеціальності 133 Галузеве машинобудування - освітня програма «Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання» усіх форм навчання / Укл. доц. Пухальська Г.В., – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025 – 43 с.

Укладач :            Пухальська Г.В., к.т.н., доц. каф. ТМБ

Рецензент:           Козлова О.Б., к.т.н., доцент кафедри ТМБ

Відповідальний за  
випуск                Дядя С.І., к.т.н., доцент, зав. каф. ТМБ

Затверджено на засіданні кафедри  
«Технологія машинобудування»  
Протокол № 1  
від 06 серпня 2025 р.

Рекомендовано до видання  
НМК МФ  
Протокол № 1 від 26.08.2025 р.

## ЗМІСТ

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | Поняття і визначення  | 4  |
| 2 | Точність механічної обробки. Поняття про точність і похибки обробки                         | 8  |
| 3 | Статистичні методи дослідження точності   | 13 |
| 4 | Похибки від зносу різальних інструментів  | 19 |
| 5 | Пружні деформації елементів технологічної системи ВПД. Поняття про технологічну систему ВПД | 24 |
| 6 | Вплив технологічних факторів на формування шорсткості поверхні                              | 29 |
| 7 | Основні поняття і визначення теорії розмірних ланцюгів                                      | 37 |
|   | Перелік посилань  | 43 |

## 1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ

*Технологія* - (від грецького *techne* - мистецтво, майстерність, вміння і *logos* - вчення, слово) - сукупність методів обробки, виготовлення, зміни стану, властивостей і форми сировини, матеріалу і напівфабрикату (заготовки) для отримання готової продукції; наука про способи взаємодії на сировину, матеріали і напівфабрикати відповідними знаряддями виробництва.

Наука, що вивчає закономірності протікання процесів виготовлення машин, називається технологією машинобудування.

### Завдання ТМБ:

- забезпечення високої якості деталей і машин;
- забезпечення високої продуктивності виробництва;
- забезпечення низької собівартості виробництва;
- забезпечення мінімальної кількості шкідливих викидів в навколишнє середовище.

Головне завдання ТМБ - це регламентація умов протікання технологічного процесу (тобто вибір методу впливу, технологічного обладнання, інструменту, режимів), при яких буде надійне виготовлення виробу необхідної якості при мінімальній собівартості і максимальній продуктивності, а також буде мінімум шкідливих викидів в навколишнє середовище.

Об'єктом вивчення в ТМБ є технологічний процес обробки заготовки і складання деталей машин.

### **Виробничий і технологічний процеси в машинобудуванні**

Виробничий процес - це сукупність декількох процесів (дій людей за допомогою знарядь праці і машин), спрямованих на отримання з природних матеріалів і напівфабрикатів виробів, які мають споживчі властивості.

Робоче місце - це елементарна частина підприємства у вигляді площі (або об'єму), на якому розміщується виконавець (оператор) робіт, технологічне обладнання і предмет праці.

Технологічний процес (ТП) – це частина виробничого процесу, який складається з послідовних дій зі зміни форми, розмірів, властивостей матеріалу і напівфабрикату з метою отримання деталі або виробу відповідно до заданих технічних вимог. ТП являє собою

сукупність наукового і практично обґрунтованих технологічних операцій, які виконуються в певній послідовності. ТП проектують по окремим методам їх виконання (видам виробництва) - отримання заготовок, механічна обробка, хіміко-термічна обробка, контроль, складання, випробування.

Технологічні процеси механічної обробки і збірки, як правило, дискретні, тобто складаються з окремих частин - технологічних операцій.

**Технологічна операція** - це закінчена частина ТП, яка виконується на одному робочому місці.

*Перехід* - основна закінчена частина (складова) операції, яка виконується над однією або декількома поверхнями заготовки одним або декількома одночасно працюючими інструментами при незмінному режимі роботи верстата або при автоматичному режимі роботи верстата. *Установ* - частина операції, яка виконується при одному закріпленні заготовки. *Позиція* - фіксоване положення заготовки при обробці. *Прохід* (робітничий рух) - частина переходу, яка складається з одного переміщення (руху) інструменту, тобто пов'язана зі зняттям одного шару металу. Кількість проходів в одному переході дорівнює кількості стружок, які знімаються з поверхні заготовки без зміни інструменту і режимів різання. При механічній обробці заготовки до складу операції входять також допоміжні роботи: установка, закріплення, розкріплення і зняття заготовки, включення станка і його зупинка, підведення і відведення інструменту, контроль оброблюваних поверхонь і т.п. Ці допоміжні роботи, необхідні для виконання операції, називаються прийомами.

### **Класифікація виробничих процесів.**

У машинобудуванні розрізняють три основні класифікаційні категорії виробництва:

- вид виробництва - визначається за ознакою застосовуваного методу виготовлення (обробки): лиття, кування, штампування, зварювання, обробка різанням, складання і т.п. ;
- тип виробництва - визначається за ознаками широти номенклатури, регулярності, стабільності й обсягу випуску виробів: одиничне, серійне і масове;

- форма організації виробництва - визначається за ознакою рівня спеціалізації робочих місць і принципу розташування робочих місць: потокова, непотокова і групова.

Тип виробництва попередньо визначають на початковій стадії розробки ТП, в залежності від годового обсягу випуску і маси деталі (див. табл. 1.1)

Таблиця 1.1 - Таблиця для попереднього визначення типу виробництва

| Тип виробництва | Кількість оброблюваних деталей в рік, штук |                          |                       |
|-----------------|--|--------------------------|-----------------------|
|                 | Важкі, масою понад 100 кг                  | Середні, масою 10-100 кг | Легкі, масою до 10 кг |
| Одиничне        | до 5                                       | до 10                    | до 100                |
| Дрібносерійне   | 5-10                                       | 10-200                   | 100-500               |
| Серійне         | 100-300                                    | 200-500                  | 500-5000              |
| Багатосерійне   | 300-1000                                   | 500-5000                 | 5000-50000            |
| Масове          | більше 1000                                | більше 5000              | більше 50000          |

Остаточно тип виробництва визначають за коефіцієнтом закріплення операцій на ділянці або потокової лінії. Коефіцієнт закріплення - це відношення всіх деталей - операцій, які виконуються протягом місяця на ділянці, до кількості робочих місць:

$$Kз.о. = O/M$$

Коефіцієнт закріплення операцій для цеху, дільниці або потокової лінії є однією з основних характеристик типу виробництва, що визначає його серійність. Для визначення коефіцієнта  $Kз.о.$  (ГОСТ 14.004-74):

- **масове** виробництво -  $Kз.о. \leq 1$ . Це означає, що на одному робочому місці протягом одного місяця виконується не більше однієї операції. Значення  $Kз.о. < 1$  говорить про те, що є операції, які виконуються на двох і більше робочих місцях;

- **багатосерійне** виробництво -  $Kз.о. = 1 \dots 10$ . Це означає, що на одному робочому місці протягом місяця здійснюються або повинні виконуватися до 10 різних операцій з обробки різних заготовок;

- **серійне** –  $Kз.о.=11\dots20$ ;
- **дрібносерійне** –  $Kз.о.=21\dots40$ ;
- **одиничне** – коефіцієнт  $Kз.о.$  не регламентується.

Коефіцієнт закріплення операції розраховують, коли проведено нормування операцій і виконано планування верстатів і робочих місць на ділянці.

**Організаційну форму** виконання робіт на ділянці встановлюють залежно від принципу розташування робочих місць і характеру руху оброблюваних заготовок з урахуванням рівності або кратності тривалості кожної операції такту випуску. Потокової формою організації виробництва вважається така форма, при якій операції обробки закріплюються за обладнанням, розташованим в порядку виконання цих операцій, оброблювана заготовка передається з одного робочого місця на інше відразу після виконання попередньої операції, як правило, за допомогою спеціальних транспортних пристроїв, рух оброблюваних заготовок здійснюється в одному напрямку і при цьому тривалість обробки на кожній операції дорівнює чи кратна такту випуску.

Серійно - поточним виробництвом, називається така організаційна форма виробництва, при якій деталі на ділянку надходять партіями, але обробка їх здійснюється поточним методом. Після закінчення обробки однієї партії заготовок обладнання робочих місць ділянки відповідно переналагоджується і на ділянку надходить партія інших заготовок, що мають подібний технологічний процес, і так само обробляють поточним методом.

При груповій формі організації виробництва запуск заготовок у виробництво здійснюється партіями з певною періодичністю, що є ознакою серійного виробництва. Кількість заготовок в партії для одночасного запуску визначається формулою, шт:

$$n = \frac{a \cdot N}{A}$$

де  $a = 3,5,10,20,60,125$  днів - періодичність запуску деталей у виробництво;

$N$  - річна програма випуску;

250 - кількість робочих днів в одному році.

## **2 ТОЧНІСТЬ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ. ПОНЯТТЯ ПРО ТОЧНІСТЬ І ПОХИБКИ ОБРОБКИ.**

Точність більшості виробів машинобудування є найважливішою характеристикою їх якості. Сучасні потужні і високошвидкісні машини не можуть функціонувати при недостатній точності їх виготовлення в зв'язку з виникненням додаткових динамічних навантажень і вібрацій, що порушують нормальну роботу машин і викликають їх руйнування. Підвищення точності виготовлення деталей і складання вузлів збільшує довговічність і надійність експлуатації механізмів і машин. Цим пояснюється безперервне посилення вимог до точності виготовлення деталей і машин в цілому. У теперішній час для деяких точних виробів потрібні деталі з допусками в кілька мікрометрів або навіть десятих часток мікрометра. При підвищенні точності деталей шарикопідшипника і зменшення його зазору від 20 до 10 мм, термін його служби збільшується з 740 до 1200 годин.

### Технолог повинен:

- забезпечити необхідну конструктором точність виготовлення деталей і збірки машини;
- необхідні засоби вимірювання і контролю фактичної точності обробки і зборки;
- установку допусків технологічних операційних розмірів і їх виконання в ході технологічного процесу.

Технолог повинен дослідити фактичну точність встановлених технологічних процесів і проаналізувати причини виникнення похибок обробки і збірки.

**Точність обробки** - це відповідність геометричної форми, розмірів і взаємного розташування поверхонь виготовленої деталі вимогам креслення.

Оперувати поняттям точності обробки, тобто розглядати ступінь наближення одержуваних геометричних характеристик заданих кресленням і технічними умовами, на практиці вкрай незручно. Більш зручно розглядати відхилення їх від заданих значень. У зв'язку з цим з'явилося поняття похибки обробки.

*Під похибкою обробки* розуміють відхилення одержуваного при обробки значення геометричного або іншого параметра від заданого.

При оцінці точності виготовлення деталі розрізняють:

- точність розмірів;



- точність форми поверхонь;  
точність взаємного розташування поверхонь.

Існує 3 категорії точності:

- задана (необхідна);
- дійсна;
- очікувана.

*Задана або необхідна точність регламентується* за допомогою допусків, що призначаються конструктором, допустимими відхиленнями від розмірів, форми або теоретично точного взаємного розташування поверхні.

*Дійсна точність* - характеризується похибкою, яка може бути виявлена при вимірюванні оброблених деталей.

*Очікувана точність (або розрахункова)* - характеризується похибкою, яку ймовірно або на підставі розрахунків можна очікувати після обробки.

Ступінь точності геометричних розмірів регламентується квалітетами стандарту ISO. Для розмірів від 1 до 10000 мм встановлено 19 квалітетів - IT01, IT0, IT1 ... IT17. Величина допуску зростає із збільшенням номера квалітету.

Ступінь точності форми і взаємного розміщення поверхонь регламентується ступенем точності по ГОСТ24643-81. Для розмірів від 3 - 500 мм встановлено 14 ступенів. Величина допуску росте зі збільшенням номера ступеня точності.

### **Види похибок механічної обробки.**

Розрізняють такі види похибок при механічній обробці:

- відхилення від заданих геометричних розмірів - похибки розмірів;
- відхилення обробленої поверхні від заданої геометричної форми - похибки форми;
- похибки взаємного розташування поверхонь.

Похибки розмірів - обмежуються допусками, обумовленими на кресленні. Допуски призначають із експлуатаційних вимог і технологічних можливостей, регламентуємих ГОСТами і технічними умовами.

Розрізняють такі похибки форми:

- плоскою поверхні - це викривлення поверхні, опуклість, увігнутість; якщо зазначені похибки не обумовлені технічними

вимогами, то їх величини обмежуються допуском на розміри цих поверхонь; похибка обробки визначається як різниця між максимальним і мінімальним значенням розміру;

- циліндричної поверхні - це конусність, бочкообразність, корсетність, овальність.

Похибки взаємного положення поверхні - це непаралельність, неперпендикулярність, неконцентричність та інші.

Даний вид похибки не регламентується допуском, а обумовлюється вимогами на кресленні, текстом або умовним позначенням по ЄСКД.

### **Методи забезпечення заданої точності обробки.**

Задану точність механічної обробки можна досягти одним з 2-х принципово різних методів:

- пробних промірів і проходів ("метод індивідуального отримання заданих розмірів")

- метод автоматичного отримання розмірів на налаштованих верстатах.

**Метод пробних проходів і промірів** - (його ще називають «метод індивідуального отримання розмірів»). Суть методу полягає в тому, що спочатку на верстаті встановлюють і закріплюють заготовку, роблять перше пробне вимірювання поверхні, яку будуть обробляти, потім до цієї поверхні підводять різальний інструмент і на короткому відрізку знімають пробну стружку, тобто виконують перший пробний прохід. Після цього верстат зупиняють, роблять пробне вимірювання отриманого розміру, визначають величину відхилення від креслення і вносять поправку в положення інструменту, яку відраховують поділами лімба верстату. Потім знову роблять пробну обробку (пробний прохід) визначеного відрізка поверхні заготовки, нове пробне вимірювання отриманого розміру і при необхідності вносять нову поправку в положення інструменту. Таким чином, шляхом пробних промірів і проходів встановлюють вірне, потрібне положення інструменту відносно поверхні заготовки. Після цього виконують обробку поверхні на всій її довжині. При обробці наступної поверхні заготовки всю процедуру установки інструменту на необхідне положення пробними промірами і проходками повторюють.

Особливості методу:

- не вимагає складного і дорогого оснащення операцій;

- обробка виконується на звичайному обладнанні загального призначення;
- вимагає більш високої кваліфікації робітника;
- суб'єктивний фактор впливає на точність обробки;
- точність обробки залежить від кваліфікації робітника і засобів вимірювання.

Метод пробних промірів і проходів ефективно використовується в одиничному і рідко в дрібносерійному виробництві. Цей метод трудомісткий, тому вимагає багато часу на перевірку заготовки і на установку (коригування положення) ріжучого інструменту.

Суть методу **автоматичного отримання заданих розмірів** полягає в тому, що точність досягається обробкою на попередньо налагодженому устаткуванні з установкою заготовок у пристосуванні без перевірки (вивірки) їх положення, а ріжучий інструмент при налагодженні встановлюють в певний розмір, званий налаштованим. Налагодженням називається підготовка технологічного устаткування і оснащення до виконання певної технологічної операції. До налагодження відносять установку пристосувань ріжучого інструменту, режимів різання і ін.

Метод автоматичного отримання заданих розмірів поширюється:

- на всі види штампування і лиття, крім ручної формовки і кування;
- на механічну обробку.

Переваги методу:

- забезпечується висока продуктивність за рахунок виключення перевірки, вивірки заготовки при її установці, пробних промірів і проходів і т.д.;
- виключається суб'єктивний фактор при обробці кожної заготовки;
- отримання необхідного розміру досягається за один прохід;
- знижується ряд роботи і вартість обробки.

Недоліки методу:

- ускладнюється налагодження устаткування;
- підвищуються витрати на оснащення.

Використання цього методу в умовах дрібносерійного виробництва обмежується деякими економічними міркуваннями: час, необхідний для попереднього налаштування верстатів, може істотно перевищити виграний час від автоматичного отримання розмірів. Обробку заготовок методом автоматичного отримання заданих розмірів

широко застосовують в серійному і масовому виробництві. Прикладом обробки методом автоматичного отримання заданих розмірів є обточування на багаторізцевих токарних напівавтоматах, обробка на агрегатних верстатах та автоматичних лініях.

**Обробка «по лімбу»** - це використання методу автоматичного досягнення заданої точності в дрібносерійному виробництві при обробці партії деталей. Обробка здійснюється за один робочий хід з установкою інструменту по лімбу. Потрібний розподіл лімба визначають пробною обробкою першої деталі партії або за зразком.

Точність обробки залежить:

- від точності установки лімба на заданий розмір;
- від точності оцінки визначення необхідного положення лімба для отримання заданого розміру.

Діють суб'єктивні чинники двох видів:

- пов'язаний з похибкою установки необхідного розподілу лімба (похибка настройки);
- пов'язаний з похибкою установки ріжучого інструменту по знайденому під час налаштування поділенню лімба.

Гідність обробки «по лімбу» це підвищення продуктивності за рахунок виключення пробних проходів і супроводжуючих їх промірів. Якщо замість лімба застосовують упор, що обмежує переміщення органу верстата (закріплений після отримання першої деталі) - кажуть «обробка по упору».

### 3 СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ.

Похибки, що виникають при механічній обробці, можна класифікувати на три види: систематичні постійні, систематичні, які закономірно змінюються і випадкові.

#### **Систематичні постійні похибки.**

*Систематичні постійні похибки* – похибки, які виникають під впливом постійно діючого фактора і не змінюються при обробці однієї деталі або партії.

Прикладом систематичних постійних похибок можуть бути:

- похибки від геометричних неточностей верстата, пристосування, інструмента;

- похибки, що виникають в результаті відхилень від заданого настройкового розміру при налаштуванні верстата в межах однієї партії деталей і т.п. Систематичні постійні похибки можуть бути виявлені пробними вимірами декількох оброблених деталей. Ці похибки усуваються або зменшуються до допустимих величин простими технологічними заходами:

- підвищенням точності вузлів верстата, пристосування, інструмента;

- зменшенням розсіювання (допуску) настройкового розміру.

#### **Систематичні похибки, які закономірно змінюються.**

*Систематичні похибки, які закономірно змінюються* - похибки, які закономірно змінюють свою величину або знак при переході від однієї оброблюваної заготовки до наступної.

Систематичні похибки, які закономірно змінюються можуть виникати безперервно або періодично.

Прикладом безперервно виникаючої похибки може служити похибка, що викликається розмірним зносом різального інструменту.

Прикладом похибки, яка періодично з'являється, може служити похибка, що виникає в результаті температурної деформації верстата в період його пуску до досягнення стану теплової рівноваги.

**Випадкова похибка** – це така похибка, яка для різних заготовок в партії має різні значення, при цьому її поява не підпорядковується ніякої видимої (явної) закономірності, і при цьому ми не можемо з упевненістю сказати, якою буде закономірність появи цієї помилки в новій партії заготовок.

Випадкові похибки виникають в результаті дії в процесі обробки деталей великої кількості непов'язаних між собою випадкових факторів. Розсіювання розмірів викликається сукупністю багатьох причин випадкового характеру, наприклад, коливанням твердості оброблюваного матеріалу і величини припуску, що знімається, зміни положення вихідної заготовки в пристосуванні, пов'язані з похибками її базування і закріплення, або обумовлені неточностями пристосування. Коливання температурного режиму обробки і пружних віджатій елементів технологічної системи під впливом нестабільних сил різання.

Для виявлення та аналізу закономірностей розподілу розмірів при їх розсіянні застосовуються методи математичної статистики.

### **Метод кривих розподілу або вибірковий метод дослідження похибок обробки. Основні поняття і визначення.**

*Подія* – основне поняття теорії ймовірностей і статистики, яке позначає реалізацію деяких можливостей при наявності певного комплексу умов.

Події можуть бути: певними, тобто події, які не можуть не відбуватися; неможливими, тобто події, які не можуть відбуватися; випадковими, тобто події, які можуть статися, а можуть і не відбутися. Випадковими можуть бути: події, величини, процеси і функції.

*Випадкова величина (похибка)* – величина, значення якої важко передбачити, непостійна за величиною і знаку, формується під дією випадкових процесів.

*Генеральна сукупність* – це вся сукупність деталей (вузлів, машин, виробів) одного службового призначення, виготовлених за однією технологією.

*Вибірка* (контрольна вибірка) – це частина (партія) деталей, взята з генеральної сукупності для контролю або аналізу (дослідження) з метою отримання відомостей про всю сукупність.

Основним способом отримання інформації для аналізу точності є вимір, тобто експериментальне визначення різних показників ТП: геометричних розмірів, шорсткості, взаємного розташування - радіальне і торцеве биття, неперпендикулярність і т.д.

Сукупність випадкових величин можна вважати відомою, коли відомо, які значення ці випадкові величини набувають і які частоти або ймовірності появи цих значень. *Відносної частотою* якогось явища або частотою якогось значення випадкової величини похибки є ставлення:

$$P_j = \frac{m_j}{n}$$

де  $m_j$  - кількість випадків появи певного значення випадкової величини,  $m_j$  - називають частотою, це кількість випадків, які потрапили в певний інтервал випадкової величини;

$n$  - загальна кількість випробувань або загальна кількість випадків появи всіх можливостей значень випадкової величини, обсяг вибірки;

$P_j$  - частість, відносна кількість випадків, в  $j$ -му інтервалі розподілу похибок;

$j - 1, 2, 3, \dots, l$  - номер інтервалу,  $l$  - кількість інтервалів.

При досить великій кількості випробувань відносна частота чи просто частість  $P_j$  випадкової величини приймається за статистичну вірогідність або просто ймовірність. Частість - це досвідчений, експериментальний аналог ймовірності появи випадкової величини.

Для контрольної вибірки обсягом  $n$  випадкова величина може прийняти значення:

$$x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n$$

Для оцінки точності (оцінки розсіювання) вводиться два параметра (дві характеристики):

- *середнє арифметичне* - центр групування або центр розсіювання випадкових величин

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_i + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^e x_j m_j$$

де  $m_x$  - математичне очікування, характеризує середину поля розсіювання похибок в тому випадку, коли обсяг контрольної вибірки  $n \rightarrow N$ , тобто  $m_x$  - теоретична величина. У практиці завжди  $n \ll N$  отримують не  $m_x$ , а його аналог  $\bar{x}$

$$m_x \approx \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- *середнє квадратичне відхилення* - міра розсіювання випадкової величини відносно групування або розсіювання відхилень :

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_i - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum^n (x_j - \bar{x})^2} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^l (x_j - \bar{x})^2 m_j} \end{aligned}$$

де  $m_j$  - частота, кількість випадків, значень в  $j$ -му інтервалі;  
 $i=1, 2, \dots, l$ ;

$l$  - номер інтервалу, розсіювання, розкиду.

$\sigma$  - середнє квадратичне відхилення, що характеризує відхилення похибки  $\bar{x}$ .

При  $n=50$  похибка визначення  $\sigma$  дорівнює  $\pm 10\%$ , при  $n=25$  вона дорівнює  $\pm 15\%$ . При невеликій кількості вимірювань  $n \leq 10$  визначення  $\sigma$  дає велику похибку.

Для контрольної вибірки встановлено поняття розмаху розсіювання:

$$W = X_{\max} - X_{\min} = X_{\max} - X_{\min}$$

### **Закон нормального розподілу (закон Гауса).**

Найбільш широке застосування в науці і техніці має так званий закон нормального розподілу або, як його ще називають, закон Гауса.



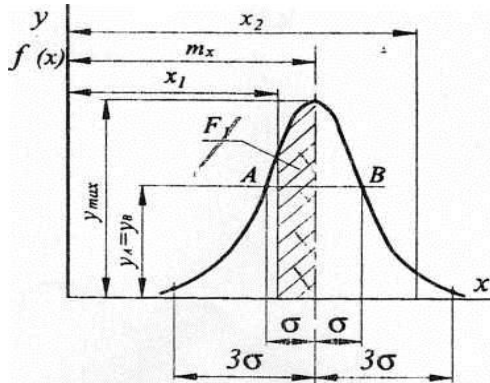


Рисунок 3.1 – Крива нормального розподілу

З теорії ймовірностей відомо, що якщо розсіювання будь-якої величини (розміру, шорсткості, твердості) залежить від сукупності дії багатьох чинників рівного значення, незалежних або слабо залежних між собою, то таке розсіювання підкоряється нормальному закону або закону Гаусса. Закон Гаусса, який має своє теоретичне обґрунтування і підтверджується практикою, свідчить про те, що більшість значень випадкових величин в машинобудуванні (розміри оброблюваних заготовок, маси заготовок, твердість, висота мікронерівностей, похибки вимірів і деякі інші величини) групуються біля середніх значень цих величин. Із зростанням відхилень випадкових величин від їх середнього значення частота цих величин швидко зменшується, наближаючись до нуля.

Ця закономірність виражається показовою функцією:

$$y = f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - m_x)^2}{2\sigma^2}}$$

де  $m_x$  – математичне очікування ( $m_x \approx \bar{x}$ ) – центр групування;

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення – міра розсіювання відхилень;

$e = 2,71828$  – базис натуральних логарифмів;

$y = f(x)$  – функція щільності розподілу похибки обробки.

### **Коефіцієнт точності технологічної операції.**

*Коефіцієнт точності* – це відношення поля допуску до полю розсіювання контрольованого параметра при виконанні технологічної операції:

$$K_m = Td/w$$

де  $Td$  – допуск параметра  $d$ ;

$w$  – поле розсіювання (або розмах  $W$ ) похибки контрольованого параметра  $d$ .

Коефіцієнт точності  $K_m$  показує, чи є запас точності по досліджуваному параметру при виконанні технологічної операції і відповідно характеризує міру надійності виконання операції без браку. Якщо  $K_m > 1$ , то це означає, що ТП, технологічна операція має запас точності. При  $K_m > 1,2$  процес обробки (відповідно, технічну операцію) вважають надійним. Якщо  $K_m < 1$ , то запасу точності немає, є вірогідність браку. ТП слід переглянути або зовсім відхилити і припустити інший варіант ТП, який забезпечить  $w < Td$ .

#### 4 ПОХИБКИ ВІД ЗНОСУ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ.

Знос ріжучого інструменту відбувається в результаті тертя його контактних поверхонь о стружку і оброблювану поверхню.

##### Види і періоди зносу ріжучого інструменту.

У лезвійного інструменту він спостерігається як на передній, так і на задній гранях одночасно при товщині зрізаного шару – глибині різання 0,1 - 0,5 мм. Знос тільки на передній грані має місце при відносно високих швидкостях різання без охолодження і глибини різання понад 0,5 мм. При чистовій обробці домінує знос за задньої грані  $h$ , що викликає віддалення вершини різця від центру обертання заготовки на величину радіального зносу.

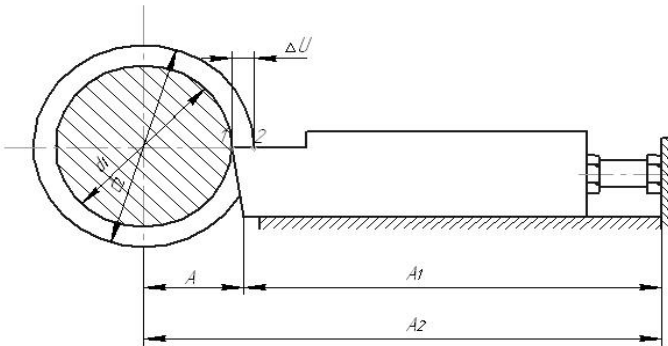


Рисунок 4.1 – Схема розмірного зношення різця

Початковий знос - результат приробітку ріжучої кромки. Знос найбільш інтенсивний, котрий супроводжується викрашуванням окремих нерівностей. Зазвичай тривалість початку зносу виражається довжиною шляху різання -  $L_n$ , що знаходиться в межах від 500 до 2000 м.

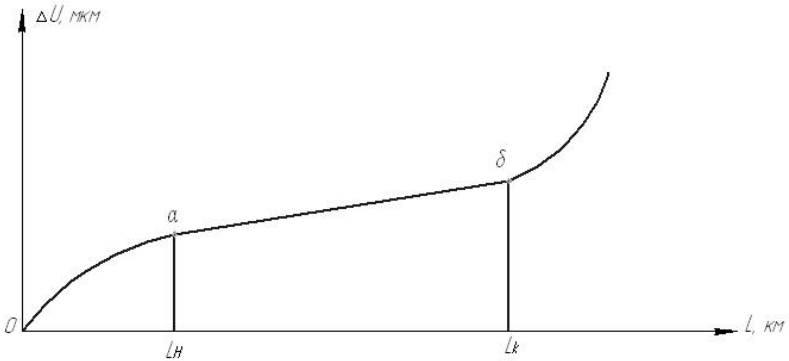


Рисунок 4.2 – Залежність зношення різця від шляху різання

Другий період зносу (ділянка 2) характеризується нормальним зносом інструменту. У другому випадку початковий знос практично відсутній і фактичний знос відбувається пропорційно шляху; пройденого різцем в металі, тобто збільшується період часу. Нормальний знос - прямо пропорційний шляху різання. Інтервал цього періоду прийнято оцінювати відносним або питомим зносом  $U_o$  [мкм / км], який визначається:

$$U_o = \frac{U}{L} \quad (4.1)$$

де  $U$  - розмірний знос;

$L$  - шлях різця в зоні нормального зносу.

Довжина  $L$  в шляху різця нормального зносу при обробці сталі різцями Т15К6, може досягати 50 км.

Інтенсивний або катастрофічний знос - супроводжується значним викришуванням і поломками інструменту, не допустимих при нормальній експлуатації. Розрахунок зносу ріжучого інструменту в другій зоні розраховується за формулою:

$$U = (U_o L)/1000 \quad (4.2)$$

де  $U$  — розмірний знос ріжучого інструменту, мкм;

$L$  - довжина шляху різання, м.  
 Стосовно до точіння довжина шляху різання:

$$L = \pi D l / (1000 s) \quad (4.3)$$

де  $D$  - діаметр оброблюваної заготовки, мм;  
 $l$  - довжина оброблюваної заготовки (довжина обробки), мм;  
 $s$  - подача, мм / об.

При торцевому фрезеруванні довжину  $L$  шляху різання можна наближено визначити за формулами:

$$L = \frac{lB}{1000s_0} \quad (4.4)$$

$$L = \frac{lB}{1000zs_z} \quad (4.5)$$

де  $l$  - довжина ходу, мм;  
 $B$  - ширина фрезеруємого майданчика, мм;  
 $s_0$  - подача фрези, мм / об;  
 $z$  - число зубців фрези;  
 $s_z$  - подача фрези, мм / зуб.

З останньої формули випливає, що при збільшенні  $z$  довжина шляху різання зменшується і розмірна стійкість, а отже і точність обробки зростає.

Встановлено, що при фрезеруванні знос ріжучого інструменту відбувається інтенсивніше, ніж при точінні, у зв'язку з несприятливими умовами роботи інструменту, який багаторазово врізається в оброблювану заготовку. Відносний знос  $U_{офр}$  інструменту при фрезеруванні більше відносного зносу  $U_o$ , визначеного за формулою (4.2), стосовно до умовами точіння, тобто:

$$U_{офр} = (1 + 100/B) U_o \quad (4.6)$$

Велічина  $100/B$  враховує кількість врізання зуба фрези при фрезеруванні заготовки шириною  $B$ .

Розрахунок за формулами (4.2-4.6) застосовується до умов нормального зносу інструменту (зона II на рис. 4.2). При визначенні зносу нового або знову заточеного інструменту розрахунок за

вказаними формулами дає занижений результат, так як не враховується підвищення інтенсивності зносу в період приробітку на довжині  $L$  різання, що збільшує сумарний знос на величину  $U_n$ .

Щоб, не ускладнюючи розрахунків, врахувати багаторазовий знос інструменту, прийнято розрахункову довжину  $L$  шляху різання, що визначається за формулами (4.3 – 4.5), збільшувати на деяку додаткову величину  $L_{доод}$ .

В цьому випадку формула (4.2) прийме вигляд:

$$U = U_o (L + L_{доод}) / 1000 \quad (4.7)$$

Для доведених інструментів додатковий шлях різання  $L_{доод} = 500$  м, для заточених  $L_{доод} = 1500$  м. В середньому  $L_{доод} = 1000$  м.

Відносний (питомий) знос  $U_o$  залежить від матеріалу ріжучого інструменту, режимів різання, матеріалу заготовки і жорсткості технологічної системи ВПД. При підвищенні подачі відносний знос кілька зростає. При точінні сталі 35ХМ різець Т15К6 з збільшується від 0,1 до 0,28 мм/об  $U_o$  підвищується від 15 до 18 мкм/км (на 20%). Проте, шлях різання  $L$  зменшився в 2,8 рази (формула 4.3), загальний знос (формула 4.2) зменшився на 57%. У зв'язку з тим, що загальний розмірний знос інструменту обернено пропорційний до подачі, відповідно з формулами 4.2-4.6 в ряді випадків збільшення подачі підвищує загальну, розмірну стійкість інструменту, при достатній жорсткості технологічної системи підвищує точність обробки.

Застосування широких різців та інших інструментів з вигладжуючими фасками, що дозволяють підвищити подачу, сприяє зростанню точності обробки при одночасному підвищенні її продуктивності.

Помітний вплив на відносний знос надає задній кут різця. Зі збільшенням  $\alpha$  від  $8^\circ$  до  $15^\circ$   $U_o$  різців Т15К6 при точінні сталі 35ХМ ( $V = 140$  м/с) зріс з 13 до 17 мкм/км (на 30%). Це пояснюється ослабленням ріжучої кромки і погіршенням умов відведення теплоти.

### **Шляхи підвищення розмірної стійкості інструменту і точності обробки.**

Підвищення розмірної стійкості інструменту і точності обробки можна здійснити за рахунок:

- застосування твердосплавного інструменту;
- поліпшення якості заточування і доведення леза, що сприяє зменшенню початкового зносу на першому періоді і, відповідно супроводжуються збільшенням часу роботи інструменту у другому періоді;
- призначення оптимальних режимів різання і перш за все швидкості з урахуванням стійкості інструменту;
- застосування ефективного охолодження інструменту в зоні різання шляхом підбору ЗОР і способу її підведення;
- своєчасної наладки (підналадки) верстата за час стійкості інструменту. Цей метод може бути застосований для різців, фрез та інших інструментів, котрі допускають коригування настройкового розміру зміною відстані між заготовкою і ріжучою кромкою, а також для інструментів, що мають регулювання (розсувні розгортки, борштанги).

## **5 ПРУЖНІ ДЕФОРМАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ВПІД. ПОНЯТТЯ ПРО ТЕХНОЛОГІЧНУ СИСТЕМУ ВПІД.**

Технологічна система ВПІД – це сукупність пов'язаних в процесі різання елементів верстата, пристосування, інструменту, деталі. Технологічну систему ВПІД токарного верстата складають:

- верстат: передня бабка, задня бабка, супорт, шпindel тощо;
- пристосування: патрон - (пристосування спеціальне для кріплення заготовки);
- інструмент: різець, борштанга тощо (іноді сюди відносять супорт з інструментом);
- деталь.

Технологічну систему ВПІД вертикально - фрезерного верстата складають:

- верстат: станина, стіл, консоль, шпindel;
- пристосування - пристрій для кріплення деталі;
- інструмент – фреза;
- деталь.

Аналогічно, можна перерахувати елементи технологічної системи верстатів: свердлильних, шліфувальних, розточувальних багаторізецевих і т. д. Технологічна система є замкнутою пружною системою, яка під впливом сили різання деформується, тобто відбувається відносне зміщення її елементів в напрямку дії складових сил різання.

При обробці в центрах на токарному верстаті гладкого валу у початковий момент, коли різець знаходиться у правого кінця валу, нормальна складова  $P_y$  зусилля різання передається через заготовку на задній центр, піноль і задню бабку верстата, викликаючи пружну деформацію названих елементів (вигин заднього центру і пінолі, віджимання корпусу задньої бабки) в напрямку "від робітника". Це призводить до збільшення відстані від вершини різця до осі обертання заготовки. Одночасно з цим під дією  $P_y$  відбувається пружне віджимання різця і супорта в напрямку "на робітника", що, в свою чергу, тягне за собою збільшення відстані від вершини різця до осі обертання заготовки, а отже, і радіусу обробленого виробу. Таким чином, у початковий момент діаметр обробленої поверхні фактично виявляється більше діаметру, встановленого при настройці. При



подальшому переміщенні різця від задньої бабки до передньої віджимання задньої бабки зменшується, але виникають віджаття передньої бабки. В деякому перетині А-А фактичний діаметр обточуваної заготовки виявляється рівним:

$$D_{\text{фак}}^{A-A} = D_{\text{настр}}^{A-A} + 2(y_{\text{з.б.}}^{A-A} + y_{\text{п.б.}}^{A-A} + y_{\text{інстр}}^{A-A} + y_{\text{заг}}^{A-A}).$$

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

За пропозицією професора Соколовського жорсткість технологічної системи ВПД виражається відношенням складової зусилля різання, спрямованого по нормалі до оброблюваної поверхні  $P_y$ , до зміщення леза інструменту відносно деталі  $y$ , яке відраховується в тому ж напрямку:

$$j = \frac{\Delta P_y}{\Delta y} \quad (5.1)$$

Але формула жорсткості враховує вплив тільки складової  $P_y$ . Це пояснюється тим, що деформація системи  $y = P_y / j$  впливає на точність розміру (наприклад, діаметру), безпосередньо, в той час як деформація під дією інших складових впливає на точність розміру опосередковано і незначно.

Жорсткість пружною технологічної системи ВПД можна також висловити через відповідні прирощення величин що її визначають.

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

де  $\Delta P_y$  та  $\Delta y$  - збільшення нормальної сили  $P_y$  і деформації  $y$  в тих же одиницях.

Для практичних цілей зручно користуватися поняттям податливості, яка чисельно виражається зворотної величини жорсткості

$$\omega = \frac{1}{j} \left( \frac{\text{мм}}{\text{Н}} \right) \quad (5.3)$$

Величина податливості дорівнює відношенню величин зміщення леза інструмента  $y$  до величини нормальної складової зусилля різання  $P_y$

$$\omega = \frac{y}{P_y} \left( \frac{\text{мм}}{\text{Н}} \right) \quad (5.4)$$

### Експериментальне визначення жорсткості технологічної системи ВПД та окремих її елементів.

Відомі два методи визначення жорсткості: статичний і динамічний.

При статичному методі до деталі (або оправці), встановленої на непрацюючому верстаті, прикладається мінливе навантаження і вимірюється деформація вузла в напрямку дії сили.

При динамічному методі жорсткість визначається на працюючому верстаті.

На рис. 5.1 показана схема визначення жорсткості вузла шпинделя статичним методом.

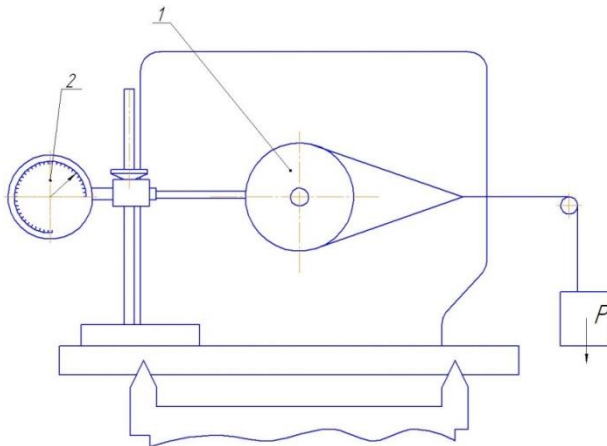


Рисунок 5.1 - Схема визначення пружних віджатих вузла шпинделя верстата під дією сили  $P$  (по К.В. Вотінову)

1 – шпиндель; 2 - індикатор

При навантаженні і розвантаженні будуються залежності (рис. 5.2)  $y=f(P_y)$ . При цьому гілки навантаження і розвантаження характеристики жорсткості не збігаються.

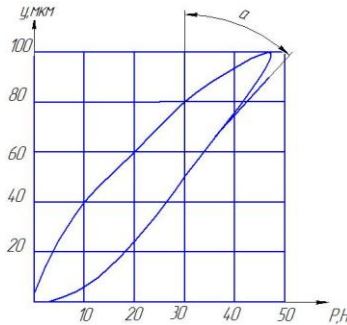


Рисунок 5.2 - Графік залежності пружних переміщень шпинделю від змін навантаження

Це пояснюється затратою енергії на подолання сили тертя в стиках і на контактній деформації. Відповідна витрата роботи виражається площею утвореної петлі гістерезису. Якщо в якій-небудь точці кривої провести дотичну, то тангенс її нахилу до осі Y висловлює собою жорсткість вузла. Жорсткість нових верстатів становить 20 – 100 кН / мм, що відповідає податливості 0,05 – 0,01 мм / кН.

При статичному методі визначення жорсткості не враховується вплив поштовхів і вібрацій, що збільшують деформацію системи ВПД, тому вона в 1,2 - 1,4 рази виявляється вище динамічної жорсткості. Розрахунок точності обробки за статичної жорсткості дає зниженні величини похибок обробки. Тому точності розрахунки бажано вести, користуючись значеннями динамічної жорсткості, а статичний метод можна використовувати для контролю жорсткості нових верстатів і окремих вузлів.

**Динамічний (або "виробничий")** метод визначення жорсткості дає більш точні значення. При переході ріжучого інструменту від одного ступеню до іншого відповідно змінюється глибина різання і пружні віджимання в системі ВПД, внаслідок чого на обробленій поверхні скопюється уступ, але значно меншою величиною.

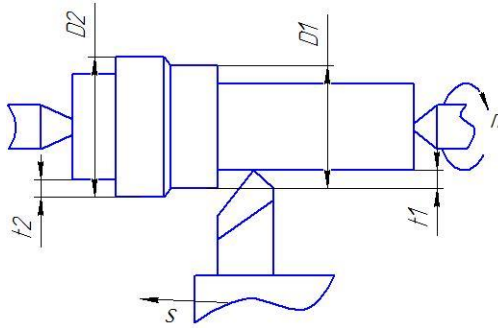


Рисунок 5.3 - Визначення жорсткості верстатів динамічним методом

Жорсткість заготовки в найпростіших випадках можна обчислити, користуючись формулами з курсу опору матеріалів. Так, оброблювану заготовку у формі гладкого валу, установленого в центрах, можна сподобити балці, що лежить на двох опорах з навантаженням  $P$ , по середині прольоту.

*Підвищити жорсткість технологічної системи можна наступними методами:*

- збільшенням власної жорсткості окремих елементів; технологічної системи за рахунок правильного вибору їх розмірів, форми, належного вибору матеріалів та проведення термічної обробки, а також створенням рівномірних деталей, доданням їм форм рівного опору діючим в технологічній системі силам, застосуванням ребер жорсткості, додаткових опор і т. д.;
- збільшенням контактної жорсткості за рахунок зменшення шорсткості і хвилястості сполучених поверхонь і створенням попереднього натягу в з'єднаннях;
- зменшенням загального числа елементів технологічної системи ВПД. Як відомо, податливість технологічної системи визначається сумою податливості складових елементів, тож зменшення їх числа підвищує жорсткість всієї системи;
- застосуванням додаткових регульованих опор і люнетів, які самовстановлюються.

## **6 ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ.**

На шорсткість поверхні, обробленої різанням, впливає велика кількість чинників, пов'язаних з умовами виготовлення заготовки. Висота і форма нерівностей, а також характер розташування й напрямок оброблювальних рисок залежать від прийнятого виду і режиму обробки; умов охолодження і мастила інструменту; хімічного складу і мікроструктури оброблюваного матеріалу; конструкції, геометрії і стійкості ріжучого інструменту; типу і стану використовуваного обладнання, допоміжного інструменту і пристосувань.

Всі різноманітні фактори, що обумовлюють шорсткість обробленої поверхні, можна об'єднати в три основні групи: причини, пов'язані з геометрією процесу різання; пластичної і пружної деформаціями оброблюваного матеріалу і виникненням вібрацій ріжучого інструменту щодо оброблюваної поверхні.

Переважаючий вплив на формування шорсткості поверхні надає (як правило) одна з трьох зазначених груп причин, яка і визначає характер і величину шорсткості. Однак в окремих випадках шорсткість виникає в результаті одночасного і майже рівнозначного впливу всіх зазначених причин і внаслідок цього не має чітко виражених закономірностей.

### **Вплив режимів різання на шорсткість поверхні.**

#### **Вплив глибини різання.**

Глибина різання прямого впливу на шорсткість поверхні не робить; вплив проявляється через силу різання  $P_y$ :

$$P_y = C_y + t^x P \times S^y P \times HB^n,$$

зі зміною якої відбувається зміна величини пружних віджимань, а відповідно змінюється і висота мікронерівностей - (це справедливо при обробці як лезовим інструментом, так і при шліфуванні).

### Вплив подачі на шорсткість поверхні.

При обробці звичайним лезовим інструментом з головним кутом в плані  $\varphi = 30 \dots 60^\circ$  і допоміжним кутом  $\varphi_1 = 2 \dots 16^\circ$  вплив подачі на шорсткість оброблюваної поверхні значний. На рис. 6.1 наведено графік зміни шорсткості поверхні  $Rz$  в залежності від зміни величини подачі при обробці сталі 45 прохідним різцем з головним кутом в плані  $\varphi = 45^\circ$ , при глибині різання  $t = 0,5$  мм і швидкості різання  $V = 50$  м / хв.

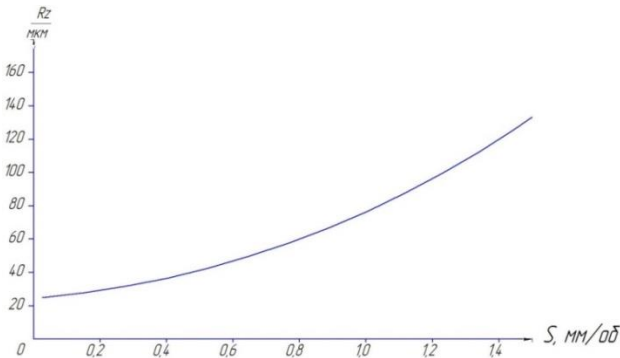


Рисунок 6.1 - Вплив подачі на шорсткість поверхні при точінні

Як видно з рис. 6.1 збільшення подачі від 0,2 до 1,4 мм / об, висота мікронерівностей збільшується від 20 до 120 мкм, тобто виходить залежність близька до лінійної.

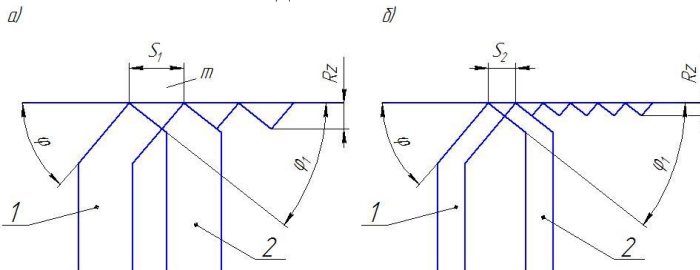


Рисунок 6.2 – Вплив подачі на шорсткість поверхні ( $\varphi; \varphi_1 = const$ )

При роботі з невеликими подачами зменшення подачі не тільки не знижує висоту шорсткості, але і за певних умов може навіть викликати її зростання. В цьому випадку при зниженні подачі в кілька разів збільшується питома сила різання, а також підвищуються ступінь пластичної деформації металу оброблюваної поверхні і стружки, усадка стружки, наріст на різці і, в кінцевому рахунку, висота шорсткості. Точіння з подачею менше 0,12 мм / об не призводить до зниження висоти шорсткості за законом параболи (рис.6.3, крива 3), як цього слід було б очікувати відповідно до теоретичної формулою, а викликає лише незначне зменшення шорсткості (крива 2) або навіть її збільшення (крива 1). У заштрихованій області відбувається збільшення шорсткості в зв'язку з пружними і пластичними деформаціями металу.

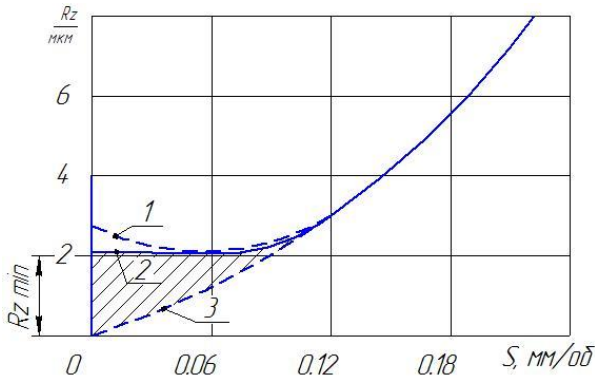


Рисунок 6.3 – Залежність шорсткості від подачі

Таким чином, навіть при мінімальній подачі не можна повністю усунути шорсткість обробленої поверхні. У зв'язку з цим для забезпечення найменшої шорсткості обробленої поверхні і високої продуктивності чистове точіння вуглецевих конструкційних сталей слід проводити при  $s = 0,05 \div 0,12$  мм / об.

При точінні кольорових сплавів добре доведеними або алмазними різцями  $t_{min}$  зменшується, тому для зниження висоти шорсткості може виявитися корисним зменшення подачі до  $s = 0,01 \div 0,2$  мм / об.

*При шліфуванні:*

- поперечна подача рівна для всіх методів глибини різання, прямого впливу на шорсткість поверхні не робить; непрямий вплив проявляється через силу різання і деформацію деталі, при цьому шорсткість поверхні може досягати помітної величини, усувається – виходжуванням;

- поздовжня подача у всіх випадках впливає на шорсткість оброблюваної поверхні, зі збільшенням її шорсткість поверхні збільшується;

- більш помітно на шорсткість оброблюваної поверхні впливають: зернистість круга; швидкість обертання деталі; глибина різання; число додаткових подвійних ходів при «виходжуванні»;

- при збільшенні зернистості круга, швидкості обертання деталі і глибини різання шорсткість поверхні збільшується;

- збільшення швидкості обертання шліфувального круга і часу «виходжування» зменшує шорсткість поверхні.

*При свердлінні* вплив подачі на шорсткість поверхні дуже велике, яке аналогічно точінню.

### **Вплив швидкості різання на шорсткість поверхні.**

Швидкість різання є одним з найбільш істотних факторів, що впливають на розвиток пластичних деформацій при точінні.

Малі швидкості різання вуглецевих конструкційних сталей → невелике підвищення температури і утворення елементної стружки. Відділення стружки відбувається легко; нерівності на обробленій поверхні незначні.

Зі збільшенням швидкості різання до 40 м / хв в процесі утворення стружки виділяється велика кількість теплоти, яка сприяє пластичному течінню металу уздовж передньої і задньої поверхні різця. В деякий момент під дією зусиль, що притискають шари металу до передньої поверхні різця і високої температури шари металу приварюються до передньої (і частково задньої) поверхні утворюючи нарід. При швидкості різання 20-40 м / хв. нарід найбільш великий і стійкий. При подальшому підвищенні швидкості різання, кількість теплоти збільшується. Нарід нагрівається швидше решти зони деформації, і сили зчеплення окремих частинок наросту вже не можуть надати достатнього опору силам тертя стружки, що стікає, тому частки



метала застійної зони, несуться разом зі стружкою. Наріст зменшується і в інтервалі  $v_{piz} = 60-70$  м / хв повністю зникає. При подальшому підвищенні швидкості різання нарости на різці не утворюються.

При великих швидкостях різання, що досягають 200 м / хв, спостерігається збільшення шорсткості поверхні, внаслідок появи вібрацій. Наріст впроваджується в стружку і в оброблену поверхню - зіпсована. Позитивні сторони - оберігає ріжучу кромку інструменту; недоліки - погіршення шорсткості поверхні, періодичність сили і поява вібрацій. Наріст бажане явище при чорновій обробці, в інших випадках - небажане.

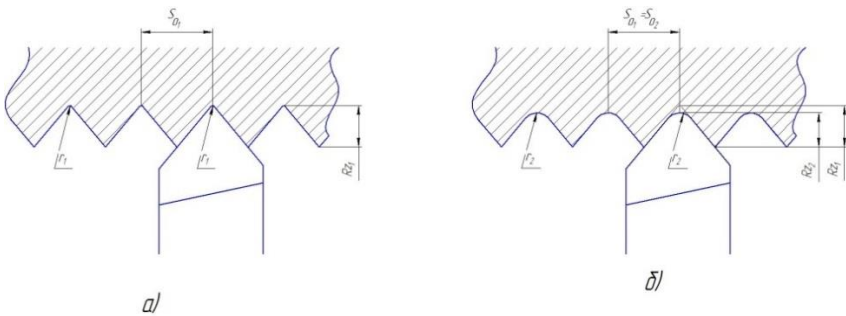
Заходи усунення наросту: зменшення подачі, застосування МОР, матеріал інструменту неспоріднений з оброблюваним матеріалом - мінералокераміка.

При чистовій обробки конструкційних вуглецевих сталей  $5 \text{ м} / \text{мін} \geq v \geq 70 \text{ м} / \text{хв}$ .

### Вплив геометрії ріжучого інструменту на шорсткість поверхні.

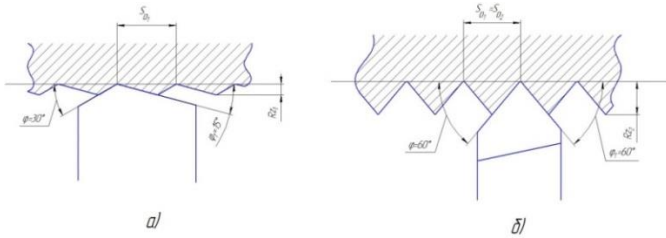
На шорсткість оброблюваної поверхні сильно впливає радіус заокруглення вершини різця  $r$ .

Чим більше  $r$ , тим менше висота мікронерівностей (рис. 6.4, а, б).



а - шорсткість поверхні  $R_{z1}$  з меншим значенням радіуса заокруглення  $r_1$  вершини різця; б – шорсткість поверхні  $R_{z2}$  з радіусом заокруглення  $r_2$  вершини різця ( $r_2 > r_1$ );  $S_{01}$ ,  $S_{02}$  – подача

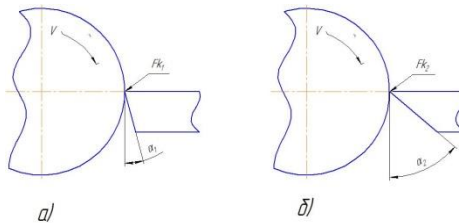
Рисунок 6.4 - Вплив радіуса заокруглення вершини різця на шорсткість оброблюваної поверхні



а - з меншим значенням кута в плані; б - с більшим значенням кута в плані

Рисунок 6.5 – Вплив кутів в плані різця на шорсткість поверхні

З рис. 6.5 видно, що зі збільшенням кутів в плані, при незмінній глибині різання  $t$  і подачі  $S_0$ , величина шорсткості поверхні збільшується - це вплив прямий. Непрямий вплив - зворотній, тому що сила різання  $P_y$  та величина пружних віджатій зі збільшенням кутів в плані  $\varphi$  і  $\varphi_1$ , буде зменшуватися. Отже, при остаточній обробці кути необхідно вибирати мінімальними, одночасно зменшуючи глибину різання, а відповідно і силу різання  $P_y$ . Число проходів при цьому збільшується. Задній кут  $\alpha$  визначає площу контакту задньої грані інструменту і обробленої поверхні (рис. 6.6, а, б). Зі збільшенням заднього кута  $\alpha$ , площа контакту  $F_k$  зменшується. Відповідно в меншій мірі копіюються на обробленої поверхні деталі нерівності задній грані інструменту.



а - з невеликим заднім кутом  $\alpha_1$ ; б - з заднім кутом  $\alpha_2 > \alpha_1$ ;

$F_{k1}$  - площа контакту деталі і різця для заднього кута  $\alpha_1$ ;

$F_{k2}$  - площа контакту деталей і різця для заднього кута  $\alpha_2$

Рисунок 6.6 - Вплив заднього кута різця на шорсткість поверхні

Мікрогеометрія ріжучої кромки повністю копіюється при обробці: фасонним інструментом; мірним (фрези, розгортки).

За наявними практичними даними при затупленні ріжучого інструменту і появи на ньому зазубрин  $R_z$  обробленої поверхні зростає:

- при точінні – на 50-60%;
- фрезеруванні циліндричними фрезами – на 100-115%;
- фрезеруванні торцевими фрезами – на 35-45%;
- свердлінні – на 30-40%;
- розгортанні – на 20-30%.

Рекомендується ретельне (бажано алмазне) доведення інструментів і своєчасне переточування.

### **Вплив механічних властивостей, хімічного складу і структури матеріалу на шорсткість поверхні.**

Шорсткість оброблюваної поверхні зменшується при обробці:

1. Вуглецевих сталей з підвищеним вмістом вуглецю.
2. Дрібнозернистих, в порівнянні з крупнозернистими.
3. Заготовок, що містять глобулярний перліт, в порівнянні з заготовками з пластинчастим перлітом.
4. Твердих високолегованих сталей, в порівнянні з м'якими і в'язкими.

У всіх випадках зменшення шорсткості відбувається завдяки поліпшенню оброблюваності: починає домінувати при стружкоутворенні зсув і сколювання замість «відриву» шару, що видаляється.

### **Вплив мастильно-охолоджувальної рідини.**

Застосування МОР сприяє поліпшенню процесу стружкоутворення, що призводить:

- а) до зменшення зносу - підвищення стійкості інструменту;
- б) зменшення сили різання.

В результаті зменшується величина пружних віджимань елементів технологічної системи ВПД, а, отже, поліпшується шорсткість оброблюваних поверхонь деталей машин.

В якості ЗОР використовують рослинні і мінеральні масла - емульсії, які знижують шорсткість оброблюваних поверхонь на 25 - 40% у порівнянні з обробкою без охолодження.

Ретельне очищення і фільтрація ЗОР, з метою видалення абразиву й стружки, сприяють поліпшенню шорсткості при шліфуванні і інших способах абразивної оздоблювальної обробки.

**Вплив часу роботи інструменту на шорсткість поверхні в межах прийнятої стійкості незначне.**

При цьому позначається вплив «приробітку» інструменту в процесі різання на шорсткість поверхні. В результаті «приробітку» (первинного зносу) леза інструменту протягом, приблизно 20 хв, шорсткість оброблюваної поверхні зменшується. У міру «затуплення», в період «нормального зносу», шорсткість оброблюваної поверхні поступово зростає. В кінці періоду стійкості настає різке збільшення шорсткості, що призводить до необхідності негайної заміни інструменту.

Параметри шорсткості визначаються умовами роботи деталі в експлуатації, так як вони впливають на зносостійкість, контактну витривалість і опір втоми.

За заданою на кресленні величиною шорсткості вибираються режими обробки з урахуванням забезпечення мінімальної трудомісткості обробки.

## 7 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ ТЕОРІЇ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ.

*Розмірний ланцюг* - це сукупність розмірів, що утворюють замкнутий контур і визначають точність взаємного положення поверхонь однієї деталі або декількох деталей в складальному з'єднанні. Машина, вузол, деталь можуть мати кілька розмірних ланцюгів. Ланцюги з лінійними розмірами позначають буквами українського алфавіту, а ланцюги з кутковими розмірами - буквами грецького алфавіту.

**Складові розмірного ланцюга.** Кожний розмірний ланцюг має ланку, яка називається вихідною або замикаючою. *Замикаючим розміром* або *замикаючою ланкою* називають розмір, який найбільш суттєво впливає на характер роботи механізму і в процесі складання (або механічної обробки) виходить останнім. Всі інші розміри розмірного ланцюга називають складовими, які в свою чергу можуть бути збільшуючи або зменшуючи, в залежності від того, як вони впливають на замикаючу ланку.

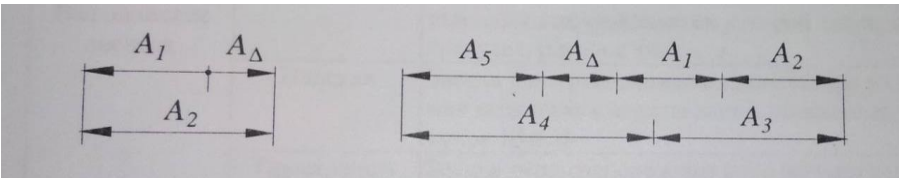


Рисунок 7.1 – Схеми розмірних ланок

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_i$  – складові ланки розмірного ланцюга - конкретні розміри поверхонь деталей;

$A_\Delta$  - замикаюча ланка – це той новий розмір, який виникає при складанні

### Класифікація розмірних ланцюгів.

Розміри деталей (як і самі деталі) в зібраному виробі взаємопов'язані. Ці взаємозв'язки зображують розмірними зв'язками, які утворюють конструкторські розмірні ланцюги.

*Конструкторська розмірна ланка* – це ланцюг, який визначає відстань або відносний поворот між поверхнями або осями поверхонь

деталі у виробі. Конструкторські розмірні ланцюги можуть бути детальними і складальними. Розмірний ланцюг, що визначає точність відносного розташування осей і поверхонь однієї деталі, називається *детальною розмірною ланкою*.

Розмірна ланка, що визначає точність відносного розташування осей і поверхонь декількох деталей, називається *складальною розмірною ланкою*.

*Технологічна розмірна ланка* – розмірний ланцюг, що забезпечує потрібну відстань або відносний поворот між поверхнями виробу при виконанні операції або ряду операцій збирання, обробки, при налагодженні верстата або при розрахунках технологічних розмірів.

*Вимірювальна розмірна ланка* – розмірна ланка, що виникає при визначенні відстані або відносного повороту між поверхнями виробу, що виготовляється або вже виготовлено.

### Похибки замикаючої ланки.

$$\omega_{\Delta} = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_i + \dots + \omega_n = \sum_{i=1}^n \omega_i \quad (7.1)$$

$$\omega_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial A_{\Delta}}{\partial A_i} \right| \omega_i = \sum_{i=1}^n \xi_i \omega_i \quad (7.2)$$

За аналогією можемо записати для поля допуску замикаючої ланки:

- для плоских розмірних ланцюгів з паралельними ланками

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n TA_i \quad (7.3)$$

- для кутових і просторових розмірних ланцюгів

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \xi_i TA_i \quad (7.4)$$

де  $i = 1, 2, \dots, n$  – номер складової ланки розмірного ланцюга;  
 $n$  – кількість складових ланок;  $\omega_{\Delta}$  – поле розсіювання замикаючої ланки;  $\omega_i$  – поле розсіювання  $i$ -ої складової ланки;  $\xi_i = \partial A_{\Delta} / \partial A_i$  –

передавальне відношення – приватна похідна;  $TA_{\Delta}$  - поле допуску замикаючої ланки;  $TA_i$  – поле допуску складової ланки.

### **Шляхи підвищення точності машин.**

З аналізу вище отриманих формул (7.1)- (7.4) можна визначити наступні шляхи (напрями) підвищення показників точності машин:

1. Скорочення кількості складових ланок  $n$  розмірного ланцюга. Це конструкторський шлях підвищення точності машин.

2. Зменшення величини передавальних відносин  $\frac{\partial A_{\Delta}}{\partial A_i} = \xi_i$  кожною з цих ланок. Це також конструкторський шлях.

3. Підвищення точності кожною зі складових ланок, тобто зменшення полів розсіювання  $\omega_i$  при виготовленні деталей. Це технологічний шлях підвищення точності машин.

Найбільший ефект дає одночасне використання трьох перерахованих напрямків.

### **Завдання, які вирішуються за допомогою розмірних ланцюгів.**

За допомогою теорії розмірних ланцюгів вирішуються такі конструкторські, технологічні та метрологічні завдання:

1. Встановлення геометричних і кінематичних зв'язків між розмірами деталей, розрахунок номінальних значень, відхилень і допусків розмірних ланцюгів.

2. Розрахунок норм точності і розробка технічних умов на машини і їх складові частини.

3. Аналіз правильності простановки розмірів і відхилень на робочих кресленнях деталей.

4. Розрахунок міжопераційних розмірів, припусків і допусків, перерахунок конструкторських розмірів на технологічні (вибір варіанта базування).

5. Обґрунтування послідовності технологічних операцій при виготовленні і збірці деталей.

6. Обґрунтування і розрахунок необхідної точності пристосувань.

7. Вибір способів і методів вимірювань, розрахунок точності вимірювань.

*Завдання синтезу (пряма задача)*, коли за відомими характеристиками замикаючих ланок  $A_{\Delta}, TA_{\Delta}, ESA_{\Delta}, EIA_{\Delta}, \Delta_0 A_{\Delta}$  визначають такі ж характеристики складових ланцюгів. Виконує це конструктор.

*Завдання аналізу (зворотне завдання)*, коли за відомими характеристиками складових ланок  $A_i, TA_i, ESA_i, EIA_i, \Delta_0 A_i$  визначають характеристики замикаючої ланки. Цю задачу відносять до перевіреного розрахунку розмірної ланцюга.

Пряма задача не вирішується класичними методами, так як у рівнянні (7.1) і (7.3) або (7.2) і (7.4) відомих одне, а невідомих  $n$ . Тому при вирішенні таких завдань вдаються до штучних прийомів.

Розроблено два способи (прийоми) рішення прямого завдання:

- допуски на всі складові ланки приймають рівними, тобто  $TA_i = TA_{\Delta}/n$ . Цей спосіб використовується в тих випадках, коли складові ланки розмірного ланцюга знаходяться в одному розмірному інтервалі (втулка – вал – проміжок), або коли розмірний ланцюг малоланцюговий –  $m \leq 4$ ;
- допуски на складові ланки призначають по єдиному квалітету точності. Цим способом користуються при визначенні допусків багатоланкових розмірних ланцюгів –  $m \geq 5$ .

### **Методи розрахунку розмірних ланцюгів.**

До теперішнього часу розроблені і широко використовуються два методи вирішення розмірних ланцюгів:

- метод максимуму-мінімуму, використовується коли  $n \leq 4$ ;
- імовірнісний метод, використовується коли  $n \geq 5$ .

### **Методи забезпечення точності при складанні.**

#### **Технологічна класифікація методів досягнення точності збірки.**

Досягти необхідної точності збірки - значить отримати розмір замикаючої ланки розмірного ланцюга, що не виходить за межі допустимих відхилень. Для досягнення необхідної точності замикаючої ланки розмірного ланцюга існує п'ять технологічних методів: метод повної взаємозамінності, метод неповної взаємозамінності, метод



групової взаємозамінності, метод підгонки і метод регулювання. Відповідно до існуючих методів досягнення точності замикаючої ланки розрізняють п'ять методів складання, що носять аналогічні назви.

### **Метод повної взаємозамінності – ПВЗ.**

**Сутність методу ПВЗ.** Розрахунок розмірних ланцюгів на основі методу ПВЗ проводиться в тих випадках, коли в розмірному ланцюгу повинна бути забезпечена 100% взаємозамінність, а це можливо, коли сума допусків складових ланок дорівнює або менше допуску замикаючої ланки, призначеного конструктором виходячи із службового призначення  $TA_{\Delta_{\text{с.п.}}}$  або з умов експлуатації  $TA_{\Delta_{\text{дексп}}}$ , тобто

$$\sum TA_i = TA_{\Delta} \leq TA_{\Delta_{\text{с.п.}}} = TA_{\Delta_{\text{дексп}}}$$

Збірка в цьому випадку виконується без підбору деталей, з довільним їх з'єднанням у сполученнях механізмів, агрегатів або машин.

### **Метод регулювання.**

Як досягти потрібної точності замикаючої ланки розмірного ланцюга, якщо задана точність дуже висока, більше ніж точність будь-якого складової ланки? Наприклад, розмірний ланцюг складається з  $n=9$  ланок. Допуск замикаючої ланки:

$$TA_{\Delta_{\text{ср}}} = TA_{\Delta_{\text{дек}}} = 0,02 \text{ мм.}$$

Тоді середня точність складових ланок:

$$TA_{\text{ср}} = \frac{TA_{\Delta_{\text{дек}}}}{n} = \frac{0,02}{9} = 0,0022 \text{ мм} = 2,2 \text{ мкм}$$

Конструктори і технологи в таких випадках призначають метод досягнення точності групової взаємозамінності або метод підгонки або регулювання.

Детально розглянемо метод регулювання.

Суть цього методу полягає в тому, що необхідна точність замикаючої ланки забезпечується за рахунок зміни положення або розміру одного з складових ланок розмірного ланцюга. Цю ланка називають компенсуючою або просто компенсатором.

Метод регулювання, як і метод підгонки, дозволяє забезпечити практично будь-яку точність замикаючої ланки.

Метод регулювання здійснюють двома способами:

- зміною положення однієї з деталей (ланок) на величину зайвої похибки замикаючої ланки – рухливий компенсатор. У деяких випадках роль рухомих компенсаторів виконують окремі механізми - гвинтова пара, клиновий механізм і т.п.;
- введенням в розмірний ланцюг спеціальної деталі - компенсатора потрібного розміру – нерухомі компенсатори – зазвичай, прокладки, кільця або одна з деталей з'єднання.

Основні переваги методу:

1. Відпадає необхідність повторного складання виробу.
2. В процесі експлуатації виробу можна відновити точність замикаючої ланки.
3. Створюються передумови для організації потокового складання.

### **Метод неповної взаємозамінності – НеПВЗ.**

Сутність методу НеПВЗ полягає в тому, що збірка деталей в з'єднання і вузли виконується, як і при методі ПВЗ, з довільним з'єднанням їх в сполученнях і вузлах, тобто без вибору, підбору або вимірювання деталей.

Відмінність методу НеПВЗ від ПВЗ полягає у встановленні великих за величиною допусків на складові ланки розмірного ланцюга -  $TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n TA_i > TA_{\text{Декс}}$ . При цьому свідомо йдуть на ризик отримання невеликого відсотка виробів (від 0,5 до 3 ... 5%), похибки замикаючої ланки яких, можуть вийти за межі встановленого допуску, тобто точність замикаючої ланки забезпечується не у всіх виробів, а у більшій їх частини. Отже, певна частина (0,5 ... 5%) буде бракована і, відповідно, потребує перебирання і нової збірки з заміною деяких деталей. Все це роблять, якщо є економічна доцільність.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Медвідь, М.В. Теоретичні основи технології машинобудування / М.В. Медвідь, В.А. Шабайкович – Львів: Вища школа, 1976. – 607 с.
2. Інтегровані технології обробки матеріалів [Текст]: підручник / Е.С. Геворкян, Л.А. Тимофєєва, В.П. Нерубацький та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2016 – 238 с.
3. Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 – Прикладна механіка, 133 – Галузеве машинобудування /І.Е.Яковенко, О.А.Пермяков, А.В.Фесенко – Харків: НТУ «ХП», 2022. – 421 с.
4. Технологічне прогнозування. Вступний курс: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка та 133 – Галузеве машинобудування /О.А.Пермяков, І.Е.Яковенко – Харків: НТУ «ХП», 2022. – 160 с.
5. Погребна Н.Е., Куцова В.З., Котова Т.В. Способи зміцнення металів: Навчальний посібник.- Дніпро: НМетАУ, 2021,-89 с.
6. Технологія машинобудування. Конспекти лекцій. – [Електронний ресурс] . – Режим доступу: [http://bookwu.net/book\\_tehnologiya-mashinobuduvannya\\_1079/](http://bookwu.net/book_tehnologiya-mashinobuduvannya_1079/)