

О. В. Дерібо

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

Частина 1

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. В. Дерібо

**ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ
МАШИНОБУДУВАННЯ**

Частина 1

Вінниця
ВНТУ
2013

УДК 621.01(075)

ББК 34.5я73

Д36

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки молоді та спорту України (протокол № 10 від 30 травня 2012 р.)

Рецензенти:

В. Ф. Анісімов, доктор технічних наук, професор

Р. Д. Іскович-Лотоцький, доктор технічних наук, професор

В. І. Савуляк, доктор технічних наук, професор

Дерібо, О. В.

Д36 **Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник / О. В. Дерібо — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 125 с.**

Навчальний посібник відповідає програмі першої частини дисципліни «Основи технології машинобудування» і містить матеріали з технологічного забезпечення точності складання машин та механічної обробки заготовок деталей, а також застосування методів математичної статистики у машинобудуванні.

Посібник призначений для студентів денної та заочної форм навчання напрямів підготовки 6.050502 — Інженерна механіка та 6. 050503 — Машинобудування.

УДК 621.01(075)

ББК 34.5я73

© О. Дерібо, 2013

ЗМІСТ

Вступ	5
Розділ 1 ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА МАШИН	7
1.1 Машина як об'єкт виробництва.....	7
1.2 Виробничий і технологічний процеси.....	10
1.3 Основні техніко-економічні показники машинобудівного виробництва.....	14
1.4 Типи машинобудівного виробництва і форми організації робіт.....	17
1.5 Питання для самоконтролю.....	21
Розділ 2 ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ МАШИНИ	23
2.1 Функціональне призначення поверхонь деталей, складальних одиниць і машин.....	23
2.2 Поняття точності деталі і машини. Показники точності деталі машини.....	28
2.3 Базис і базування в машинобудуванні. Класифікація баз...	30
2.4 Методи забезпечення точності ланок замикання розмірних ланцюгів в процесах складання машин та їх технологічні особливості.....	36
2.5 Розмірний аналіз конструкції машини.....	41
2.6 Питання для самоконтролю.....	52
Розділ 3 ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	53
3.1 Поняття конструкторських і технологічних розмірів.....	53
3.2 Поняття похибки обробки.....	54
3.3 Сумарна похибка обробки.....	56
3.4 Похибка установлення заготовки у верстатний пристрій та її складові.....	58
3.4.1 Похибка базування.....	59
3.4.2 Похибка закріплення.....	62
3.4.3 Похибка пристрою.....	63
3.4.4 Характер виявлення і шляхи зменшення похибки установлення.....	65
3.5 Поняття жорсткості технологічної системи (системи ВПД). Визначення жорсткості елементів системи ВПД.....	65
3.6 Похибка обробки, що спричиняється пружними деформаціями елементів системи ВПД під дією сил різання.....	72
3.7 Розмірне настроювання верстатів для обробки партії заготовок. Похибка настроєння.....	76

3.8	Похибки обробки, що зумовлена неточністю виготовлення та розмірним зносом різального інструмента.....	82
3.9	Поняття геометричної точності верстата. Похибки обробки, що спричиняються геометричною неточністю верстата.....	87
3.10	Теплові деформації в системі ВПД.....	89
3.11	Похибки обробки, зумовлені пружними деформаціями тонкостінних заготовок під дією сил затискання.....	92
3.12	Питання для самоконтролю	95
Розділ 4 МАТЕМАТИЧНА СТАТИСТИКА В ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ.....		98
4.1	Основні терміни і означення математичної статистики, використовувані в технології машинобудування.....	98
4.2	Статистичний аналіз точності механічної обробки за допомогою побудови кривих розподілу (метод великих вибірок)	100
4.3	Статистичний аналіз точності механічної обробки за допомогою методу точкових діаграм.....	110
4.4	Питання для самоконтролю.....	113
Українсько-англійський словник найуживаніших термінів.....		114
Література.....		118
Додатки.....		120

ВСТУП

Предмет, мета, задачі, структура, зміст та особливості вивчення дисципліни «Основи технології машинобудування».

Навчальна дисципліна «Основи технології машинобудування» (ОТМ) є базовою дисципліною спеціальностей «Технології машинобудування» та «Металорізальні верстати та системи».

Предметом дисципліни є закономірності, що діють під час механічної обробки заготовок та складання машин, а також шляхи використання цих закономірностей для забезпечення бажаної якості виробів, найменшої їх собівартості та запланованого обсягу випуску.

В дисципліні розглядаються загальні положення про зв'язки та закономірності технологічного процесу виготовлення машини, а також сутність технічних і техніко-економічних заходів, за допомогою яких забезпечується заплановані показники якості машини, продуктивності праці й собівартості. Розглядаються також загальна послідовність і сутність етапів розробки технологічних процесів виготовлення деталей та складання машини.

Методологічну основу дисципліни склали праці відомих вчених у галузі технології машинобудування: Б. С. Балакшина, А. П. Соколовського, В. М. Кована, М. Є. Єгорова, І. М. Колесова, В. С. Корсакова, І. С. Солоніна, А. О. Маталіна та багатьох інших.

Навчальний посібник є узагальненням багаторічної роботи колективу кафедри «Технологія та автоматизація машинобудування» (ТАМ) Вінницького національного технічного університету. В основу змісту багатьох тем покладені підходи, запропоновані доцентом Ю. М. Дівеєвим та професором В. І. Савуляком, які у попередні роки викладали цю дисципліну.

В результаті вивчення дисципліни студент має **знати**:

- основні терміни і поняття технології машинобудування;
- основи базування і теорію розмірних ланцюгів;
- закономірності, що проявляються в процесі виготовлення машини і визначають її якість, собівартість і продуктивність праці;
- принципи розробки технологічних процесів виробництва деталей та складання машини,

вміти розробляти та аналізувати технологічні процеси виробництва деталей і складання простих вузлів, виконуючи необхідні розрахунки, у т. ч. розмірні.

Для вивчення дисципліни «Основи технології машинобудування» студенти повинні мати ґрунтовні знання з таких курсів як «Вища математика», «Фізика», «Теоретична механіка», «Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство», «Теорія різання», «Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання», «Обладнання та транспорт металообробних цехів» та інших.

У першій частині дисципліни ОТМ розглядається суть найуживаніших понять і термінів технології машинобудування, основи забезпечення точності складання машин та механічної обробки заготовок їх деталей, а також основи застосування методів математичної статистики в технології машинобудування.

Ця дисципліна є основою для подальшого вивчення низки спеціальних дисциплін, таких як «Технологія машинобудування», «Технологічна оснастка», «Технології та верстати з ЧПК», «Основи автоматизації виробництва», «Технологічні основи гнучкого автоматизованого виробництва», «Проектування пристосувань», «Програмування та налагодження верстатів з ЧПК» та інших, а також курсового і дипломного проектування.

Посібник призначений для студентів напрямів підготовки 6.050502 — Інженерна механіка та 6.050503 — Машинобудування (спеціальності подальшої інженерної та магістерської підготовки: 7.05050201, 8.05050201 — Технології машинобудування та 7.05050301, 8.05050301 — Металорізальні верстати та системи).

Розділ 1 ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА МАШИН

1.1 Машина як об'єкт виробництва

Поняття машини і виробу, склад машини, поняття службового призначення машини, якість машини та її показники.

Об'єктами машинобудівного виробництва є машини.

Машина (machine) — це механізм або сукупність механізмів, які призначені для перетворення енергії або виконання робіт. Згідно з цим розрізняють два класи машин: машини-перетворювачі енергії (генератори та двигуни), за допомогою яких один вид енергії перетворюється в інший, зручний для використання, та робочі машини, які можна поділити на технологічні (верстати, преси, ливарні машини, машини для легкої та харчової промисловості, будівельні та сільськогосподарські машини, пристрої побутової техніки тощо) та транспортні (літальні та космічні апарати, морські та річкові судна, автомобілі, електровози, вагони тощо).

Готові машини, механізми, пристрої, деталі є виробами.

Виріб (product) — це предмет або сукупність предметів, які виготовляються певним підприємством.

Всі вироби, залежно від призначення, поділяють на вироби основного і допоміжного виробництва. Вироби основного виробництва призначаються для реалізації зовнішнім замовникам, тобто є товарною продукцією, а вироби допоміжного виробництва використовуються тільки для власних потреб підприємства, яке їх виготовило.

ГОСТ 2.101 — 68 встановлює такі види виробів:

- деталі;
- складальні одиниці;
- комплекси;
- комплекти.

Вироби, залежно від наявності чи відсутності в них складових частин поділяють на:

- неспецифіковані (деталі) — які не мають складових частин;
- специфіковані (складальні одиниці, комплекси, комплекти) — які складаються з двох і більше складових частин. На ці вироби розробляється специфікація.

Деталь (part) — це виріб, виготовлений з однорідного за найменуванням і маркою матеріалу без застосування складальних операцій. Таким чином деталлю є виріб, який не має жодного рознімного чи нерознімного з'єднання. Прикладами деталей є: валик, виготовлений з одного шматка металу; вилитий корпус; відрізок кабелю або проводу заданої довжини; друкована плата; пластина з біметалевого листа; зварені з одного шматка листового металу короб чи патрубок. Фарбування чи нанесення будь-яких покриттів не змінюють належність таких виробів до деталей.

Складальна одиниця (assembling unit) — це виріб, складові частини якого мають з'єднуватися між собою на підприємстві-виготівникові складальними операціями (зкручуванням, зварюванням, паянням, склеюванням, клепаанням, запресовуванням тощо). Прикладами складальних одиниць є: автомобіль; верстат; редуктор; металевий короб, зварений з декількох листових деталей.

Складальні одиниці, які в процесі загального складання безпосередньо входять у виріб, називають складальними одиницями *першого порядку*. Наприклад, в процесі складання автомобіля двигун внутрішнього згорання є складальною одиницею першого порядку. Складальні одиниці, які безпосередньо входять в складальну одиницю першого порядку, називають складальними одиницями *другого порядку* і т. д. Зібраний виріб можна розглядати як складальну одиницю *нульового порядку*.

Складальні одиниці за рівнем функціональної залежності від інших складових частин виробу поділяють на вузли і агрегати.

Вузол (unit) — це складальна одиниця, яка здатна виконувати свою функцію тільки в складі певного виробу. Найчастіше вузол складається окремо від інших частин виробу. Прикладами вузлів є передня бабка токарно-гвинторізного верстата, стіл з полозками консольно-фрезерного верстата, коробка швидкостей вертикально-свердлильного верстата тощо.

Агрегат (aggregate) — це складальна одиниця, яка здатна виконувати свою функцію в складі різних виробів. Агрегати завжди складаються окремо від інших частин виробу і мають повну взаємозамінність. Досить часто агрегати самі є машинами. Прикладами агрегатів є електродвигуни, гідравлічні насоси, гідроциліндри, запобіжно-переливні клапани гідросистем тощо.

Комплекс (complex) — це виріб, який складається з двох і більше специфікованих виробів, не з'єднаних між собою на підприємстві-виготівникові складальними операціями, але призначених для виконання взаємопов'язаних експлуатаційних функцій. Прикладами комплексів є: цех-автомат; виріб, який складається з ракети, пускової установки та засобів керування; автоматична телефонна станція, бурова установка тощо.

Комплект (set) — це виріб, який складається з двох і більше виробів, не з'єднаних між собою на підприємстві-виготівникові складальними операціями і є сукупністю виробів, які мають спільне експлуатаційне призначення допоміжного характеру, наприклад: комплект запасних частин, комплект інструментів, комплект вимірювальної апаратури.

Кожна машина створюється для задоволення певної потреби або потреб людини, що знаходить відображення у її службовому призначенні.

Під *службовим призначенням (functional purpose of the machine)* машини розуміють максимально уточнену і чітко сформульовану задачу, для виконання якої призначається машина.

Для того, щоб машина повною мірою виконувала своє службове призначення, його слід сформулювати на самому початку проектування машини.

Формулювання службового призначення машини має містити детальні відомості, які конкретизують загальну задачу і уточнюють умови, за яких ця задача буде виконуватись. До цих відомостей мають входити не тільки якісні, але й кількісні показники, які стосуються конкретних функцій, умов роботи машини тощо.

Під час створення машини її службове призначення документально оформлюється у вигляді *технічного завдання на проектування машини (technical requirements for designing the machine)*. Цей документ зазвичай містить такі відомості.

1 Галузь використання.

2 Технічні вимоги.

2.1 Склад машини і вимоги до конструктивної будови.

2.2 Показники призначення (потужність, к. к. д., показники продуктивності тощо).

2.3 Вимоги до надійності.

2.4 Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації.

2.5 Вимоги безпеки роботи (рівень шуму, вібрації тощо).

2.6 Естетичні та ергономічні вимоги.

2.7 Вимоги до продукції, що виробляє машина; вимоги до сировини та експлуатаційних матеріалів.

2.8 Умови експлуатації, вимоги до технічного обслуговування і ремонту.

3 Економічні показники.

3.1 Річна потреба в машинах.

3.2 Економічний ефект від використання машини.

3.3 Термін окупності.

3.4 Лімітна ціна.

Формулювання службового призначення машини з подальшим оформленням у вигляді технічного завдання на проектування здійснює головний розробник машини після проведення ґрунтовних маркетингових досліджень.

Для того, щоб машина економічно виконувала своє службове призначення, вона повинна мати відповідну якість.

Якість машини (quality of the machine) — це сукупність її властивостей, які визначають відповідність її службовому призначенню і відрізняють її від інших машин.

Якість кожної машини характеризується низкою показників. На більшість з цих показників встановлюються кількісні величини з допусками на їх відхилення. Величини допусків мають забезпечувати економічність виготовлення машини, але, разом з тим, не повинні перешкоджати повноцінному виконанню нею свого службового призначення.

До основних показників якості машини відносять:

- якість продукції, що виробляється машиною;

- стабільність виконання машиною свого службового призначення;

- надійність;

- фізичну довговічність, тобто здатність зберігати початкову якість в часі;

- моральну довговічність, тобто здатність економічно виконувати службове призначення в часі порівняно з іншими машинами аналогічного призначення;

- продуктивність;

- енергоощадність (к. к. д; витрати паливно-мастильних матеріалів, електроенергії тощо);

- зручність і простота обслуговування й керування;

- рівень механізації та автоматизації;

- показники безпеки роботи.

Залежно від службового призначення певної машини для характеристики її якості можуть використовуватись і інші показники.

Вимоги, яким має відповідати якість будь-яких виробів основного виробництва (у т. ч. машинобудівних підприємств), містяться в документі, який має назву «Технічні умови» (**Specifications**). Таким чином, будь-яка товарна продукція не може виготовлятися без наявності технічних умов на цей вид продукції.

На вироби, які виготовляються у великій кількості (підшипники, електродвигуни, гідравлічні насоси і гідромотори, рукави високого тиску тощо), зміст технічних умов унормовується державними або галузевими стандартами.

1.2 Виробничий і технологічний процеси

Поняття виробничого процесу і технологічної підготовки виробництва. Структура технологічного процесу і його складові.

Виготовлення певного виробу на машинобудівному підприємстві здійснюється в результаті виконання низки цілеспрямованих дій робітників і обладнання.

Таким чином, *виробничий процес (production process)* — це сукупність всіх дій людей і знарядь виробництва, необхідних на підприємстві для виготовлення певного виробу. Згідно з цим означенням кількість виробничих процесів на певному підприємстві дорівнює кількості виробів, які на цьому підприємстві виготовляються.

Виробничий процес виготовлення машини охоплює виробництво заготовок деталей, їх обробку (механічну, термічну, хімічну тощо) зберігання на складах заготовок, деталей і вузлів, фарбування, складання вузлів і машини в цілому, регулювання, контроль якості, а також транспортування, випробування, пакування та ін.

Раціональна організація виробничого процесу неможлива без ретельної *технічної підготовки виробництва*, яка складається з:

- конструкторської підготовки виробництва (розробка конструкції виробу з відповідним комплектом конструкторської документації);

- технологічної підготовки виробництва (забезпечення технологічності виробу, розробка технологічних процесів, проектування і виготовлення засобів технологічного оснащення);

- календарного планування виробничого процесу виготовлення виробу в установлені терміни, в необхідних обсягах і з заданою собівартістю.

Технологічний процес (technological process) — це частина виробничого процесу, яка складається з цілеспрямованих дій на зміну та (або) визначення стану предмета праці [20].

Стосовно умов механоскладального виробництва наведене вище означення технологічного процесу можна викласти так: *технологічний процес — це частина виробничого процесу, під час виконання якої відбувається послідовна зміна розмірів, форми, зовнішнього вигляду або внутрішніх властивостей предмета праці та їх контроль.*

В машинобудуванні предметами праці є заготовки деталей, деталі, складальні одиниці, машини.

Важливою ознакою технологічного процесу є те, що під час його виконання відбуваються якісні зміни предмета праці.

До виробничого процесу зазвичай входять декілька технологічних процесів. Як частини виробничого процесу технологічні процеси, залежно від змісту, мають уточнені назви, наприклад, розрізняють технологічні процеси виготовлення заготовок, їх механічної, термічної та інших видів обробки, вузлового складання, загального складання та ін.

Технологічний процес виконується робітниками за допомогою обладнання, інструментів і відповідного оснащення. Робітники і використовуваними ними технологічні засоби розташовуються на певних ділянках виробничої площі, тобто на робочих місцях.

Робоче місце (working place) — це частина виробничої площі цеху, на якій розміщені один або декілька робітників, одиниця обладнання, яка ним (або ними) обслуговується, інструменти, технологічне оснащення, тимчасово заготовки і вироби, виготовлені на цьому робочому місці.

Структура технологічного процесу механічної обробки показана на рис. 1.

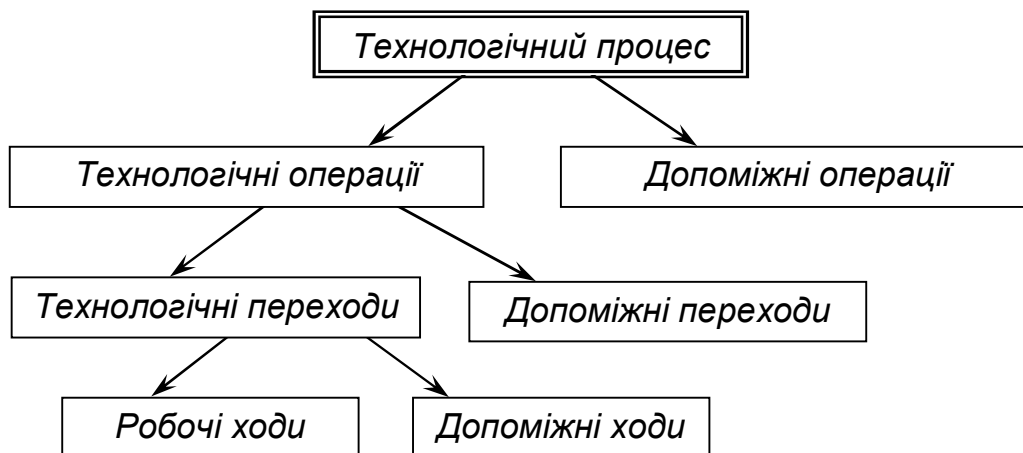


Рисунок 1 — Структура технологічного процесу механічної обробки

Згідно з [20], *технологічна операція (technological operation)* — це завершена частина технологічного процесу, яка виконується на одному робочому місці.

Для умов механоскладального виробництва поняття операції (технологічної і допоміжної) можна сформулювати так. *Операція — це частина технологічного процесу, яка виконується безперервно над одним або декількома виробами, що одночасно обробляються або складаються, на одному робочому місці.*

Під час виконання *технологічної операції* відбуваються якісні зміни предмета праці, тобто змінюються розміри, форма, зовнішній вигляд або внутрішні властивості предмета праці. Прикладами технологічних операцій є операції механічної обробки (токарні, фрезерні, шліфувальні тощо) операції термічної обробки, складальні операції та ін.

Під час виконання *допоміжних операцій (auxiliary operations)* якісних змін предмета праці не відбувається, але ці операції необхідні для підготовки технологічних операцій. Прикладами допоміжних операцій є: транспортувальні, контрольні, маркувальні, видалення стружки з деталі чи заготовки.

Умова *безперервності* операції означає виконання передбаченої її змістом роботи без переходу до обробки або складання іншого виробу. Наприклад, обробка ступінчастого валика в центрах на токарному верстаті є однією технологічною операцією, якщо її виконують у такій послідовності: встановлюють заготовку валика в центрах, обточують валик з одного кінця, переустановлюють і обточують **цей же самий валик** з другого кінця. Потім у такій же послідовності обробляють решту валиків. Цю ж саму роботу можна виконати і за дві операції, якщо спочатку **всі** валики послідовно проточити з одного кінця (перша операція), а потім послідовно проточити **всі** валики з протилежного кінця (друга операція). У кожному конкретному випадку зміст операцій вибирають таким, щоб забезпечити найменшу собівартість виготовлення виробу.

Операція є основною одиницею виробничого планування і обліку. На основі операцій визначають трудомісткість виготовлення виробу, необхідну кількість робітників, обладнання, пристроїв та інструментів, собівартість обробки та складання. На основі операцій здійснюється також календарне планування виробництва, контроль якості та термінів виконання робіт. Операція є найменшою частиною технологічного процесу, на яку розробляється технологічна документація.

Технологічна операція складається з технологічних і допоміжних переходів.

Технологічний перехід (technological step) — це завершена частина технологічної операції, яка характеризується постійністю застосовуваного інструмента і поверхонь, що утворюються під час обробки або з'єднуються під час складання.

Стосовно умов механічної обробки означення технологічного переходу можна конкретизувати за допомогою такого формулювання: *технологічний перехід — це завершена частина технологічної операції, яка виконується над однією або декількома поверхнями, одним або декількома одночасно працюючими інструментами, без змінення або з автоматичним змінням режимів роботи верстата. Під час виконання технологічного переходу відбуваються якісні зміни предмета праці, тобто змінюються його розміри, форма, зовнішній вигляд або внутрішні властивості.*

З наведеного означення випливає, що технологічним переходом є частина операції, на якій здійснюється:

- обробка певної поверхні одним простим або фасонним інструментом;
- одночасна обробка декількох поверхонь комплектом інструментів (набором фрез, комбінованим інструментом, наприклад типу «свердло-зенкер», багаторізевою розточувальною оправкою тощо);
- обробка криволінійної поверхні або комбінації декількох циліндричних і плоских поверхонь одним простим інструментом, наприклад, прохідним різцем (така обробка може виконуватись на верстаті з числовим програмним керуванням або на гідрокопіювальному верстаті).

*Допоміжний перехід (**auxiliary transition**) — це завершена частина технологічної операції, яка складається з дій робітника та (або) обладнання, які не супроводжуються якісними змінами предмета праці, але необхідні для виконання наступного технологічного переходу.*

Прикладами допоміжних переходів є: установлення заготовки у верстатний пристрій, знімання заготовки з верстатного пристрою, установлення різального інструмента в робочу позицію за рахунок повороту револьверної головки чи різцетримача, змінення режимів роботи верстата (подачі, частоти обертання шпинделя) робітником та ін.

Технологічний перехід складається з робочих і допоміжних ходів.

*Робочий хід (**cutting pass**) — це завершена частина технологічного переходу, яка складається з одноразового переміщення інструмента відносно заготовки, яке супроводжується змінами розмірів, форми, зовнішнього вигляду або внутрішніх властивостей заготовки.*

*Допоміжний хід (**auxiliary pass**) — це завершена частина технологічного переходу, яка складається з одноразового переміщення інструмента відносно заготовки, яке не супроводжується змінами розмірів, форми, зовнішнього вигляду або внутрішніх властивостей заготовки, але необхідна для підготовки наступного робочого ходу.*

Під час проектування технологічних процесів використовуються поняття позиції і установу.

*Установ (**setting**) — це частина технологічної операції, яка виконується за незмінного розташування оброблюваної заготовки або складальної одиниці.*

*Позиція (**position**) — фіксоване розташування, яке займає незмінно закріплена оброблювана заготовка або складальна одиниця разом з пристро-*

єм відносно інструмента або нерухомої частини обладнання, для виконання певної частини операції.

1.3 Основні техніко-економічні показники машинобудівного виробництва

Собівартість виробу і методи її визначення. Поняття трудомісткості, циклу, такту, ритму і програми виготовлення виробу. Відносні техніко-економічні показники.

Технологічний процес виготовлення виробу можна спроектувати і, відповідно, реалізувати у декількох варіантах. Кожен з цих варіантів має забезпечувати відповідність якості готового виробу технічним умовам і можливість виготовлення необхідної кількості виробів в установлені терміни. Найдоцільніший з варіантів вибирають після порівняння техніко-економічних показників, що характеризують ці варіанти.

Основним техніко-економічним показником будь-якого технологічного процесу є *собівартість виробу (product cost)* — сукупність всіх прямих витрат, пов'язаних із його виготовленням та реалізацією.

Залежно від видів витрат, які включають до собівартості, розрізняють собівартості: *операційну, цехову, виробничу, повну*.

Операційну собівартість складають витрати на виконання певної операції. Цехова собівартість враховує всі матеріальні і трудові витрати цеху на виготовлення виробу. Виробнича собівартість враховує цехові і загальнозаводські виробничі витрати. Повна собівартість враховує виробничу собівартість і невиробничі витрати (адміністративні витрати, витрати на рекламу та збут продукції тощо).

Для наближеного визначення цехової собівартості в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва найчастіше використовують *бухгалтерський метод*. У цьому випадку така собівартість виготовлення деталі визначається за формулою

$$C_{\text{ц}} = C_{\text{вих. заг}} + C_{\text{з.о}} + B_{\Sigma},$$

де $C_{\text{вих. заг}}$ — витрати на вихідну заготовку з відрахуванням коштів, які повертаються після здавання відходів; $C_{\text{з.о}}$ — витрати на заробітну плату основних робітників; B_{Σ} — сума всіх інших цехових витрат, які визначають у відсотках від величини $C_{\text{з.о}}$.

Тоді

$$C_{\text{ц}} = C_{\text{вих. заг}} + C_{\text{з.о}} \left(1 + \frac{a}{100} \right),$$

де a — відсоток витрат, які включають всі матеріальні, трудові та інші витрати цеху, що не увійшли в $C_{\text{вих. заг}}$ і $C_{\text{з.о}}$.

Залежно від виробничих умов, величина a може складати 150 ... 800%. Конкретне значення a встановлюється підприємством-виготівником виробу.

Бухгалтерський метод простий, але не може використовуватись для порівняння варіантів технологічних процесів, оскільки не виділяє окремих складових B_{Σ} .

Найточнішим є *метод прямого розрахунку всіх складових собівартості (елементний або калькуляційний метод)*. Цехова собівартість у цьому випадку складає

$$C_{\Sigma} = C_{\text{вих. заг}} + C_{3.0} + C_{3.н} + C_e + C_d + C_{\text{різ}} + C_{\text{вим}} + C_a + C_p + C_{\Pi} + C_{\text{в.п}} + C_{3.в}, \quad (1)$$

де $C_{3.н}$ — заробітна плата наладників із нарахуваннями; C_e — витрати на споживану технологічним обладнанням електроенергію; C_d — витрати на допоміжні матеріали; $C_{\text{різ}}$ — витрати на ремонт та амортизацію різального інструмента; $C_{\text{вим}}$ — витрати на ремонт та амортизацію вимірювального інструмента; C_a — витрати на амортизацію обладнання; C_p — витрати на ремонт та модернізацію технологічного обладнання; C_{Π} — витрати на ремонт та амортизацію верстатних пристроїв, $C_{\text{в.п}}$ — витрати на опалення, освітлення, поточний ремонт та амортизацію будівель, $C_{3.в}$ — інші (непрямі) витрати цеху (заробітна плата інженерно-технічних та допоміжних робітників із нарахуваннями, витрати на ремонт та амортизацію допоміжного обладнання, цехові транспортні витрати, витрати на охорону праці тощо).

Порівнюючи технологічні процеси з використанням елементного методу, не враховують витрати, які є однаковими для варіантів, що розглядаються. Такими витратами можуть бути, наприклад, витрати на ремонт та амортизацію вимірювального інструмента, витрати на опалення, освітлення, поточний ремонт та амортизацію будівель тощо.

Якщо у порівнюваних варіантах передбачається використання однакових вихідних заготовок, то складова $C_{\text{вих. заг}}$ у формулі (1) також не враховується. У цьому випадку визначається *технологічна собівартість (technological cost)*.

Елементний метод визначення собівартості є основним методом порівняння економічності технологічних процесів у всіх відповідальних випадках, особливо в умовах крупносерійного і масового виробництва.

У менш відповідальних випадках, а також під час розрахунків технологічної собівартості для серійного і дрібносерійного виробництва використовується *нормативний метод*. Цей метод ґрунтується на тому, що витрати на споживану технологічним обладнанням електроенергію та різальний інструмент пропорційні основному часу, а решта складових, які входять у

формулу (1), пропорційні загальній тривалості операції, тобто штучно-калькуляційному часу ($T_{шт-к}$).

Розрахунок технологічної собівартості $C_{Т_0}$ певної операції за вартістю верстато-години полягає у визначенні за нормативними таблицями [3, 10] витрат по кожному з елементів цієї собівартості або технологічних витрат в цілому і перемноженню цих витрат на трудомісткість даної операції, тобто

$$C_{Т_0} = \frac{C_{в-г} T_{шт-к}}{60},$$

де $C_{в-г}$ — вартість верстато-години роботи обладнання, $T_{шт-к}$ — штучно-калькуляційний (для масового виробництва штучний) час (в хвилинах) операції.

Крім собівартості виробу для характеристики роботи машинобудівного підприємства, цеху чи дільниці використовуються й інші прямі та відносні техніко-економічні показники.

До прямих показників відносять: трудомісткість одиниці продукції, цикл її виготовлення, такт і ритм випуску, програму виготовлення виробів і обсяг партії виробів.

Трудомісткість виготовлення виробу

$$T = \sum_{i=1}^n t_{шт-к_i},$$

де n — кількість операцій; $t_{шт-к_i}$ — штучно-калькуляційний час i -ї операції.

Цикл виготовлення виробу (product manufacturing cycle) — проміжок календарного часу від початку першої операції до завершення останньої операції виготовлення виробу. Цикл виготовлення виробу включає час виконання технологічних та допоміжних операцій і час пролежування заготовок, деталей та складальних одиниць між операціями (робочими місцями). Слід зазначити, що збільшення тривалості циклу підвищує собівартість і тому перед будь-яким підприємством стоїть задача максимально можливого скорочення циклу. Ефективним засобом скорочення тривалості циклу є використання потокової і змінно-потокової форми організації робіт. Такі форми організації робіт практично виключають міжопераційне пролежування.

Такт випуску виробу (time of product output) — проміжок часу, через який відбувається випуск певного виробу.

Ритм випуску виробу (rhythm of product output) — кількість виробів, які випускаються в одиницю часу.

Такт і ритм випуску виробу використовуються для характеристики тільки потокового і змінно-потокового виробництва, тобто в масовому і крупносерійному виробництві.

Програма виготовлення виробів (products manufacturing program) — кількість виробів, які мають бути виготовлені протягом певного відрізка часу.

Партія виробів (production lot) — група виробів одного найменування й типорозміру, які виготовляються безперервно протягом певного інтервалу часу.

Для характеристики ефективності виробництва використовуються також відносні техніко-економічні показники:

- випуск продукції (в гривнях, штуках, тоннах) на одного робітника основного виробництва;
- теж саме на одного працівника підприємства;
- теж саме на 1 м² виробничої площі;
- теж саме на 1 м² загальної площі.

1.4 Типи машинобудівного виробництва і форми організації робіт

Визначення типу виробництва. Головні ознаки та основні характеристики одиничного, серійного, масового виробництва. Форми організації робіт (потокі, змінно-потокі, непотокі).

Технологічний процес безумовно має забезпечувати виконання всіх вимог до якості виробу за найменшої собівартості й забезпечувати його виготовлення в кількості і в терміни, які встановлені виробничою програмою. Ці вимоги виконуються тільки в тому випадку, коли спроектований технологічний процес відповідає типу виробництва, у якому він буде здійснюватися.

Згідно з [20] залежно від широти номенклатури, регулярності, стабільності та обсягу випуску продукції в машинобудуванні розрізняють такі типи виробництва: одиничне, серійне і масове.

Основним показником, який характеризує тип виробництва, є *коефіцієнт закріплення операцій* $K_{з.о}$ [22]. Цей коефіцієнт для певної виробничої ділянки цеху визначається як відношення всіх технологічних операцій, які виконані або мають бути виконані на цій ділянці протягом місяця, до кількості робочих місць, тобто

$$K_{з.о} = \frac{\sum_{i=1}^m O_i}{m},$$

де O_i — кількість операцій, які виконуються на i -му робочому місці, m — кількість робочих місць на ділянці.

Одиначне виробництво

Одиначне виробництво (**unit production**) характеризується виготовленням виробів широкої номенклатури, але незначними обсягами випуску *однакових* виробів.

Головною ознакою одиначного виробництва є те, що повторне виготовлення виробів наперед не передбачається і не планується.

Певний виріб виготовляється повторно тільки після того, як підприємство отримало відповідне замовлення.

В одиначному виробництві на кожному з робочих місць виконуються різноманітні технологічні операції, які повторюються нерегулярно або не повторюються зовсім, тому коефіцієнт закріплення операцій для цього типу виробництва не визначається і, відповідно, не унормовується.

Виробами одиначного виробництва є дослідні зразки машин, унікальне обладнання для машинобудування і металургії, об'єкти ракетно-космічної техніки, судна великої тоннажності, продукція допоміжного виробництва машинобудівних і приладобудівних заводів тощо.

Для одиначного виробництва характерні такі ознаки:

- обладнання універсальне, яке розташовується в цехах за технологічними групами (токарна, фрезерна, шліфувальна і т. і. дільниці);
- верстатні пристрої, різальні та допоміжні інструменти — універсальні;
- заготовки деталей — найпростіші (вилівки в піщано-глинисті форми, гарячий та холодний прокат, поковки тощо);
- точність складання забезпечується переважно методами припасовування і регулювання, тому взаємозамінність багатьох деталей і вузлів у виробках практично відсутня (взаємозамінними є лише комплектуючі деталі і складальні одиниці, які виготовляються в умовах масового і серійного виробництва — електродвигуни, гідроагрегати, підшипники кочення, нормалізовані кріпильні вироби тощо);
- кваліфікація робітників дуже висока, оскільки від неї значною мірою залежить якість продукції;
- на багатьох дільницях використовується суміщення професій;
- технологічна документація є дуже стислою і спрощеною.

Серійне виробництво

Серійне виробництво (**batch production**) характеризується вужчою номенклатурою виробів, ніж одиначне виробництво, і більшими обсягами виготовлення однакових виробів. В сучасному машинобудуванні на підприємствах серійного виробництва виготовляється близько 80% всіх виробів. Прикладами виробів серійного виробництва є літальні апарати, металорізальні й деревообробні верстати, сільськогосподарські машини, машини для легкої, харчової та переробної промисловості тощо.

Головною ознакою серійного виробництва є те, що вироби виготовляються партіями, які періодично повторюються, причому терміни виготовлення партій кожного з виробів заздалегідь плануються.

Партія — це група виробів одного найменування й типорозміру, які виготовляються безперервно протягом певного інтервалу часу.

Згідно з ГОСТ 3.1121-84 [22] залежно від величини коефіцієнта закріплення операцій розрізняють дрібносерійне ($20 < K_{з.о} \leq 40$), середньосерійне ($10 < K_{з.о} \leq 20$) та крупносерійне ($1 < K_{з.о} \leq 10$) виробництво.

Інші ознаки серійного виробництва такі:

- обсяг випуску однакових виробів знаходиться в межах від десятків до тисяч штук;

- обладнання — універсальне, розташовується в цехах за технологічними групами з урахуванням напрямів основних вантажопотоків; в сучасному серійному виробництві широко використовуються верстати з ЧПК і гнучкі автоматичні лінії, побудовані на базі цих верстатів;

- верстатні пристрої, різальні та допоміжні інструменти — переважно універсальні, але в економічно обґрунтованих випадках може використовуватись і високопродуктивне спеціальне технологічне оснащення (особливо — в крупносерійному виробництві);

- точність вихідних заготовок суттєво залежить від обсягу випуску однакових деталей і тому можуть використовуватися виливки в піщано-глинисті форми, гарячий і холодний прокат, поковки на молотах, пресах, горизонтально-кувальних машинах, точні способи лиття (в кокіль, під тиском, в оболонкові форми, за виплавними моделями) та ін.;

- кваліфікація робітників у середньому нижча, ніж в одиничному виробництві, але вища, ніж у масовому; разом з робітниками високої кваліфікації, що працюють на складних універсальних верстатах (у т. ч. з ЧПК), використовуються і робітники-оператори нижчої кваліфікації, які працюють на спеціалізованих верстатах;

- технологічна документація детально розробляється тільки для складних виробів.

Масове виробництво

Масове виробництво (**mass production**) характеризується вузькою номенклатурою виробів і дуже великими обсягами їх виготовлення.

Головною ознакою масового виробництва є те, що однакові вироби безперервно виготовляються протягом тривалого часу; при цьому на кожному з робочих місць виконується тільки одна операція. Саме через це коефіцієнт закріплення операцій для масового виробництва вважається рівним одиниці (ГОСТ 3.1121-84) [22].

На підприємствах масового виробництва виготовляються автомобілі і трактори, їх складові частини (двигуни внутрішнього згорання, паливна

апаратура, електроагрегати тощо), засоби побутової техніки, електродвигуни, гідроагрегати, недорогі наручні годинники, підшипники кочення, різноманітні кріпильні деталі та багато інших подібних виробів.

Використовується переважно спеціальне високопродуктивне обладнання, яке розташовується за потоковим принципом, тобто згідно з послідовністю виконання операцій технологічного процесу. Одиниці обладнання з'єднуються між собою транспортувальними засобами, а робочі місця — завантажувально-розвантажувальними пристроями.

В сучасному масовому виробництві вироби виготовляються за незмінними кресленнями протягом досить коротких термінів. Жорстка конкуренція зумовлює постійний пошук шляхів зниження собівартості виробів і, разом з тим, покращення їх споживчих властивостей. Тому провідні фірми для задоволення попиту потенційних покупців з різним матеріальним станом та інтересами систематично змінюють і розширюють номенклатуру виробів широкого вжитку. Саме через це підприємства, які їх виробляють, використовують для механічної обробки складних точних деталей високопродуктивні верстати з ЧПК, у т. ч. багатоцільові, а також верстатні комплекси. Саме таке обладнання дозволяє без значних часових затрат переходити на виготовлення нових виробів. Висока продуктивність досягається за рахунок використання різальних інструментів з надтвердих матеріалів і, відповідно, високих швидкостей різання, а також здійснення допоміжних ходів з високими швидкостями. Компонування сучасних верстатів з ЧПК дозволяє виконувати одночасну обробку декількох заготовок, а також одночасну роботу декількох різальних інструментів.

Інші ознаки масового виробництва такі:

- верстатні пристрої — швидкодійні спеціальні; різальні та допоміжні інструменти — в основному спеціальні (для обробки простих поверхонь можуть використовуватись універсальні інструменти);

- способи виготовлення вихідних заготовок — високопродуктивні, і такі, що забезпечують мінімальні припуски на механічну обробку: точні способи лиття (в кокіль, під тиском, в оболонкові форми, за виплавними моделями), періодична і поперечно-клинова прокатка, гаряче об'ємне штампування тощо.

- кваліфікація робітників-операторів може бути невисокою, але робітники-наладники, які обслуговують спеціальні верстати і верстати з ЧПК, повинні бути вельми кваліфікованими;

- технологічна документація розробляється дуже детально.

Слід зазначити, що затрати на технічну підготовку масового виробництва виробів, особливо складних, можуть бути дуже значними. Але, оскільки ці затрати рівномірно розподіляються між великою кількістю однакових виробів, собівартість кожного з них, порівняно із серійним і особливо дрібносерійним та одиничним виробництвом, є значно меншою. Крім того, масове виробництво характеризується високим рівнем організації всіх етапів виробничого процесу. Це один з основних чинників, який дозволяє забезпечувати відносно низьку собівартість виробів.

Форми організації робіт

В машинобудуванні використовують дві форми організації робіт — потокову і непотокову.

Основними властивостями *потокової* форми організації робіт є неперервність і рівномірність. В поточковому виробництві заготовка (або група заготовок) після завершення першої операції зразу ж подається на другу, потім на третю і т. д., а повністю оброблена деталь (або група деталей), зразу ж передається на складальну дільницю.

Важливою ознакою потокової форми організації робіт є використання *синхронізації операцій (synchronization of operations)*. Синхронізація операцій передбачає, що час виконання кожної з операцій має бути приблизно рівним або кратним такту випуску виробу. Підпорядкованість такту випуску всього виробничого процесу і забезпечує його рівномірність.

У *непотоковому виробництві* такт випуску виробів не визначається і, відповідно, як техніко-економічний показник не використовується. Виробничий процес регулюється графіком, складеним з урахуванням планових термінів і трудомісткості виготовлення виробів. Складання виробу починають тільки за наявності повного комплекту всіх деталей, тому передбачається їх проміжне зберігання на складах або на робочих місцях.

Потокова форма організації робіт використовується в масовому виробництві, а непотокова — в одиничному, дрібносерійному та середньосерійному.

Принципи потокової форми організації робіт використовуються в крупносерійному виробництві під час виготовлення виробів, близьких за конструктивними ознаками. Такі вироби об'єднуються в групи. Виготовлення здійснюють поточковим способом в межах партії однакових виробів. З переходом до виготовлення партії інших виробів обладнання переналагоджується, а такт випуску змінюється. Цю форма організації робіт називають *змінно-потоковою*.

1.5 Питання для самоконтролю

1. Поняття машини. Склад машини. Що таке деталь, складальна одиниця, вузол, агрегат? Наведіть приклади.

2. Поняття виробу. Види виробів. Чим відрізняється виріб основного виробництва від виробу допоміжного виробництва?

3. Поняття службового призначення машини. Ким і на якій стадії створення машини воно розробляється і у вигляді якого документа оформляється?

4. Поняття якості машини. Яким документом регламентуються показники якості машини?

5. Поняття виробничого і технологічного процесів.

6. Структура технологічного процесу механічної обробки.

7. Поняття операції (технологічної і допоміжної), робочого і допоміжного ходу, робочого місця, установу, позиції. Наведіть приклади.
8. Поняття переходу (технологічного і допоміжного). Наведіть приклади.
9. Поняття робочого і допоміжного ходу. Наведіть приклади.
10. Поняття робочого місця, установка, позиції. Наведіть приклади.
11. Поняття собівартості виробу. Що таке операційна, цехова, виробнича та повна собівартості?
12. Дайте порівняльну характеристику бухгалтерського та елементного способів визначення собівартості.
13. Які статті витрат складають технологічну собівартість виготовлення деталі?
14. Який спосіб визначення собівартості використовується для порівняння можливих варіантів маршруту механічної обробки?
15. Поняття циклу виготовлення виробу, такту і ритму випуску виробу, програми виготовлення виробів, партії виробів.
16. Назвіть відносні техніко-економічні показники машинобудівного виробництва.
17. Головна ознака одиничного виробництва. Наведіть приклади виробів, які виготовляються в умовах одиничного виробництва.
18. Головна ознака серійного виробництва. Наведіть приклади виробів, які виготовляються в умовах серійного виробництва.
29. Головна ознака масового виробництва. Наведіть приклади виробів, які виготовляються в умовах масового виробництва.
20. Як визначається тип виробництва?
21. Дайте порівняльну характеристику потокової і непотокової форм організації робіт. У яких типах виробництва ці форми використовуються?
22. Що таке змінно-потокова форма організації робіт? У якому типі виробництва ця форма використовується?

Розділ 2 ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ МАШИНИ

2.1 Функціональне призначення поверхонь деталей, складальних одиниць і машин

Поняття виконавчих поверхонь машини, конструкторських основних і допоміжних баз, кріпильних і вільних поверхонь.

Машина виконує своє службове призначення за допомогою певних поверхонь або їх сукупностей. Такі поверхні називають *виконавчими поверхнями машини (executive surfaces of a machine)*. Наприклад, виконавчими поверхнями токарного верстата є: поверхні шпинделя, на які встановлюються верстатні пристрої (патрони, планшайби тощо); конічний отвір задньої бабки, поверхні різцетримача або револьверної головки, призначені для встановлення різального та допоміжного інструмента.

З огляду на функціональне призначення поверхонь деталей та складальних одиниць, розрізняють такі їх види:

- конструкторські основні бази;
- конструкторські допоміжні бази;
- кріпильні поверхні;
- вільні поверхні.

Конструкторська основна база деталі (designing main base of part) — це поверхня або сукупність поверхонь, що належать цій деталі і визначають її розташування у складальній одиниці. *Конструкторською основною базою складальної одиниці (designing main base of assembling unit)* є поверхня або сукупність поверхонь, що належать цій складальній одиниці і визначають її розташування у складальній одиниці вищого порядку або у машині.

Для повної орієнтації деталі у складальній одиниці або складальній одиниці в машині потрібен так званий комплект конструкторських основних баз, який завжди складається з трьох таких баз.

Конструкторська допоміжна база деталі (designing auxiliary base of part) — це поверхня або сукупність поверхонь, що належать певній деталі і визначають розташування інших деталей або складальних одиниць відносно цієї деталі. *Конструкторською допоміжною базою складальної одиниці (designing base auxiliary of assembling unit)* є поверхня, що належить певній складальній одиниці і визначає розташування іншої деталі або складальної одиниці відносно цієї складальної одиниці.

Кількість конструкторських допоміжних баз деталі або складальної одиниці визначається кількістю деталей або складальних одиниць, які приєднуються до даної деталі або складальної одиниці. Наприклад, у деталі типу «корпус» може бути досить багато конструкторських допоміжних баз, а деталь типу «кришка» може взагалі їх не мати.

Важливим є також те, що виконавчі поверхні машини є разом і конс-

трукторськими допоміжними базами відповідних її деталей і машини в цілому. Наприклад, виконавча поверхня — площина столу вертикально-свердлильного верстата є і конструкторською допоміжною базою верстата, оскільки визначає розташування верстатного пристрою, встановленого на столі, відносно верстата.

Правильне виявлення поверхонь, які є конструкторськими базами, особливо важливе під час розроблення складальних і робочих креслень машинобудівних виробів, оскільки точність розмірів цих поверхонь, точність їх відносного розташування, величини відхилень від правильної геометричної форми, а також показники шорсткості безпосередньо впливають на точність і стабільність просторового розташування деталей у механізмі чи машині і, відповідно, суттєво впливають на якість виконання механізмом чи машиною свого службового призначення.

Розробляючи робоче креслення деталі, потрібно забезпечувати чіткий геометричний взаємозв'язок її конструкторських основних і допоміжних баз, передбачаючи відповідні вимоги розташування допоміжних баз відносно основних.

Кріпильні поверхні (fastening surfaces) призначені для розташування в них (або на них) кріпильних деталей (болтів, шпильок, гайок, шплінтів, стопорних пружинних кілець, пружинних шайб тощо). Важливим є те, що ці поверхні не є базами, і тому вимоги до точності їх розмірів і до точності їх відносного розташування не такі жорсткі, як у випадку конструкторських баз. Разом з тим, вимоги точності до кріпильних поверхонь мають бути достатніми для забезпечення легкості складання і розбирання машини або складальної одиниці під час їх виготовлення та ремонту.

Поверхні, які не сполучаються з поверхнями інших деталей, називають *вільними поверхнями (free surface)*. Ці поверхні потрібні для надання деталі форми, яка забезпечить виконання нею свого службового призначення у виробі.

Зазвичай вільні поверхні не піддають механічній обробці, але деколи така обробка виконується, наприклад:

- під час виготовлення швидкообертаних деталей (валів, шпинделів, маховиків, шківів, зубчастих коліс тощо) — у таких деталях вільні поверхні повинні мати правильну геометричну форму і точне просторове розташування відносно конструкторських основних баз деталі для зменшення впливу незрівноваженості та спрощення динамічного балансування;

- під час виготовлення деталей, які зазнають значних знакозмінних навантажень, для підвищення їх втомної міцності;

- якщо вільні поверхні використовуються як технологічні бази (наприклад, центрові отвори валів) та в інших обґрунтованих випадках.

Для прикладу розглянемо двоступінчастий механічний редуктор, кінематична схема якого показана на рис. 2.

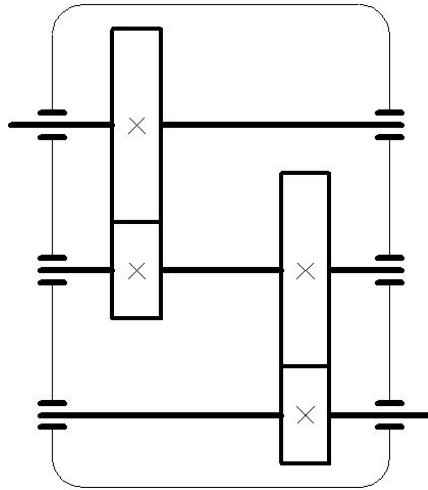


Рисунок 2 — Кінематична схема редуктора

Визначимо функціональне призначення однієї з деталей редуктора — проміжного вала. Конструктивна схема вузла проміжного вала показана на рис. 3.

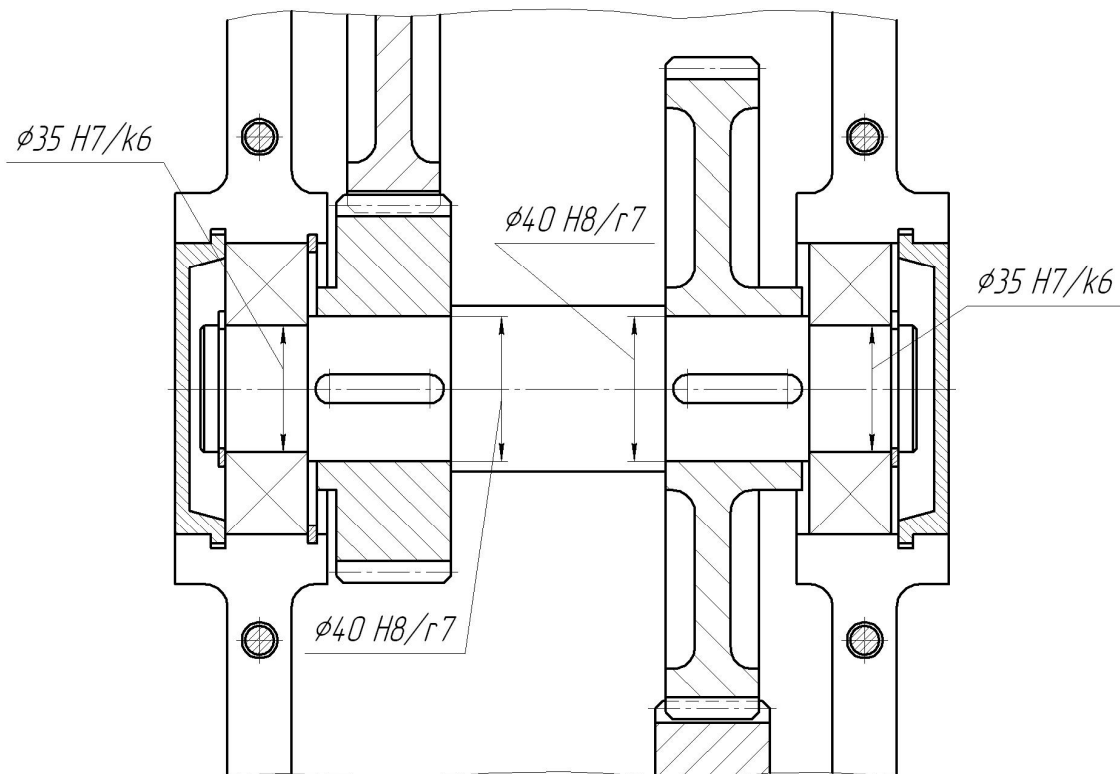


Рисунок 3 — Конструктивна схема вузла проміжного вала

Призначенням будь-якого вала є передавання крутного моменту й забезпечення заданого просторового розташування зубчастих коліс або інших деталей, які на ньому встановлені.

Знайдемо поверхні проміжного вала, які є конструкторськими основними базами. Очевидно, що просторове розташування вала визначають такі його поверхні (див. рис. 3): дві шийки ($\text{Ø}35\text{к6}$) під підшипники кочення; торець, який сполучається із зафіксованим в корпусі в осьовому напрямі підшипником; бокові поверхні шпонкового паза, за допомогою якого передається крутний момент з ведучого зубчастого колеса на проміжний вал. Таким чином, саме ці поверхні проміжного вала і є його конструкторськими основними базами (рис. 4).

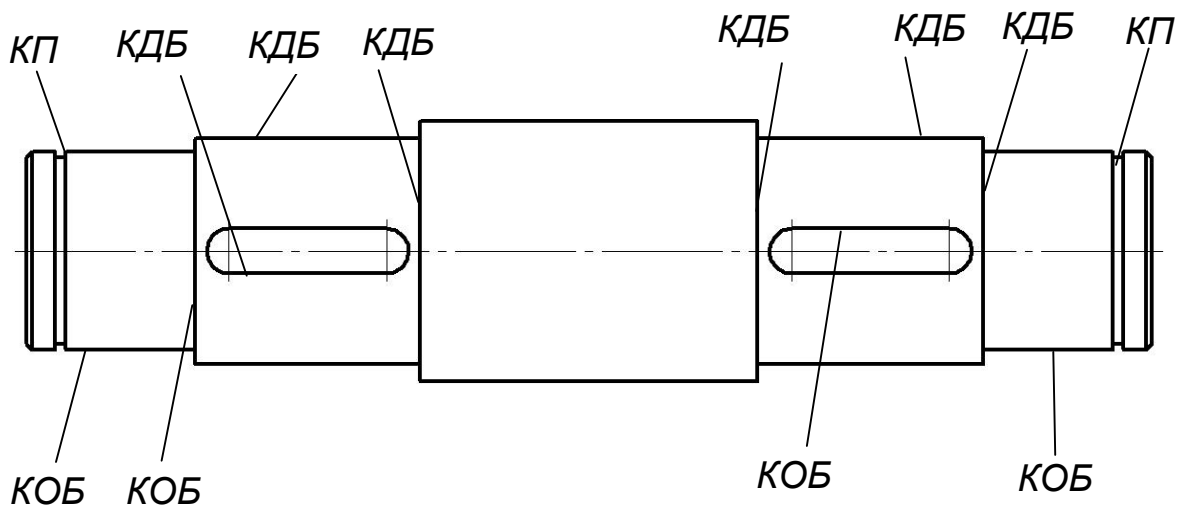


Рисунок 4 — Функціональне призначення поверхонь проміжного вала: КОБ — конструкторська основна база, КДБ — конструкторська допоміжна база, КП — кріпильна поверхня

Знайдемо поверхні вала, які є *конструкторськими допоміжними базами*.

Просторове розташування ведучого зубчастого колеса відносно проміжного вала визначають такі поверхні проміжного вала: циліндрична поверхня $\text{Ø}40r7$; торець, який сполучається з ведучим зубчастим колесом.

Просторове розташування веденого зубчастого колеса відносно проміжного вала визначають такі поверхні вала: циліндрична поверхня $\text{Ø}40r7$; торець вала, який сполучається з веденим зубчастим колесом; бокові поверхні шпонкового паза, за допомогою якого передається крутний момент на ведене зубчасте колесо.

Просторове розташування «плаваючого» підшипника відносно проміжного вала визначає торець вала, з яким цей підшипник сполучається.

Таким чином, згадані вище поверхні проміжного вала і є його констру-

кторськими допоміжними базами.

Кріпильними поверхнями вала є дві канавки (див. рис. 4), у які, після напрусування підшипників кочення, встановлюються стопорні кільця.

Вільними поверхнями є решта поверхонь вала.

З урахуванням функціонального призначення всіх поверхонь вала і розглянутих вище вимог точності до просторового розташування цих поверхонь розроблене креслення вала (рис. 5).

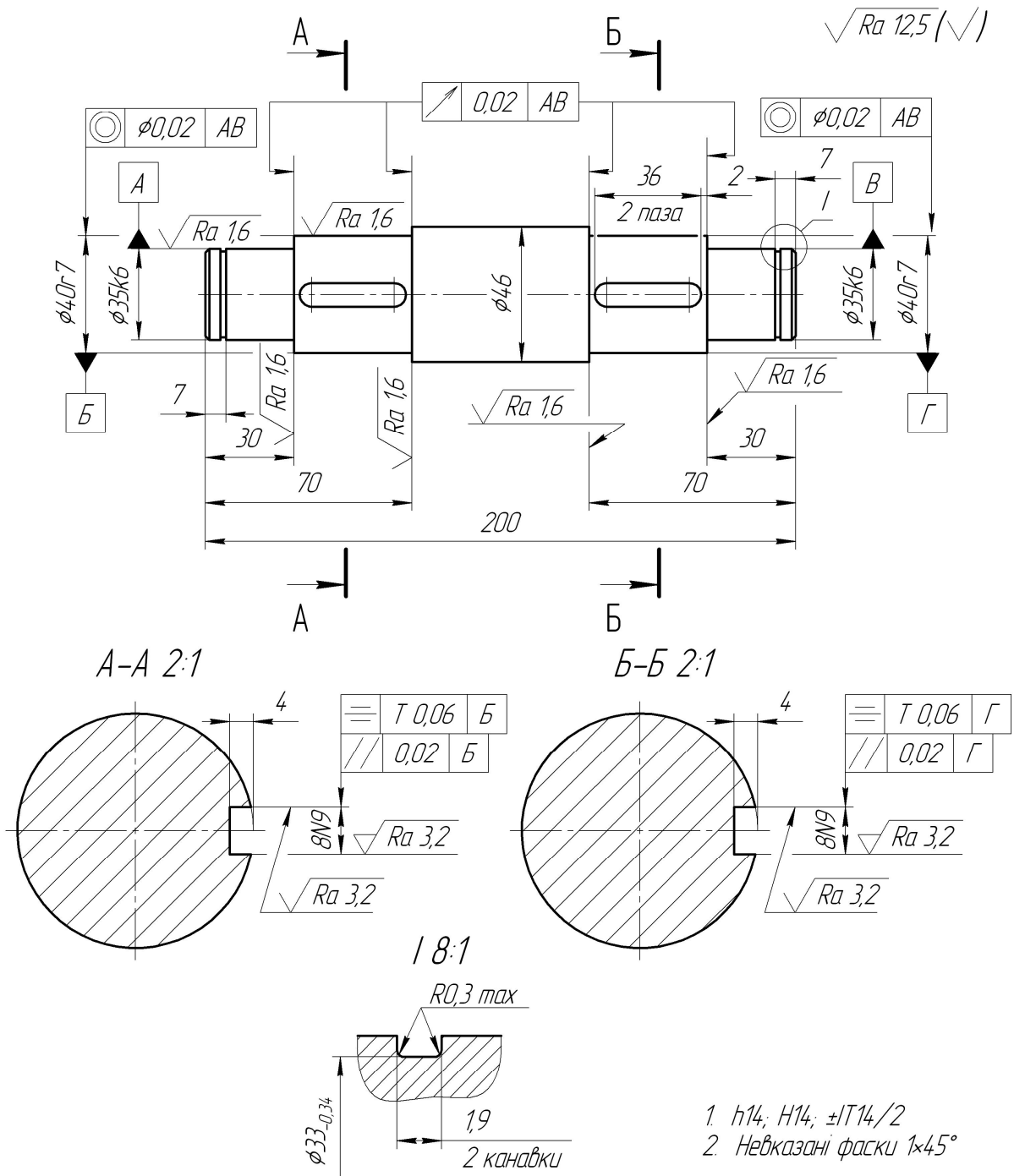


Рисунок 5 — Креслення проміжного вала

2.2 Поняття точності деталі і машини. Показники точності деталі машини

Поняття точності деталі і машини. Групи показників точності деталі і зв'язки між ними. Групи показників точності машини.

Точність більшості виробів машинобудування є однією з характеристик, яка безпосередньо впливає на якість цих виробів.

Сучасні потужні і високошвидкісні машини (автомобілі, літаки, металорізальні і деревообробні верстати, газові і парові турбіни та багато інших машин) не можуть функціонувати за недостатньої точності їх виготовлення через виникнення вібрацій, які спричиняють швидкий знос і руйнування деталей цих машин. Тому забезпечення необхідної точності деталей і машини в цілому є однією з найважливіших задач, які розв'язуються під час механічної обробки і складання машин.

Під *точністю деталі (accuracy of the part)* і *точністю машини (accuracy of the machine)* розуміють ступінь їх наближення до геометрично правильного прототипу.

Виготовити будь-яку деталь абсолютно точно, тобто у повній відповідності з її бажаною геометричною формою і бажаними розмірами, неможливо. Тому за міру точності беруть, з одного боку, допустимі відхилення від бажаних значень, а з другого — виміряні дійсні відхилення форми і розмірів.

Таким чином, для усіх показників точності деталі і машини, необхідно встановлювати допустимі відхилення або допуски. Сукупність цих показників точності та їх допуски визначаються службовим призначенням машини.

Показники точності деталі

Показники точності деталі згідно з [1] поділяють на чотири групи.

До *першої групи* відносять показники точності розмірів поверхонь (наприклад, циліндричних) і точність лінійних відстаней між поверхнями або їх осями.

До *другої групи* відносять показники точності, які визначають точність поворотів однієї поверхні чи осі відносно іншої поверхні чи осі. Це показники, які визначають допустимі відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності довгих циліндричних поверхонь.

До *третьої групи* належать показники, які визначають допустимі відхилення реальних поверхонь від правильної геометричної форми (відхилення від площинності, прямолінійності, циліндричності, круглості тощо), тобто допуски макрогеометрії.

Четверту групу складають показники, які визначають вимоги до мікрогеометрії поверхонь (показники шорсткості).

На рис. 6 показано приклад елемента конструкції деталі з показниками точності і віднесенням кожного з них до відповідної групи.

Між показниками точності взаємопов'язаних поверхонь деталі існують якісні і кількісні зв'язки. Поки що можна говорити лише про якісні зв'язки, оскільки функціональних залежностей між показниками точності таких поверхонь на сьогодні не встановлено.

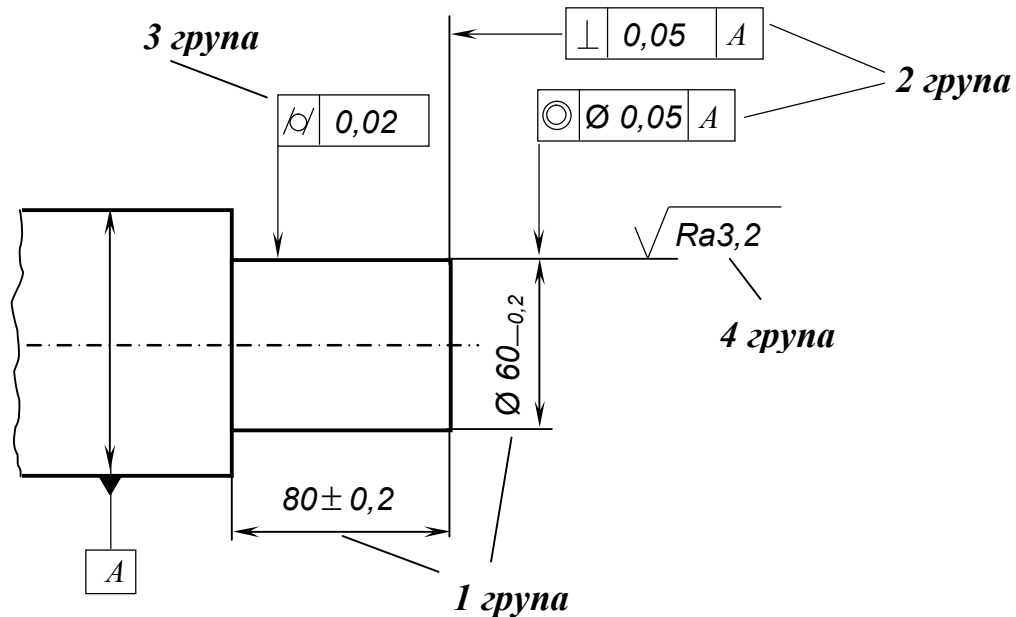


Рисунок 6 — Приклад елемента конструкції деталі з показниками точності

У підручнику [1, С. 41, 42] показано, що між групами показників точності взаємопов'язаних поверхонь деталі є такі якісні зв'язки:

1) допуски на відстані між поверхнями і розміри поверхонь (*1 група*) мають бути більшими за допуски відхилень від необхідних поворотів поверхонь (*2 група*), які, в свою чергу, мають бути більшими за допуски макрогеометричних відхилень (*3 група*), а останні — більшими за допуски мікрогеометричних відхилень (*4 група*);

2) визначення точності має починатися з вимірювання мікрогеометричних відхилень (*4 група*); потім слід визначати показники макрогеометрії (*3 група*), потім — відхилення від необхідних поворотів (*2 група*) і, нарешті, точність відстаней і розмірів (*1 група*).

Показники точності машини

Розглянуті вище показники точності деталі повною мірою використовуються і для характеристики точності машини. Різниця полягає тільки у тому, що в деталі всі показники точності стосуються поверхонь цієї деталі; у машини ж вони стосуються її (машини) виконавчих поверхонь.

Оскільки виконавчі поверхні машини під час роботи мають здійснювати певні відносні рухи, необхідні для виконання нею свого службового призначення, то одним із основних показників, які характеризують точність машини, є точність відносного руху виконавчих поверхонь.

Таким чином, точність машини характеризується такими основними показниками:

- 1) точністю розмірів виконавчих поверхонь і точністю лінійних відстаней між ними;
- 2) точністю поворотів однієї виконавчої поверхні відносно іншої виконавчої поверхні;
- 3) точністю геометричної форми виконавчих поверхонь;
- 4) шорсткістю виконавчих поверхонь;
- 5) точністю відносного руху виконавчих поверхонь.

2.3 Бази і базування в машинобудуванні. Класифікація баз

Терміни і означення, які використовуються під час розробки схем базування. Правило шести точок. Класифікація баз. Правила зображення схем базування.

Одною з найчастіше розв'язуваних у машинобудуванні задач є забезпечення необхідної точності відносного розташування двох або більшої кількості деталей.

Ця задача розв'язується:

- під час складання машини;
- під час установлювання заготовки у верстатний пристрій для її механічної обробки;
- під час установлювання різального і допоміжного інструмента на верстаті.

Для розв'язання цієї задачі створена *теорія базування*.

З теоретичної механіки відомо, що будь-яке вільне тверде тіло має шість ступенів вільності відносно трьох координатних перпендикулярних осей x , y , z . Тобто, тіло може переміщуватися у напрямі кожної з трьох осей і обертатися навколо цих осей. Таким чином, розташування твердого тіла (наприклад, деталі чи заготовки) у вибраній системі координат в будь-який момент часу визначається шістьма незалежними координатами. З цього твердження випливає, що задання положення деталі по шести координатах відбирає у неї всі шість ступенів вільності. Наприклад, якщо деталь має форму призми, то три координати, які пов'язують нижню площину деталі xOy з координатною площиною XOY , відбирають у деталі разом три ступеня вільності — можливість переміщення у напрямі осі z і обертання навколо осей x та y (рис. 7).

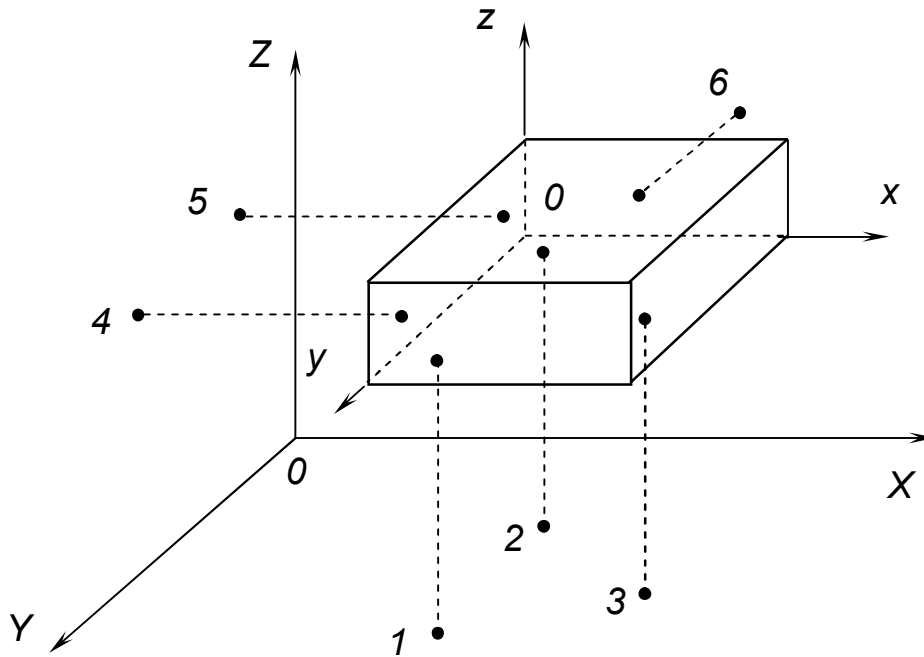


Рисунок 7 — Задання положення деталі в прямокутній системі координат

Дві координати, які пов'язують бічну площину деталі yOz з координатною площиною YOZ , відбирають у деталі разом два ступеня вільності — можливість переміщення у напрямі осі x і обертання навколо осі z , тобто відбирають у деталі ще два ступеня вільності.

Шоста координата визначає положення деталі відносно координатної площини XOZ , відбираючи у неї останній ступінь вільності — можливість переміщення у напрямі осі y .

Кожна з координат не тільки визначає відстань від точки поверхні деталі відносно координатної площини, але й відбирає у деталі один ступінь вільності. В механіці кожна з координат розглядається як двосторонній зв'язок між точкою деталі і відповідною координатною площиною.

Таким чином, для задання положення будь-якої деталі відносно вибраної системи координат іншої деталі необхідно мати шість двосторонніх зв'язків між шістьма точками деталі, що розташовані на трьох площинах координатної системи деталі, і вибраною системою координат іншої деталі.

В технології машинобудування поняття двостороннього зв'язку замінюється поняттям опорної точки.

Опорна точка (locating point) — це точка, яка символізує один з двосторонніх зв'язків заготовки чи виробу з вибраною системою координат.

Відповідно, для задання положення будь-якого твердого тіла відносно іншого твердого тіла необхідно і достатньо мати шість опорних точок. Це твердження отримало назву «правила шести точок» і має надзвичайно

важливе значення для забезпечення точності розташування деталі, заготовки або складальної одиниці відносно іншої деталі або складальної одиниці.

Якщо кількість опорних точок менша шести, то визначеність положення не забезпечується, оскільки у заготовки, деталі або складальної одиниці може залишитись один або декілька ступенів вільності (залежно від того, скільки опорних точок не вистачає до шести). Слід зазначити, що якщо згідно зі службовим призначенням деталей або складальна одиниця повинна мати певну кількість ступенів вільності, то відповідна кількість опорних точок (двосторонніх зв'язків) знімається.

Якщо кількість опорних точок більша шести, то базування також буде невизначеним. Це неминуче призведе до втрати точності обробки. Щоб цього уникнути, «зайві» опорні точки конструктивно реалізують у вигляді підвідних або самоустановних опор. Такі конструкції застосовують тоді, коли нежорстку заготовку необхідно додатково підперти, щоб уникнути надто великих її деформацій від впливу сил різання або сил затискання.

Окрім поняття опорної точки, згідно з [18] в машинобудуванні прийнято такі терміни та означення основних понять теорії базування.

Базування (locating) — надання заготовці чи виробу необхідного положення відносно вибраної системи координат.

База (base) — поверхня чи сукупність поверхонь, вісь, точка, що належать заготовці чи виробу, і використовуються для базування.

Схема базування (locating chart) — схема розміщення опорних точок на базах заготовки чи виробу.

Закріплення (clamping) — прикладання сил чи пар сил до заготовки або виробу для забезпечення постійності їх положення, досягнутого під час базування.

Установлення (component setting) — процес базування й закріплення заготовки чи виробу.

Всі бази, які використовуються в машинобудуванні, підпорядковані класифікації [18], схема якої показана на рис. 8.

Означення кожної з баз такі.

Конструкторська база (designing base) — база, що використовується для визначення положення деталі чи складальної одиниці у виробі.

Конструкторська основна база (designing main base) — база, яка належить базованій деталі чи складальній одиниці і використовується для визначення її положення у виробі.

Конструкторська допоміжна база (designing auxiliary base) — база, що належить деталі чи складальній одиниці і використовується для визначення положення приєднуваного до них виробу.

Технологічна база (technological base) — база, що використовується для визначення положення заготовки чи виробу в процесі виготовлення або ремонту.

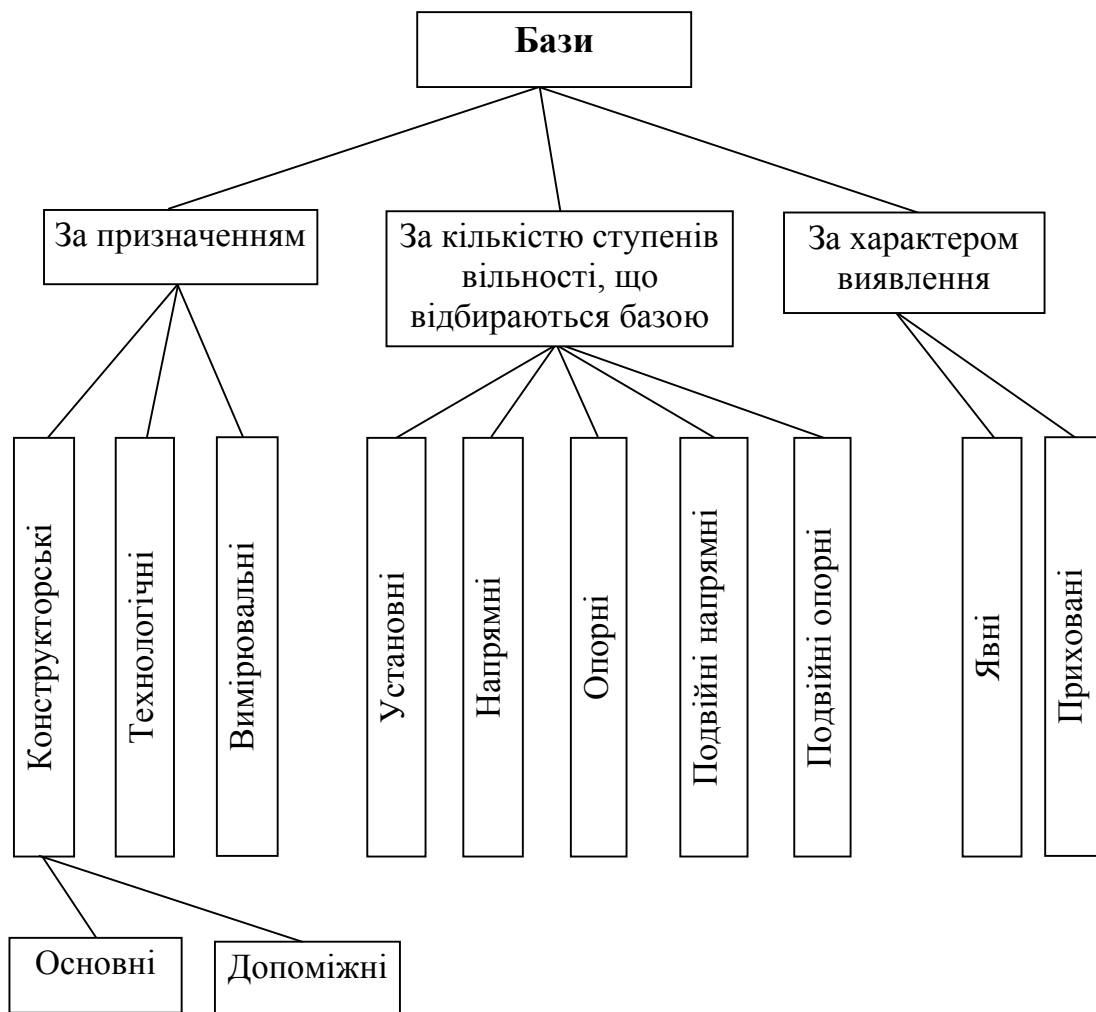


Рисунок 8 — Класифікація баз

Вимірвальна база (measuring base) — база, що використовується для визначення відносного положення заготовки чи виробу та засобів вимірювання.

Установна база (setting base) — база, яка позбавляє заготовку чи виріб трьох ступенів вільності — переміщення вздовж однієї координатної осі та обертання навколо двох інших осей.

Напрявна база (guiding base) — база, що позбавляє заготовку чи виріб двох ступенів вільності — переміщення вздовж однієї координатної осі та обертання навколо іншої осі.

Опорна база (resting base) — база, що позбавляє заготовку чи виріб одного ступеня вільності — переміщення вздовж координатної осі або обертання навколо осі.

Приклад використання установної, напрямної та опорної баз для установаження заготовки у верстатному пристрої показано на рис. 9.

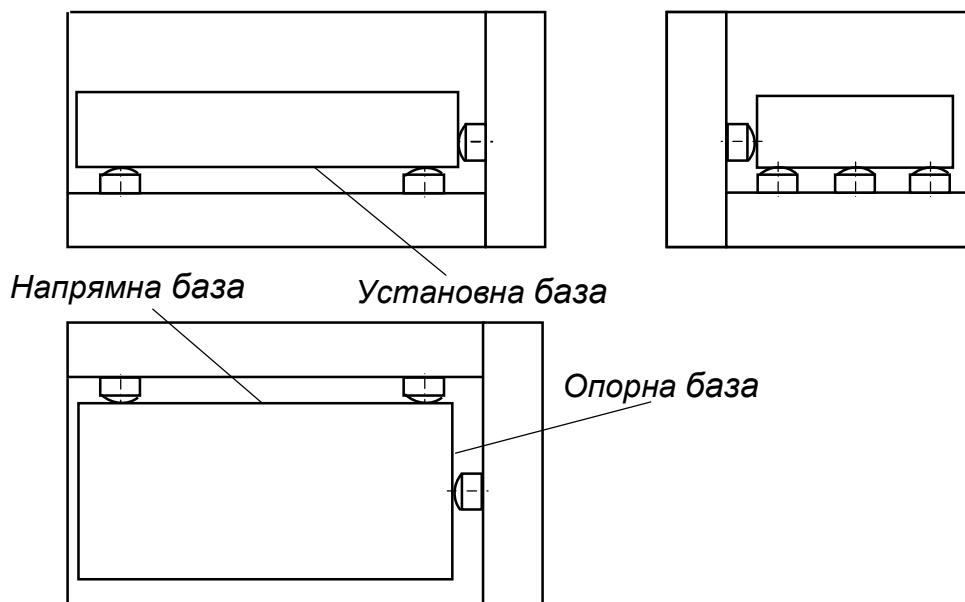


Рисунок 9 — Приклад використання установної, напрямної та опорної баз для установалення призматичної заготовки у верстатному пристрої

Подвійна напрямна база (double guiding base) — база, що позбавляє заготовку чи виріб чотирьох ступенів вільності — переміщення вздовж двох координатних осей та обертання навколо цих же осей. Прикладом такої бази є довга циліндрична поверхня скалки (рис. 10).

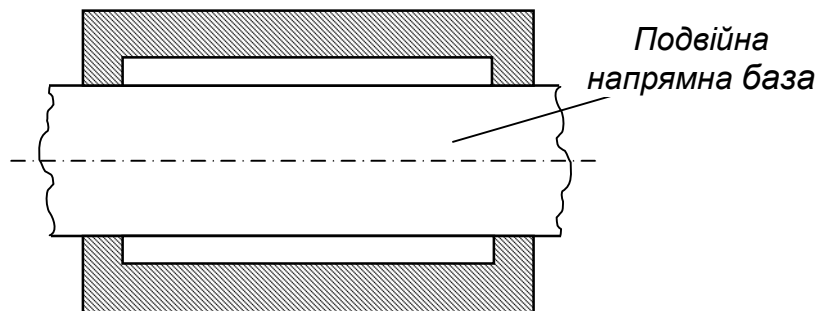


Рисунок 10 — Приклад подвійної напрямної бази

Подвійна опорна база — база, що позбавляє заготовку чи виріб двох ступенів вільності — переміщень уздовж двох координатних осей (рис. 11).

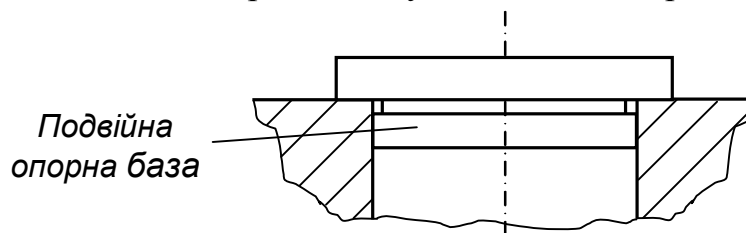


Рисунок 11 — Приклад подвійної опорної бази

Явна база — база заготовки чи виробу у вигляді реальної поверхні, розмічальної риски або точки перетину таких рисок.

Прихована база (latent base) — база заготовки чи виробу у вигляді уявної поверхні, осі або точки.

Під час розробляння технологічних процесів способи базування заготовок або деталей показують у вигляді *схем базування (locating chart)*. Опорні точки на цих схемах показують за допомогою таких умовних позначень (рис. 12). Якщо опорні точки розташовані на невидимій стороні базованої деталі, то їх показують на схемах базування штриховими лініями.

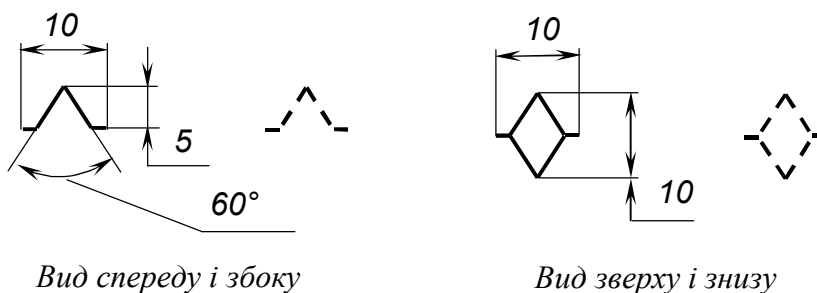


Рисунок 12 — Умовні позначення опорних точок

Правила виконання схем базування

1. На схемах базування всі опорні точки нумерують порядковими номерами починаючи з бази, на якій розташовується найбільша кількість опорних точок.

2. Якщо проєкції опорних точок збігаються, то показується одна опорна точка, а біля неї проставляються номери опорних точок, проєкції яких збіглися.

3. Кількість проєкцій деталі на схемі базування має бути достатньою для чіткого уявлення про розміщення опорних точок.

На рис. 13 показано приклад схеми базування призматичної деталі на три площини.

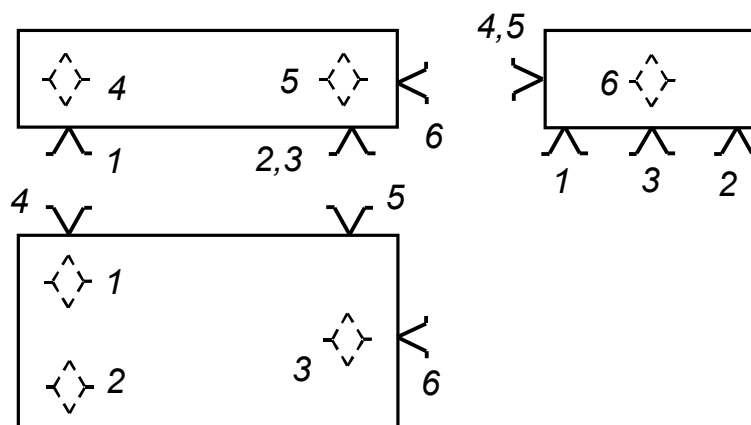


Рисунок 13 — Приклад схеми базування

У додатку А показано схеми базування, які відповідають найпоширенішим способам установлення заготовок у верстатні пристрої.

2.4 Методи забезпечення точності ланок замикання розмірних ланцюгів в процесах складання машин та їх технологічні особливості

Основні поняття та означення теорії розмірних ланцюгів. Суть методів: повної взаємозамінності, неповної взаємозамінності, групової взаємозамінності, припасовування, регулювання. Технологічні особливості використання цих методів під час складання машини.

Під час виготовлення машини мають бути забезпечені всі показники точності щодо відносного розташування виконавчих та деяких інших поверхонь виробу згідно з технічними вимогами, заданими в конструкторській документації. Ефективним засобом розв'язання цієї задачі є розрахунок і аналіз розмірних ланцюгів.

Основні поняття та означення теорії розмірних ланцюгів

Розмірний ланцюг (dimension chain) — це сукупність взаємопов'язаних розмірів, які утворюють замкнутий контур і визначають відносне розташування певних поверхонь (чи осей) деталі, заготовки або виробу.

Кожен розмір, що входить у розмірний ланцюг, називають ланкою. Будь-який розмірний ланцюг має одну вихідну (замикальну) ланку і дві або більше складових ланок.

Ланкою замикання (closing link) називають розмір, до якого висувають вимоги точності, що безпосередньо впливають на якість виробу згідно з технічними умовами.

Складовими ланками (component links) називають решту розмірів, зі зміною яких змінюється і вихідна ланка.

Ланками розмірних ланцюгів можуть бути будь-які лінійні або кутові параметри: лінійні розміри між поверхнями або осями, кути нахилу однієї поверхні або осі відносно іншої поверхні або осі, зазори, натяги, перекриття тощо.

За виглядом ланок розмірні ланцюги поділяють на *лінійні* та *кутові*. Ланками лінійних розмірних ланцюгів є лінійні розміри, а ланками кутових розмірних ланцюгів — кутові розміри.

Метою розрахунку розмірних ланцюгів є розв'язання однієї з двох задач — прямої і зворотної.

1. *Пряма задача* (проектна). Виходячи із заданих параметрів ланки замикання визначають параметри складових ланок. Тобто, на основі відомих значень номінального розміру і граничних відхилень ланки замикання, яку називають у такому випадку *вихідною ланкою*, розраховують допуски, номінальні розміри і граничні відхилення складових ланок.

2. *Обернена задача* (перевірна). Виходячи із заданих параметрів складових ланок визначають параметри ланки замикання. Тобто, на основі відомих значень номінальних розмірів, граничних відхилень, допусків і характеристик розсіювання розмірів складових ланок розраховують: номінальний розмір ланки замикання, її поле розсіювання і граничні відхилення.

Під час розв'язання оберненої задачі можуть визначатися також номінальний розмір, допуск і граничні відхилення однієї із складових ланок на основі відомих характеристик інших складових ланок і ланки замикання.

Залежно від особливостей конструкції виробу і конкретних технологічних умов під час його складання для забезпечення точності ланки замикання використовують один з таких методів:

- повної взаємозамінності;
- неповної взаємозамінності;
- групової взаємозамінності (селективного складання);
- припасовування;
- регулювання.

Метод повної взаємозамінності

Суть *методу повної взаємозамінності* (**the method of complete interchangeability**) полягає в тому, що необхідні показники точності ланки замикання забезпечуються без припасовування, регулювання або підбору, якщо на дільницю складання виробу надходять деталі, розміри яких знаходяться в межах поля допуску.

Перевагами методу повної взаємозамінності є:

- простота і низька технологічна собівартість складання, оскільки деталі з'єднуються між собою без припасовування, регулювання і підбору;
- можливість організації потокового складання;
- можливість широкого кооперування підприємств;
- спрощення системи постачання запасних частин і ремонту машин, що знаходяться в експлуатації.

До *недоліків* методу можна віднести те, що допуски складових ланок є вужчими, ніж під час використання інших методів. Це збільшує технологічну собівартість механічної обробки деталей і за жорстких вимог точності до ланки замикання може зробити застосування методу повної взаємозамінності економічно недоцільним.

Метод повної взаємозамінності використовується переважно в серійному і масовому виробництві для забезпечення точності ланок замикання розмірних ланцюгів, які мають або незначну кількість складових ланок (не більше трьох), або нежорсткі вимоги точності до ланки замикання. В одиничному виробництві повна взаємозамінність використовується лише для сполучень деталей вузла з уніфікованими або стандартизованими виробами — підшипниками кочення, нормалізованими кріпильними деталями тощо.

Метод неповної взаємозамінності

Суть *методу неповної взаємозамінності (the method of incomplete interchangeability)* полягає в тому, що під час складання необхідні показники точності ланки замикання забезпечуються зазвичай без припасовування, регулювання або підбору, але не в усіх складених виробах, а у заздалегідь встановленої їх кількості.

Метод неповної взаємозамінності, порівняно з методом повної взаємозамінності, дозволяє призначати ширші допуски складових ланок, але допускає появу незначної регламентованої кількості виробів, у яких дійсні значення ланок замикання виходитимуть за межі поля допуску.

В основу методу покладене те положення теорії імовірностей, згідно з яким сукупності значень складових ланок, близькі до граничних, трапляються значно рідше, ніж значення, близькі до середніх. Тому частка виробів, у яких величина ланки замикання виходить за межі допуску, є незначною. Додаткові витрати на виправлення цих виробів можуть бути значно меншими, ніж економія від зменшення трудовитрат і ресурсів на виготовлення деталей з ширшими допусками.

Переваги методу неповної взаємозамінності такі ж, як і методу повної взаємозамінності плюс економічність виготовлення деталей завдяки розширенню полів допусків (порівняно з методом повної взаємозамінності).

Недоліком методу є необхідність додаткових витрат на заміну або припасовування деяких деталей тих виробів, у яких значення ланок замикання вийшли за встановлені межі.

Метод неповної взаємозамінності використовується в серійному і масовому виробництві для забезпечення точності ланок замикання розмірних ланцюгів, які мають більше трьох складових ланок і досить жорсткі вимоги точності до ланки замикання.

Метод групової взаємозамінності (селективного складання)

Суть *методу групової взаємозамінності (the method of group interchangeability)* полягає в тому, що необхідні показники точності ланки замикання забезпечуються завдяки включенню в розмірний ланцюг складових ланок, які належать до однієї з груп, на які вони попередньо поділені. В межах кожної з груп показники точності ланки замикання забезпечуються без припасовування і регулювання.

Застосування методу групової взаємозамінності дозволяє навіть за дуже жорстких вимог точності до ланки замикання розширити допуски складових ланок до економічно доцільних і технологічно можливих величин.

Після виготовлення деталі розсортовуються за значеннями їх дійсних розмірів на декілька груп. Кількість груп визначається (з округленням до цілого числа) за формулою

$$n = \frac{\sum_{i=1}^m T_i}{T(A_{\Sigma})},$$

де m — кількість складових ланок; T_i — економічно доцільні технологічні допуски складових ланок; $T(A_{\Sigma})$ — заданий допуск ланки замикання.

Таким чином, важливою, але єдиною *перевагою* методу групової взаємозамінності є можливість досягнення високої точності ланки замикання за економічно доцільних технологічних допусків складових ланок.

Недоліки методу групової взаємозамінності:

- збільшення обсягів незавершеного виробництва у випадку різної кількості деталей в групах;
- додаткові витрати на сортування і зберігання розсортованих деталей;
- ускладнення забезпечення запасними частинами через розширення їх номенклатури.

Недоліки методу групової взаємозамінності є настільки суттєвими, що в сучасному машинобудуванні його використовують тільки у випадках, коли використання інших методів для забезпечення точності ланки замикання є неможливим.

Метод групової взаємозамінності використовується в крупносерійному і масовому виробництві для забезпечення точності ланок замикання розмірних ланцюгів з незначною кількістю складових ланок (3...4), наприклад під час виготовлення підшипників кочення.

Метод припасовування

Суть *методу припасовування (method of fitting)* полягає в тому, що необхідні показники точності ланки замикання забезпечуються під час складання завдяки припасовуванню механічною обробкою заздалегідь визначеної деталі (компенсатора). Розмір, що має бути досягнутий під час обробки компенсатора, встановлюється після попереднього складання виробу або його частини і вимірювання дійсного значення ланки замикання.

Застосування методу припасовування дозволяє виготовляти деталі з розширеними допусками, але під час складання потрібен додатковий час на попереднє складання виробу, вимірювання ланки замикання, часткове або повне розбирання виробу, механічну обробку компенсатора.

Таким чином, *перевагою* методу припасовування є можливість забезпечення жорстких вимог точності до ланки замикання з економічними допусками складових ланок.

Недоліки методу припасовування:

- суттєве збільшення витрат на складання;
- неможливість організації потокового складання;
- ускладнення забезпечення запасними частинами.

З огляду на ці недоліки використання методу припасовування є доцільним лише в одиничному та дрібносерійному виробництві.

Метод регулювання

Суть *методу регулювання (regulation method)* полягає в тому, що необхідні показники точності ланки замикання забезпечуються завдяки змінненню величини заздалегідь вибраної компенсувальної ланки без зняття шару матеріалу, тобто без механічної обробки.

Метод має два різновиди:

- регулювання за допомогою рухомого компенсатора;
- регулювання за допомогою нерухомого компенсатора.

Перший з цих різновидів забезпечує досягнення необхідних показників точності ланки замикання змінням положення однієї з деталей за допомогою спеціально введених в конструкцію виробу пристроїв (гвинтових, клинових тощо). Другий різновид передбачає регулювання ланки замикання за допомогою змінних деталей типу прокладок, кілець, втулок з точними, заздалегідь визначеними розмірами.

Переваги методу регулювання:

- можливість забезпечення жорстких вимог точності до ланки замикання з використанням економічних допусків складових ланок;
- відсутність припасовувальних робіт, що дозволяє широко використовувати цей метод на дільницях з поточною формою складання;
- можливість регулювання ланки замикання не тільки під час складання, але й в процесі експлуатації машини (наприклад, для компенсації зносу).

Недоліком методу є ускладнення конструкції вузла або машини.

Метод регулювання використовують у всіх типах виробництва для забезпечення точності багатоланкових розмірних ланцюгів з жорсткими вимогами точності до ланок замикання.

2.5 Розмірний аналіз конструкцій

Мета, початкові дані, задачі, послідовність виконання і зміст етапів розмірного аналізу конструкції машини.

Метою розмірного аналізу конструкцій (**dimension analysis of the construction**) є забезпечення необхідної точності машини чи іншої складальної одиниці.

В результаті виконання розмірного аналізу вибираються методи забезпечення точності всіх ланок замикання машини і обґрунтовано встановлюються вимоги точності до її деталей.

Початковими даними для виконання розмірного аналізу є складальне креслення аналізованої машини чи складальної одиниці (далі — виробу) з усіма вимогами точності, які впливають із її службового призначення.

2.5.1 Послідовність виконання розмірного аналізу машини (складальної одиниці)

Розмірний аналіз конструкції вузла є розв'язанням прямої (проектної) задачі розрахунку одного або декількох розмірних ланцюгів, які визначають відносне положення найвідповідальніших поверхонь (виконавчих поверхонь, конструкторських основних чи допоміжних баз) виробу.

Виконуючи розмірний аналіз, необхідно враховувати таке:

- лінійний розмірний ланцюг складається і розраховується у випадках, якщо потрібно забезпечити необхідні допуски лінійного розміру між поверхнями чи їх осями або співвісності коротких циліндричних поверхонь;
- кутовий розмірний ланцюг складається і розраховується у тому випадку, коли необхідно забезпечити певне кутове положення поверхонь або їх осей, наприклад, допуск паралельності або перпендикулярності.

Ланки лінійних розмірних ланцюгів зазвичай позначають великими кирилическими буквами з індексами, які відповідають порядковому номеру ланки у розмірному ланцюзі (A_1, A_2 і т. д.), а ланки кутових розмірних ланцюгів — малими грецькими буквами (α_1, α_2 і т. д.). Ланкам замикання присвоюють індекс Σ , тобто ланку замикання лінійного розмірного ланцюга позначають, наприклад, як A_Σ , а кутового — α_Σ .

Як зазначалось вище, розв'язання прямої задачі розрахунку розмірного ланцюга передбачає визначення номінальних розмірів, допусків та граничних відхилень складових ланок за заданим номінальним розміром, допусками та граничними відхиленнями ланки замикання.

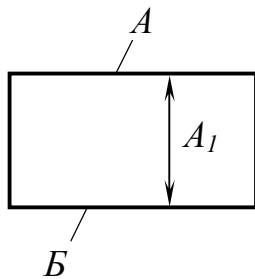
Розмірний аналіз виробу передбачає також вибір методу забезпечення точності ланки замикання.

Для розмірного аналізу конструкцій можуть використовуватись декілька способів розв'язання прямої задачі, проте найчастіше використову-

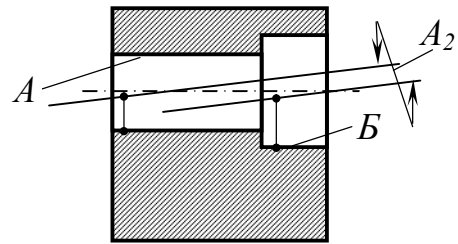
ється *метод спроб (the method of attempts)*. З використанням цього методу розмірний аналіз виробу виконується у такій послідовності.

1. З урахуванням результатів аналізу службового призначення виробу призначають номінальні значення та граничні відхилення вихідних ланок всіх лінійних та кутових розмірних ланцюгів.

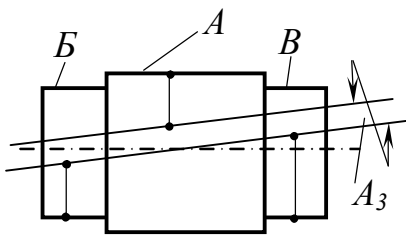
2. Креслять з дотриманням масштабних співвідношень конструктивну схему виробу. На цій схемі показують лише ті деталі, розміри яких є складовими ланками аналізованих розмірних ланцюгів. Далі з використанням показаних на рис. 14 та рис. 15 умовних позначень показують на схемі ланку замикання і складові ланки цих розмірних ланцюгів, тобто, аналізуючи конструкцію виробу, послідовно будують всі розмірні ланцюги.



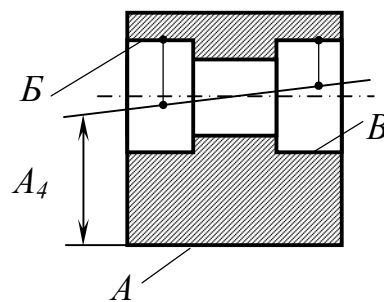
A_1 — відстань між площинами A і B



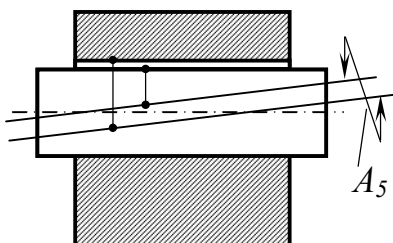
A_2 — відстань між осями отворів A і B



A_3 — відстань між віссю поверхні A та спільною віссю поверхонь B і B

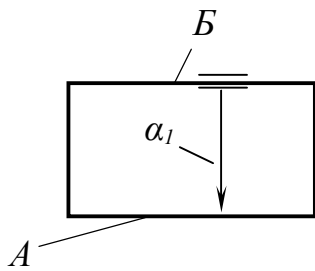


A_4 — відстань між площиною A та спільною віссю поверхонь B і B

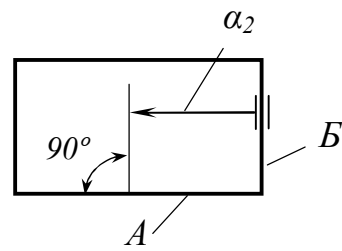


A_5 — відстань між осями вала і отвору

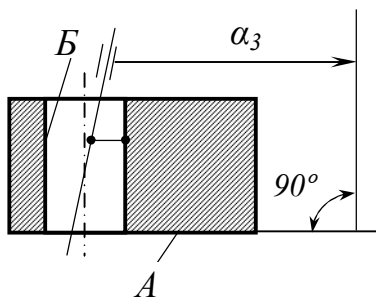
Рисунок 14 — Умовні позначення ланок лінійних розмірних ланцюгів



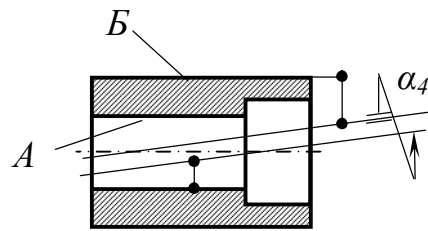
α_1 - кут повороту площини B відносно площини A (при номінальному паралельному розташуванні площин A та B)



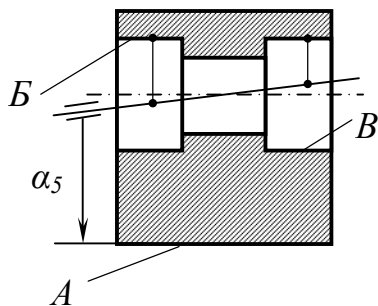
α_2 - кут повороту площини B відносно площини A (при номінальному перпендикулярному розташуванні площин A та B)



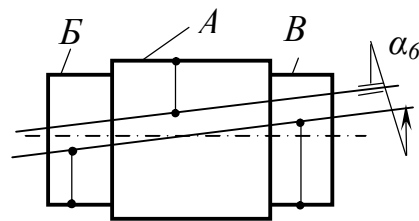
α_3 - кут повороту осі отвору B відносно площини A



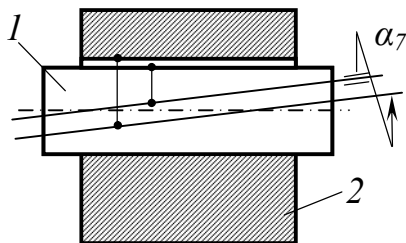
α_4 — кут повороту осі зовнішньої циліндричної поверхні B відносно осі отвору A



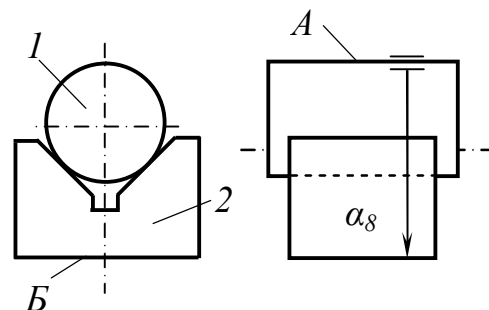
α_5 — кут повороту спільної осі отворів B і B відносно площини A



α_6 — кут повороту осі поверхні A відносно спільної осі поверхонь B та B



α_7 — кут повороту (через зазор) осі вала 1 відносно осі отвору в корпусній деталі 2



α_8 — кут повороту твірної A контрольної оправки 1 відносно площини B призми 2

Рисунок 15 — Умовні позначення ланок кутових розмірних ланцюгів

Слід враховувати, що складовою ланкою конструкторського розмірного ланцюга зазвичай є розмір (лінійний чи кутовий), що визначає розташування однієї конструкторської бази деталі відносно іншої конструкторської бази цієї ж деталі. Винятком є випадки, коли між поверхнями двох суміжних деталей є зазор. У таких випадках складова ланка розмірного ланцюга з'єднує поверхні або осі цих двох деталей.

4. На всі складові ланки розмірних ланцюгів призначають (з урахуванням особливостей конструкції деталі та умов її виготовлення) економічно доцільні допуски. Призначаючи допуски деталей виробу, слід враховувати, що в цехах машинобудівних підприємств доцільно виготовляти деталі з точністю не вище шостого квалітету та відхиленнями від співвісності, паралельності та перпендикулярності не точніше четвертого ступеня точності.

Кількісні значення допусків лінійних розмірів, співвісності, паралельності, перпендикулярності є в довідниках, наприклад в [4].

Якщо між поверхнями деталей, що з'єднуються між собою, передбачений гарантований зазор, то цей зазор входить до розмірного ланцюга як окрема ланка. Якщо це ланка лінійного розмірного ланцюга, то допуск цієї ланки визначають за формулою

$$T(A_i) = \Delta_{\max} . \quad (2)$$

Для ланки кутового розмірного ланцюга

$$T(\alpha_i) = \arctg \Delta_{\max} / L_3 . \quad (3)$$

У формулах (2) і (3) $\Delta_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$ — максимальний зазор у з'єднанні, мм; L_3 — довжина з'єднання, мм, D_{\max} і d_{\min} — відповідно найбільший діаметр отвору і найменший діаметр вала, мм.

5. Далі проводять розрахунок розмірних ланцюгів, який слід починати з визначення можливості використання методу повної взаємозамінності, оскільки тільки цей метод дозволяє скласти виріб без додаткового підбору деталей, припасовування чи регулювання. Для цього, з використанням прийнятих допусків складових ланок розмірного ланцюга, необхідно знайти поле розсіювання ланки замикання за формулою

$$\delta(A_{\Sigma}) = \sum_1^{n-1} T_i , \quad (4)$$

де n — кількість ланок розмірного ланцюга; T_i — допуск i -ї складової ланки, мм.

Визначаючи поле розсіювання ланки замикання кутового розмірного ланцюга, необхідно спочатку перерахувати допуски всіх його ланок в кутову міру за формулою

$$T(\alpha_i)_к = \arctg (T(\alpha_i)_л / L_{H_i}) , \quad (5)$$

де $T(\alpha_i)_к$ — допуск i -ї ланки в кутовій мірі (градусах чи радіанах); $T(\alpha_i)_л$ —

допуск i -ї ланки в лінійній мірі, мм; L_{H_i} — довжина поверхні, кутове положення якої нормується допуском $T(\alpha_i)$, мм.

Розглянемо приклад такого перерахунку. Припустимо, що необхідно перерахувати допуск ланки α_1 (рис. 16) з лінійної міри в кутову.

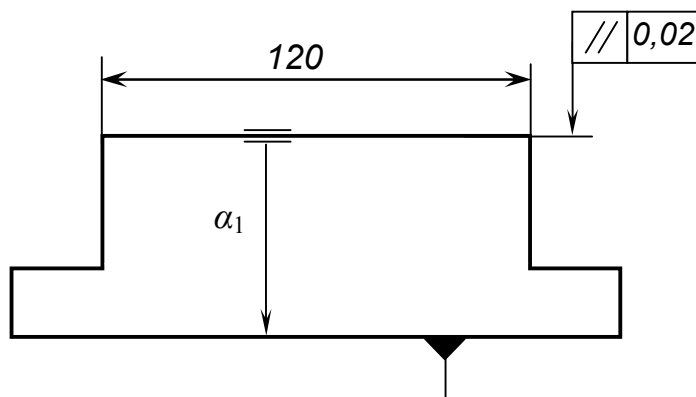


Рисунок 16 — До прикладу перерахунку допуску ланки кутового розмірного ланцюга з лінійної міри в кутову

За формулою (5) знаходимо

$$T(\alpha_1)_к = \arctg (T(\alpha_1)_л / L_{H_1}) = \arctg (0,02/120) = 9,55 \cdot 10^{-3} \dots^\circ.$$

Якщо ланкою розмірного ланцюга є кут повороту (через зазор) осі однієї деталі відносно осі іншої деталі, то допуск такої ланки в кутовій мірі визначається за формулою (3).

Значення $\delta(A_\Sigma)$, одержане в результаті розрахунку за формулою (4), слід порівняти із заданим допуском ланки замикання $T(A_\Sigma)$. Якщо порівнювані величини відрізняються, то вносять прийнятні, з точки зору технології виготовлення, зміни в допуски складових ланок (T_i), перевіряючи виконання умови

$$\frac{\delta(A_\Sigma)}{T(A_\Sigma)} = 0,8 \dots 1. \quad (6)$$

Якщо вдається забезпечити співвідношення (6) з прийнятими допусками T_i , то переходять до п. 6.

Якщо ж виявиться, що для забезпечення умови (6) потрібні технологічно недосяжні або економічно недоцільні допуски складових ланок, то слід спробувати використати метод неповної взаємозамінності.

У цьому випадку поле розсіювання ланки замикання

$$\delta(A_\Sigma) = t \sqrt{\sum_1^{n-1} (\lambda_i T_i)^2}, \quad (7)$$

де t — коефіцієнт, що залежить від відсотка ризику появи браку P ; λ_i — коефіцієнт відносного розсіювання i -ї складової ланки.

Кількісне значення коефіцієнта t залежно від прийнятого відсотка ризику можна визначити за таблицею 1 [5].

Таблиця 1 —Значення коефіцієнта t [5]

$P, \%$	0,01	0,05	0,1	0,27	0,5	1,0	2	3	5	10	32
t	3,89	3,48	3,29	3	2,81	2,57	2,32	2,17	1,96	1,65	1

В розрахунках розмірних ланцюгів найчастіше приймають $P = 0,27\%$; при цьому $t = 3$.

Коефіцієнти λ_i за даними [5] такі.

Якщо розсіювання i -ї складової ланки підпорядковується закону рівної імовірності (вироби дрібносерійного та одиничного виробництва, а також у випадках, якщо характер кривої розсіювання є невідомим), то $\lambda_i = 0,58$.

Якщо крива розподілу підпорядковується закону нормального розподілу (лінійні розміри деталей, що отримані на настроєних верстатах, розподіл зміщень поверхонь деталей через зазори у з'єднаннях), то $\lambda_i = 0,33$.

Розподіл таких величин, як відхилення від співвісності, перпендикулярності, паралельності підпорядковується законові Релея. У цьому випадку $\lambda_i = 0,38$.

Таким чином, вибравши значення T і λ для кожної із складових ланок та задавшись відсотком ризику, за формулою (7) знаходять $\delta(A_{\Sigma})$ і порівнюють його з $T(A_{\Sigma})$.

Якщо виявиться, що й за використання методу неповної взаємозамінності виконати умову (6) не вдається, то для забезпечення потрібної точності ланки замикання необхідно використати метод групової взаємозамінності або метод припасовування, або ж метод регулювання. Якщо планується використовувати метод припасовування, то потрібно заздалегідь передбачити в конструкції виробу деталь-компенсатор; якщо ж метод регулювання, то, відповідно, вузол для регулювання розміру вихідної ланки.

6. Після остаточного вибору допусків деталей вузла та методу забезпечення точності ланки замикання під час складання слід за допомогою формул теорії розмірних ланцюгів [5 та ін.] визначити номінальні значення розмірів деталей та їх верхні і нижні граничні відхилення.

Приклад виконання розмірного аналізу

У токарному пристрої (рис. 17) заготовка 6 встановлюється на оправку 5 (коротку циліндричну поверхню і торець). Заготовка закріплюється за допомогою затискачів (на схемі не показані). На шпindel 1 токарного верстата пристрій встановлюється, базуючись на короткий конічний отвір (база А) і торець фланця 2 (база В).

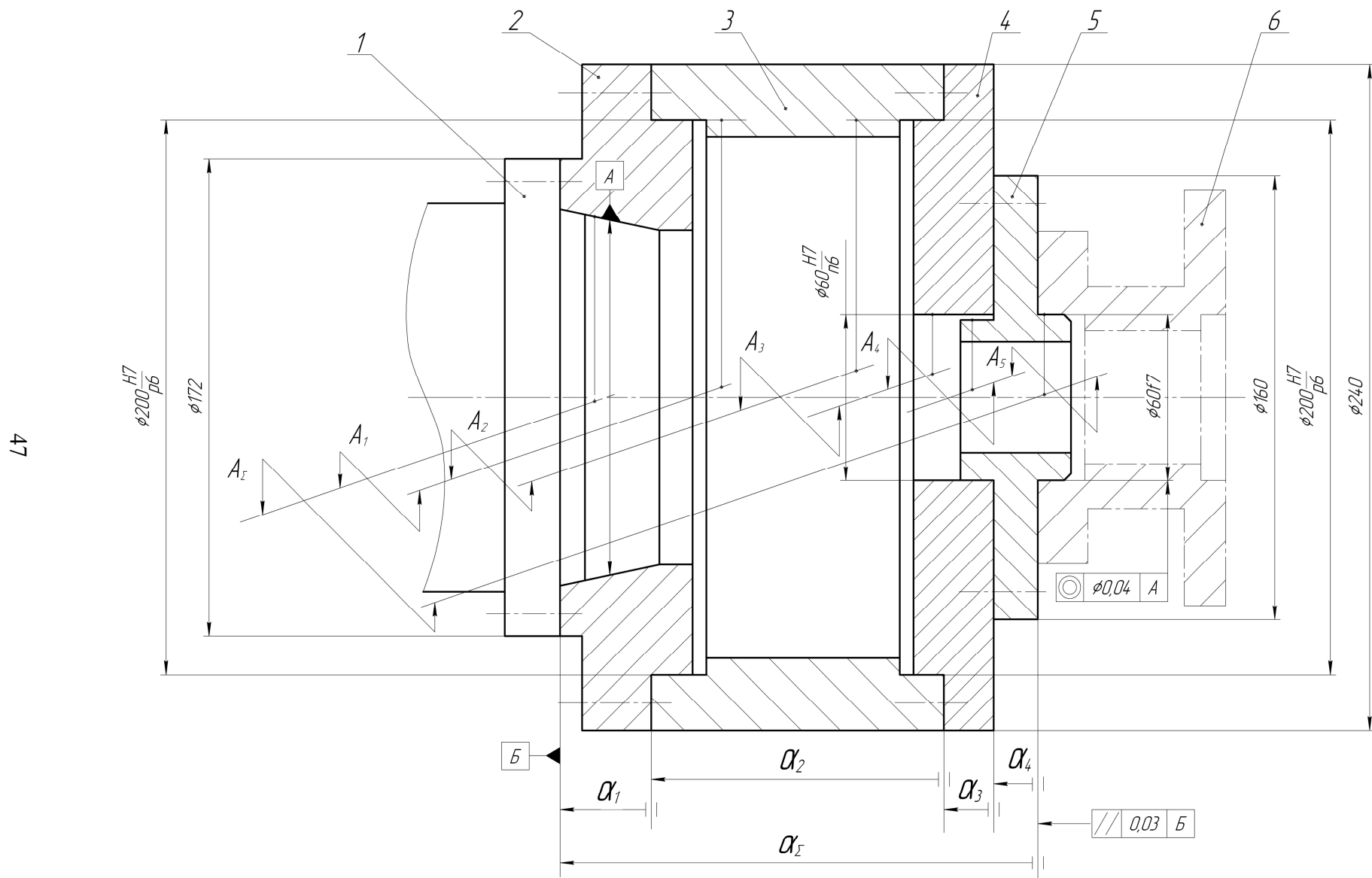


Рисунок 17 — Схема токарного пристрою з розмірними ланцюгами

Припустимо, що в результаті розрахунку точності токарної операції сформульовано вимоги до розташування виконавчих поверхонь пристрою відносно його конструкторських основних баз, а саме:

- допуск співвісності циліндричної поверхні $\varnothing 60d7$ оправки 5 відносно конічного отвору фланця 2 (база *A*) — 0,04 мм;

- допуск паралельності торця оправки 5 відносно торця фланця 2 (база *B*) — 0,03 мм.

На схемі пристрою покажемо розмірні ланцюги — лінійний та кутовий.

Таким чином, вихідною ланкою A_{Σ} лінійного розмірного ланцюга є відстань між осями конічного отвору (основна конструкторська база пристрою в цілому і фланця 2) та циліндричної поверхні $\varnothing 60d7$ оправки 5 (допоміжна конструкторська база пристрою і його виконавча поверхня).

Складовими ланками лінійного розмірного ланцюга є відстані між осями відповідних конструкторських баз деталей пристрою:

A_1 — відстань між осями конічного отвору (основна конструкторська база фланця 2) та короткої циліндричної поверхні $\varnothing 200p6$ (допоміжна конструкторська база фланця 2);

A_2 — відстань між осями отвору $\varnothing 200H7$ зі сторони фланця 2 в корпусі 3 (основна конструкторська база корпуса 3) та отвору $\varnothing 200H7$ зі сторони фланця 4 в цьому ж корпусі (допоміжна конструкторська база корпуса 3);

A_3 — відстань між осями короткої циліндричної поверхні $\varnothing 200p6$ фланця 4 (основна конструкторська база) та отвору $\varnothing 60H7$ (допоміжна конструкторська база);

A_4 — відстань між осями отвору $\varnothing 60H7$ фланця 4 та короткої циліндричної поверхні $\varnothing 60n6$ пальця 5;

A_6 — відстань між осями короткої циліндричної поверхні $\varnothing 60n6$ (основна конструкторська база) та короткої циліндричної поверхні $\varnothing 60d7$ (допоміжна конструкторська база пальця 5 — виконавча поверхня пристрою).

Вихідною ланкою кутового розмірного ланцюга є кут повороту торця оправки (допоміжна конструкторська база пристрою, а також його виконавча поверхня) відносно торця (база *B*) фланця 2 (основна конструкторська база як пристрою в цілому, так і фланця 2).

Складовими ланками кутового розмірного ланцюга є кути поворотів конструкторських допоміжних баз деталей пристрою відносно їх конструкторських основних баз:

α_1 — кут повороту правого торця фланця 2 відносно лівого торця (база *B*) цього ж фланця;

α_2 — кут повороту лівого торця корпуса 3 відносно правого торця цієї ж деталі;

α_3 — кут повороту лівого торця кришки 4 відносно правого торця цієї ж деталі;

α_4 — кут повороту лівого торця оправки 5 відносно правого торця цієї ж деталі.

Виконаємо аналіз лінійного розмірного ланцюга, використовуючи метод спроб.

Припустимо, що під час остаточної механічної обробки деталей патрона допуски співвісності можуть бути забезпечені в межах п'ятого ступеня точності. Згідно з [4] та з урахуванням номінальних значень діаметрів поверхонь, які унормовуються допусками співвісності, вибираємо кількісні значення допусків ланок A_1 , A_2 , A_3 та A_5 . У даному випадку: $T(A_1) = 0,02$ мм; $T(A_2) = 0,02$ мм; $T(A_3) = 0,016$ мм; $T(A_5) = 0,016$ мм.

Допуск розміру ланки A_4 знайдемо згідно з формулою (2) як максимальний зазор у з'єднанні $\text{Ø}60H7/n6$. У цьому випадку для вибраної посадки

$$T(A_4) = 60,03 - 60,02 = 0,01 \text{ мм.}$$

Після підстановки кількісних значень $T(A_1)$, $T(A_2)$, $T(A_3)$, $T(A_4)$, $T(A_5)$ у формулу (4) визначаємо поле розсіювання ланки замикання за умови використання методу повної взаємозамінності

$$\delta(A_\Sigma) = 0,02 + 0,02 + 0,016 + 0,01 + 0,016 = 0,082 \text{ мм.}$$

Оскільки $\delta(A_\Sigma) > T(A_\Sigma)$, то очевидно, що для забезпечення умови (6) потрібно значне зменшення допусків деталей патрона, що економічно нецільно.

Розглянемо можливість використання методу неповної взаємозамінності.

Вважатимемо, що $P = 0,27\%$ і, відповідно, $t = 3$ (згідно з таблицею 2).

Вважатимемо також, що розподіл дійсних значень відхилень від співвісності в усіх деталях підпорядковується закону Релея ($\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_5 = 0,38$), а розподіл дійсного значення зміщення осей поверхонь через зазор у з'єднанні $60H7/n6$ підпорядковується закону нормального розподілу ($\lambda_4 = 0,33$).

За формулою (7) визначаємо поле розсіювання ланки замикання

$$\delta(A_\Sigma) = 3\sqrt{(0,38 \cdot 0,02)^2 + (0,38 \cdot 0,02)^2 + (0,38 \cdot 0,016)^2 + (0,38 \cdot 0,016)^2 + (0,33 \cdot 0,01)^2 + (0,38 \cdot 0,016)^2} = 0,042 \text{ мм.}$$

Оскільки $\delta(A_\Sigma)$ ненабагато перевищує $T(A_\Sigma)$, то для забезпечення умови (6) зменшимо допуск співвісності поверхонь пальця 5 до четвертого ступеня точності. З [4] визначимо $T(A_5) = 0,01$ мм. Після підстановки значень $T(A_1)$, $T(A_2)$, $T(A_3)$, $T(A_4)$ і $T(A_5)$ у формулу (7) одержимо $\delta(A_\Sigma) = 0,039$ мм.

Таким чином, умова (6) виконується, оскільки

$$\delta(A_\Sigma)/T(A_\Sigma) = 0,039/0,040 = 0,98.$$

Виконаємо аналіз кутового розмірного ланцюга.

Припустимо, що економічно доцільні допуски паралельності конструкторських баз деталей пристрою відповідають п'ятому ступеню точності.

З [4] визначимо допуски складових ланок. З урахуванням довжин поверхонь (вказані в знаменнику), одержимо:

$$T_{\text{л}}(\alpha_1) = 0,016/240 \text{ мм};$$

$$T_{\text{л}}(\alpha_2) = 0,016/240 \text{ мм};$$

$$T_{\text{л}}(\alpha_3) = 0,016/240 \text{ мм};$$

$$T_{\text{л}}(\alpha_4) = 0,01/160 \text{ мм}.$$

Визначимо допуски складових ланок в кутовій мірі

$$T_{\text{к}}(\alpha_1) = T_{\text{к}}(\alpha_2) = T_{\text{к}}(\alpha_3) = \arctg(0,016/240) = 3,82 \cdot 10^{-3} \dots^\circ ;$$

$$T_{\text{к}}(\alpha_4) = \arctg(0,01/160) = 3,58 \cdot 10^{-3} \dots^\circ .$$

Допуск ланки замикання в кутовій мірі

$$T_{\text{к}}(\alpha_{\Sigma}) = \arctg(0,03/160) = 10,7 \cdot 10^{-3} \dots^\circ .$$

Поле розсіювання вихідної ланки за умови використання методу повної взаємозамінності згідно з (4) складе

$$\delta_{\text{к}}(\alpha_{\Sigma}) = 3,82 \cdot 10^{-3} + 3,82 \cdot 10^{-3} + 3,82 \cdot 10^{-3} + 3,58 \cdot 10^{-3} = 14,98 \cdot 10^{-3} \dots^\circ .$$

Оскільки $\delta(\alpha_{\Sigma}) > T(\alpha_{\Sigma})$, то розглянемо можливість використання методу неповної взаємозамінності. Прийнемо, що $P = 0,27\%$ і відповідно $t = 3$. Припускаючи, що розподіл дійсних значень відхилень від паралельності підпорядковується закону Релея, приймаємо для всіх складових ланок $\lambda_i = 0,38$.

Таким чином, поле розсіювання ланки замикання складе

$$\delta_{\text{к}}(\alpha_{\Sigma}) = 3 \sqrt{\left(0,38 \cdot 3,82 \cdot 10^{-3}\right)^2 + \left(0,38 \cdot 3,82 \cdot 10^{-3}\right)^2 + \left(0,38 \cdot 3,82 \cdot 10^{-3}\right)^2 + \left(0,38 \cdot 3,82 \cdot 10^{-3}\right)^2} = 8,5 \cdot 10^{-3} \dots^\circ .$$

Вимога (6) виконується, оскільки

$$\delta_{\text{к}}(\alpha_{\Sigma}) / T_{\text{к}}(\alpha_{\Sigma}) = 8,5 \cdot 10^{-3} / 10,7 \cdot 10^{-3} = 0,8.$$

В даному випадку верхні і нижні граничні відхилення всіх лінійних та кутових ланок розташовуються симетрично відносно номінального розмі

ру, а номінальні розміри цих ланок дорівнюють нулю.

На рис. 18 показано ескіз деталі (оправки) токарного пристрою, розроблений з урахуванням вимог точності, що отримані в результаті розмірного аналізу.

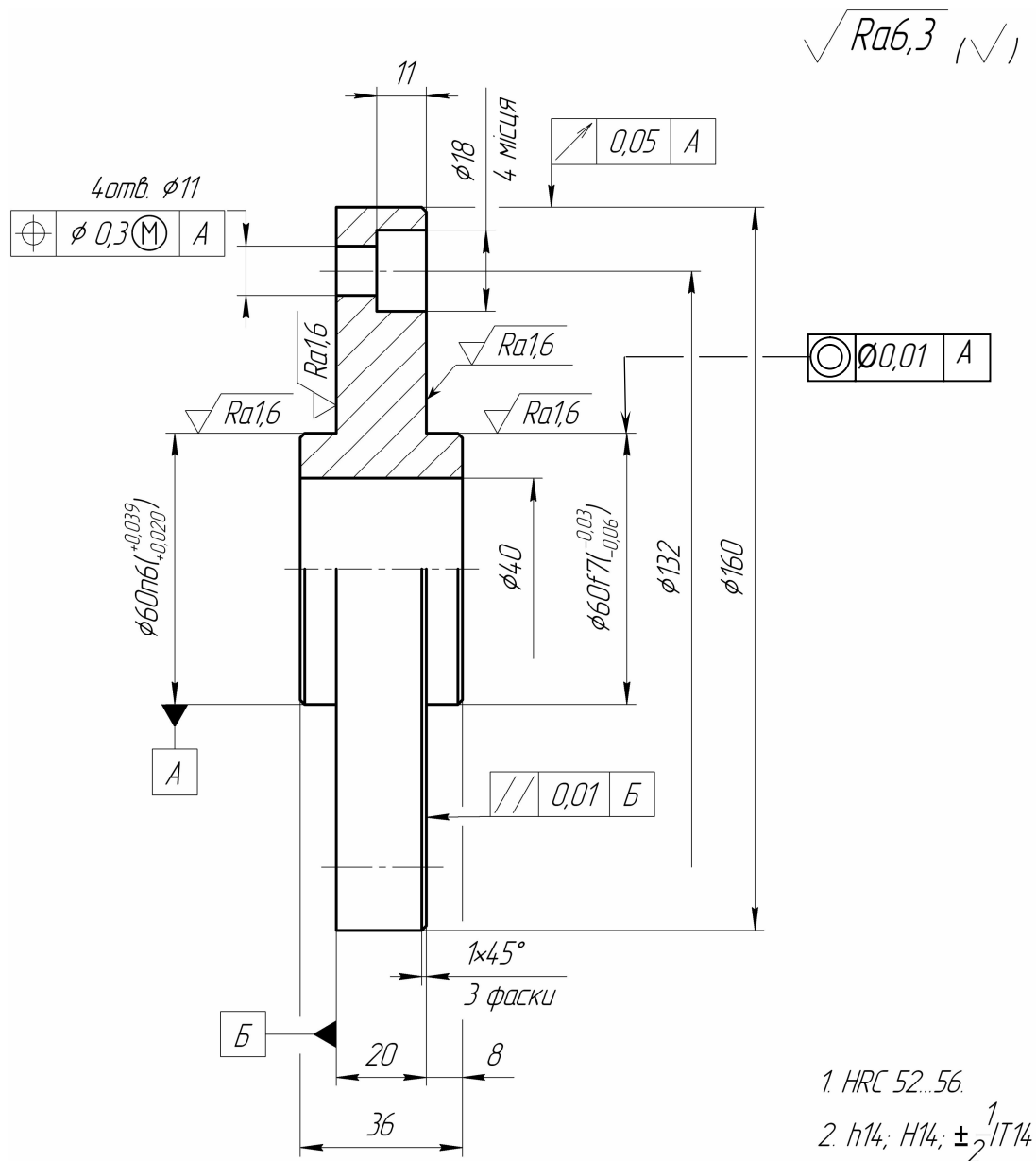


Рисунок 18 — Ескіз оправки
Матеріал деталі – сталь 20Х. Хіміко-термічна обробка – цементация з подальшим гартуванням і низьким відпуском

2.6 Питання для самоконтролю

1. Як поділяють поверхні деталей і складальних одиниць за їх функціональним призначенням?
2. Які поверхні токарного верстата є його виконавчими поверхнями?
3. Поняття конструкторських баз (основних і допоміжних), кріпильних і вільних поверхонь деталей та складальних одиниць.
4. Чому під час розроблення креслення деталі потрібно передбачати жорсткий геометричний взаємозв'язок між основними і допоміжними базами? Чим визначаються вимоги точності до такого взаємозв'язку?
5. Що обумовлює вимоги до точності розмірів і точності відносного розташування кріпильних поверхонь?
6. У яких випадках виникає необхідність механічної обробки вільних поверхонь?
7. Поняття точності деталі. Показники точності деталі; зв'язок між цими показниками.
8. Показники точності машини.
9. Правило шести точок.
10. Поняття бази, опорної точки.
11. Правила зображення схем базування. Наведіть приклади.
12. Класифікація баз.
13. Дайте порівняльну характеристику методів повної взаємозамінності і неповної взаємозамінності.
14. Дайте порівняльну характеристику методів повної взаємозамінності і групової взаємозамінності.
15. Дайте порівняльну характеристику методів припасовування і регулювання.
16. Що таке розмірний ланцюг?
17. Які параметри можуть бути ланками розмірного ланцюга?
18. Мета і послідовність виконання розмірного аналізу конструкції.
19. Які є види розмірних ланцюгів?
20. Що таке ланка замикання розмірного ланцюга?
21. Що таке складова ланка розмірного ланцюга?
22. Поясніть, яка різниця між допуском і полем розсіювання ланки замикання розмірного ланцюга.
23. Чи можуть бути ланками розмірного ланцюга розміри між вільними поверхнями?
24. Чи можуть бути ланками розмірного ланцюга розміри між вільними поверхнями і конструкторськими базами?
25. Чи можуть складові ланки розмірного ланцюга поєднувати поверхні різних деталей?
26. Яку інформацію отримує інженер в результаті виконання розмірного аналізу конструкції машини?

РОЗДІЛ 3 ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

3.1 Поняття конструкторських і технологічних розмірів

Конструкторські і технологічні розміри. Способи забезпечення технологічних розмірів під час механічної обробки.

Основними вихідними документами для виготовлення машинобудівних виробів є складальні креслення і креслення деталей. Всі розміри (з вимогами точності), які є на цих кресленнях, називають *конструкторськими розмірами (designing sizes)*. Розташування цих розмірів і вимоги точності до них визначає конструктор, виходячи із службового призначення виробу.

Технологічні розміри (technological size) — це розміри, які визначає і відображає у відповідній технологічній документації технолог під час розробки технологічних процесів обробки заготовок або складання машин. До таких розмірів відносять як розміри, що отримують на завершальних технологічних переходах, так і всі проміжні розміри.

Правильне визначення номінальних і граничних значень технологічних розмірів є досить відповідальною інженерною задачею, оскільки результат її розв'язання безпосередньо впливає на можливість забезпечення конструкторських розмірів. Визначення технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки розглядається в Ч. 2 дисципліни ОТМ.

Задані технологічні розміри можуть бути отримані одним з двох принципово відмінних способів:

- 1) спробних робочих ходів і промірів;
- 2) автоматичним отриманням розмірів на настроєних верстатах.

Суть *способу спробних робочих ходів і промірів* полягає у тому, що спочатку до оброблюваної поверхні заготовки, встановленої у верстатному пристрої, підводять різальний інструмент і обробляють її на невеликій ділянці. Після цього верстат зупиняють і за допомогою універсального вимірювального інструмента знаходять дійсне значення розміру, визначають його відхилення від заданого і вносять поправку в положення вершини інструмента за допомогою органів керування верстата. Потім знову здійснюють спробну обробку і знову визначають дійсний розмір. Так діють до тих пір, поки дійсний розмір оброблюваної заготовки не буде знаходитись в межах поля допуску. Після цього оброблену заготовку знімають з верстатного пристрою, на її місце встановлюють іншу заготовку і обробляють її у такій же послідовності. Фактично спосіб спробних робочих ходів і промірів є застосуванням у механічній обробці методу припасовування і тому дозволяє виготовляти деталі з жорсткими вимогами точності. Через значну трудомісткість на операціях лезової обробки, цей спосіб застосовується переважно в одиничному виробництві. На кругло- і внутрішньошліфувальних операціях, які виконуються на верстатах з ручним керуванням, через швидке зношування шліфувального круга цей спосіб може використовуватись і в дрібносерійному виробництві.

Суть способу автоматичного отримання розмірів на настроєних верстатах полягає у тому, що перед обробкою партії заготовок верстат попередньо настроюється для забезпечення потрібного розташування його вершини відносно опорних елементів пристрою. Далі заготовки партії без вивіряння встановлюються в пристрій на заздалегідь вибрані технологічні бази і обробляються. Цей спосіб використовується в серійному і масовому виробництві, оскільки він значно продуктивніший за попередній. Витрати часу на настроювання верстата розкладаються на всі заготовки партії.

До способу автоматичного отримання розмірів відносять і обробку мікримірним різальним інструментом (свердлами, зенкерами, розвертками, протяжками тощо). У такому випадку верстат на розмір обробки не настроюється, оскільки цей розмір безпосередньо визначається відповідним розміром різального інструмента.

Отримання необхідних розмірів під час виготовлення деталей на верстатах з ЧПК також забезпечується за допомогою способу автоматичного отримання розмірів на настроєному верстаті. У цьому випадку всі розмірні переміщення різального інструмента відносно заготовки (у т. ч. для настроювання на розміри обробки) здійснюються автоматично за допомогою керувальної програми.

В автоматизованому виробництві у верстат вбудовують пристрої, які мають у своєму складі вимірювальний і регулювальний блоки. Якщо дійсний розмір обробленої поверхні наблизиться до межі поля допуску, то відбувається автоматична корекція забезпечуваного розміру. Використання пристроїв такого типу (підналагоджувачів) характерне для верстатів, що здійснюють обробку за один робочий хід (поздовжнє безцентрове шліфування, тонке точіння і розточування на токарних автоматах і напівавтоматах тощо). Для верстатів, які виконують обробку за декілька робочих ходів (наприклад, зовнішнє кругле і внутрішнє шліфування), характерним є застосування пристроїв активного контролю, які вимірюють заготовку безперервно під час її обробки. З досягненням заданого розміру пристрій автоматично вимикає подачу інструмента. Використання підналагоджувачів та пристроїв активного контролю суттєво підвищує точність і продуктивність обробки.

3.2 Поняття похибки обробки

Фактори, що впливають на точність обробки партії деталей. Поняття похибки обробки. Поняття систематичної і випадкової похибки.

На процес механічної обробки залежно від конкретних технологічних умов впливає низка факторів. До таких факторів відносять:

- неточності установлення заготовки у верстатному пристрої;
- пружні зміщення в системі «верстат — пристрій — інструмент — заготовка» під дією сил різання;
- неточності настроєння різального інструмента на розмір обробки;

- деформації заготовки під дією сил закріплення;
- зношування різального інструмента;
- геометричні неточності верстата і верстатного пристрою;
- теплові деформації в системі «верстат — пристрій — інструмент — заготовка»;
- деформації від дії залишкових напружень в матеріалі заготовки.

Вплив цих факторів спричиняє похибки обробки.

Під *похибкою обробки* (**machining error**) розуміють відхилення отриманої під час механічної обробки величини певного геометричного параметра від заданого [13]. *Абсолютну похибку обробки* (**absolute error of machining**) однієї заготовки показують в одиницях параметра, що розглядається:

$$\Delta X = X_{\text{д}} - X_{\text{н}},$$

де $X_{\text{д}}$ і $X_{\text{н}}$ — відповідно дійсне (отримане) і номінальне значення параметра. За несиметричного розташування поля допуску відносно номінального значення замість номінального значення параметра приймають його середнє значення. Таким параметром може бути:

- діаметральний розмір;
- розмір (лінійний чи кутовий), що визначає бажане відносне розташування поверхні чи поверхонь відносно іншої поверхні чи поверхонь;
- вимога щодо правильності форми поверхні.

В технологічних розрахунках певна неточність виготовлення розглядається як похибка обробки тільки тоді, коли за наявних на операції технологічних умов ця неточність не може бути ліквідована або зменшена до величини, якою можна знехтувати, завдяки вжиттю відповідних заходів.

Похибки обробки за характером виявлення поділяють на три види: систематичні постійні; систематичні, що закономірно змінюються; випадкові.

Систематична постійна похибка (**systematic constant error**) — це похибка, яка у всіх деталях партії залишається однаковою. Прикладом є похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата.

Систематична похибка, що закономірно змінюється (**systematic error that changes regularly**) — це похибка, що змінюється за певним законом з переходом від однієї партії деталі до іншої. Прикладом є похибка, що спричиняється розмірним зносом різця.

Випадкова похибка (**accidental error**) має різні значення у всіх деталях партії, причому ці значення не підпорядковуються очевидній закономірності. Заздалегідь визначити момент появи і величину цієї похибки для кожної конкретної деталі партії неможливо. Найчастіше виникнення випадкових похибок є наслідком одночасного впливу не пов'язаних між собою факторів. Прикладом є похибка устанавлення заготовки у верстатний пристрій.

3.3 Сумарна похибка обробки

Поняття сумарної похибки обробки та її склад.

Сумарна похибка обробки (**total machining error**) або поле розсіювання заданого параметра є наслідком впливу низки технологічних факторів, кожний з яких зумовлює появу первинної або *елементарної похибки (elementary error)*.

Мета визначення сумарної похибки обробки ε_{Σ} залежить від призначення технологічного переходу.

Якщо здійснюється *остаточна обробка*, то, визначивши ε_{Σ} , перевіряють виконання умови

$$\varepsilon_{\Sigma} \leq T, \quad (8)$$

де T — допуск отримуваного на переході розміру.

Якщо умова (8) не виконується, то мають бути вжиті заходи щодо зменшення ε_{Σ} . Визначивши ступінь впливу кожної з елементарних похибок на величину ε_{Σ} , можна встановити, які саме заходи потрібно реалізувати для зменшення сумарної похибки.

Для переходів *проміжної обробки* сумарну похибку найчастіше визначають для знаходження допусків проміжних технологічних розмірів, тобто визначивши ε_{Σ} , приймають $\varepsilon_{\Sigma} = T$.

Сумарну похибку, що виникає під час обробки на попередньо настроєному верстаті, в загальному випадку можна записати у вигляді такої функціональної залежності

$$\varepsilon_{\Sigma} = f(\varepsilon_y, \varepsilon_H, \varepsilon_{\text{ПД}}, \varepsilon_i, \varepsilon_B, \varepsilon_T). \quad (9)$$

Всі величини, що знаходяться в дужках, є елементарними похибками і не залежить одна від одної. Для кожного конкретного випадку ці похибки визначаються умовами виконання технологічної операції.

Таким чином, вважається, що на точність механічної обробки заготовок деталей машин на настроєних верстатах впливають такі елементарні похибки [13 та ін.]:

1) похибка установлення заготовки у верстатний пристрій ε_y (далі — похибка установлення (**setting error**));

2) похибки настроєння верстата ε_H (далі — похибка настроєння (**tuning error**));

3) похибка, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи під дією сил різання $\varepsilon_{\text{ПД}}$ (**error caused by elastic deformation of technological system under the influence of cutting forces**);

4) похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента ε_i (**error caused by dimensional drift of a cutting tool**);

5) похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата ε_B (**error caused by geometric inaccuracy of a machine-tool**);

б) похибка, що спричиняється тепловими деформаціями технологічної системи ε_T (**error caused by thermal deformation of a technological system**).

Функція (9) конкретизована для розрахунку ε_Σ у деяких поширених випадках. Так, згідно з [13], для лінійних розмірів, що координують розташування оброблюваної поверхні відносно іншої поверхні, сумарна похибка обробки визначається за формулою

$$\varepsilon_\Sigma = \frac{1}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_y)^2 + (K_2 \varepsilon_H)^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{пд}})^2 + (K_4 \varepsilon_i)^2 + (K_5 \varepsilon_B)^2 + (K_6 \varepsilon_T)^2}, \quad (10)$$

де $\frac{1}{K}$ — коефіцієнт, який залежить від бажаної гарантованої імовірності P_r роботи без браку; $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ — коефіцієнти, значення яких залежать від характеру законів розподілу відповідних елементарних похибок. Виконуючи технологічні розрахунки, можна прийняти $K_1 = K_2 = K_3 = 1$; $K_4 = K_5 = K_6 = 1,73$.

Згідно з [13], величину коефіцієнта $\frac{1}{K}$ можна знайти за таблицею 2.

Таблиця 2 — Залежність коефіцієнта $\frac{1}{K}$ від бажаної гарантованої імовірності P_r роботи без браку

P_r	0,70	0,80	0,90	0,95	0,98	0,9973	0,9995	0,99999
$1/K$	0,347	0,427	0,548	0,683	0,775	1,000	1,167	1,470

Очевидно, що формула (10) може бути використана і для визначення сумарної похибки кутових розмірів (наприклад, відхилень від паралельності чи перпендикулярності) з урахуванням того, що настроювання верстата на забезпечення цих вимог під час обробки партії заготовок зазвичай не виконується. Тому можна вважати, що у цьому випадку $\varepsilon_H = 0$.

Формулою (10) можна скористатися і для визначення сумарної похибки на показники точності макрогеометрії (наприклад, відхилень від круглості, циліндричності, прямолінійності, площинності тощо) також з урахуванням того, що настроювання верстата для забезпечення цих вимог під час обробки партії заготовок зазвичай не виконується. На ці показники точності не впливає також схема установаження заготовки у верстатний пристрій і тому можна вважати, що у цьому випадку як $\varepsilon_H = 0$, так і $\varepsilon_y = 0$.

Оскільки на точність діаметральних розмірів похибка установа не впливає, то згідно з [13], сумарна похибка на такі розміри складатиме

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_2 \varepsilon_H)^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{пд}})^2 + (K_4 \varepsilon_i)^2 + (K_5 \varepsilon_B)^2 + (K_6 \varepsilon_T)^2}. \quad (11)$$

Важливим є те, що під час аналізування точності механічної обробки сумарна похибка завжди має визначатися на конкретний геометричний параметр (розмір між поверхнями, діаметральний розмір, вимоги: співвісності, перпендикулярності, паралельності, циліндричності, площинності, прямолінійності тощо).

3.4 Похибка установа заготовки у верстатний пристрій та її складові

Поняття установа заготовки. Похибка установа та її складові (похибка базування, похибка закріплення, похибка пристрою).

Установа (component setting) — це процес базування і закріплення заготовки у верстатному пристрої.

Вибраний спосіб установа заготовки у верстатному пристрої в технологічній документації показують у вигляді *схеми установа (setting chart)*. Правила зображення цих схем регламентуються ГОСТ 3.1107-81 [18]. Зміст цього стандарту відображений також в [13, С. 49 — 51]. На схемах установа за допомогою умовних позначень показують місце розташування і кількість опор та затискачів, їх вид, форму опорних поверхонь.

В процесі установа заготовок партії може виникати похибка установа ε_y як складова сумарної похибки механічної обробки. Ця похибка складається з похибки базування ε_6 , похибки закріплення ε_3 (**error of clamping**) і похибки положення заготовки $\varepsilon_{\text{п}}$, яка спричиняється неточністю верстатного пристрою (далі — похибка пристрою (**error of appliance**)).

Величину ε_y визначають за формулою

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{п}}^2}. \quad (12)$$

Розглянемо сутність, причини виникнення, характер виявлення і шляхи зменшення складових похибки установа.

3.4.1 Похибка базування

Згідно з [18] *похибка базування* — це відхилення фактично досягнутого положення заготовки або виробу від необхідного.

На операціях механічної обробки похибка базування може виникати, якщо партія заготовок обробляється на настроєному на розмір верстаті, тобто якщо використовується спосіб автоматичного отримання розмірів на настроєному вірстаті. Похибка базування на певний технологічний розмір виникає завжди, якщо вибрана схема базування не забезпечує для всіх заготовок партії одного й того ж положення вимірювальної бази цього розміру.

Величина похибки базування визначається як поле розсіювання положень вимірювальної бази партії заготовок у напрямі отриманого технологічного розміру [9].

Кількісне значення похибки базування можна знайти, побудувавши *технологічний розмірний ланцюг (technological dimension chain)* і розв'язавши його рівняння. Ланкою замикання ланцюга є розмір, на який визначається похибка базування. Цей розмір завжди розташований між вимірювальною базою і обробленою поверхнею або віссю поверхні (якщо поверхня має циліндричну або конічну форму).

Розв'язуючи задачу розрахунку розмірного ланцюга, вважають, що положення вершини настроєного на розмір різального інструмента завжди збігається з обробленою поверхнею або, якщо ж обробляється циліндрична поверхня, — то з її віссю. Тобто нехтують іншими похибками механічної обробки. За такого припущення похибку базування визначають як поле розсіювання ланки замикання.

Складовими ланками розмірного ланцюга є розміри, допуски яких впливають на поле розсіювання ланки замикання, тобто на поле розсіювання того розміру, на який визначається похибка базування.

Якщо кількість складових ланок не більша трьох, то для розв'язання задачі розрахунку розмірного ланцюга використовують метод максимуму-мінімуму, якщо чотири і більше — то імовірнісний метод.

Для наочності розмірний ланцюг будують так, щоб його ланки розташовувались паралельно розміру, на який визначається похибка базування. Ланки позначають великими кирилическими буквами з індексами, що відповідають номінальним значенням відповідних розмірів.

Розглянемо механізм виникнення і методику визначення похибки базування на прикладі обробки партії заготовок на фрезерній операції (рис. 19).

Припустимо, що на настроєному верстаті під час одного з переходів необхідно обробити уступ в розмір $20 \pm 0,2$ мм. Розмір $50_{-0,5}$ мм отриманий на одній з попередніх операцій. Необхідно знайти похибку базування на розмір $20 \pm 0,2$ мм з урахуванням вибраної схеми базування.

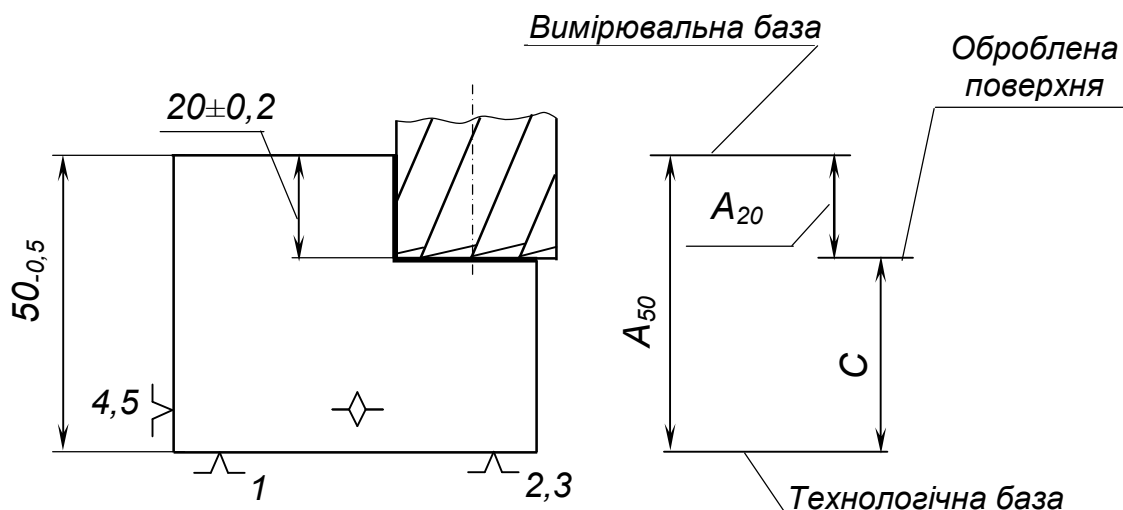


Рисунок 19 — Ескіз обробки до прикладу визначення похибки базування на розмір $20 \pm 0,2$ мм

Для позначення похибки базування використовуємо індекс, що відповідає номінальному значенню розміру, на який ця похибка визначається; тобто похибку базування на розмір $20 \pm 0,2$ мм позначимо як $\varepsilon_{\phi 20}$.

Для визначення похибки базування на розмір $20 \pm 0,2$ мм з використанням вищенаведених правил будемо технологічний розмірний ланцюг.

Однією із складових ланок розмірного ланцюга є розмір, що визначає положення вершини настроєного на розмір інструмента відносно опор пристрою. Цей розмір називають розміром настроєння і позначають латинською літерою C . Очевидно, що допуск цього розміру дорівнює похибці настроєння, яка входить у сумарну похибку механічної обробки як окрема складова. Тому, визначаючи похибку базування, умовно вважають, що допуск розміру C дорівнює нулю.

Таким чином, похибка базування на розмір $20 \pm 0,2$ мм складатиме

$$\varepsilon_{\phi 20} = \delta(A_{20})_{\Sigma} = T(A_{50}) + T(C),$$

де $\delta(A_{20})_{\Sigma}$ — поле розсіювання ланки замикання; $T(A_{50})$ — допуск на розмір 50 мм; $T(C)$ — допуск розміру настроєння C .

Згідно з викладеним вище і вважаючи, що $T(C) = 0$, остаточно отримаємо

$$\varepsilon_{\phi 20} = 0,5 + 0 = 0,5 \text{ мм.}$$

Оскільки похибка базування на розмір $20 \pm 0,2$ мм більша, ніж допуск на цей розмір (0,4 мм), то вимога точності не забезпечується. Для уникнення похибки базування необхідно зафіксувати положення вимірювальної

бази відносно настроєного на розмір інструмента. Для цього потрібно сумістити технологічну базу з вимірювальною (рис. 20).

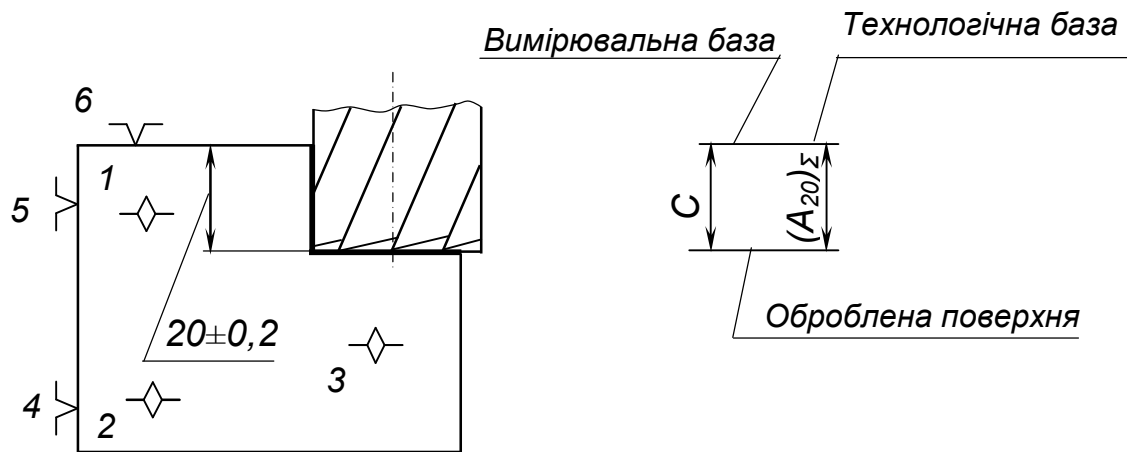


Рисунок 20 — Ескіз обробки зі схемою базування, яка забезпечує відсутність похибки базування на розмір $20 \pm 0,2$ мм

Для схеми базування, показаної на рис. 20, похибка базування на розмір $20 \pm 0,2$ мм складатиме

$$\varepsilon_{\delta 20} = \delta(A_{20})_{\Sigma} = T(C) = 0.$$

З розглянутого прикладу впливає важливий висновок, який полягає в тому, що під час розробки схем базування слід намагатись суміщувати технологічні бази з вимірювальними. Цей підхід має назву *принципу суміщення баз*.

За характером виявлення похибка базування завжди є випадковою похибкою.

Розробляючи схеми базування для операцій механічної обробки, необхідно враховувати, що похибка базування *відсутня* у таких випадках.

1. Вимірювальна база розміру, на який визначається похибка базування, збігається з однією з технологічних баз, тобто виконується принцип суміщення баз. У цьому випадку вимірювальна база кожної із заготовок партії буде займати одне і те ж положення відносно настроєного на розмір інструмента.

2. Поверхні, що координуються розміром, на який визначається похибка базування, отримані обробкою за один установ заготовки. У цьому випадку вимірювальна база формується різальним інструментом в процесі механічної обробки безпосередньо під час виконуваної операції і тому буде займати в усіх заготовках партії одне і те ж положення. Важливо, що обробка за один установ забезпечує відсутність похибки базування як на розміри між поверхнями, що обробляються паралельно декількома інструментами, так і на розміри, що

отримуються послідовною обробкою одним інструментом чи декількома різними інструментами.

3. Похибка базування відсутня на всі діаметральні розміри. Обробка циліндричної поверхні є окремим випадком обробки за один установ, оскільки діаметральні розміри є розмірами між твірними циліндричної поверхні, а ці твірні завжди утворюються в процесі обробки тільки з одного установка.

За будь-якої схеми базування похибка базування не впливає на показники точності форми поверхонь (циліндричність, круглість, площинність, прямолінійність тощо).

3.4.2 Похибка закріплення

Для протидії силовим факторам, які виникають під час різання, перед початком обробки до заготовки мають бути прикладені сили затискання. Ці сили повинні надійно притискати заготовку до опор пристрою.

Сили затискання за певних умов можуть спричинити зміщення вимірюваної бази. Якщо ці зміщення у заготовок партії відрізнятимуться, то виникне похибка закріплення.

Похибка закріплення — це різниця між найбільшою і найменшою величинами проєкцій зміщення вимірювальної бази на напрямок виконуваного розміру в результаті прикладання сил затискання [7]. Згідно з цим означенням

$$\varepsilon_3 = (y_{\max} - y_{\min}) \cos \alpha, \quad (13)$$

де α — кут між напрямком виконуваного розміру і напрямком зміщення вимірювальної бази.

Зміщення вимірювальної бази заготовки (рис. 21) спричиняється деформуванням окремих ланок ланцюга, через який передаються сили затискання (заготовки, установочних елементів і корпусу пристрою). Із всього балансу переміщень у цьому ланцюзі найбільшу величину (за достатньої жорсткості корпусу пристрою) мають пружно-пластичні переміщення у стиках «заготовка — опорний елемент пристрою». Залежність контактних зміщень для кожного стику в загальному вигляді відображається нелінійним законом [9]

$$y = CQ^n,$$

де Q — сила, що діє з боку заготовки на опору; C і n — коефіцієнт і показник степеня, які залежить від: виду опори; матеріалу заготовки; шорсткості і твердості поверхні заготовки, яка контактує з опорою; площі контакту заготовки з опорою.

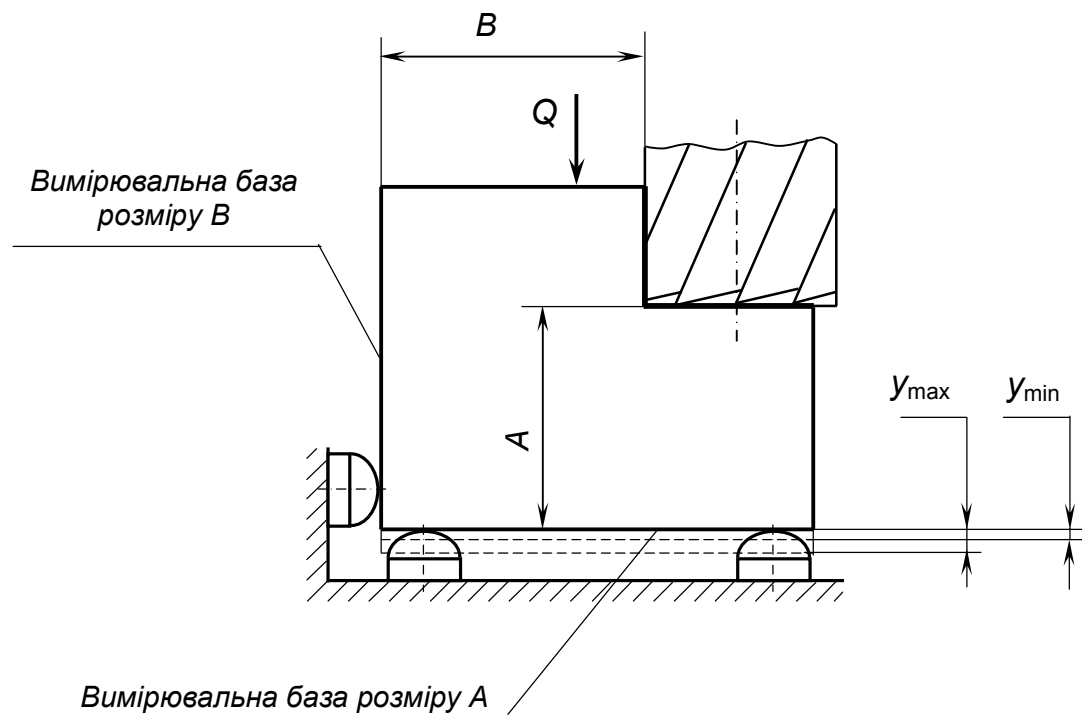


Рисунок 21 — Схема, що пояснює механізм появи похибки закріплення

Емпіричні формули для визначення контактних зміщень для поширених технологічних випадків є в [13, табл. 22].

Таким чином, визначивши значення y_{\max} і y_{\min} , можна за формулою (13) знайти похибку закріплення ε_3 .

З формули (13) випливає, що у випадку, якщо сила затискання направлена перпендикулярно до напрямку отриманого розміру ($\cos \alpha = 0$), то $\varepsilon_3 = 0$. Через це похибка закріплення на розмір B (рис. 21) відсутня, оскільки прикладання сили затискання Q не впливає на положення вимірювальної бази цього розміру.

3.4.3 Похибка пристрою

Похибка пристрою є комплексною похибкою і залежить від таких складових:

- похибки, що спричиняється неточністю виготовлення і складання установних елементів пристрою ε_{yc} (**error caused by inaccuracy of manufacturing and assembling of the attachment location elements**);
- похибки, що спричиняється зносом установних елементів пристрою ε_{zn} (**error caused by wear of the attachment location elements**);
- похибки, що спричиняється неточністю установлення пристрою на верстаті ε_{yb} (**error caused by inaccuracy of the attachment location on the machine tool**).

Величина ε_{Π} визначається за формулою

$$\varepsilon_{\Pi} = \sqrt{\varepsilon_{\text{yc}}^2 + \varepsilon_{\text{зн}}^2 + \varepsilon_{\text{ув}}^2} .$$

Розглянемо суть, причини виникнення, характер виявлення і шляхи зменшення складових похибки пристрою.

Складова ε_{yc} характеризує неточність положення опорних поверхонь установних елементів пристрою відносно настроєного на розмір інструмента. Якщо використовується один верстатний пристрій, то ця похибка проявляється як постійна систематична похибка і досить часто може бути усунена відповідним настроюванням верстата. Якщо використовуються декілька однакових пристроїв (пристрої-супутники) або один багатомісний пристрій, то похибка ε_{yc} не компенсується настроюванням верстата і повністю входить у ε_{Π} . У такому випадку ε_{yc} проявляється як випадкова похибка. Технологічні можливості виготовлення пристроїв в сучасних інструментальних цехах забезпечують знаходження величини ε_{yc} в межах 0,01...0,005 мм, а для прецизійних пристроїв — і вищу точність.

Складова $\varepsilon_{\text{зн}}$ характеризує змінення положення опорних поверхонь установочних елементів через їх зношування в процесі експлуатації пристрою. Інтенсивність зношування установних елементів залежить від їх конструкції і розмірів, матеріалу і маси заготовки, стану її базової поверхні, а також від умов установлення заготовки в пристрій та її знімання.

Величину зносу опори (в мкм) можна наближено відобразити такою залежністю [7]:

$$u = \beta \sqrt{N} ,$$

де N — кількість контактів заготовки з опорою; $\beta = 0,05...2$ — коефіцієнт, який залежить від виду опор і умов контакту.

Виходячи з бажаної точності установлення, знос опор регламентують заздалегідь розрахованою величиною. Знос контролюють під час планової періодичної перевірки пристроїв. Якщо знос наблизився до критичної межі, пристрій ремонтують, замінюючи опори.

Складова $\varepsilon_{\text{ув}}$ виникає через зміщення і перекося корпусу пристрою на столі або шпинделі верстата.

В масовому виробництві під час одноразового незмінного установлення пристрою на верстаті ця величина доводиться вивірянням до можливого мінімуму і є постійною протягом терміну експлуатації пристрою. За деяких умов ця похибка може бути усунена відповідним налагодженням верстата.

У серійному виробництві відбувається досить часто заміна пристроїв на верстатах. За таких умов похибка ε_{yB} має випадковий характер і не може компенсуватись налагодженням верстата. Зміщення і перекося пристроїв на верстаті зменшують завдяки застосуванню точних сполучень базових поверхонь пристроїв з базувальними поверхнями верстатів. Завдяки цьому величину ε_{yB} можна зменшити до 0,01...0,02 мм, а в деяких випадках взагалі ліквідувати.

3.4.4 Характер виявлення і шляхи зменшення похибки устанавлення

Оскільки на величину ε_y впливає ціла низка не пов'язаних між собою похибок, то вважають, що ця похибка є випадковою і підпорядковується закону нормального розподілу [13].

Найефективнішим шляхом запобігання виникненню похибки устанавлення є обробка якомога більшої кількості поверхонь з *одного установа*. Це повністю усуває вплив всіх складових ε_y на точність відносного розташування тих поверхонь, які оброблялися з одного установа. Такий підхід в сучасному машинобудуванні легко реалізовується завдяки можливості використання багатоінструментальних і багатоцільових верстатів з ЧПК.

Похибка устанавлення за будь-яких технологічних умов не впливає на діаметральні розміри і на точність форми поверхонь.

Найчастіше форма поширених в машинобудуванні деталей не дозволяє обробити всі її поверхні з одного установа. Тому під час проектування технологічних процесів механічної обробки і технологічного оснащення слід використовувати всі описані вище заходи для зменшення складових похибки устанавлення (ε_{δ} ; ε_3 ; ε_{II}).

3.5 Поняття жорсткості технологічної системи (системи ВПД). Визначення жорсткості елементів системи ВПД

Поняття жорсткості системи «верстат-пристрій-інструмент-деталь» (ВПД). Способи визначення жорсткості верстатів і заходи щодо забезпечення її достатнього рівня.

В процесі механічної обробки верстат, верстатний пристрій, різальний інструмент і оброблювана деталь є замкнутою пружною системою, яку називають технологічною системою або системою ВПД (згідно з першими літерами словосполучення «верстат-пристрій-інструмент-деталь»).

Під час обробки виникають сили різання, які спричинюють пружні зміщення елементів технологічної системи. Величина цих зміщень залежить як від сили різання, так і від жорсткості системи ВПД.

Під *жорсткістю* (**stiffness**) певного елемента конструкції розуміють його здатність чинити опір зовнішнім силовим факторам (силам чи моментам сил).

Жорсткість визначається як відношення діючої сили до деформації, яка зумовлена цією силою.

На точність оброблюваної поверхні найбільший вплив має складова сили різання, яка спрямована у напрямі нормалі до оброблюваної поверхні, тобто складова P_y сили різання. Таким чином, під жорсткістю j (в Н/м) будь-якого елемента технологічної системи (наприклад, шпиндельного вузла верстата) розуміють відношення складової P_y сили різання до зміщення y цього елемента у напрямі нормалі до оброблюваної поверхні, тобто

$$j = \frac{P_y}{y}.$$

Пружні властивості елемента технологічної системи можна також характеризувати його *податливістю* ω , яка є величиною, оберненою до жорсткості, тобто

$$\omega = \frac{y}{P_y}.$$

Жорсткість елементів системи ВПДD найчастіше визначають експериментально. В практиці машинобудування використовують два методи визначення жорсткості: *статичний* і *виробничий (динамічний)*.

Сутність *статичного* методу визначення жорсткості полягає в тому, що на непрацюючому верстаті досліджуваний елемент статично навантажують в точці прикладання і у напрямі дії сили P_y . Навантаження збільшують ступінчасто від нуля до певного найбільшого допустимого значення $[P_y]_{\max}$. Для кожного ступеня навантаження вимірюють пружне переміщення досліджуваного елемента у напрямі прикладеної сили. Після цього елемент ступінчасто розвантажують, фіксуючи пружні зміщення. Для навантаження і розвантаження будують залежності $y = f(P_y)$ (рис. 22).

Для вузлів металорізальних верстатів вітки навантаження 1 і розвантаження 2 зазвичай не збігаються через наявність гістерезису.

Причинами гістерезису є зазори між деталями та тертя в сполученнях. Ці ж самі фактори зумовлюють нелінійність віток навантаження і розвантаження.

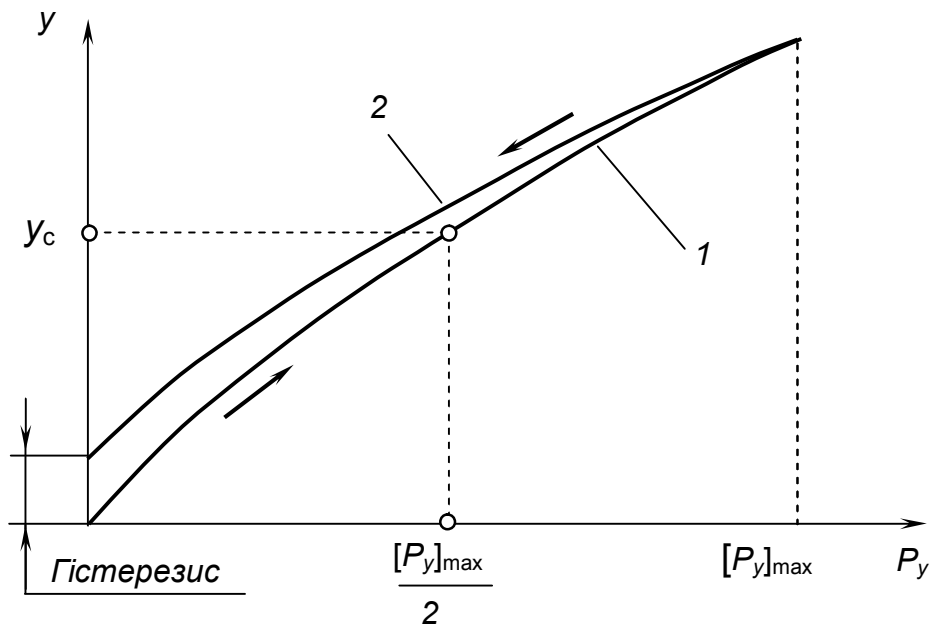


Рисунок 22 — Типовий характер пружних зміщень під час визначення жорсткості вузлів верстатів статичним способом

Дійсну жорсткість для кожного поточного моменту навантаження можна знайти, використовуючи відношення приросту сили до приросту переміщення. Для спрощення визначення жорсткості використовують середню жорсткість, яка відповідає значенню сили навантаження

$$P_y = \frac{[P_y]_{\max}}{2}.$$

Таким чином, усереднену жорсткість досліджуваного елемента визначають за формулою

$$j = \frac{[P_y]_{\max}}{2y_c}.$$

За допомогою статичного методу можна визначити жорсткість будь-якого елемента системи ВПД, але найчастіше він використовується для визначення жорсткості вузлів верстатів.

Виробничий (або *динамічний*) спосіб визначення жорсткості оснований на використанні явища копіювання похибок заготовки на обробленій поверхні деталі через нежорсткість елементів системи ВПД.

Суть цього способу полягає в тому, що на верстаті обробляється спеціальна заготовка з регламентовано нерівномірним припуском з подальшим вимірюванням показників точності обробленої поверхні.

Для прикладу розглянемо визначення жорсткості токарного верстата. Для отримання змінного припуску оброблювану поверхню заготовки виконують східчастою (рис. 23), причому для того, щоб знайти жорсткість верстата в трьох різних положеннях різця для визначення жорсткості трьох окремих вузлів токарного верстата, на заготовці передбачаються відповідно три східчастих елементи (1, 2 і 3).

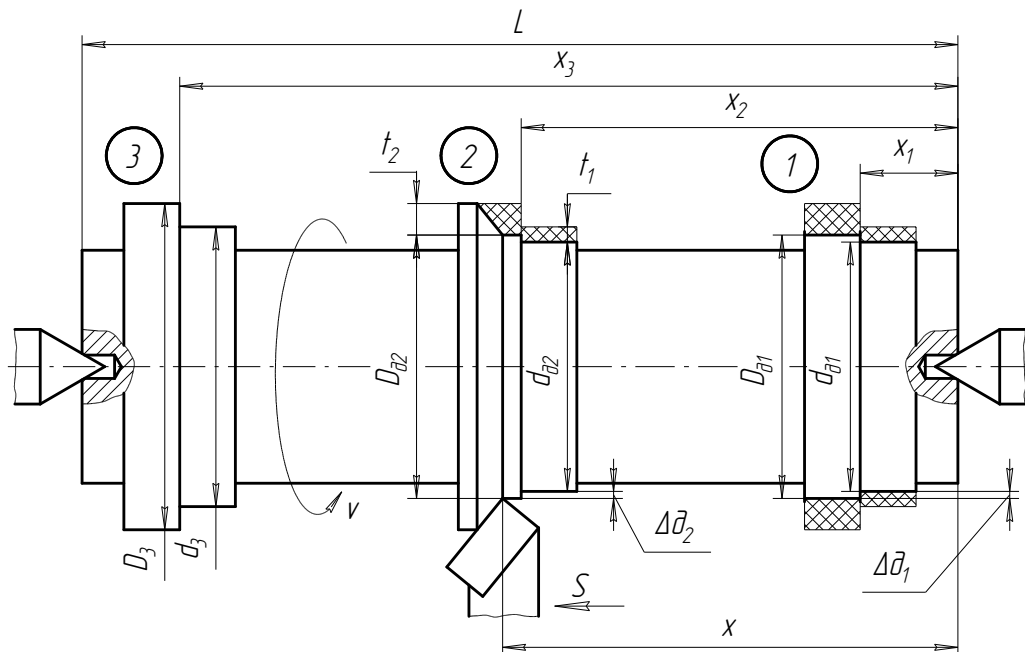


Рисунок 23 — Схема, що пояснює визначення жорсткості вузлів токарного верстата виробничим (динамічним) способом

Сумарне значення пружних зміщень (деформацій) у системи ВПД у будь-якій точці траєкторії руху різця складається з деформацій вузлів самого верстата y_B , верстатного пристрою y_{Π} , різця y_p та заготовки y_3 , тобто

$$y = y_B + y_{\Pi} + y_p + y_3. \quad (14)$$

Для спрощення подальших розрахунків пристрій (повідцевий патрон) об'єднується з передньою бабкою з жорсткістю $j_{\Pi.б.}$. Задній центр включається у вузол задньої бабки і характеризується жорсткістю $j_{3.б.}$. Жорсткість різця входить до жорсткості супорта $j_{суп.}$. Припускається також, що жорсткість заготовки значна, і тому її деформацією y_3 можна знехтувати. З урахуванням цих припущень вираз (14) набуває вигляду

$$y = y_B. \quad (15)$$

Методика визначення жорсткості вузлів верстата виробничим способом така.

Східчасту заготовку (див. рис. 23) встановлюють в центрах. Різець налаштовують на глибину різання $t_1 = 0,25 \dots 0,5$ мм і з таким положенням різця та постійною подачею проточують усі три східчастих елементи заготовки.

Якщо різець переміщується, наприклад, у зоні східчастого елемента 2, то глибина різання змінюється з t_1 на t_2 . Збільшення глибини різання $\Delta t = t_2 - t_1$ відбувається внаслідок збільшення величини припуску. Збільшення глибини різання обумовлює збільшення сили різання. Відповідно, збільшується деформація системи ВПД і, відповідно, діаметр обробленої поверхні. Отримана на обробленій деталі різниця діаметрів (похибка деталі) містить інформацію про загальну жорсткість вузлів верстата саме для цього положення різця. Очевидно, аналогічні міркування справедливі і щодо зон східчастих елементів 1 та 3.

Для визначення жорсткості верстата у зонах східчастих елементів 1, 2 та 3 (див. рис. 23) і подальшого обчислення жорсткості його окремих вузлів необхідно використати відому залежність зміни пружних деформацій у від осевого положення різця, тобто від координати x . Ця залежність з урахуванням припущення, що $y_3 = 0$, матиме такий вигляд

$$y(x) = \left(\frac{x}{L}\right)^2 \frac{P_y}{j_{п.б}} + \left(\frac{L-x}{L}\right)^2 \frac{P_y}{j_{з.б}} + \frac{P_y}{j_{суп}}. \quad (16)$$

Оскільки загальна податливість вузлів верстата на рівні координати x становить

$$\omega(x) = \frac{y(x)}{P_y}, \quad (17)$$

то, поділивши всі члени рівняння (16) на P_y і враховуючи (17), отримаємо співвідношення, яке визначає цю податливість

$$\omega(x) = \left(\frac{x}{L}\right)^2 \omega_{п.б} + \left(\frac{L-x}{L}\right)^2 \omega_{з.б} + \omega_{суп}, \quad (18)$$

де $\omega_{п.б}$, $\omega_{з.б}$, $\omega_{суп}$ — відповідно податливості передньої бабки, задньої бабки і супорта.

Для того, щоб знайти значення $\omega_{п.б}$, $\omega_{з.б}$ та $\omega_{суп}$ досліджуваного верстата, з використанням рівнянням (18) потрібно знайти величину ω в зонах кожного з трьох східчастих елементів заготовки (див. рис. 23).

Очевидно, що розмір сходинки на обробленій поверхні східчастого елемента можна знайти за формулою

$$h = y_D - y_d, \quad (19)$$

де y_D і y_d — відповідно, загальні пружні зміщення вузлів верстата під час точіння поверхонь з діаметрами D і d (див. рис. 23).

З урахуванням того, що загальна податливість системи ВПД під час точіння певного (наприклад першого) східчастого елемента майже не змінюється, то для цього елемента з урахуванням того, що $\omega = \frac{y}{P_y}$, залежність

(19) можна записати у вигляді

$$h_1 = P_{y_{D1}} \omega_1 - P_{y_{d1}} \omega_1, \quad (20)$$

де $P_{y_{D1}}$ і $P_{y_{d1}}$ — сили різання, що виникають під час точіння відповідних поверхонь; ω_1 — сумарна податливість вузлів верстата на рівні першого східчастого елемента.

Розв'язавши (20) відносно ω_1 , отримаємо

$$\omega_1 = \frac{h_1}{P_{y_{D1}} - P_{y_{d1}}}. \quad (21)$$

Аналогічні співвідношення справедливі і для другого та третього східчастих елементів.

Радіальну складову сили різання (в Н), що виникає під час точіння тієї чи іншої поверхні, можна знайти за формулою [14 та ін.]

$$P_y = 10 C_{P_y} t^{x_{P_y}} s^{y_{P_y}} v^{n_{P_y}} k_{P_y}, \quad (22)$$

де C_{P_y} , k_{P_y} , x , y , n — коефіцієнти і показники степеня (знаходяться за таблицями [14 та ін.]); v — швидкість різання, м/хв; s — подача, мм/об; t — глибина різання, мм.

Величини h_1 , h_2 та h_3 для всіх східчастих елементів вимірюють після обробки заготовки за допомогою індикатора годинникового типу.

Таким чином, сумарна податливість вузлів верстата на рівнях всіх східчастих елементів після проведення експерименту стає відомою.

Значення податливостей $\omega_{п.б}$, $\omega_{з.б}$ та $\omega_{суп}$ знаходяться як розв'язки системи трьох рівнянь з трьома невідомими, складених для кожного із східчастих елементів на підставі рівняння (18)

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 &= a_1 \cdot \omega_{п.б} + b_1 \cdot \omega_{3.б} + \omega_{суп} \\ \omega_2 &= a_2 \cdot \omega_{п.б} + b_2 \cdot \omega_{3.б} + \omega_{суп} \\ \omega_3 &= a_3 \cdot \omega_{п.б} + b_3 \cdot \omega_{3.б} + \omega_{суп} \end{aligned} \right\}; \quad (23)$$

де $a_i = \left(\frac{x_i}{L}\right)^2$; $b_i = \left(\frac{L-x_i}{L}\right)^2$, i — номер східчастого елемента.

Для розв'язання системи рівнянь (23) використаємо правило Крамера. Тоді

$$\omega_{п.б} = \frac{\Delta_{п.б}}{\Delta}; \quad \omega_{3.б} = \frac{\Delta_{3.б}}{\Delta}; \quad \omega_{суп} = \frac{\Delta_{суп}}{\Delta},$$

$$\text{де} \quad \Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & 1 \\ a_2 & b_2 & 1 \\ a_3 & b_3 & 1 \end{vmatrix}; \quad \Delta_{п.б} = \begin{vmatrix} \omega_1 & b_1 & 1 \\ \omega_2 & b_2 & 1 \\ \omega_3 & b_3 & 1 \end{vmatrix};$$

$$\Delta_{3.б} = \begin{vmatrix} a_1 & \omega_1 & 1 \\ a_2 & \omega_2 & 1 \\ a_3 & \omega_3 & 1 \end{vmatrix}; \quad \Delta_{суп} = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & \omega_1 \\ a_2 & b_2 & \omega_2 \\ a_3 & b_3 & \omega_3 \end{vmatrix}.$$

Знайшовши $\omega_{п.б}$, $\omega_{3.б}$ та $\omega_{суп}$, знайдемо $j_{п.б} = \frac{1}{\omega_{п.б}}$, $j_{3.б} = \frac{1}{\omega_{3.б}}$ та

$$j_{суп} = \frac{1}{\omega_{суп}}.$$

Від жорсткості системи ВПД суттєво залежить точність і продуктивність механічної обробки. Наслідками нежорсткості системи ВПД є похибки лінійних і діаметральних розмірів, похибки розташування й геометричної форми поверхонь оброблюваних деталей. Окрім того, нежорсткість елементів системи ВПД є основною причиною вібрацій, які погіршують якість обробленої поверхні і суттєво підвищують знос різальних інструментів.

Підвищення жорсткості системи ВПД досягається:

- створенням раціональної конструкції (з точки зору забезпечення максимально можливої жорсткості) деталей: верстатів, верстатних пристроїв, різальних і допоміжних інструментів, а також оброблюваних заготовок;
- зменшенням кількості стиків в конструкціях верстатів і верстатних пристроїв;
- попереднім затягуванням нерухомих стиків за допомогою різевих кріплень;
- створенням регламентованого натягу в підшипниках кочення шпиндельних вузлів;
- зменшенням зазорів в рухомих з'єднаннях;

- забезпеченням жорстких вимог точності щодо мікро- і мікрогеометрії поверхонь, які є конструкторськими базами деталей верстатів, верстатних пристроїв, різальних і допоміжних інструментів;
- зменшенням вильотів інструментів і збільшенням площі їх опорних поверхонь;
- використанням додаткових опор, люнетів і напрямних скалок для заготовок та інструментів.

3.6 Похибка обробки, що спричиняється пружними деформаціями елементів системи ВПД під дією сил різання

Механізм виникнення і характер виявлення похибки механічної обробки, що спричиняється пружними деформаціями елементів системи ВПД під дією сил різання. Шляхи зменшення цієї похибки.

В процесі обробки пружні зміщення заготовки і різального інструмента дещо змінюють встановлену під час настроювання верстата закономірність їх відносного руху. Схема зміщень показана на рис. 24. Припустимо, що перед початком обробки настроюванням верстата встановлюють різець на задану глибину різання $t_{зад}$ (рис. 24, а). В процесі обробки заготовка пружно зміщується на величину y_1 , а різець на величину y_2 (рис. 24, б). В результаті задана глибина різання зменшується до величини $t_{фак}$.

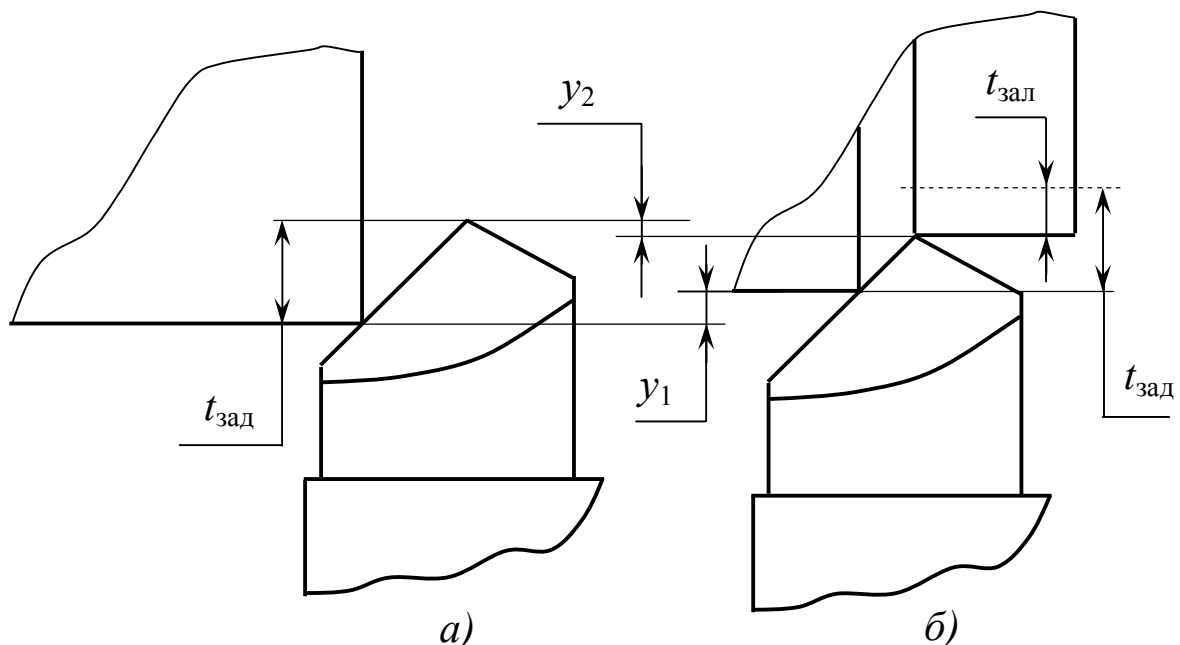


Рисунок 24 — Схема пружних зміщень елементів системи ВПД під час механічної обробки

$$y_1 = \frac{P_y}{j_{\text{заг}}}; \quad (24)$$

$$y_2 = \frac{P_y}{j_{\text{інс}}}, \quad (25)$$

де $j_{\text{заг}}$ — жорсткість системи «заготовка — верстатний пристрій — вузол верстата, на якому закріплюють верстатний пристрій»; $j_{\text{інс}}$ — жорсткість системи «інструмент — вузол верстата, на якому закріплюють інструмент».

Після обробки на заготовці залишається незрізаний шар металу, товщина якого залежить від пружних зміщень, тобто

$$t_{\text{зал}} = t_{\text{зад}} - t_{\text{фак}} \quad (26)$$

і

$$t_{\text{зал}} = y_1 + y_2. \quad (27)$$

Радіальна складова сили різання визначається за формулою (22).
Введемо позначення

$$C = 10C_{P_y} s^{y_{P_y}} v^{n_{P_y}} k_{P_y}. \quad (28)$$

Тоді

$$P_y = Ct_{\text{фак}}^{x_{P_y}}. \quad (29)$$

З урахуванням (24), (25) і (29) запишемо (27) у вигляді

$$t_{\text{зал}} = C(t_{\text{зад}} - t_{\text{зал}})^{x_{P_y}} \left(\frac{1}{j_{\text{заг}}} + \frac{1}{j_{\text{інс}}} \right). \quad (30)$$

Через дробовий показник x_{P_y} точного розв'язку цього рівняння відносно $t_{\text{зал}}$ немає. Тому знехтуємо впливом пружних зміщень на зміну сили різання і запишемо формулу (29) у вигляді

$$P_y = Ct_{\text{зад}}^{x_{P_y}}. \quad (31)$$

З урахуванням (31) запишемо рівняння (30) у вигляді

$$t_{\text{зал}} = Ct_{\text{зад}}^{x_{P_y}} \left(\frac{1}{j_{\text{заг}}} + \frac{1}{j_{\text{інс}}} \right). \quad (32)$$

Формула (32) визначає відхилення фактичної глибини різання від заданої і може використовуватись для технологічних розрахунків.

З урахуванням (28) запишемо формулу (32) в розгорнутому вигляді

$$t_{\text{зал}} = 10C_{P_y} s^{y_{P_y}} v^{n_{P_y}} k_{P_y}^{x_{P_y}} t_{\text{зад}} \left(\frac{1}{J_{\text{заг}}} + \frac{1}{J_{\text{інс}}} \right). \quad (33)$$

Аналізуючи формулу (33), можна зробити певні висновки щодо величини та характеру виявлення похибки, що спричиняється пружними деформаціями елементів системи ВПД ($\varepsilon_{\text{пр}}$) і шляхів зменшення цієї похибки.

1. Якщо за певних технологічних умов пружні зміщення в системі ВПД і, відповідно, $t_{\text{зал}}$ є величинами сталими, то вони можуть бути скомпенсовані під час настроювання верстата. У цьому випадку $\varepsilon_{\text{пр}} \approx 0$.

2. Якщо через змінення параметрів, які входять у праву частину рівняння (33), змінюється $t_{\text{зал}}$, то $\varepsilon_{\text{пр}} \neq 0$. Ці параметри можуть змінюватися як під час обробки однієї заготовки, так і під час обробки партії заготовок. У будь-якому випадку похибка $\varepsilon_{\text{пр}}$ визначається як різниця між найбільшою і найменшою величинами $t_{\text{зал}}$. Тобто

$$\varepsilon_{\text{пр}} = t_{\text{зал}_{\text{max}}} - t_{\text{зал}_{\text{min}}}. \quad (34)$$

3. Якщо закон змінення певного параметра, що входить у праву частину формули (33), відомий, а решта параметрів залишаються приблизно сталими, то за характером виявлення $\varepsilon_{\text{пр}}$ є *систематичною похибкою, що закономірно змінюється*. У цьому випадку $\varepsilon_{\text{пр}}$ може бути мінімізована завдяки регулюванню положення вершини інструмента відносно заготовки або завдяки регламентованому змінненню сили різання. Наприклад, якщо закон змінення жорсткості системи ВПД під час точіння довгої циліндричної заготовки на верстаті з ЧПК відомий, то, передбачивши відповідні переміщення різця в радіальному напрямі, в керувальній програмі можна мінімізувати вплив $\varepsilon_{\text{пр}}$ на форму обробленої циліндричної поверхні.

5. Пружними зміщеннями в системі ВПД можна керувати змінненям подачі, оскільки від неї залежить сила різання. Так, якщо потрібно проточити довгий пруток, установлений в центрах (рис. 25), то регламентовано змінюючи подачу на ділянках оброблюваної поверхні можна суттєво зменшити вплив $\varepsilon_{\text{пр}}$ на форму обробленої поверхні. Очевидно, що в даному випадку величини подач якісно мають бути підпорядковані такому співвідношенню

$$s_1 > s_2 > s_3 > s_4 > s_5 > s_6 < s_7 < s_8 < s_9 < s_{10} < s_{11},$$

де індекси відповідають номерам ділянок. Кількісно визначити величини подач можна за формулою, яка є в [15, С. 80].

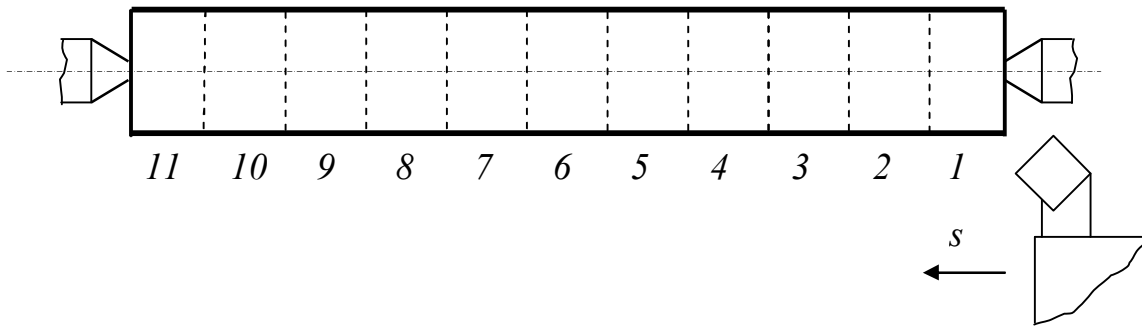


Рисунок 25 — Схема точіння довгого валика в центрах

4. Якщо зміна глибини різання (припуску) і (або) твердості матеріалу заготовок партії мають випадковий характер, то похибка $\varepsilon_{\text{пр}}$ за характером виявлення також буде *випадковою*. Знаючи граничні відхилення цих параметрів і жорсткість системи ВПД, можна знайти $\varepsilon_{\text{пр}}$ і, за необхідності, вжити заходів щодо її зменшення.

5. Похибка $\varepsilon_{\text{пр}}$ практично не впливає на точність діаметральних розмірів отворів у заготовках з достатньою товщиною стінок у випадках, якщо ці отвори обробляються інструментами з декількома різальними кромками (спіральними свердлами, зенкерами, розвертками, розточувальними головками тощо) через зрівноваження сил різання.

Таким чином, зменшення величини $\varepsilon_{\text{пр}}$ можливе завдяки:

- 1) підвищенню жорсткості системи ВПД;
- 2) зменшенню полів розсіювання твердості матеріалу заготовки і глибини різання;
- 3) зменшенню радіальної складової сили різання за рахунок зменшення подачі або завдяки вибору раціональної конструкції і геометрії різального інструмента;
- 4) використанню методів автоматичного керування точністю механічної обробки.

3.7 Розмірне настроювання верстатів для обробки партії заготовок. Похибка настроєння

Поняття настроювання, розміру настроєння. Суть способу настроювання верстата з використанням пробних заготовок. Суть способу настроювання верстата за еталоном (статичного настроювання). Визначення розміру настроєння і похибки настроєння.

У серійному і масовому виробництві обробку деталей здійснюють на попередньо настроєних верстатах. Така обробка забезпечує автоматичне отримання розмірів, які залежать у цьому випадку тільки від положення вершини інструмента відносно опор верстатного пристрою і, відповідно, відносно технологічних баз заготовки.

Задача настроювання верстатів полягає у встановленні вершини різального інструмента у таке положення, яке забезпечувало б розміщення значень дійсних розмірів деталей усієї партії або її частини в межах поля допуску T . Таким чином, в результаті настроювання верстата вершина різального інструмента повинна бути встановлена у таке положення, щоб з самого початку обробки партії заготовок забезпечувався певний, попередньо розрахований розмір, який називають *розміром настроєння (tuning size)*.

Величина розміру настроєння залежить від умов і факторів, що характеризують технологічний перехід, для якого визначається цей розмір. Визначаючи розмір настроювання, враховують як систематичні, так і випадкові похибки обробки.

Схема, що пояснює підхід до визначення розміру настроєння для обробки (точіння, круглого та безцентрового шліфування) зовнішніх циліндричних поверхонь з урахуванням розмірного зношування різального інструмента, показана на рис. 26.

Відповідно до рис. 26 номінальне значення розміру настроєння для обробки зовнішніх циліндричних поверхонь визначається за формулою

$$D_H = [D_{\min}] + 3\sigma + 0,5\varepsilon_H, \quad (35)$$

де $[D_{\min}]$ — найменший допустимий діаметральний розмір поверхні згідно з операційним ескізом; σ — середньоквадратичне відхилення дійсних розмірів обробленої поверхні, спричинене випадковими похибками, що виникають під час виконання технологічного переходу; ε_H — похибка настроєння (суть і кількісне визначення цієї похибки розглядатиметься нижче).

Величина σ має бути визначена попередньо в результаті виконання статистичного аналізу точності обробки на даному технологічному переході.

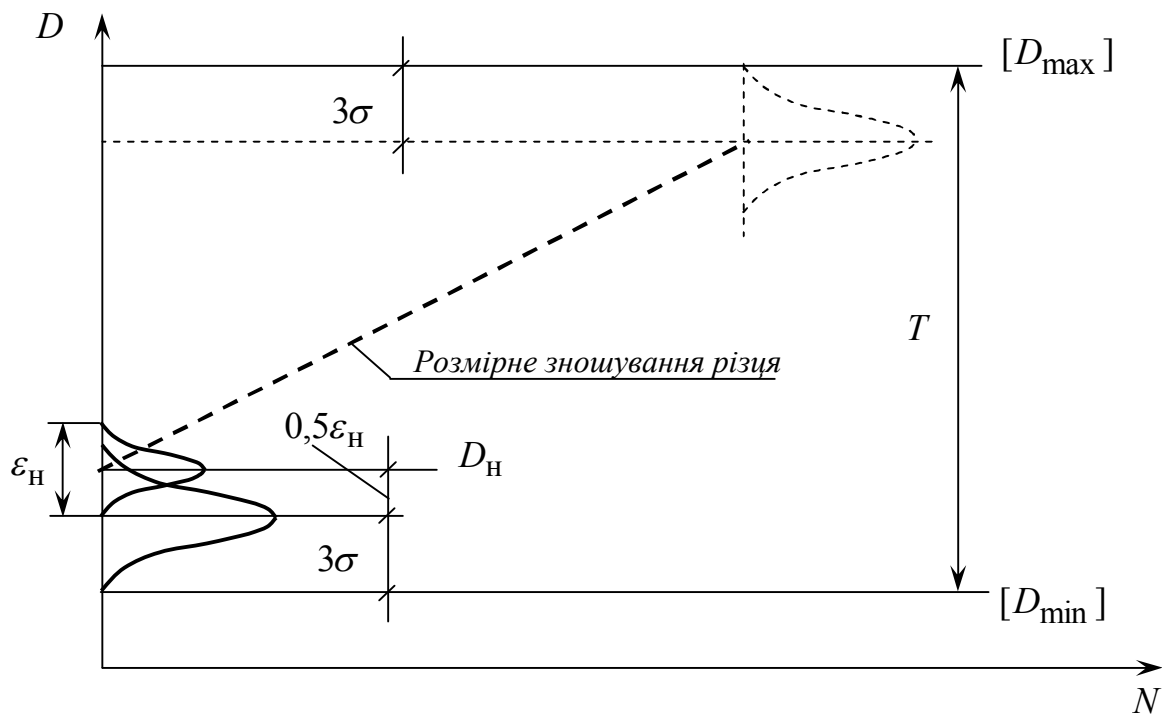


Рисунок 26 — Схема, що пояснює визначення розміру настроєння для точіння зовнішніх циліндричних поверхонь з урахуванням розмірного зношування різця
 N — порядковий номер оброблюваної заготовки

Номінальне значення розміру настроєння для обробки отворів відповідно складе

$$D_H = [D_{\max}] - 3\sigma - 0,5\varepsilon_H, \quad (36)$$

де $[D_{\max}]$ — найбільший допустимий діаметральний розмір отвору згідно з операційним ескізом.

Номінальне значення розміру настроєння C_H для обробки плоских поверхонь визначається за формулою

$$C_H = [H_{\min}] + 3\sigma + 0,5\varepsilon_H, \quad (37)$$

де $[H_{\min}]$ — найменший допустимий технологічний розмір, який координує розташування оброблюваної поверхні відносно вимірювальної бази.

У випадках, якщо знос різальної кромки інструмента не впливає на отримуваний розмір, то номінальне значення розміру настроєння береться рівним середньому значенню технологічного розміру. На рис. 27 показано приклад технологічної операції з розточування отвору в заготовці деталі типу «корпус підшипника». Оскільки знос різця не впливає на розташування осі оброблюваного отвору, то за номінальне значення розміру на-

строєння береться середнє значення технологічного розміру. Таким чином, у цьому випадку номінальне значення розміру настроєння складе 80 мм.

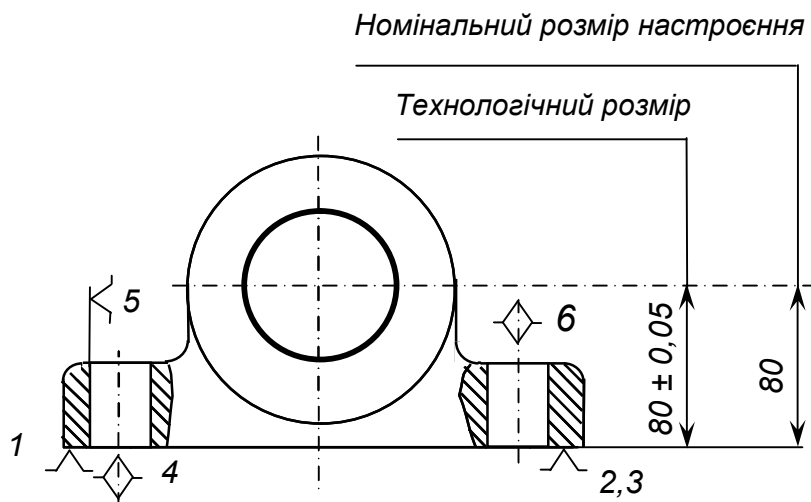


Рисунок 27 — Схема, що пояснює визначення розміру настроєння у випадках, коли знос різальної кромки інструмента не впливає на отримуваний розмір

В машинобудуванні застосовуються два *способи настроювання* верстатів — за пробними заготовками та за еталоном.

Розглянемо спосіб настроювання верстатів *за пробними заготовками*. Суть цього способу полягає в тому, що вершина різального інструмента встановлюється на розмір настроєння в процесі обробки m пробних заготовок (найчастіше $m = 5 \dots 6$ шт.). Під час обробки першої пробної заготовки верстат настроюється для отримання заздалегідь визначеного розміру настроювання за допомогою способу спробних робочих ходів і промірів. Після цього з незмінним розташуванням вершини інструмента обробляють решту пробних заготовок. Дійсні розміри оброблених заготовок визначають за допомогою універсального вимірювального інструмента з ціною поділки $\Delta_{в.і} \leq T/10$ (T — допуск отримуваного розміру).

Розрахований попередньо розмір настроєння розглядається як номінальний розмір. Оскільки під час обробки групи пробних заготовок відбувається розсіювання розмірів, то потрібно за фактичний (отриманий) розмір настроєння прийняти середнє арифметичне значення \bar{D} дійсних розмірів цих заготовок. Величина \bar{D} характеризує центр «миттєвого» розсіювання в початковий період роботи верстата, тобто одразу після його настроювання.

Настроєння вважається задовільним, якщо виконується умова

$$D_H - \frac{1}{2}T_H \leq \bar{D} \leq D_H + \frac{1}{2}T_H, \quad (38)$$

де T_H — допуск настроєння, який визначається за формулою

$$T_H = 1,2\sqrt{(\varepsilon_p)^2 + (\varepsilon_{BM})^2}, \quad (39)$$

де ε_p — похибка регулювання; ε_{BM} — похибка вимірювання.

Похибка регулювання

$$\varepsilon_p = \Delta_L,$$

де Δ_L — ціна поділки лімба регулювального пристрою верстата (в діаметральному вимірі).

Похибка вимірювання

$$\varepsilon_{BM} = \Delta_{B.i}, \quad (40)$$

де $\Delta_{B.i}$ — ціна поділки універсального вимірювального інструмента, яким вимірюються пробні заготовки.

Установити вершину різального інструмента під час виконання декількох настроювань строго в одне і те ж саме положення неможливо. Тобто, матиме місце певний розкид (розсіювання) положень вершини інструмента. Поле цього розсіювання називають *похибкою настроєння*.

Для способу настроювання верстата за спробними заготовками похибку настроєння знаходять за формулою

$$\varepsilon_H = 1,2\sqrt{\varepsilon_p^2 + \varepsilon_{BM}^2 + \varepsilon_{3M}^2},$$

де $\varepsilon_{3M} = 6\sigma/\sqrt{m}$ — поле імовірного зміщення розташування вершини кривої розподілу дійсних розмірів спробних заготовок.

Сутність способу настроювання верстатів *за еталоном* полягає в тому, що вершина різального інструмента встановлюється на розмір настроєння на зупиненому верстаті за допомогою спеціально виготовленої деталі — еталону. Таким чином, під час настроювання вершина інструмента підводиться до відповідної поверхні еталона на певну відстань, яка контролюється щупом.

Оскільки під час установлення інструмента на розмір обробки верстат не працює, то настроювання за еталоном є статичним способом. Пружні зміщення елементів системи ВПД під дією сил різання враховують, підбираючи розмір еталона.

Цей спосіб найчастіше використовується для настроювання токарних і фрезерних верстатів на операціях чорнової і напівчистої обробки, оскільки він забезпечує дещо меншу точність порівняно зі способом настроювання за допомогою пробних заготовок. Разом з тим, настроювання за еталоном менш трудомістке, може виконуватись робітниками невисокої кваліфікації, його можна здійснювати поза верстатом за наявності змінних інструментальних блоків і револьверних головок, а також спеціальних пристроїв.

На рис. 28 показано приклад настроювання фрезерного верстата для обробки площини. Еталон встановлюється у верстатний пристрій замість заготовки. Фреза підводиться до доторкання зубцями до металевого щупа таким чином, щоб щуп можна було переміщувати з незначним зусиллям. Після цього фреза відводиться від еталона без зміни її положення у напрямі настроюваного розміру, замість еталона встановлюється заготовка і здійснюється її обробка.

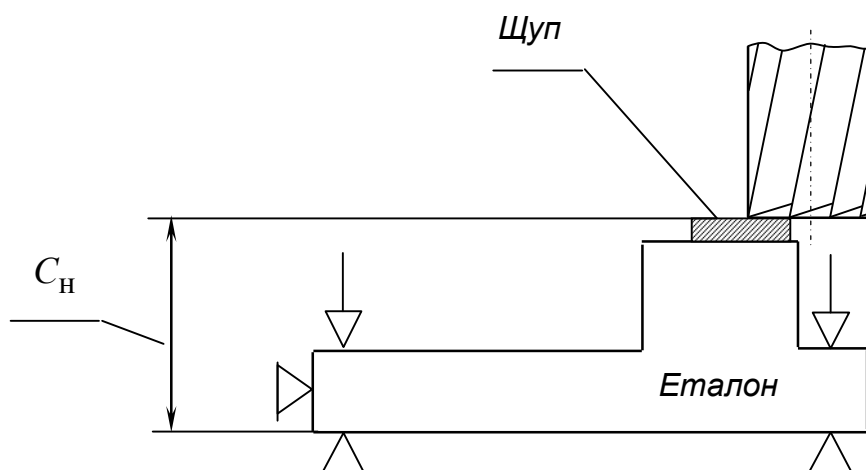


Рисунок 28 — Схема, що пояснює настроювання верстата за еталоном

Похибка настроєння верстата з використанням настроювання за еталоном залежить від похибки регулювання положення вершини інструмента ε_p і похибки вимірювання розміру деталі ε_B .

Похибка настроєння для діаметральних розмірів може бути розрахована за формулою

$$\varepsilon_H = \sqrt{\left(K_p \varepsilon_p\right)^2 + \left(K_B \frac{\varepsilon_{BM}}{2}\right)^2}, \quad (41)$$

а для розмірів, які координують розташування плоских поверхонь за формулою

$$\varepsilon_H = \sqrt{(K_p \varepsilon_p)^2 + (K_B \varepsilon_{BM})^2}.$$

Коефіцієнти K_p і K_B враховують відхилення законів розподілу величин ε_p та ε_B від нормального закону розподілу. Можна прийняти, що $K_p = 1,14 \dots 1,73$ і $K_B = 1$.

Похибка регулювання

$$\varepsilon_p = k \sqrt{\varepsilon_{B,e}^2 + \varepsilon_{y,i}^2}, \quad (42)$$

де $\varepsilon_{B,e}$ — похибка виготовлення еталона; $\varepsilon_{y,i}$ — похибка установлення інструмента на еталон; $k = 1,2$ — коефіцієнт, який враховує відхилення законів розподілу величин $\varepsilon_{B,e}$ та $\varepsilon_{y,i}$ від нормального закону розподілу.

Похибка вимірювання ε_{BM} визначається за формулою (40).

Похибка виготовлення еталона $\varepsilon_{B,e}$ складає 10...20 мкм.

Похибка установлення інструмента на еталон може змінюватись в досить широких межах і суттєво залежить від способу регулювання положення різця в процесі настроювання. Якщо для установлення інструмента на еталон використовується металевий шуп, то $\varepsilon_{y,i} = 7 \dots 10$ мкм.

За характером виявлення похибка настроєння є випадковою похибкою.

Вважається, що для настроювання верстатів на розмір обробки мають бути використані такі способи і засоби, щоб $\varepsilon_H \leq 0,3T$ (для 6...8 квалітетів точності) і $\varepsilon_H \leq 0,1T$ (для 9...11 квалітетів точності).

Визначаючи похибку настроєння, слід враховувати, що ця похибка впливає на точність певного розміру тільки тоді, коли перед обробкою партії заготовок передбачене настроювання верстата або різального інструмента на цей розмір. Наприклад, якщо оцінюється вплив похибки настроєння на діаметральний розмір отвору, то слід враховувати, яким саме різальним інструментом цей отвір оброблятиметься — якщо нерегульованим (свердлом, зенкером, розверткою тощо), то похибка настроєння не виникатиме, бо відсутній сам процес настроювання; якщо ж регульованим (настроюваним), наприклад, розточувальним різцем (на токарному верстаті) розточувальною оправкою або головкою, то похибка настроєння впливатиме на точність діаметрального розміру. З цієї ж причини похибка настроєння не впливає на забезпечення вимог відносного розташування (співвісності, биття, паралельності, перпендикулярності тощо) і на показники точності форми поверхонь (площинності, прямолінійності, циліндричності, круглості тощо), оскільки для забезпечення цих показників точності настроювання верстата не відбувається.

3.8 Похибка обробки, що зумовлена неточністю виготовлення та розмірним зносом різального інструмента

Вплив неточності виготовлення різального інструмента на точність механічної обробки. Поняття розмірного зносу різального інструмента, похибки обробки, що ним спричиняються. Шляхи зменшення розмірного зносу інструментів на точність механічної обробки.

Похибки виготовлення *мірних* різальних інструментів (свердел, розверток, зенкерів, протяжок, шпонкових фрез, фасонного інструмента та ін.) безпосередньо переносяться на оброблювані заготовки і зумовлюють появу систематичних постійних похибок розмірів та форми оброблюваних поверхонь. Разом з тим, реальна точність виготовлення таких інструментів на інструментальних заводах та в інструментальних цехах машинобудівних підприємств досить висока і тому похибками обробки, що зумовлені неточністю виготовлення різальних інструментів, зазвичай нехтують.

Причинами зносу лезового різального інструмента є тертя його задньої поверхні об поверхню заготовки. Тому зношування відбувається переважно по задній поверхні інструмента. Це призводить до того, що в процесі обробки партії заготовок на настроєному верстаті отримуваний розмір буде поступово змінюватися (розмір першої заготовки буде відрізнятися від розміру останньої на величину розмірного зносу u).

Розмірний знос визначають у напрямку нормалі N (рис. 29) до оброблюваної поверхні.

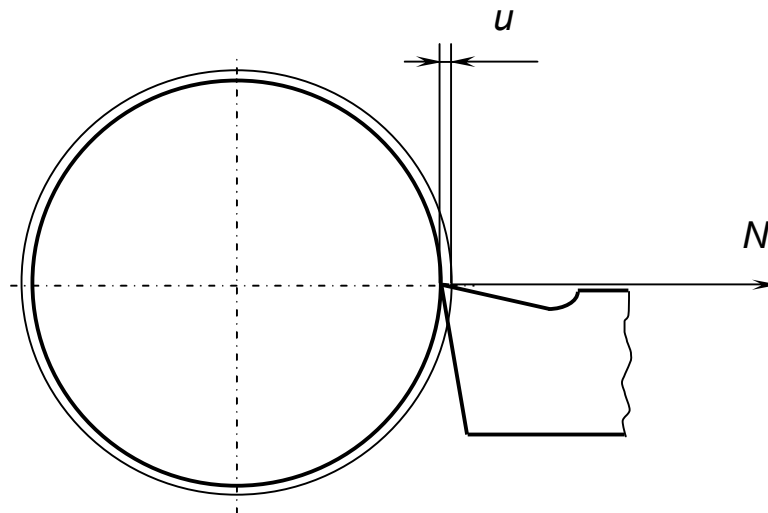


Рисунок 29 — Схема утворення розмірного зносу різця

Розмірний знос строго не підпорядковується лінійному закону (рис. 30). Перший нетривалий період роботи інструмента (зона I), під час якого відбувається припрацьовування леза інструмента після заточування, супроводжується викришуванням окремих нерівностей і загладжуванням рисок — слідів заточування різальних граней. Перший період характеризу-

ється інтенсивним зношуванням. Початковий знос $u_{\text{п}}$ і довжина шляху різання $L_{\text{п}}$, яка йому відповідає, залежать від матеріалу різальної частини інструмента і матеріалу заготовки, якості заточування і режимів різання. Зазвичай величина $L_{\text{п}}$ складає 500...2000 м.

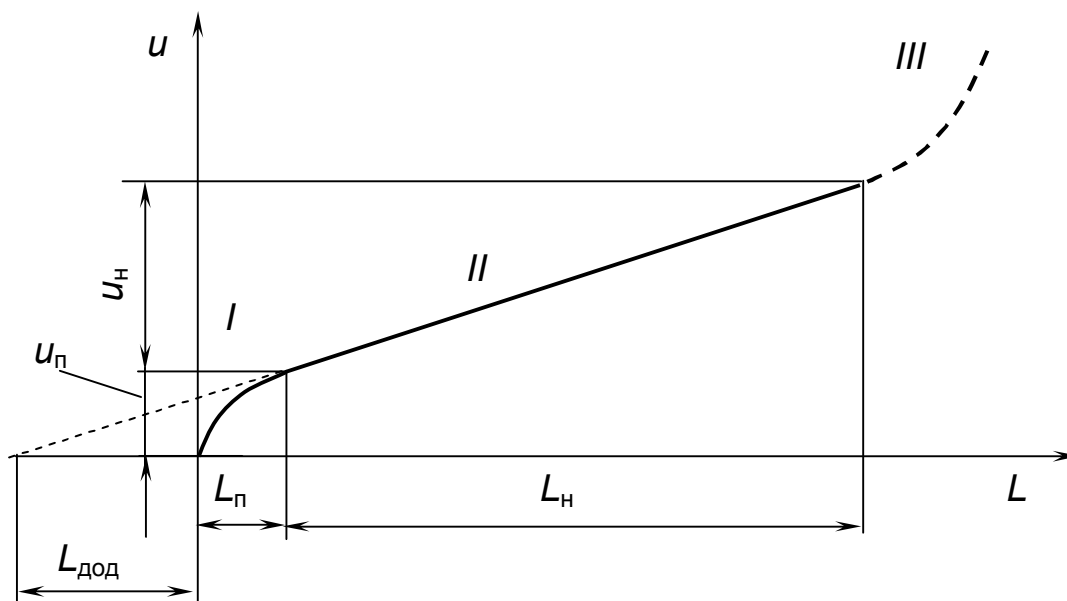


Рисунок 30 — Залежність розмірного зносу від довжини шляху, пройденого лезом інструмента під час обробки

Другий (основний) період характеризується нормальним експлуатаційним зношуванням інструмента (зона II). Характеристика зношування у зоні II прямолінійна і нахилена до осі абсцис під невеликим кутом. Інтенсивність зношування інструмента у цій зоні оцінюють відносним (питомим) зносом u_0 (мкм/км), який визначається за формулою

$$u_0 = \frac{u_{\text{н}}}{L_{\text{н}}}.$$

Відносний знос залежить від способу обробки, матеріалів заготовки та різального інструмента, конструкції різального інструмента, режимів різання, кутів різальної частини, жорсткості технологічної системи. З підвищенням жорсткості технологічної системи відносний знос помітно зменшується. Орієнтовні кількісні значення відносного зносу для деяких технологічних умов наведені у додатку Б.

Під час третього періоду роботи інструмента (зона III) відбувається швидке зношування різальної кромки, спричинене розростанням мікротріщин і перетворенням їх в макротріщини. Робота в зоні III є неприпустимою, оскільки через короткий проміжок часу відбувається руйнування різальної кромки.

Розрахунок зносу різального інструмента в зоні нормального експлуатаційного зношування здійснюють за формулою

$$u = \frac{u_0 L}{1000}, \quad (43)$$

де L — довжина шляху різання, м.

Для точіння і розточування циліндричних поверхонь довжина шляху різання під час обробки однієї деталі складе

$$L_1 = \frac{\pi d l}{1000 s}, \quad (44)$$

де d, l — відповідно діаметр і довжина оброблюваної поверхні, мм; s — подача, мм/об.

Для торцевого фрезерування довжину шляху різання, який проходить один зуб в процесі обробки однієї заготовки можна наближено знайти за формулою

$$L_1 = \frac{lB}{1000 z s_z},$$

де l, B — відповідно довжина і ширина оброблюваної поверхні, мм; z — кількість зубців фрези; s — подача фрези, мм/зуб.

Згідно з [8] зношування різального інструмента під час торцевого фрезерування відбувається інтенсивніше, ніж під час точіння, оскільки зубці фрези багаторазово врізаються в оброблювану заготовку. Тому відносний знос для торцевого фрезерування пропонується визначати за емпіричною формулою

$$u_{0\text{фр}} = \left(1 + \frac{100}{B}\right) u_{0\text{т}}, \quad (45)$$

де $u_{0\text{т}}$ — відносний знос під час точіння, визначений, наприклад, за таблицею додатку Б.

Розрахунок за формулами (43) і (45) стосується умов нормального зношування різального інструмента. Визначити знос нового інструмента або інструмента, встановленого на верстат після заточування можна за формулою

$$u = \frac{u_0 (L + L_{\text{дод}})}{1000}. \quad (46)$$

У формулі (46) $L_{\text{дод}}$ — додаткова довжина різання, яка враховує початковий знос (див. рис. 30). Для якісно заточених алмазним кругом інструментів можна прийняти $L_{\text{дод}} = 500$ м.

Оскільки знос різального інструмента підпорядкований цілком певній функціональній залежності (див. рис. 29), то зумовлена ним похибка обробки має систематичний характер, що закономірно змінюється.

Якщо інструмент новий або встановлений на верстат після заточування, то визначити кількісне значення похибки, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента, можна за формулою

$$\varepsilon_i = \frac{u_0(L_{\text{п}} + L_{\text{дод}})}{1000}, \quad (47)$$

де $L_{\text{п}} = L_1 n$ — довжина шляху різання (м), яка відповідає обробці певної кількості заготовок n без піднастроювання різального інструмента.

Якщо інструмент працює в зоні нормального зношування, то величина ε_i

$$\varepsilon_i = \frac{u_0 L_{\text{п}}}{1000}. \quad (48)$$

Приклад

На токарному верстаті з ЧПК обробляють партію заготовок (ступінчастих валів) зі сталі 45 за таких технологічних умов: вид обробки — чистове точіння поверхні $\varnothing 60_{-0,1}$ мм довжиною 44 мм; різальний інструмент — різець з пластиною з твердого сплаву Т30К4; подача $s = 0,1$ мм/об; швидкість різання $v = 130$ м/хв; розмір партії заготовок $n = 300$ шт.

Потрібно:

- оцінити можливість обробки всієї партії заготовок без піднастроєння різця;
- знайти похибку обробки, що спричиняється розмірним зносом різця.

Розв'язання задачі

Згідно з формулою (44) довжина шляху різання під час обробки однієї деталі складає

$$L_1 = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 44}{1000 \cdot 0,1} = 82,9 \text{ м.}$$

Довжина шляху різання, яка відповідає обробці партії деталей

$$L_{\text{п}} = 82,9 \cdot 300 = 24869 \text{ м.}$$

Оскільки згідно з даними додатку В стійкість різця за шорсткістю в метрах шляху різання $L_{\text{ш}} = 12500$ м, то обробка всієї партії заготовок (300 шт.) без піднастроєння різця неможлива.

Кількість заготовок, яка може бути оброблена без заточування різця з точки зору його стійкості за шорсткістю, складе

$$n = \frac{L_{\text{ш}}}{L_1} = \frac{12500}{89,2} = 141.$$

Визначимо похибку обробки через розмірний знос різця, яка виникне під час точіння 141 заготовки.

Вважаємо, що $L_{\text{дод}} = 500$ м; $u_0 = 6,5$ мкм/км.

Таким чином, згідно з формулою (47)

$$\varepsilon_i = \frac{6,5 \cdot (12500 + 500)}{1000} = 84,5 \text{ мкм.}$$

Діаметр останньої заготовки збільшиться на $2\varepsilon_i = 169$ мкм. Оскільки допуск діаметрального розміру оброблюваної поверхні складає 100 мкм, то є очевидним, що обробка навіть 141 заготовки без піднастроювання різця неможлива.

Визначити кількість заготовок, що можуть бути оброблені в період між піднастроюваннями, і похибку ε_i , що виникне під час їх обробки, можна тільки після знаходження кількісних значень решти елементарних похибок і визначення з використанням рівняння (11) допустимого значення ε_i .

З розглянутого прикладу випливає, що зменшити вплив розмірного зносу на точність обробки можна періодичним піднастроюванням різального інструмента за час його стійкості. Цей спосіб може використовуватися для різців, фрез та інших інструментів, які допускають коректування розміру настроєння зміною відстані між заготовкою і різальною кромкою інструмента.

Ефективним напрямом зменшення впливу розмірного зносу на точність обробки є застосування різальних інструментів із надтвердих матеріалів. Це дозволяє зменшити відносний знос і збільшити швидкість різання, скоротивши час на обробку.

Впливу розмірного зносу на точність обробки можна практично уникнути завдяки застосуванню на верстатах приладів активного контролю з одночасним автоматичним коректуванням положення різального інструмента відносно заготовки.

3.9 Поняття геометричної точності верстата. Похибки обробки, що спричиняються геометричною неточністю верстата

Поняття геометричної точності верстата. Похибки, що спричиняються геометричною неточністю верстата та їх вплив на точність розмірів і форми оброблених поверхонь.

Для якісного виконання верстатом свого службового призначення його виконавчі поверхні мають бути пов'язані між собою певними геометричними параметрами (відстанями, кутами повороту тощо). Номінальні значення і граничні відхилення цих параметрів встановлюються під час конструювання верстата і мають безумовно забезпечуватись завдяки відповідній точності виготовлення його деталей і точності складання. Важливе значення щодо підтримання геометричних параметрів верстатів в заданих межах мають правильний монтаж та експлуатація.

Показники точності верстата, отримані в ненавантаженому його стані, називають показниками *геометричної точності верстата (geometric accuracy of a machine tool)*.

Для кожного типу верстатів показники геометричної точності регламентуються відповідними стандартами. Цими ж стандартами передбачені методи перевірки цих показників. Під час перевірки вузли верстата мають бути нерухомими або плавно і повільно переміщуватись.

Геометрична неточність верстатів повністю або частково переноситься на оброблювані заготовки у вигляді *систематичних постійних похибок*. Ці похибки можуть спричинити відхилення форми, відносного розташування і розмірів поверхонь від заданих.

В кожному конкретному випадку похибка обробки, що спричиняється геометричною неточністю верстата (ε_B), визначається в результаті аналізу схеми розташування та відносного руху заготовки і вузлів верстата.

Під час точіння консольно закріпленої в патроні циліндричної заготовки в результаті відхилення від паралельності напрямку руху супорта відносно осі обертання шпинделя в горизонтальній площині (рис. 31) обточена поверхня матиме конусність

$$\Delta_{\text{кон}} = R_{\text{max}} - R_{\text{min}} = l \cdot \text{tg} \alpha = \frac{l C_{\phi}}{L_{\phi}},$$

де C_{ϕ} — фактичне відхилення (мм) від паралельності напрямку руху супорта осі обертання шпинделя в межах базової довжини L_{ϕ} , мм; l — довжина оброблюваної поверхні, мм.

Таким чином, похибку ε_B (на радіус) у розглянутому вище випадку під час проектних технологічних розрахунків можна знайти за формулою

$$\varepsilon_B = \frac{Cl}{L_6},$$

де C — допустиме (нормативне) відхилення від паралельності напрямку руху супорта відносно осі обертання шпинделя в межах базової довжини. Згідно з [8] на базовій довжині 300 мм величина C складає 0,01...0,015 мм.

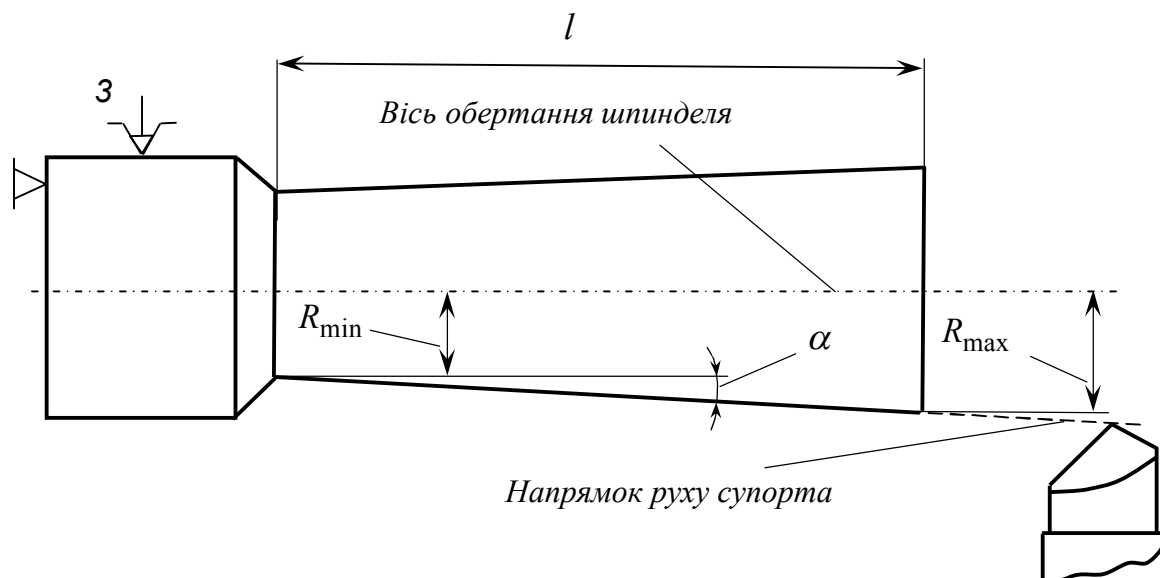


Рисунок 31 — Вплив відхилення від паралельності напрямку руху супорта відносно осі обертання шпинделя в горизонтальній площині на форму проточеної поверхні

Аналогічна похибка виникає під час обробки зовнішніх циліндричних поверхонь (точіння чи круглого шліфування) в центрах у випадку відхилення спільної осі конічних поверхонь центрів передньої і задньої бабки відносно напрямку руху супорта.

Відхилення від перпендикулярності напрямку руху шпиндельної бабки вертикального свердлильно-фрезерно-розточувального верстата відносно площини столу спричинятиме відхилення від перпендикулярності осі розточеного в заготовці отвору відносно базової площини.

Відхилення від перпендикулярності осі шпинделя відносно площини столу в поздовжньому напрямі зумовить під час обробки площини торцевою фрезою увігнутість в перерізі, перпендикулярному до напрямку подачі.

У верстатобудуванні під час виготовлення нових верстатів прийнято призначати показники точності не більшими за 70% від відповідних нормативних величин, тому під час проектних технологічних розрахунків очікувану похибку можна визначати, виходячи з норм точності за стандартами.

3.10 Теплові деформації в системі ВПД

Причини виникнення теплових деформацій елементів системи ВПД. Похибки механічної обробки, що спричиняються тепловими деформаціями елементів системи ВПД. Шляхи зменшення цих похибок.

В процесі механічної обробки відбувається нагрівання елементів системи ВПД в результаті впливу теплової енергії, що виділяється в зоні різання, в приводах і механізмах верстата через втрати на тертя, а також від теплової енергії зовнішніх джерел. Це нагрівання спричиняє пружні деформації в системі ВПД і появу похибки обробки ε_T .

Тепловий стан системи ВПД може бути стаціонарним і нестаціонарним. В першому випадку встановлюється тепла рівновага системи — підведення теплової енергії кількісно дорівнює її втратам і тому температура верстата, пристрою і різального інструмента постійна. До умов стаціонарного теплового стану наближені процеси обробки невеликих заготовок на попередньо розігрітих верстатах. Нестаціонарний тепловий стан спостерігається в період пуску верстата після його тривалої зупинки. Будь-який процес можна вважати нестаціонарним, якщо тепла енергія, що виділяється під час різання, помітно нагріває заготовку.

Розподіл теплоти в процесі різання між стружкою, заготовкою та інструментом залежить від способу обробки, режимів різання, матеріалів оброблюваної заготовки та інструмента. Так, в процесі точіння (без охолодження) матеріалів з високою теплопровідністю (вуглецевих сталей, алюмінієвих і мідних сплавів) розподіл теплоти такий: в стружку — 60...90%; в інструмент — 3...5%; решта — в заготовку. Під час такої ж обробки матеріалів з низькою теплопровідністю (жаростійкі, титанові сплави) 35...45% теплоти переноситься в заготовку; 20...40% — в інструмент; решта — в стружку. Найбільша кількість теплоти переходить в заготовку під час свердління (до 60%).

Теплові деформації верстата

Нагрівання станини, корпусних та інших деталей верстата відбувається внаслідок втрат на тертя в механізмах, гідроприводах і в електричних пристроях. Значна кількість теплоти передається деталям верстата від охолоджувальної рідини, яка відводить теплоту із зони різання.

Встановлено [6], що значний вплив на точність остаточної обробки має нагрівання шпиндельних вузлів. Під час роботи верстата відбувається поступове розігрівання шпиндельного вузла і зміщення осі його обертання як в горизонтальній, так і у вертикальній площині. Це пояснюється тим, що під час роботи верстата різниця температур в різних місцях корпусу шпиндельної бабки може досягати 50 °С. Зміщення шпинделя може складати 0,01...0,02 мм.

Теплові деформації верстата можуть бути суттєво зменшені вжиттям таких заходів [6]:

1) забезпечення постійності температурного поля в зоні розташування верстата завдяки:

- підтриманню в цеху потрібного температурного режиму;
- розміщенню верстатів для точної обробки в спеціальних термоконстантних приміщеннях;

2) зменшення нерівномірного нагріву верстатів завдяки:

- винесенню внутрішніх джерел теплоти (електродвигунів, гідроприводів) за межі верстата;
- використанню спеціальних систем для підтримання заданої температури ЗОР і окремих частин верстата;

3) зменшення впливу нерівномірних деформацій завдяки:

- раціональному вибору матеріалів деталей;
- спрямуванню температурних деформацій деталей верстата таким чином, щоб ці деформації не збігалися з напрямками точних розмірів;
- застосуванню пристроїв для компенсації температурних зміщень;

4) експлуатаційними заходами:

- установленню верстата в зоні найменшого впливу температурних полів;
- своєчасним регулюванням зазорів в підшипникових вузлах;
- проведення фінішної обробки точних деталей після досягнення верстатом стаціонарного теплового стану (після тривалих зупинень верстат має пропрацювати вхолосту протягом 20...30 хв).

Теплові деформації інструмента

Деяка частина теплоти, що виділяється під час різання, переходить в різальний інструмент, нагріває його і змінює розміри. Під час токарної обробки найбільша частка похибки обробки, що зумовлена тепловими деформаціями системи ВПД, спричиняється видовженням різців через їх нагрівання. На рис. 32 показано графіки, отримані проф. А. П. Соколовським за результатами точіння твердосплавним різцем заготовок з легованої сталі. Теплова рівновага встановлюється приблизно через 20...24 хв роботи. В процесі обробки м'якої сталі тепла рівновага різця встановлюється через 12 хв роботи.

Зі збільшенням швидкості різання, глибини різання і подачі інтенсифікується нагрівання і, відповідно, збільшується видовження різця.

За умови ритмічної роботи теплові деформації заготовок постійні (рис. 32). За відсутності ритмічності теплові деформації окремих заготовок різні. Це може спричинити розсіювання їх розмірів.

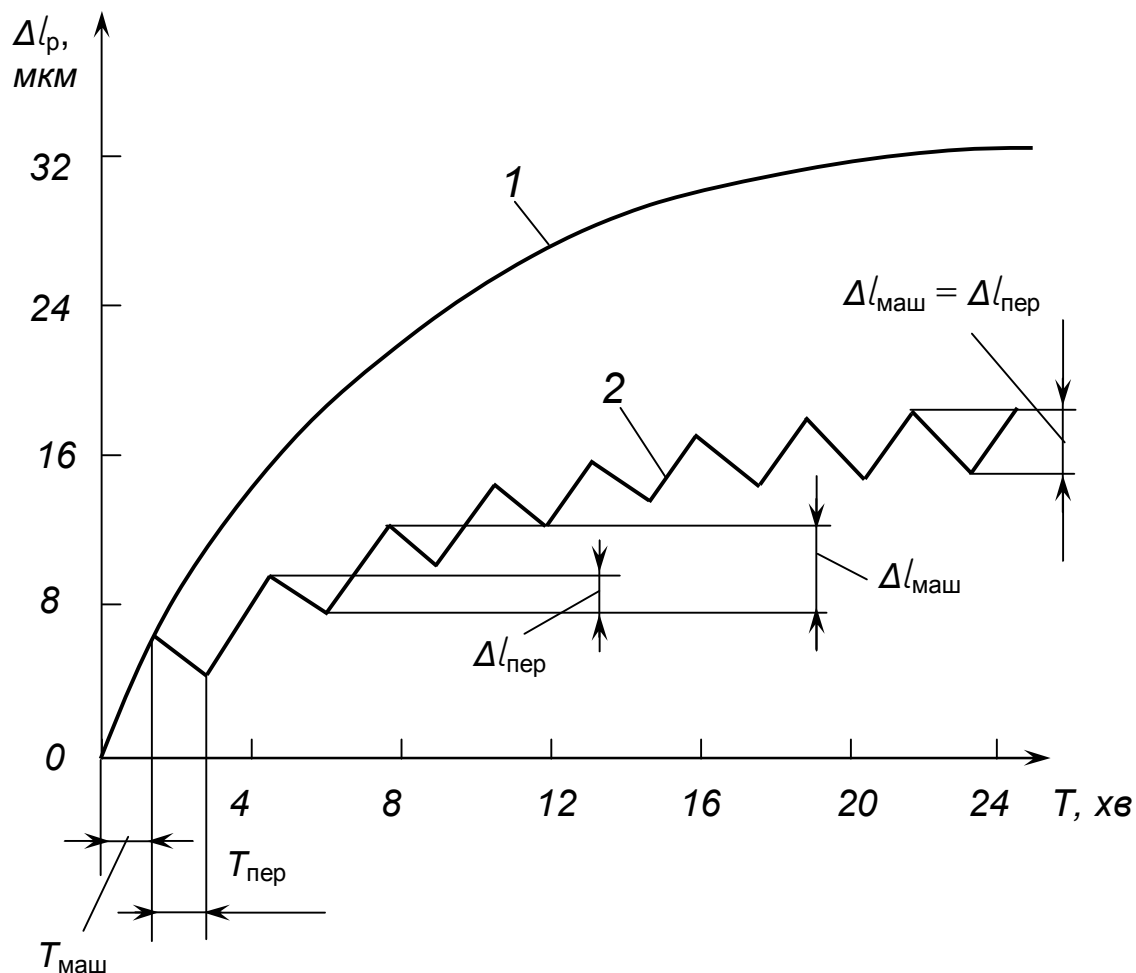


Рисунок 32 — Вплив перерв роботи різця на його теплові деформації: 1 — нагрівання різця за час неперервної роботи; 2 — робота в умовах різання з перервами; Δl_p — видовження різця; $\Delta l_{\text{маш}}$ — видовження різця упродовж машинного часу; $\Delta l_{\text{пер}}$ — зменшення довжини різця через охолодження за час перерви

Нагрівання різальних інструментів під час фрезерування, обробки вінців зубчастих коліс та інших операцій, виконуваних з достатнім охолодженням, значно менше впливає на точність обробки, ніж нагрівання токарних різців.

Теплові деформації заготовки

Окрім теплових деформацій верстата та інструмента на точність обробки впливають також теплові деформації оброблюваних заготовок.

Нагрів крупногабаритних заготовок під час механічної обробки незначний і, відповідно, його впливом на точність обробки можна знехтувати, особливо за малих розмірів оброблюваних поверхонь.

Теплові деформації тонкостінних заготовок за відносно великих розмірів оброблюваних поверхонь можуть бути зіставними із допусками, які відповідають 7 квалітету точності. Вплив теплових деформацій на точність зростає під час обробки внутрішніх поверхонь, коли поглинання тепла заготовкою збільшується.

Помітні теплові деформації заготовок можуть виникати в процесах односторонньої обробки довгих заготовок типу рейок, планок, а також пластин і плит.

Теплові деформації заготовок можуть бути зменшені завдяки:

- підведенню достатньої кількості ЗОР в зону різання;
- підвищенню швидкості різання, в результаті чого більша частка теплоти відводиться в стружку;
- охолодженню заготовок достатнім витримуванням на транспортувальних пристроях або в тарі.

Повну похибку обробки, що спричиняється тепловими деформаціями, зазвичай визначити не вдається. Тому, згідно з [13], для операцій точної обробки лезовими інструментами похибку, що спричиняється тепловими деформаціями системи ВПД, наближено приймають рівною

$$\varepsilon_T = (0,1 \dots 0,15)(\varepsilon_\Sigma - \varepsilon_T),$$

а для шліфування

$$\varepsilon_T = (0,3 \dots 0,4)(\varepsilon_\Sigma - \varepsilon_T).$$

Якщо в системі ВПД встановився стаціонарний тепловий стан, то похибка ε_T є систематичною постійною похибкою. Якщо ж система ВПД перебуває в нестаціонарному тепловому стані, то похибка ε_T є систематичною похибкою, що закономірно змінюється.

3.11 Похибки обробки, зумовлені пружними деформаціями тонкостінних заготовок під дією сил затискання

Пружні зміщення в нежорстких елементах заготовок можуть спричинятися не тільки силами різання, але й силами, які діють на заготовку зі сторони затискних елементів пристрою, тобто силами затискання. Якщо напрямок певного пружного зміщення збігається у просторі з напрямком одного з технологічних розмірів, а також, якщо ці зміщення неоднакові в різних місцях заготовки або неоднакові у різних заготовок партії, то виникає похибка оброблення за цим розміром. Найчастіше такі похибки проявляються як похибки форми обробленої поверхні.

Розглянемо вплив сил затискання на виникнення похибки форми (відхилення від круглості) під час обробки точінням чи круглим шліфуванням тонкостінного кільця. Припустимо, що верстатним пристроєм є трикулачковий самоцентрувальний патрон.

Тонкостінними називають кільця, втулки, стакани та інші деталі зі співвідношенням товщини стінки і середнього радіуса $h/r \leq 0,2$.

Схема виникнення похибки форми через пружну деформацію тонкостінного кільця під час установлення його в трикулачковий самоцентрувальний патрон показана на рис. 33.

На рис. 33, *а* показано кільце після прикладання сил затискання Q . Ці сили деформують кільце і спричиняють відхилення від круглості його циліндричних поверхонь.

На рис. 33, *б* показано кільце в процесі точіння його зовнішньої поверхні, яка отримує круглу форму.

Оброблене і зняте з пристрою кільце пружно відновлюється (рис. 33, *в*). Оброблена поверхня матиме форму з відхиленням від круглості ε_1 , а отвір прийме таку ж форму, яку він мав перед затисканням кільця у патроні.

Деформацію кільця ε (рис. 33, *а*) під дією сил затискання можна знайти за формулою:

$$\varepsilon = \frac{C \cdot Q \cdot r^3}{E \cdot I_x}, \quad (49)$$

де C — коефіцієнт, який залежить від кількості кулачків (таблиця 3); Q — сила затискання, яка діє зі сторони кулачка на стінку кільця, Н; r — середній радіус кільця, мм; E — модуль пружності матеріалу кільця (для сталі $E = 2 \cdot 10^5$ Н/мм²); I_x — момент інерції поперечного перерізу.

Для кільця зі стінкою, що має прямокутний поперечний переріз,

$$I_x = \frac{bh^3}{12},$$

де b і h — відповідно ширина кільця і товщина стінки кільця.

Формула (49) справедлива для напряму дії сил затискання як до центра, так і від центра кільця.

Оскільки величини сил затискання вибирають такими, щоб матеріал заготовки після її затискання у верстатному пристрої працював у зоні пружних деформацій (без пластичного деформування), то відхилення поверхні кільця від круглості ε після прикладання сил затискання і відхилення від круглості після знімання кільця з пристрою ε_1 однакові, тобто виконується співвідношення $\varepsilon = \varepsilon_1$. Таким чином, з використанням формули (49) можна визначати похибки форми, які виникають під час обробки тонкостінних нежорстких заготовок (кілець, втулок, стаканів, гільз, труб тощо), через затискання їх в кулачкових самоцентрувальних патронах.

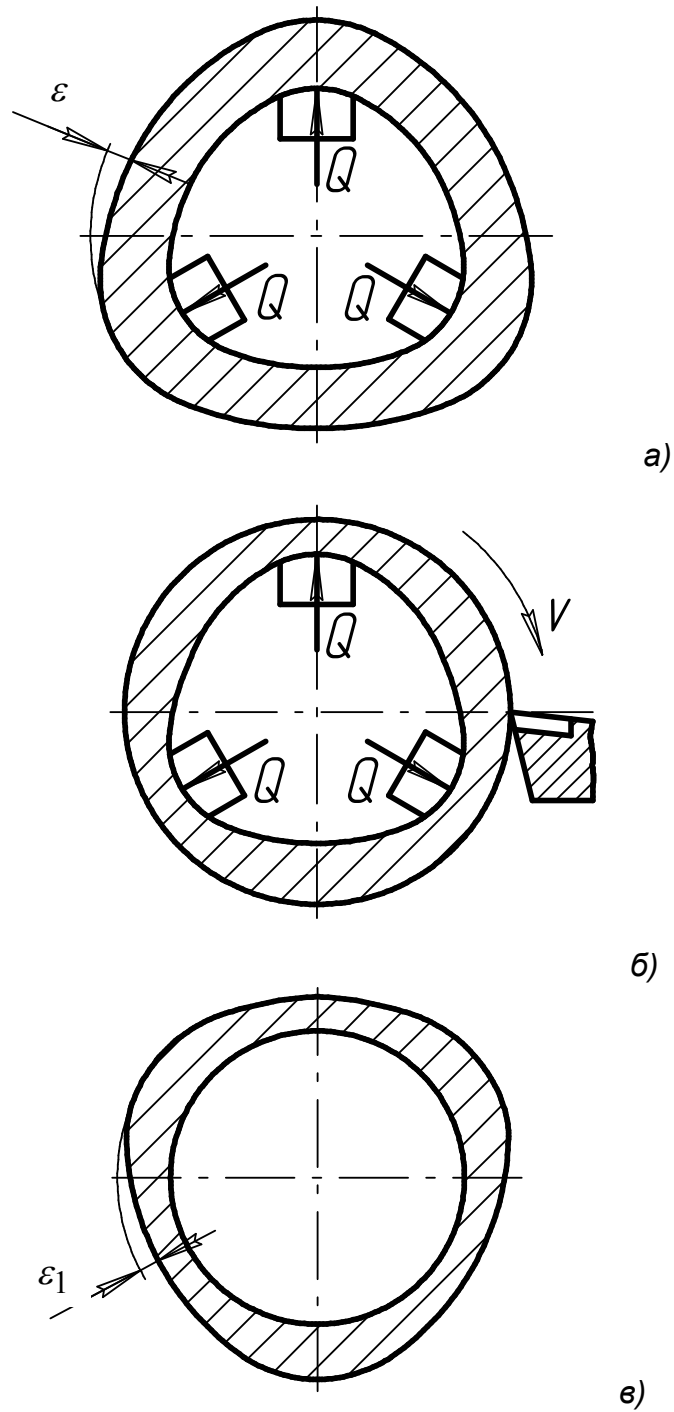


Рисунок 33 — Схема виникнення похибки обробки, що спричиняється пружним деформуванням тонкостінного кільця під час установлення в трикулачковий самоцентрувальний патрон

Таблиця 3 — Залежність коефіцієнта C від кількості кулачків патрона

Кількість кулачків	2	3	4	6	8	10	12
Значення коефіцієнта C	0,14	0,03	0,01	0,003	0,0013	0,0007	0,0004

З таблиці 3 і формули (49) випливає, що збільшення кількості кулачків в патроні суттєво зменшує пружні деформації заготовки і, відповідно, похибку форми обробленої поверхні.

На операціях фінішної обробки тонкостінних деталей для зменшення пружних деформацій бажано, щоб сили затискання були направлені паралельно осі оброблюваної циліндричної поверхні.

Для зменшення деформацій стінок заготовок корпусних деталей, важелів, вилок тощо потрібно під час конструювання верстатного пристрою передбачати спрямування сил затискання навпроти опорних елементів пристрою.

3.12 Питання для самоконтролю

1. Поняття технологічного і конструкторського розмірів.
2. Способи отримання технологічних розмірів.
3. Поняття: похибки обробки, абсолютної похибки обробки, елементарної похибки обробки.
4. Поняття похибки обробки: систематичної постійної, систематичної, що закономірно змінюється, випадкової.
5. Поняття сумарної похибки обробки. Для чого визначається ця похибка?
6. Поняття похибки установа заготовки у верстатний пристрій. Складові цієї похибки.
7. Що таке похибка базування і як кількісно вона визначається?
8. Суть принципу суміщення баз. Наведіть приклади його дотримання.
9. У яких випадках похибка базування відсутня?
10. Чому похибка базування відсутня на розмір, який координує поверхні, що отримані обробкою за один установ заготовки? Наведіть приклади.
11. Чому похибка базування відсутня на діаметральні розміри?
12. Які показники точності механічної обробки не залежать від схеми базування?
13. Чи впливає похибка базування на показники точності форми поверхонь?
14. Який характер виявлення має похибка базування?
15. За якої умови похибка базування не впливатиме на точність відносного розташування поверхонь?

16. Чим визначається потрібна величина сили закріплення заготовки у верстатному пристрої?

17. Шляхи зменшення впливу похибки закріплення на точність механічної обробки.

18. Яким чином можна зменшити вплив похибки, що спричиняється неточністю встановлення пристрою на верстат, на сумарну похибку обробки?

19. Шляхи зменшення впливу похибки, що спричиняється зносом установних елементів пристрою, на точність механічної обробки.

20. У яких випадках похибка установа заготовки у верстатний пристрій не впливає на точність механічної обробки?

21. Фактори, що впливають на жорсткість металорізальних верстатів.

22. Суть статичного способу визначення жорсткості вузлів металорізальних верстатів.

23. Суть виробничого способу визначення жорсткості вузлів токарного верстата.

24. Поясніть, чому для визначення жорсткості вузлів токарного верстата виробничим способом потрібна заготовка саме з трьома східчастими елементами.

25. Шляхи підвищення жорсткості металорізальних верстатів.

26. Чи впливає похибка, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи і дією сил різання, на показники точності форми поверхонь?

27. Які способи настроювання верстатів на розмір обробки використовуються в машинобудуванні?

28. Які статистичні характеристики точності технологічного переходу необхідно знати для настроювання верстата з використанням способу пробних заготовок?

29. У якому випадку настроєння верстата за способом пробних заготовок вважається задовільним?

30. Які фактори впливають на точність настроєння верстата за способом пробних заготовок?

31. Дайте порівняльну характеристику способів настроювання верстатів за пробними заготовками і за еталоном.

32. Як визначається похибка настроєння? Який характер виявлення має ця похибка?

33. Назвіть шляхи зменшення похибки настроєння.

34. Чи впливає похибка настроєння на точність діаметрального розміру отвору, обробленого розвірчуванням нерегульованою розверткою?

35. У яких випадках похибка настроєння не впливає на точність діаметральних розмірів?

36. Поняття розмірного зносу різального інструмента. Що таке початковий знос, нормальний експлуатаційний знос, катастрофічний знос, відносний знос?

37. Як визначається похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента? Який характер виявлення має ця похибка?

38. Шляхи зменшення похибки, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента.

39. Поняття геометричної точності верстата. Яким нормативним документом регламентуються показники точності металорізальних верстатів?

40. Чи впливає похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата, на показники точності форми поверхонь.

41. Шляхи зменшення впливу на точність обробки похибки, що спричиняється температурними деформаціями технологічної системи.

42. Шляхи зменшення похибок закріплення тонкостінних заготовок, що спричиняються їх деформуванням під час встановлення у верстатний пристрій.

Розділ 4 МАТЕМАТИЧНА СТАТИСТИКА В ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

Основні терміни і означення математичної статистики. Статистичний аналіз точності обробки за допомогою побудови кривих розподілу (методу великих вибірок). Закони розподілу випадкових величин. Статистичний аналіз точності обробки за допомогою методу точкових діаграм.

4.1 Основні терміни і означення математичної статистики, які використовуються в технології машинобудування

В машинобудуванні статистичні методи широко використовуються для оцінювання точності обробки деталей у діючому технологічному процесі їх виготовлення, настроювання металорізальних верстатів на розмір обробки, оцінювання стабільності технологічних процесів, прогнозування браку, контролю якості продукції і розв'язання інших технологічних задач переважно серійного і масового виробництва.

Математична статистика (mathematical statistics) — наука про математичні методи систематизації і застосування статистичних даних для наукових і практичних висновків.

У математичній статистиці використовуються специфічні поняття, серед яких основними є:

- випробовування;
- подія;
- випадкова величина;
- розподіл випадкової величини;
- генеральна сукупність;
- вибірка;
- об'єм вибірки.

Випробуванням (test) називають практичне виконання певного комплексу дій і умов (наприклад, одноразове виконання деякого технологічного переходу механічної обробки).

Подією (event) називають явище, що відбувається внаслідок випробування (наприклад, отримання певного дійсного значення технологічного розміру внаслідок одноразового виконання технологічного переходу механічної обробки).

Події, що відбуваються під час багаторазового повторення випробувань, називають *масовими (mass events)*.

Якщо в результаті кожного випробування неодмінно відбувається подія A , то таку подію називають достовірною. Якщо в умовах випробування деяка подія B ніколи не може відбутись, то її називають *неможливою (improbable event)*. Якщо ж під час випробування подія C може відбутись, а може і не відбутись, то таку подію називають *можливою або випадковою (random event)*.

Якщо результатом масових випробувань є сукупність випадкових подій, які можна охарактеризувати кількісно, то цю кількісну характеристику (в машинобудуванні — лінійний розмір, показник шорсткості, твердість матеріалу тощо) називають *випадковою величиною* (**random quantity**). Наприклад, випадковою величиною може бути діаметр шийки валика як результат механічної обробки партії таких валиків на одному з технологічних переходів.

Розрізняють дискретні і безперервні випадкові величини.

Дискретна випадкова величина (**discrete random quantity**) може приймати лише певні, найчастіше цілочислові значення. Наприклад, кількість бракованих деталей в партії може бути тільки цілим додатним числом.

Безперервна випадкова величина (**continuous random quantity**) може приймати будь-які кількісні значення з безперервного ряду її можливих значень в межах певного інтервалу. Наприклад, розміри деталей, які утворюються в результаті механічної обробки, є безперервними випадковими величинами.

Під час випробувань деяка випадкова подія може відбуватися декілька разів. Нехай, наприклад, під час проведених N випробувань подія A відбулася f разів. Число f має назву *частоти події* (**frequency of event**). Відношення частоти події f до загальної кількості випробувань N називають *частістю* (**frequency ratio of event**) m_A події.

Таким чином,

$$m_A = \frac{f}{N} . \quad (50)$$

Якщо кількість випробувань досить велика, то частість подій приблизно дорівнює імовірності появи цих подій у майбутньому (зрозуміло, що за тих же умов).

Сукупність значень випадкової величини, отриманих під час масових випробувань, розташованих у висхідному порядку із зазначенням їх імовірності або частоти, називають *розподілом випадкової величини* (**distribution of a random quantity**).

Однією з основних задач математичної статистики є розробка методів вивчення масових явищ або процесів на основі порівняно невеликої кількості випробувань. Ці методи мають своє наукове обґрунтування, яке називають теорією вибірок.

Згідно з цією теорією групу предметів, об'єднаних деякою спільною ознакою або властивістю кількісного чи якісного характеру, називають *статистичною сукупністю* (**statistical universe**). Наприклад, партію деталей, оброблену зі сталими технологічними умовами на певній операції, можна розглядати як статистичну сукупність. Спільною ознакою може бути досліджуваний розмір поверхні або розмір між поверхнями.

Для обстеження великих сукупностей використовують вибірки з них. Таким чином, *вбірка* (**sample**) — це частина членів сукупності, відібраних із неї для отримання інформації про всю сукупність. У цьому випадку су-

купність, яку репрезентує вибірка, називають *генеральною сукупністю (general totality)*.

Кількість членів вибірки складає її *об'єм (sample size)*.

Далі розглядаються два статистичних методи, які найчастіше використовуються в технології машинобудування — аналіз точності механічної обробки за допомогою побудови кривих розподілу (метод великих вибірок) та аналіз точності механічної обробки за допомогою точкових діаграм.

4.2 Статистичний аналіз точності механічної обробки за допомогою побудови та аналізу кривих розподілу (метод великих вибірок)

За допомогою методу побудови та аналізу кривих розподілу, який називають також методом великих вибірок [12], можна визначити імовірний обсяг бракованих деталей, оброблених на настроєному верстаті, і визначити зміст технологічних заходів, які мають бути вжиті для усунення браку.

Аналіз проводять після того, як верстат пропрацює деякий час (1...2 години) для стабілізації температури системи ВПД.

Для аналізу відбирається вибірка оброблених підряд одна за одною заготовок. Об'єм вибірки має складати 50...100 шт.

Для того, щоб за даними аналізу вибірки можна було робити висновки щодо певної ознаки генеральної сукупності, необхідно, щоб члени вибірки правильно її представляли, тобто вибірка має бути *репрезентативною*.

Під час статистичних досліджень технологічних переходів механічної обробки для забезпечення репрезентативності вибірки оброблених заготовок мають виконуватись такі умови:

- всі заготовки мають оброблятися безперервно, на одному верстаті, одним інструментом, з однаковими режимами різання;
- верстат має працювати з приблизно однаковими зупинками для устанавлення й знімання заготовок, без тривалих перерв;
- всі заготовки мають бути виготовлені з одного й того ж матеріалу;
- під час обробки заготовок вибірки різальний інструмент не повинен зніматися, переточуватися, правитися і піднастроюватися.

Після обробки всі заготовки вибірки вимірюються за допомогою універсального вимірювального інструмента з ціною поділки, яка не повинна перевищувати $0,1T$ (T — допуск вимірюваного розміру).

Розглянемо послідовність виконання статистичного аналізу на конкретному *прикладі*. Припустимо, що на настроєному токарному напівавтоматі в партії заготовок розточується отвір в розмір $\text{Ø}40\text{H}9^{+0,062}$ мм. Для аналізу відібрана вибірка послідовно оброблених заготовок об'ємом 50 штук. Отримані в результаті обробки дійсні розміри заготовок наведені у таблиці 4.

Таблиця 4 — Дійсні розміри оброблених заготовок

40,037	40,000	40,035	40,029	40,041
40,023	40,012	40,036	40,028	40,042
40,030	40,032	40,036	40,030	40,043
40,024	40,014	40,027	40,037	40,018
40,052	40,046	40,022	40,033	40,045
40,025	40,017	40,063	40,031	40,015
40,026	40,044	40,048	40,032	40,047
40,036	40,019	40,039	40,013	40,038
40,028	40,039	40,020	40,031	40,024
40,036	40,024	40,038	40,034	40,031

В результаті аналізу отриманої сукупності дійсних розмірів отворів будують *криву розподілу* у такій послідовності.

Спочатку визначають емпіричне поле розсіювання δ_e досліджуваного розміру x , тобто інтервал, у якому знаходяться всі дійсні значення x . Цей інтервал знаходять як різницю найбільшого і найменшого значень x , тобто

$$\delta_e = x_{\max} - x_{\min}. \quad (51)$$

Для прикладу, що розглядається, $\delta_e = 40,063 - 40,000 = 0,063$ мм.

Далі поле розсіювання розбивають на певну кількість інтервалів k (найчастіше $k = 7 \dots 11$) і визначають ширину інтервалу Δ за формулою

$$\Delta = \frac{\delta}{k}. \quad (52)$$

Прийнявши $k = 7$, отримаємо $\Delta = 0,063/7 = 0,009$ мм.

Результат обчислення Δ допускається дещо округляти в більшу сторону. Подальші результати аналізу сукупності дійсних розмірів можна оформити у вигляді таблиці 5.

Емпіричний розподіл випадкової величини можна показати графічно (рис. 34) у вигляді *полігона розподілу* (**distribution polygon**) або *гістограми розподілу* (**distribution barchart**).

Очевидно, що значення частостей m_i будуть залежати від ширини вибраного інтервалу. Щоб позбутися цього, розглядають емпіричну щільність розподілу випадкової величини, розуміючи під останньою відношення частості до величини інтервалу

$$y_{e_i} = \frac{m_i}{\Delta_i}, \quad (53)$$

де i — порядковий номер інтервалу.

Таблиця 5 — Результати підрахунку частот інтервалів

№ інтервалу	Границі інтервалу, мм	Підрахунок частот	Частота, f	Частість, m	Емпірична щільність розподілу, y_e
1	2	3	4	5	6
1	Від 40,000 до 40,009	//	2	0,04	4,4
2	Понад 40,009 до 40,018	////	5	0,10	11,1
3	Понад 40,018 до 40,027	//// /	9	0,18	20,0
4	Понад 40,027 до 40,036	//// / / / / / / / / /	19	0,38	42,2
5	Понад 40,036 до 40,045	//// / / / /	10	0,20	22,0
6	Понад 40,045 до 40,054	////	4	0,08	8,9
7	Понад 40,054 до 40,063	/	1	0,02	2,2

У цьому випадку вигляд графіка не залежить від величини інтервалу Δ . Зі збільшенням кількості деталей в партії, підвищенням точності їх вимірювання і наближенням Δ до нуля графік емпіричної щільності розподілу наближається до гладкої кривої, яку називають *емпіричною диференціальною кривою розподілу* (**empiric differential distribution curve**) або розподілом випадкової величини.

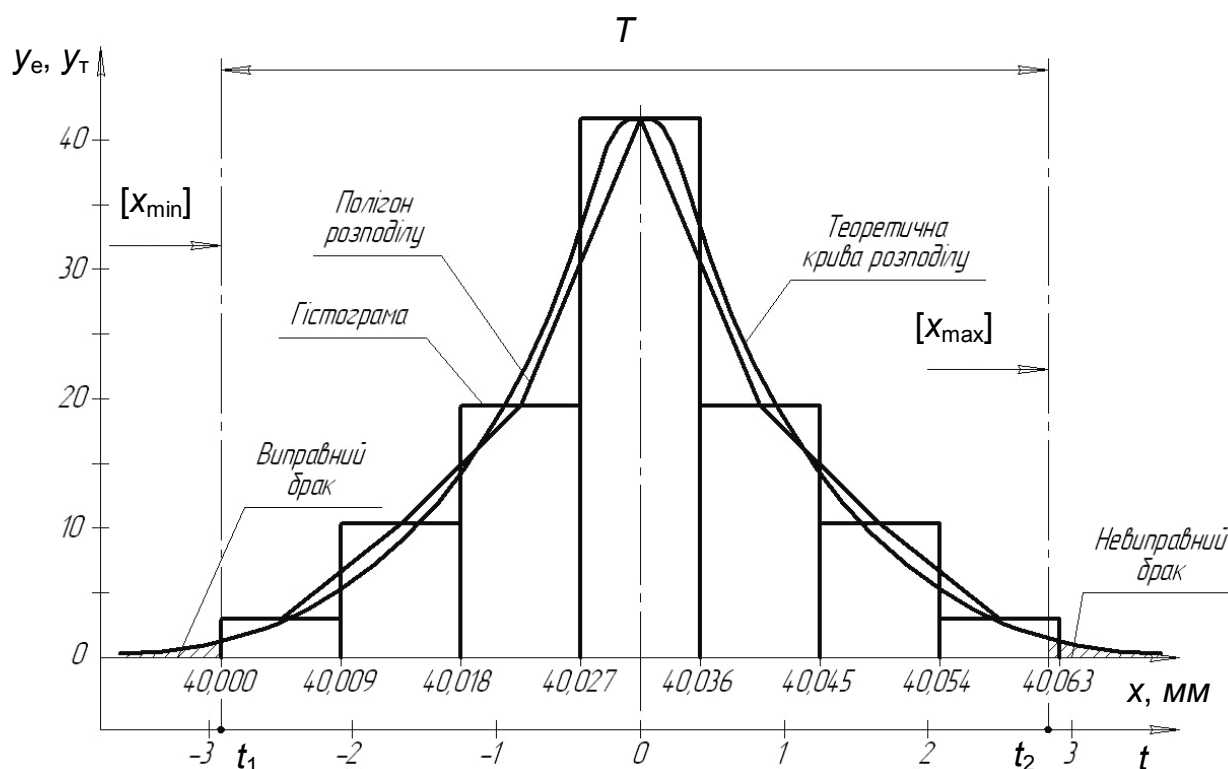


Рисунок 34 — Графіки емпіричної і теоретичної характеристик розподілу безперервної випадкової величини (розміру x)

Для того, щоб за знайденим розподілом розмірів вибірки спрогнозувати результати обробки заготовок, які складають генеральну сукупність, потрібно знайдений (емпіричний) закон розподілу замінити теоретичним законом, який за формою був би близьким до емпіричного.

Залежно від технологічних умов, розміри оброблених заготовок можуть підпорядковуватися різним законам розподілу. В технології машинобудування практичне застосування мають такі закони:

- нормального розподілу (закон Гаусса);
- рівнобедреного трикутника (закон Сімпсона);
- закон рівної імовірності;
- ексцентриситету (закон Релея).

Детальніше розглянемо особливості застосування і основні характеристики цих законів.

Закон нормального розподілу (закон Гаусса)

Дослідженнями вчених (професори А. Б. Яхін, А. А. Зиков та ін.) встановлено, що емпіричний розподіл розмірів заготовок, оброблених на настроєному верстаті, найчастіше є близьким до *закону нормального розподілу (the law of normal distribution)*. Рівняння диференціальної кривої нормального розподілу має такий вид

$$y(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad (54)$$

де y — теоретична щільність розподілу; \bar{x} — середнє значення розміру x ; σ — середнє квадратичне відхилення випадкової величини (розміру x); $e = 2,718$ — основа натуральних логарифмів.

Значення \bar{x} та σ можна знайти за формулами

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (55)$$

або

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^k x_j f_j}{n}; \quad (56)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n}} \quad (57)$$

або

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^k (\bar{x}_i - \bar{x})^2 f_j} , \quad (58)$$

де n — кількість заготовок у вибірці (об'єм вибірки); x_i — значення дійсного розміру i -ї обробленої заготовки; \bar{x}_j — середній розмір заготовок j -го інтервалу; f_j — частота j -го інтервалу.

Крива, що відповідає закону нормального розподілу, показана на рис. 35.

Аналіз рівняння (54) показує, що крива нормального розподілу симетрична відносно ординати точки $x = \bar{x}$. У цій точці крива має максимум

$$y_{\max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,4}{\sigma} .$$

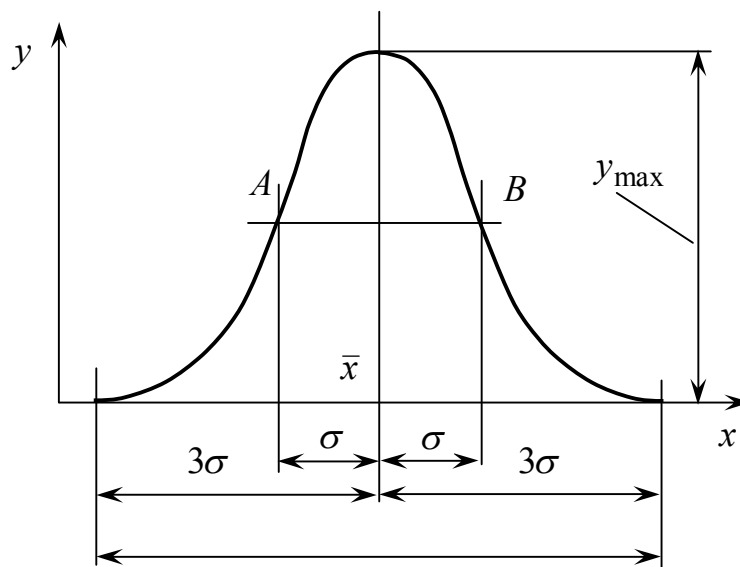


Рисунок 35 — Крива нормального розподілу (закон Гаусса)

На відстані σ від вершини крива має дві точки перегину (точки A і B). Ордината точок перегину складає

$$y_A = y_B = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi e}} \approx \frac{y_{\max}}{\sqrt{e}} \approx 0,6y_{\max} \approx \frac{0,24}{\sigma} .$$

Вітки кривої асимптотично наближаються до осі абсцис. В практичних розрахунках зазвичай вважають, що на відстані $\pm 3\sigma$ від вершини кривої її вітки дотикаються до осі абсцис.

Зі збільшенням σ значення ординати y_{\max} зменшується, а теоретичне поле розсіювання $\delta_T = 6\sigma$ збільшується. Це свідчить про більше розсіювання розмірів і, відповідно, про меншу точність. Таким чином, величина σ є мірою розсіювання або мірою точності. Вплив величини σ на форму кривої нормального розподілу показано на рис. 36.

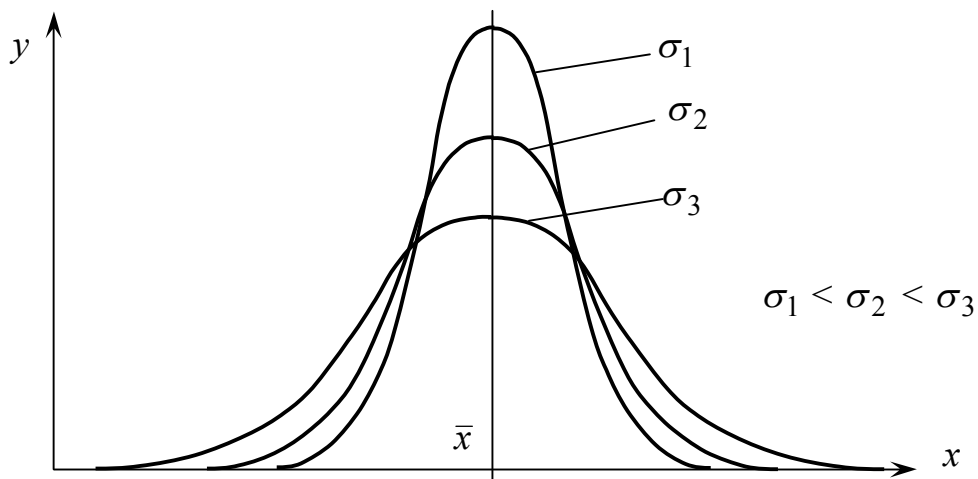


Рисунок 36 — Вплив середнього квадратичного відхилення на форму кривої Гаусса

Закону нормального розподілу найчастіше підпорядковуються розміри заготовок, оброблених на настроєних верстатах з точністю 8, 9, 10 і грубіших квалітетів точності.

Закон рівнобедреного трикутника (закон Сімпсона)

Розподіл розмірів заготовок, оброблених з точністю 7 і 6 квалітетів, найчастіше підпорядковуються закону Сімпсона, який має вигляд рівнобедреного трикутника (рис. 37).

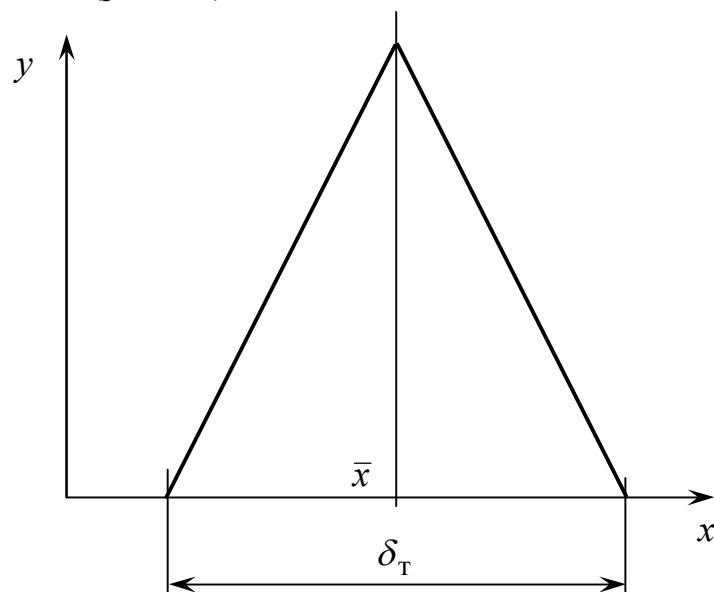


Рисунок 37 — Розподіл розмірів оброблених заготовок за законом Сімпсона

Теоретичне поле розсіювання у цьому випадку складає $\delta_T = 2\sigma\sqrt{6} \approx 4,9\sigma$. Величина середнього квадратичного відхилення σ визначається за формулами (57) або (58).

Закон рівної імовірності

Розподіл розмірів заготовок в інтервалі від a до b (рис. 38) за законом рівної імовірності відображається прямокутником з основою $2l$.

Закону рівної імовірності підпорядковуються розміри заготовок підвищеної точності (5, 6 квалітети) за умови обробки цих заготовок з використанням способу пробних робочих ходів і промірів. Через складність отримання розмірів дуже високої точності імовірність попадання розміру заготовки у середину поля допуску чи його краї стає однаковою.

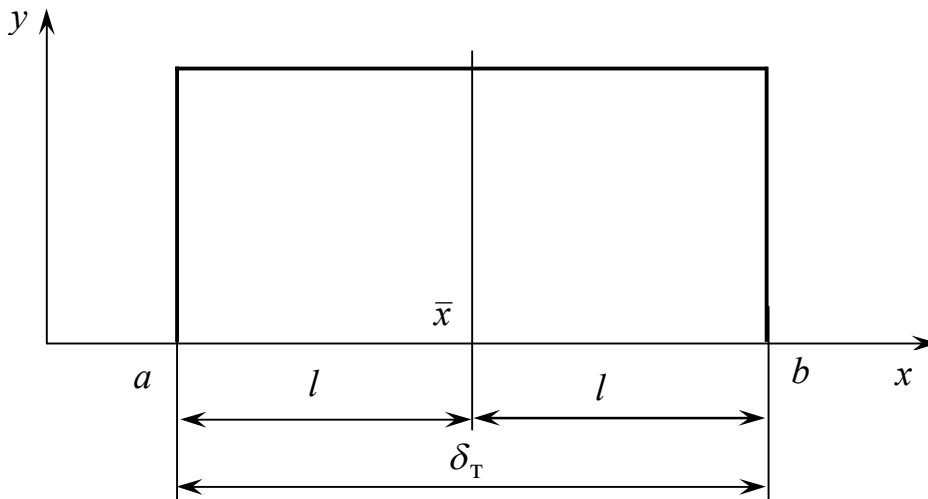


Рисунок 38 — Розподіл розмірів оброблених заготовок за законом рівної імовірності

Величина середнього квадратичного відхилення σ визначається за формулою

$$\sigma = \frac{b-a}{2\sqrt{3}} \approx 0,577l.$$

Закон ексцентриситету (закон Релея)

Розподіл таких величин, як неспіввісність, биття, непаралельність, неперпендикулярність, некруглість, нециліндричність, непрямолінійність, які характеризуються їх абсолютними значеннями (тобто без урахування знаку) підпорядковуються закону ексцентриситету (закону Релея). Диференціальна функція розподілу цього закону має вигляд

$$y(R) = \frac{R}{\sigma^2} e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}}, \quad (59)$$

де $R = \sqrt{x^2 + y^2}$ — змінна величина ексцентриситету або биття; x і y координати зміщеної осі (рис. 39); σ — середнє квадратичне відхилення координат x і y за умови, що $\sigma = \sigma_x = \sigma_y$.

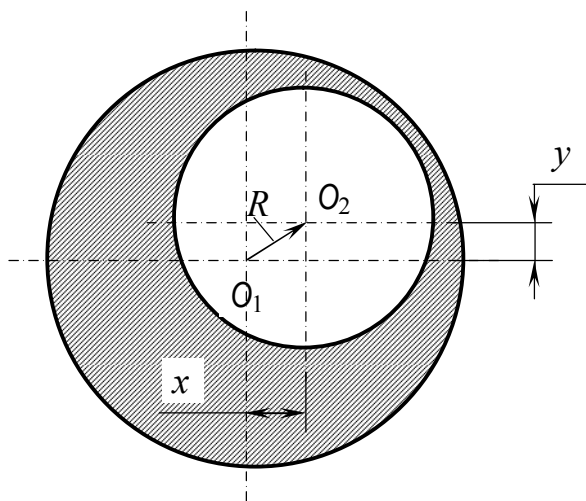


Рисунок 39 — Ексцентриситет осі (O_2) отвору відносно осі (O_1) зовнішньої циліндричної поверхні

Графік функції (59) показаний на рис. 40.



Рисунок 40 — Графік функції розподілу розмірів за законом Релея

Особливістю закону Релея є те, що в його основі лежить нормальний розподіл, оскільки координати x і y точки кінця радіуса-вектора R розподілені нормально, але розподіл R не підпорядковується закону Гаусса. Зв'язок між σ_R , \bar{R} та σ відображають такі залежності

$$\bar{R} = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} ; \quad \sigma_R = \sigma \sqrt{2 - \frac{\pi}{2}} ,$$

де \bar{R} — середнє арифметичне значення випадкової величини R ; σ_R — середнє квадратичне відхилення R від \bar{R} .

Продовжимо розгляд *прикладу* (початок див. С. 100). З візуального аналізу отриманих гістограми і полігону розподілу (див. рис. 34) можна зробити висновок, що з описаних вище законів розподілу найближчим до них за формою є закон Гаусса.

Для побудови теоретичної кривої розподілу потрібно зайти величини \bar{x} і σ . Це можна зробити за формулами (56) і (58). Для прикладу, що розглядається, $\bar{x} = 40,031$ мм, $\sigma = 0,011$ мм.

Замінивши емпіричну криву розподілу на теоретичну, потрібно оцінити справедливість цієї заміни. Це можна зробити з використанням критерію згоди Колмогорова. Методика використання цього критерію описана в [15].

Подальший аналіз результатів вимірювань здійснюється за допомогою таблиць унормованих законів розподілу. Для можливості використання таких таблиць розмірну незалежну змінну x замінюють безрозмірною незалежною змінною t , яка пов'язана з x таким співвідношенням

$$t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} . \quad (60)$$

З урахуванням (60) рівняння (54) можна записати у вигляді

$$y(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}t^2} . \quad (61)$$

Важливою особливістю виразу (61) є те, що в інтервалі $\pm 3\sigma$ із серединою в точці, що відповідає значенню \bar{x} , знаходиться 99,7% усієї площі під кривою розподілу, тобто теоретичне поле розсіювання складає приблизно 6σ . Крім того, крива Гаусса є симетричною відносно середнього розміру \bar{x} і тому

$$y(-t) = y(t).$$

Далі, показавши на осі x (див. рис. 34) поле допуску досліджуваного технологічного розміру, можна визначити відсоток імовірного браку (виправного та невиправного).

Відсоток виправного браку для отвору (для вала — невиправного) складе

$$m_{\text{бр}}^{\text{в}} = [0,5 - \Phi(t_1)]100\% , \quad (62)$$

де $t_1 = \frac{[x_{\text{min}}] - \bar{x}}{\sigma}$ — координата по осі t нижньої границі поля допуску (див. рис. 34), $[x_{\text{min}}]$ — найменше допустиме значення технологічного розміру.

Відповідно відсоток невиправного браку для отвору (для вала — виправного)

$$m_{\text{бр}}^{\text{H}} = [0,5 - \Phi(t_2)]100\%, \quad (63)$$

де $t_2 = \frac{[x_{\text{max}}] - \bar{x}}{\sigma}$ — координата по осі t нижньої границі поля допуску, $[x_{\text{max}}]$ — найбільше допустиме значення технологічного розміру.

Величини $\Phi(t_1)$ та $\Phi(t_2)$ визначаються за таблицею функції Лапласа, яка є, наприклад, в додатку Б [15].

Аналіз точності технологічного переходу можна виконати також за допомогою коефіцієнта точності виконання K_{T} і коефіцієнта зміщення настроєння E .

Коефіцієнт точності виконання (execution precision factor)

$$K_{\text{T}} = \frac{6\sigma}{T}, \quad (64)$$

де T — допуск досліджуваного технологічного розміру.

Коефіцієнт зміщення настроєння (tuning shift coefficient)

$$E = \frac{|\bar{x} - [\bar{x}]|}{T}, \quad (65)$$

де $[\bar{x}] = \frac{[x_{\text{max}}] + [x_{\text{min}}]}{2}$ — задане середнє значення розміру x .

Визначений за формулою (65) фактичний коефіцієнт зміщення настроєння порівнюється з допустимим

$$E_{\text{доп}} = \frac{T - 6\sigma}{2T}. \quad (66)$$

Слід зазначити, що зміщення середини кривої розподілу відносно середини поля допуску може передбачатись для компенсації систематичних похибок, що закономірно змінюються (наприклад, похибки, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента), тільки за умови, якщо $T > 6\sigma$. Якщо ж $T \leq 6\sigma$, то таке зміщення призводить до збільшення браку і тому є недоцільним.

Таким чином, робота без браку забезпечується, якщо виконуються умови

$$K_{\text{T}} \leq 1; \quad (67)$$

$$E \leq E_{\text{доп}}. \quad (68)$$

4.3 Статистичний аналіз точності механічної обробки за допомогою методу точкових діаграм

Основними *задачами* статистичного аналізу точності механічної обробки за допомогою методу точкових діаграм є виявлення рівня впливу факторів, які зумовлюють систематичні похибки, що закономірно змінюються, і встановлення рівня стійкості технологічного процесу. Ці дані необхідні для правильного настроювання верстата перед обробкою партії заготовок на отримання певного розміру.

Статистичний аналіз методом точкових діаграм виконують таким чином.

Вибірки об'ємом $n = 5$ штук беруться безперервно або через певні фіксовані проміжки часу роботи верстата (наприклад через 15...20 хвилин). Верстат має працювати з приблизно однаковими зупинками для встановлення й знімання заготовок, без тривалих перерв і без піднастроювання. У кожній з відібраних заготовок визначають дійсний розмір X . Ці розміри визначаються за допомогою універсального вимірювального інструмента, у якого ціна поділки шкали має становити $(1/6...1/10)T$, де T — допуск контрольованого розміру.

Для кожної вибірки визначають середній розмір

$$\bar{X}_i = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (69)$$

і середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\bar{X}_i - X_j)^2}{n}}, \quad (70)$$

де n — кількість деталей у вибірці, i — номер вибірки, j — номер деталі у вибірці.

За результатами вимірювань і розрахунків будують точкові діаграми. Ці діаграми, залежно від технологічних особливостей операції і стану обладнання, можуть мати різний вигляд. Наприклад, у випадку, якщо різання здійснюється інструментом, доведеним алмазним кругом, і з ефективним охолодженням (тобто, коли початковий знос і видовження інструмента від нагрівання незначні), точкова діаграма матиме вигляд, показаний на рис. 41. У цьому випадку змінення середнього розміру \bar{X} з переходом від попередньої вибірки до наступної пояснюється впливом на точність механічної обробки факторів, що спричиняють появу систематичних похибок, які закономірно змінюються. Таким фактором може бути, наприклад, розмірний знос різального інструмента. На точковій діаграмі показують також дві го-

ризонтальні прямі $[X_{\max}]$ та $[X_{\min}]$, які відповідають найбільшому і найменшому значенням розміру X і поле допуску цього розміру T_X .

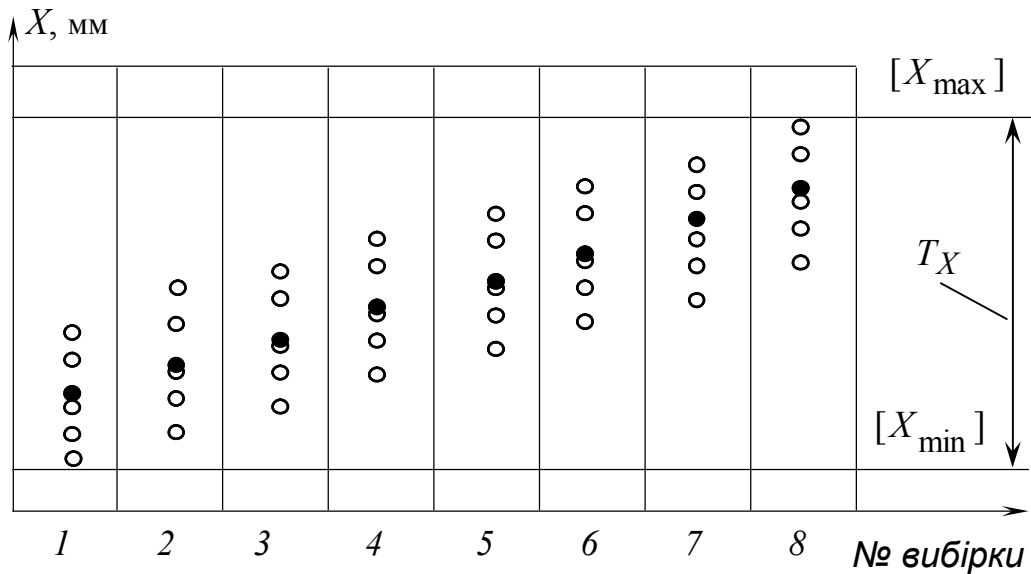


Рисунок 41 — Типова точкова діаграма, що характерна для процесу механічної обробки із суттєвим впливом факторів, які закономірно змінюються

○ — дійсний розмір заготовки; ● — середній розмір вибірки

Якщо ж вплив систематичних похибок, що закономірно змінюються, незначний, то точкова діаграма матиме вигляд, показаний на рис. 42.

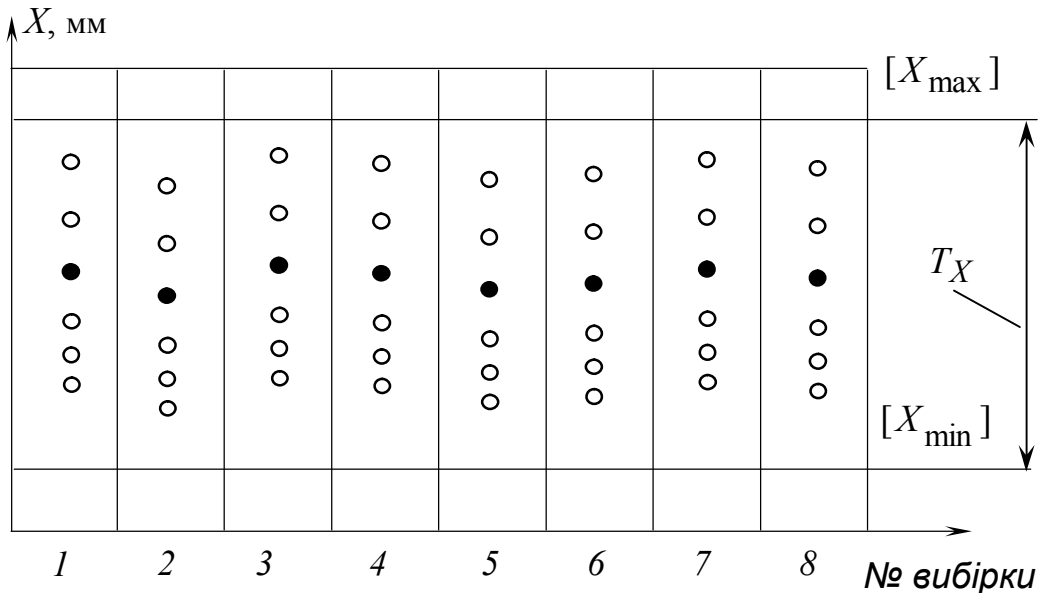


Рисунок 42 — Типова точкова діаграма, що характерна для процесу механічної обробки із незначним впливом похибок, що закономірно змінюються

Для оцінювання технологічної стійкості переходу будують точкову діаграму середньоквадратичних відхилень σ_i вибірок. Типова точкова діаграма стійкого переходу показана на рис. 43.

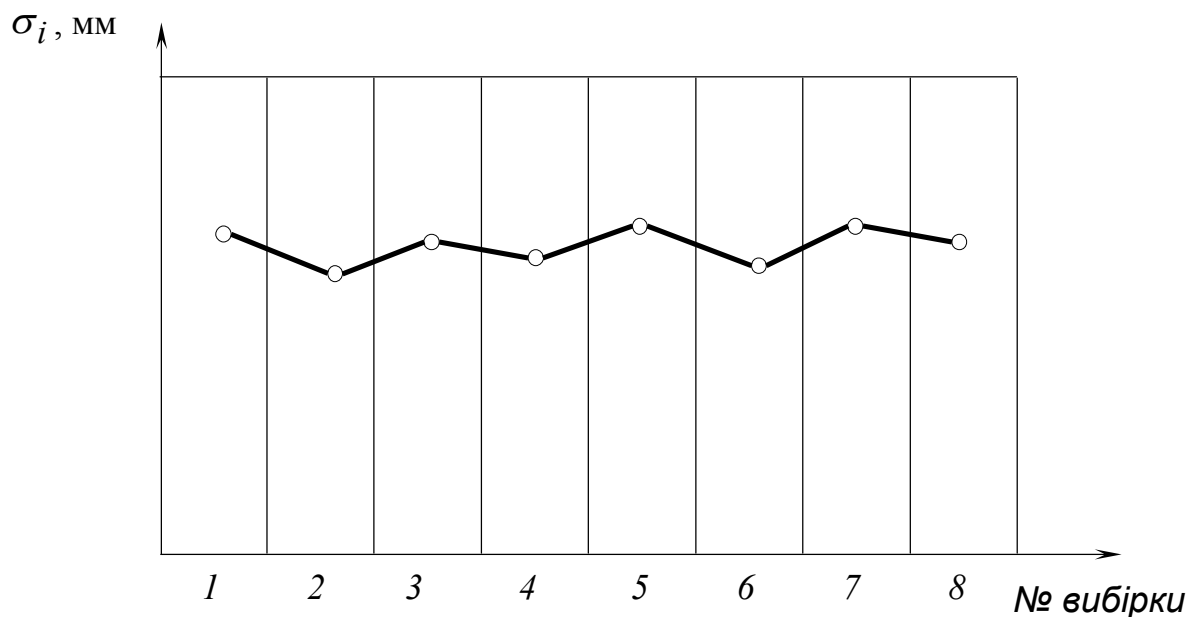


Рисунок 43 — Типова точкова діаграма технологічно стійкого переходу

Якщо значення σ_i для різних вибірок суттєво відрізняються, то перехід вважається технологічно нестійким. Приклад точкової діаграми такого переходу показаний на рис. 44.

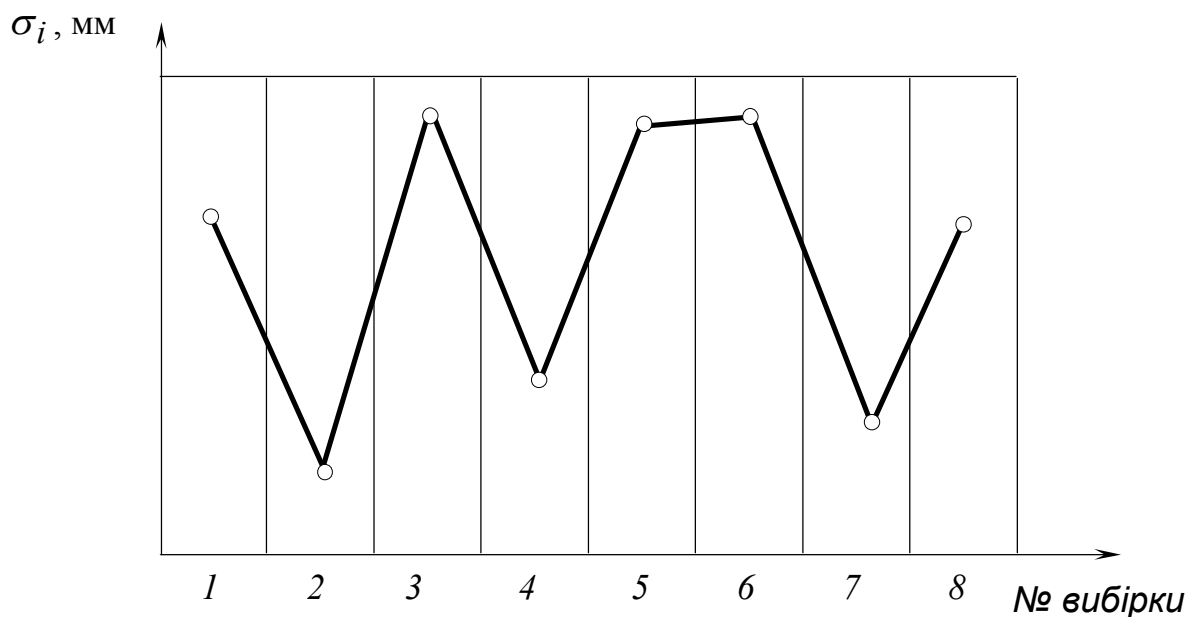


Рисунок 44 — Типова точкова діаграма технологічно нестійкого переходу

Втрату стійкості можуть спричинити, наприклад, надто великі люфти між рухомими деталями елементів системи ВПД, значний розкид фізико-механічних властивостей матеріалу заготовок тощо. У такому випадку слід виявити причини нестійкості, усунути їх і лише після цього настроювати верстат. Після забезпечення стійкого стану технологічного процесу, відбирають не менше 16 вибірок об'ємом в 5 шт. або одну велику вибірку об'ємом не менше 100 шт. і визначають статистичні характеристики точності процесу обробки.

4.4 Питання для самоконтролю

1. Дайте означення основних понять математичної статистики: випробування, подія, випадкова величина, частота події, частість події, розподіл випадкової величини, статистична сукупність, вибірка, об'єм вибірки, генеральна сукупність. Наведіть приклади використання цих понять в машинобудуванні.
2. Які методи математичної статистики знаходять застосування в технології машинобудування?
3. Сутність методу статистичного аналізу точності механічної обробки за допомогою кривих розподілу.
4. Які вимоги мають задовольняти оброблені заготовки, що підлягають аналізу точності за допомогою кривих розподілу?
5. Основні статистичні характеристики розподілу безперервних випадкових величин.
6. Які статистичні характеристики точності технологічного переходу можна визначити за допомогою побудови та аналізу кривих розподілу?
7. Охарактеризуйте закони розподілу випадкових величин, які найчастіше використовуються в машинобудуванні (закони: Гаусса, Сімпсона, Реллея, рівної імовірності).
8. Як визначається імовірний відсоток браку?
9. Суть методу точкових діаграм.
10. Які задачі розв'язуються за допомогою методу точкових діаграм?
11. Які вимоги мають задовольняти заготовки, що підлягають аналізу точності за допомогою методу точкових діаграм?
12. Що розуміють під стійкістю технологічного переходу?
13. Як визначається рівень стійкості технологічного процесу?
14. Для чого використовують результати аналізу точності механічної обробки, виконаного за допомогою методу точкових діаграм?

УКРАЇНСЬКО-АНГЛІЙСЬКИЙ СЛОВНИК НАЙУЖИВАНІШИХ ТЕРМІНІВ

- Абсолютна похибка обробки — absolute error of machining
Агрегат — aggregate
База — base
Базування — locating
Безперервна випадкова величина — continuous random quantity
Вибірка — sample
Виконавчі поверхні машини — executive surfaces of a machine
Вимірювальна база — measuring base
Випадкова похибка — accidental error
Випробування — test
Виріб — product
Виробничий процес — production process, manufacturing process
Випадкова подія — random event
Вихідна ланка — initial link
Вільна поверхня — free surface
Вузол — unit
Генеральна сукупність — general totality
Геометрична точність верстата — geometric accuracy of a machine tool
Гістограма розподілу — distribution bar chart
Деталь — part
Дискрета — discrete step
Дискретна випадкова величина — discrete random quantity
Допоміжна база — auxiliary base
Допоміжна операція — auxiliary operation
Допоміжний перехід — auxiliary transition
Допоміжний хід — auxiliary pass
Допуск — tolerance
Елементарна похибка — elementary error
Емпірична диференціальна крива розподілу — empiric differential distribution curve
Жорсткість — stiffness
Закон нормального розподілу — the law of normal distribution

Закріплення — clamping
Коефіцієнт точності виконання — execution precision factor
Коефіцієнт зміщення настроєння — tuning shift coefficient
Конструкторська допоміжна база деталі — designing auxiliary base of part
Конструкторська допоміжна база складальної одиниці — designing base auxiliary of assembling unit
Конструкторська основна база деталі — designing main base of part
Конструкторська основна база складальної одиниці — designing main base of assembling unit
Комплекс — complex
Комплект — set
Комплект баз — set of bases
Комплект допоміжних баз — set of auxiliary bases
Комплект основних баз — set of main bases
Кріпильна поверхня — fastening surface
Ланка замикання — closing link
Масове виробництво — mass production
Математична статистика — mathematical statistics
Машина — machine
Метод групової взаємозамінності — the method of group interchangeability
Метод неповної взаємозамінності — the method of incomplete interchangeability
Метод повної взаємозамінності — the method of complete interchangeability
Метод припасовування (рос. пригонки) — method of fitting
Метод регулювання — regulation method
Метод спроб — the method of attempts
Можлива подія — probable event
Механічна обробка — machining
Напрямна база — guiding base
Операція — operation
Опорна точка — locating point

Основна база — main base
Опорна база — resting base
Об'єм вибірки — sample size
Одиничне виробництво — unit production
Партія виробів — production lot
Подвійна напрямна база — double guiding base
Подвійна опорна база — double resting base
Події масові — mass events
Подія — event
Подія неможлива — improbable event
Програма виготовлення виробів — products manufacturing program
Позиція — position
Полігон розподілу — distribution polygon
Похибка базування — error of locating
Похибка установлення — setting error
Похибка настроєння — tuning error
Похибка обробки — machining error
Похибка, що спричиняється зносом установочних елементів пристрою — error caused by wear of the attachment location elements
Похибка, що спричиняється неточністю виготовлення і складання установочних елементів пристрою — error caused by inaccuracy of manufacturing and assembling of the attachment location elements
Похибка, що спричиняється неточністю установлення пристрою на верстаті — error caused by inaccuracy of the attachment location on the machine tool
Похибка, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи під дією сил різання — error caused by elastic deformation of technological system under the influence of cutting forces
Похибка, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента — error caused by dimensional drift of a cutting tool
Похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата — error caused by geometric inaccuracy of a machine-tool
Похибка, що спричиняється тепловими деформаціями технологічної системи — error caused by thermal deformation of a technological system
Прихована база — latent base
Репрезентативність вибірки — representativeness of a sample

Ритм випуску виробу — rhythm of product output
Робоче місце — working place
Розмір настроєння — tuning size
Розмірний аналіз конструкцій — dimension analysis of the construction
Розмірний ланцюг — dimension chain
Робочий хід — cutting pass
Розподіл випадкової величини — distribution of a random quantity
Серійне виробництво — batch production
Синхронізація операцій — synchronization of operations
Систематична постійна похибка — systematic constant error
Систематична похибка, що закономірно змінюється — systematic error that changes regularly
Складальна одиниця — assembling unit
Складова ланка — component link
Службове призначення машини — functional purpose of the machine
Собівартість виробу — product cost
Статистична сукупність — statistical universe
Сумарна похибка обробки — total machining error
Схема базування — locating chart
Такт випуску виробу — cycle of product manufacture
Технічне завдання на проектування машини — technical requirements for designing the machine
Технічні умови — specifications
Технологічна база — technological base
Технологічна операція — technological operation
Технологічна собівартість — technological cost
Технологічний перехід — technological step
Технологічний процес — technological process
Технологічний розмірний ланцюг — technological dimension chain
Точність деталі — accuracy of the part
Точність машини — accuracy of the machine
Установ — setting
Установлення — component setting
Установна база — setting base
Цикл виготовлення виробу — product manufacturing cycle

Частота події — frequency of event
Частість події — frequency ratio of event
Явна база — rial base
Якість машини — quality of the machine

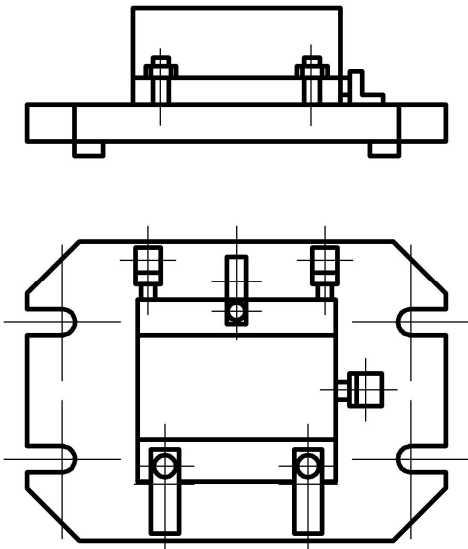
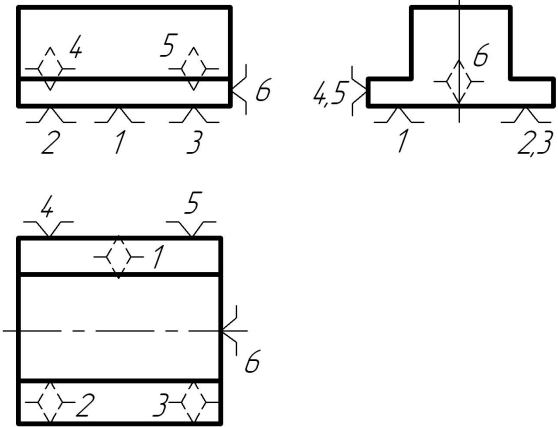
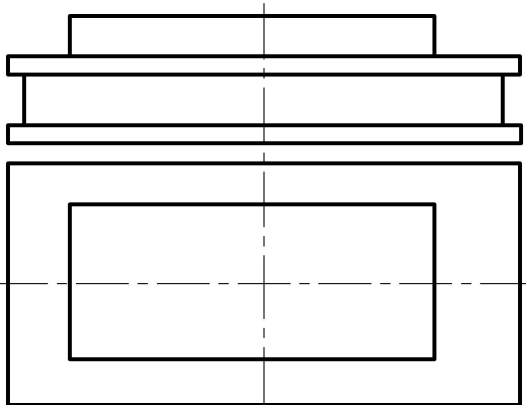
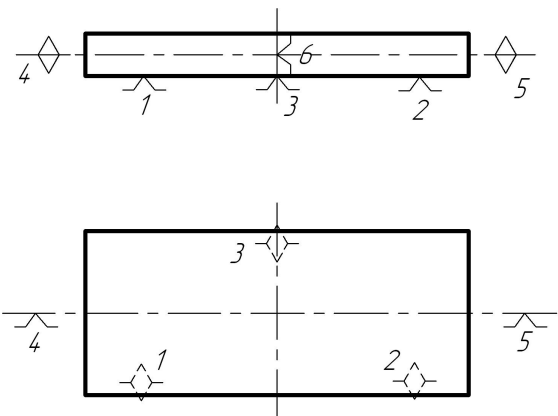
ЛІТЕРАТУРА

1. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения : учебник для машиностроительных специальностей вузов. / Балакшин Б. С. — М. : Машиностроение, 1969. — 558 с.
2. Дерібо О. В. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин. Частина 1: практикум / Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Репінський С. В. — Вінниця : ВНТУ, 2010. — 114 с.
3. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування / Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Пурдик В. П. — Вінниця, 2012. — 122 с. Електронний ресурс: http://www.vstu.vinnica.ua/ua/inst/inmt/site_tam/.
4. Допуски и посадки : справ очник : в 2-х ч. / [сост. Мягков В. Д., Палей М. А., Романов А. Б, Брагинский В. А.]; под ред. В. Д. Мягкова — Л. : Машиностроение, 1983. — Ч. 1. — 1983. — 543 с.
5. Допуски и посадки : справочник : в 2-х ч. / [сост. Мягков В. Д., Палей М. А., Романов А. Б, Брагинский В. А.]. — Л. : Машиностроение, 1983. — Ч. 2. — 1983. — 448 с.
6. Колесов И. М. Основы технологии машиностроения : учебник для машиностроительных специальностей вузов. / Колесов И. М. — М. : Высшая школа, 2001. — 591 с.
7. Корсаков В. С. Основы конструирования приспособлений в машиностроении / Корсаков В. С. — М. : Машиностроение, 1977. — 288 с.
8. Маталин А. А. Технология машиностроения : учебник для машиностроительных специальностей вузов. / Маталин А. А. — Л. : Машиностроение, 1985. — 496 с.
9. Основы технологии машиностроения / [Кован В. М., Корсаков В. С., Косилова А. Г. и др.] ; под ред. В. С. Корсакова. — М. : Машиностроение, 1977. — 416 с.
10. Расчеты экономической эффективности новой техники. Справочник. / [Великанов К. М., Власов, В. Ф. Краюхин Г. А. и др.] ; под ред. К. М. Великанова. — Л. : Машиностроение, 1990. — 488 с.
11. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения / [Аверченков В. И., Горленко О. А., Ильицкий В. Б. и др.] ; под ред. О. А. Горленко. — М. : Машиностроение, 1988. — 192 с.
12. Солонин И. С. Математическая статистика в технологии машиностроения / Солонин И. С. — М. : Машиностроение, 1972. — 216 с.

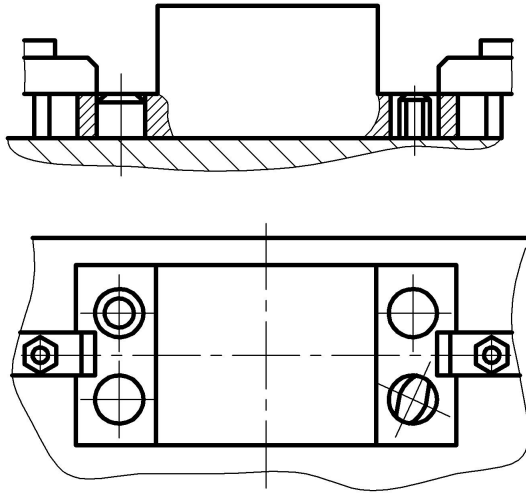
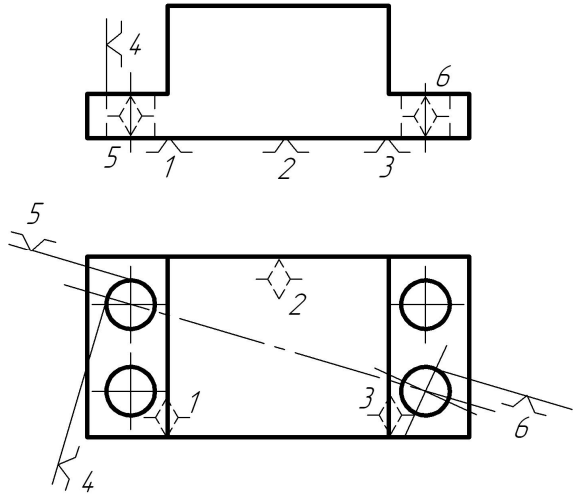
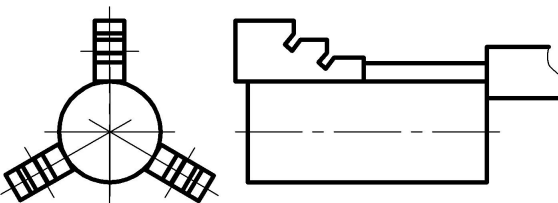
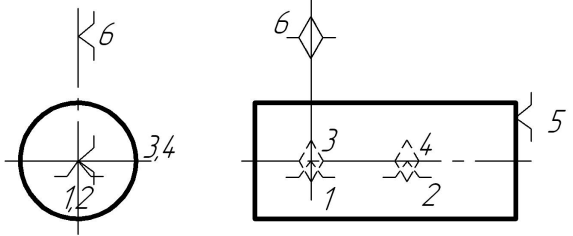
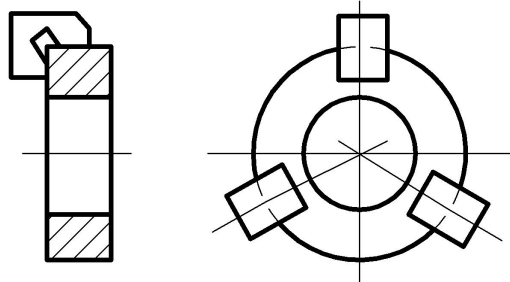
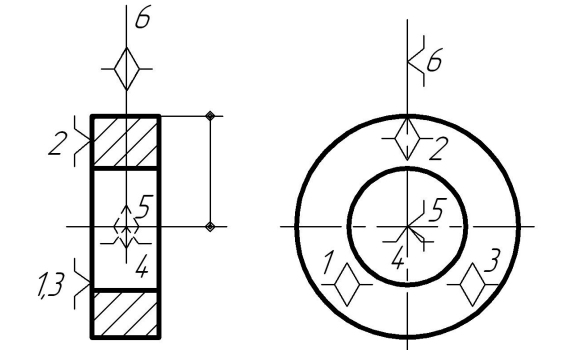
13. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / [сост. Борисов В. Б., Борисов Е. И., Васильев В. Н. и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова — М. : Машиностроение, 1985. — Т. 1. — 1985. — 656 с.
14. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / [сост. Абрамов Ю. А., Андреев В. Н., Горбунов Б. И. и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова — М. : Машиностроение, 1985. — Т. 2. — 1985. — 496 с.
15. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин : лабораторний практикум / [Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Мироненко О. М. та ін.]. — Вінниця : ВНТУ, 2006. — 119 с.
16. Технология машиностроения : в 2 кн. / [Жуков Э. Л., Козарь И. И., Мурашкин С. Л. и др.]; под ред. С. Л. Мурашкина. М. : Высшая школа, 2003. — Кн. 1 : Основы технологии машиностроения — 2003. — 278 с.
17. Технология машиностроения : учебник для машиностроительных специальностей вузов / [Якимов А. В., Царюк В. Н., Якимов А. А. и др.]; под ред. А. В. Якимова. — Одесса : Астропринт, 2001. — 608 с.
18. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения : ГОСТ 21495-76. — [Чинний від 1977-01-01]. — М. : Изд-во стандартов, 1987. — 35 с.
19. Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения : ГОСТ 3.1107-81. — [Чинний від 1982-07-01]. — М. : Изд-во стандартов, 2003. — 10 с.
20. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий : ГОСТ 3.1109-82 — [Чинний від 1983-01-01]. — М. : Изд-во стандартов, 2003. — 14 с.
21. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий : ГОСТ 14.004-83 — [Чинний від 1983-07-01]. — М. : Стандартиформ, 2005. — 8 с.
22. Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению документов на типовые и групповые технологические процессы (операции) : ГОСТ 3.1121-84. — [Чинний від 1986-01-01]. — М. : Стандартиформ, 2006. — 46 с.

Додаток А

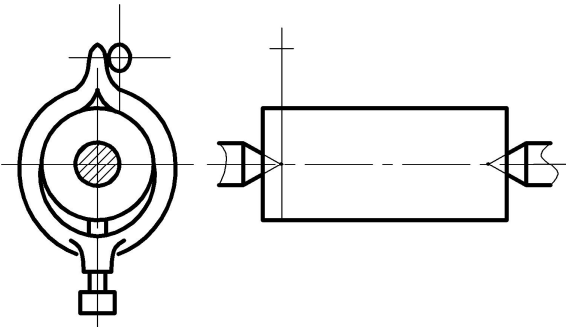
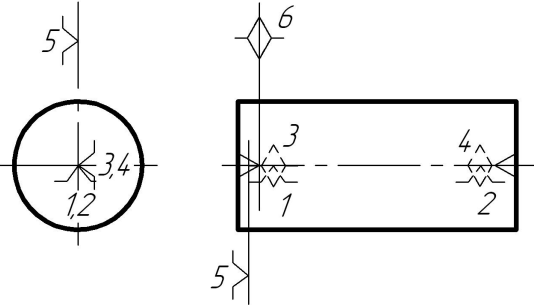
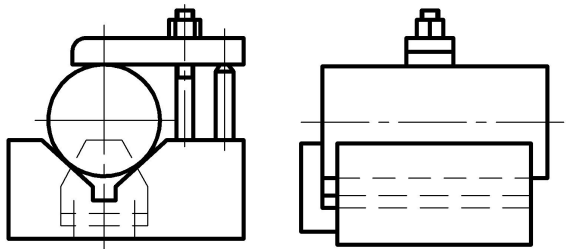
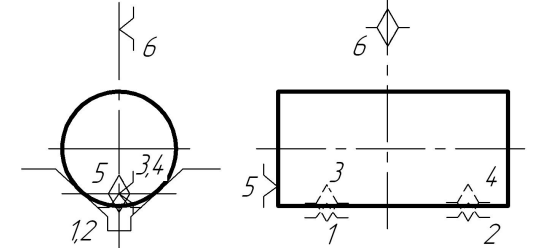
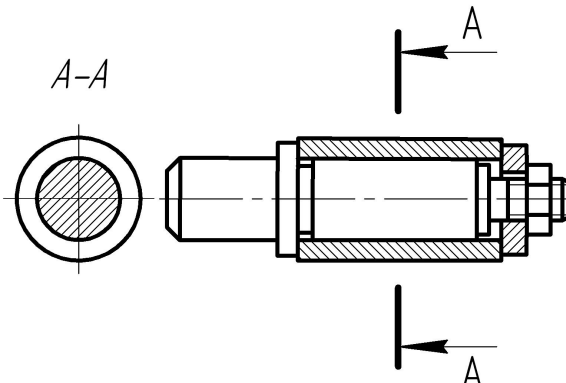
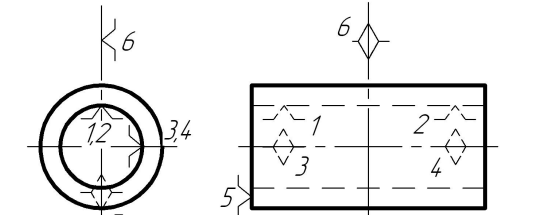
Таблиця А.1 — Розповсюджені в машинобудуванні схеми базування заготовок [18]

Спосіб установлення	Схема базування
<p data-bbox="327 481 694 593">Установлення заготовки на площину основи і дві бокові сторони</p> 	
<p data-bbox="263 1332 710 1411">Установлення заготовки на площину (на магнітній плиті)</p> 	

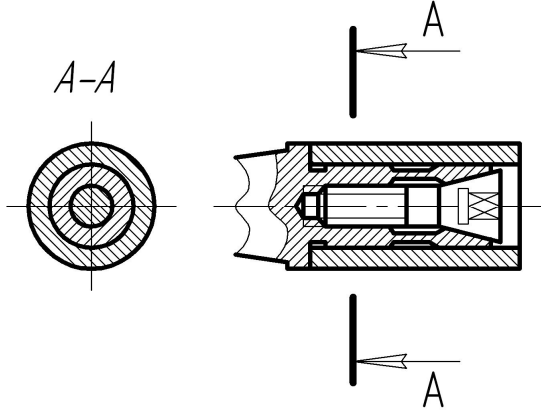
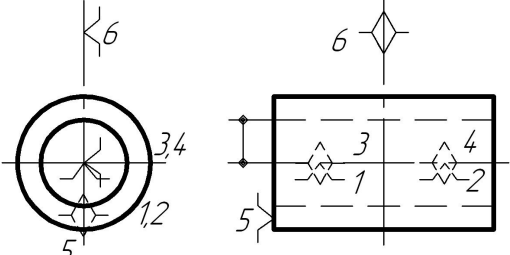
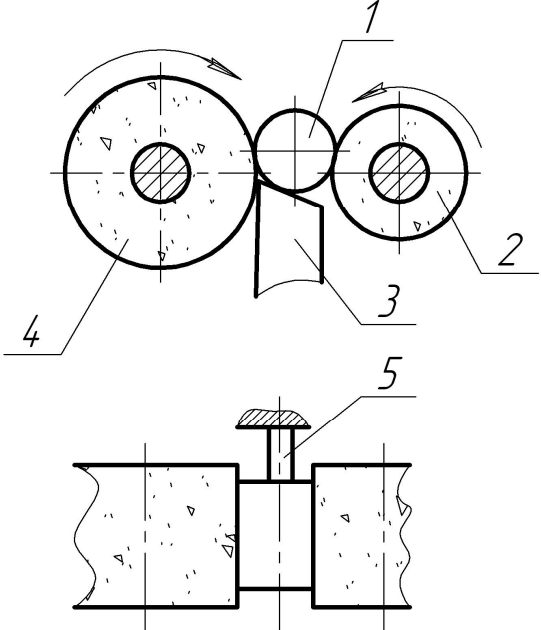
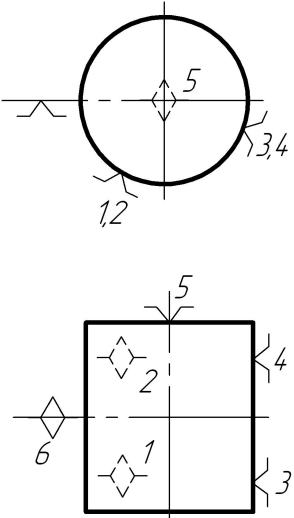
Продовження таблиці А.1

Спосіб устанавлення	Схема базування
<p data-bbox="311 324 678 436">Установлення заготовки на площину і два пальці (круглий і зрізаний)</p> 	
<p data-bbox="279 1041 710 1153">Установлення вала в трикулачковому самоцентрувальному патроні</p> 	
<p data-bbox="271 1523 710 1635">Установлення кільця в трикулачковому самоцентрувальному патроні</p> 	

Продовження таблиці А.1

Спосіб установлення	Схема базування
<p data-bbox="276 324 715 358">Установлення вала в центрах</p> 	
<p data-bbox="276 929 707 963">Установлення вала в призму</p> 	
<p data-bbox="247 1422 734 1489">Установлення втулки на круглій оправці (із зазором)</p> 	

Продовження таблиці А.1

Спосіб установлення	Схема базування
<p data-bbox="236 338 738 416">Установлення втулки на розтискній оправці (без зазору)</p> 	
<p data-bbox="212 1122 786 1234">Установлення заготовки на оброблювану поверхню на операції безцентрового врізного шліфування</p> 	

Додаток Б

Відносний знос різців і режими чистового точіння і розточування з глибиною різання 0,1...0,3 мм для досягнення шорсткості $Ra = 3,2$ мм [8]

Матеріал заготовки	Матеріал різальної частини інструмента	Режими різання		Стійкість за шорсткістю в метрах шляху різання	Відносний знос, мкм/км
		Швидкість різання, м/хв	Подача, мм/об		
Сталі вуглецеві конструкційні якісні	Т30К4	100...180	0,04...0,08	12500	6,5
	Ельбор	550...600	0,04...0,06	25000	3,0
Сталі високолеговані корозійностійкі, жаростійкі і жароміцні	Т30К4	120...180	0,02...0,04	20000	4,7
	Ельбор	450...500	0,02...0,04	20000	4,7
Сталеві виливки	Т30К4	80...120	0,04...0,06	7000	8,5
	Ельбор	200...220	0,04...0,06	12500	7,0
Сталі вуглецеві конструкційні після поліпшення (28...31,5 HRC ₃)	Т30К4	120...180	0,04...0,08	8000	8,5
	Ельбор	350...400	0,04...0,06	15000	4,5
Сталі вуглецеві конструкційні після гартування (41,5...46,5 HRC ₃)	Т30К4	70...150	0,02...0,05	7000	10,0
	Ельбор	300...350	0,02...0,04	21000	5,0
Чавун сірий	ВК3М	100...160	0,04...0,08	21000	6,0
	ЦМ-332	300...350	0,03...0,06	22000	3,5
	Ельбор	500...550	0,04...0,06	30000	2,5

Навчальне видання

Дерібо Олександр Володимирович

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

Частина 1

Навчальний посібник

Редактор Т. Старічек

Оригінал-макет підготовлено О. Дерібо

Підписано до друку
Формат 29,7×42 ¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк.
Наклад прим. Зам. №

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.
ВНТУ, к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.