

О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ МАШИН

Частина 1

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ
ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ
ТА СКЛАДАННЯ МАШИН
Частина 1**

Практикум

Вінниця
ВНТУ
2010

УДК 621.01(075)
ББК 34.5я73
Д 36

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 5 від 24.10.2009 р.)

Рецензенти:

В. І. Савуляк, доктор технічних наук, професор

О. В. Нахайчук, доктор технічних наук, професор

Р. Р. Обертюх, кандидат технічних наук, доцент

Дерібо, О. В.

Д 36 Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин. Частина 1: практикум / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 114 с.

Практикум відповідає програмі першої частини навчальної дисципліни “Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин” та дисципліні “Основи технології машинобудування” і містить задачі з технологічного забезпечення точності механічної обробки та складання машин і застосування методів математичної статистики у машинобудуванні.

Практикум призначений для студентів напрямів підготовки 6.050502 – Інженерна механіка та 6.030601 – Менеджмент організацій (спеціалізація – Менеджмент організацій машинобудування).

УДК 621.01(075)

© О. Дерібо, Ж. Дусанюк, С. Репінський, 2010

ЗМІСТ

Вступ.....	4
<i>Практичне заняття № 1</i> Функціональне призначення поверхонь машин, складальних одиниць та деталей.....	5
<i>Практичне заняття № 2</i> Основи базування. Правило шести точок. Класифікація баз.....	21
<i>Практичне заняття № 3</i> Визначення похибки базування.....	31
<i>Практичне заняття № 4</i> Розмірний аналіз конструкцій.....	41
<i>Практичне заняття № 5</i> Вибір схеми базування для операції механічної обробки.....	55
<i>Практичне заняття № 6</i> Аналіз можливості впливу елементарних похибок на точність механічної обробки.....	68
<i>Практичне заняття № 7</i> Розрахунок точності механічної обробки..	80
<i>Практичне заняття № 8</i> Статистичний аналіз точності механічної обробки за допомогою кривих розподілу.....	88
Література.....	108
Додатки.....	110

ВСТУП

Предметом дисципліни “Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин” (далі – ТОТВДСМ) є вивчення закономірностей, які діють в процесах механічної обробки заготовок і складання машин, та опанування практичними навиками застосування цих закономірностей для забезпечення проектної якості виробів, найменшої їх собівартості; запланованого обсягу випуску.

Надзвичайно важливим є зв’язок дисципліни ТОТВДСМ з такими дисциплінами, як “Теоретична механіка”, “Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство”, “Теорія різання”, “Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання”, “Обладнання та транспорт металообробних цехів”. Вирішення технологічних питань без ґрунтовних знань з цих дисциплін взагалі неможливе.

Дисципліна ТОТВДСМ є однією з базових для вивчення таких спеціальних дисциплін, як “Технологія обробки типових деталей та складання машин”, “Технологічна оснастка”, “Основи автоматизації виробництва”, “Технологічні основи гнучкого автоматизованого виробництва”, “Проектування пристосувань”, “Програмування верстатів з ЧПК” та інших, а також для курсового й дипломного проектування.

У першій частині розглядаються основні поняття і означення виробництва машин та теоретичні основи забезпечення точності складання машини та виробництва її деталей.

Метою практичних занять з дисципліни ТОТВДСМ є закріплення й поглиблення теоретичних знань, а також опанування основами виконання необхідних технологічних розрахунків.

Кожне практичне заняття починається зі стислого викладення необхідного матеріалу. Всі задачі містять приклад розв’язання одного з її варіантів.

Зміст практикуму дозволяє використовувати його під час практичних занять, для виконання індивідуальних домашніх завдань, а також для самопідготовки студентів. Він може бути корисним також для курсового і дипломного проектування.

Практикум призначений для студентів напрямів підготовки “Інженерна механіка” та “Менеджмент організацій” (спеціалізація “Менеджмент організацій машинобудування”).

Практичне заняття № 1

ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ ПОВЕРХОНЬ МАШИН, СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ ТА ДЕТАЛЕЙ

Мета заняття – набуття практичних навиків визначення поверхонь машин, складальних одиниць та деталей у відповідності з їх функціональним призначенням.

1.1. Основні положення

Кожна машина виконує своє службове призначення (**functional purpose of a machine**) за допомогою певних поверхонь. Ці поверхні називають *виконавчими поверхнями машини* (**executive surfaces of machine**). Наприклад, у вертикально-свердлильного верстата виконавчими поверхнями є площина стола, на яку встановлюються верстатні пристрої (машинні лещата, ділильні головки, кондуктори тощо), і конічний отвір шпинделя, у який встановлюються хвостовики різального і допоміжного інструмента (свердел, зенкерів, свердлильних патронів тощо).

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

- конструкторські бази (**designing base**);
- кріпильні поверхні (**fastening surfaces**);
- вільні поверхні (**free surface**).

Конструкторські бази – це поверхні, які визначають розташування деталі або складальної одиниці у виробі. Конструкторські бази поділяють на основні і допоміжні.

Основна база (**main base**) – це конструкторська база, що належать деталі чи складальній одиниці і використовується для визначення розташування цієї деталі чи складальної одиниці у виробі.

Для повної орієнтації деталі чи складальної одиниці потрібен так званий комплект основних баз (**set of main bases**), який завжди складається з трьох таких баз.

Допоміжна база (**auxiliary base**) – це конструкторська база, що належать деталі чи складальній одиниці і використовується для визначення розташування приєднуваного до них виробу.

Кількість допоміжних баз певної деталі або складальної одиниці визначається кількістю виробів, що 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 також допоміжними базами певних її деталей і, відповідно, машини в цілому. Наприклад, виконавча поверхня – площина столу вертикально-свердлильного

верстата є і допоміжною базою верстата, оскільки визначає розташування верстатного пристрою, встановленого на столі, відносно верстата.

Правильне виявлення поверхонь, які є конструкторськими базами, особливо важливо під час розробляння 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 основних і допоміжних баз, передбачаючи відповідні вимоги розташування допоміжних баз відносно основних.

Кріпильні поверхні 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 спрягаються з поверхнями інших деталей, називають *вільними поверхнями*. Ці поверхні потрібні для надання деталі форми, яка забезпечить виконання нею свого службового призначення у виробі.

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

- під час виготовлення швидкообертавих 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 утомної міцності;

- якщо вільні поверхні використовуються за технологічні бази (наприклад, центрові отвори валів);

- якщо вільні поверхні мають відповідати певним естетичним або ергономічним вимогам;

- в інших обґрунтованих випадках.

1.2. Порядок виконання індивідуального завдання

Отримавши від викладача варіант завдання, пропонується виконати таке.

1. Проаналізувати конструкцію виробу і розібратися в принципі його роботи.

2. Накреслити ескіз заданої викладачем деталі, на якому показати конструкторські основні і допоміжні бази, а також кріпильні поверхні деталі. При цьому можна скористатись позначеннями, прийнятими на рис. 1.3.

3. Розробити робоче креслення деталі, на якому з урахуванням функціонального призначення її поверхонь показати всі розміри з допусками, вимоги відносного розташування поверхонь та вимоги шорсткості.

4. Оформити звіт.

1.3. Приклад виконання індивідуального завдання

Розглянемо двоступінчастий механічний редуктор, кінематична схема якого показана на рис. 1.1.

Визначимо функціональне призначення однієї з деталей редуктора – проміжного вала. Конструктивна схема вузла проміжного вала показана на рис. 1.2.

Службовим призначенням будь-якого вала, у. ч. і розгляданого, є передавання крутного моменту і забезпечення точного просторового розташування зубчастих коліс або інших деталей, які встановлені на валу.

Знайдемо поверхні проміжного вала, які є *основними базами*. Очевидно, що просторове розташування вала визначають такі його поверхні (рис. 1.2):

- дві шийки ($\varnothing 35_{k6}$) під підшипники кочення;
- торець, який спрягається із зафіксованим у 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. 1.3).

Знайдемо поверхні, які є *допоміжними базами* вала.

Просторове розташування ведучого зубчастого колеса відносно проміжного вала визначають такі поверхні проміжного вала:

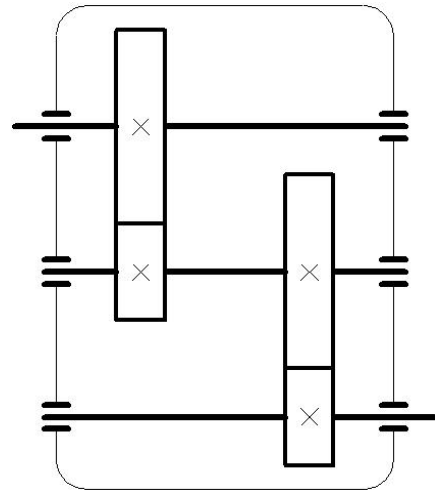


Рис. 1.1. Кінематична схема двоступінчастого редуктора

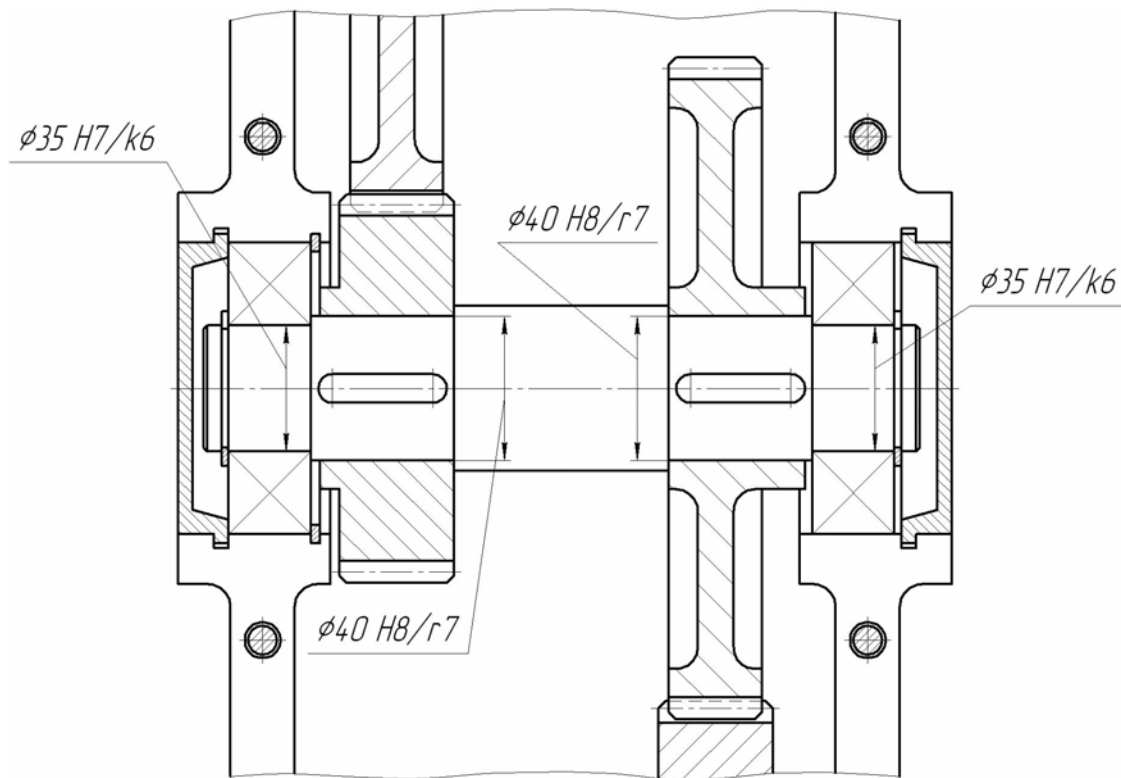


Рис. 1.2. Конструктивна схема вузла проміжного вала

- циліндрична поверхня $\varnothing 40r7$;
- торець, який спрягається з ведучим зубчастим колесом.

Просторове розташування веденого зубчастого колеса відносно проміжного вала визначають такі поверхні вала:

- циліндрична поверхня $\varnothing 40r7$;
- торець вала, який спрягається 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 спрягається.

Таким чином, згадані вище поверхні проміжного вала і є його допоміжними базами.

Кріпильними поверхнями вала є дві канавки, у які, після напресування підшипників кочення, встановлюються стопорні кільця.

Вільними поверхнями є всі інші поверхні вала.

Результати аналізу функціонального призначення поверхонь вала показані на рис. 1.3.

З урахуванням функціонального призначення всіх поверхонь вала і розглянутих вище вимог точності до просторового розташування цих поверхонь розроблене робоче креслення вала (рис. 1.4).

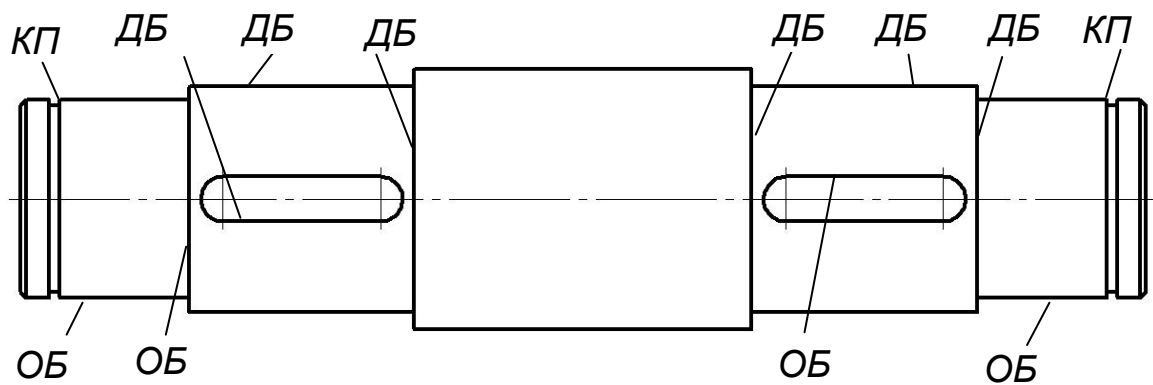


Рис. 1.3. Функціональне призначення поверхонь проміжного вала:
ОБ – основна база; ДБ – допоміжна база; КП – кріпильна поверхня

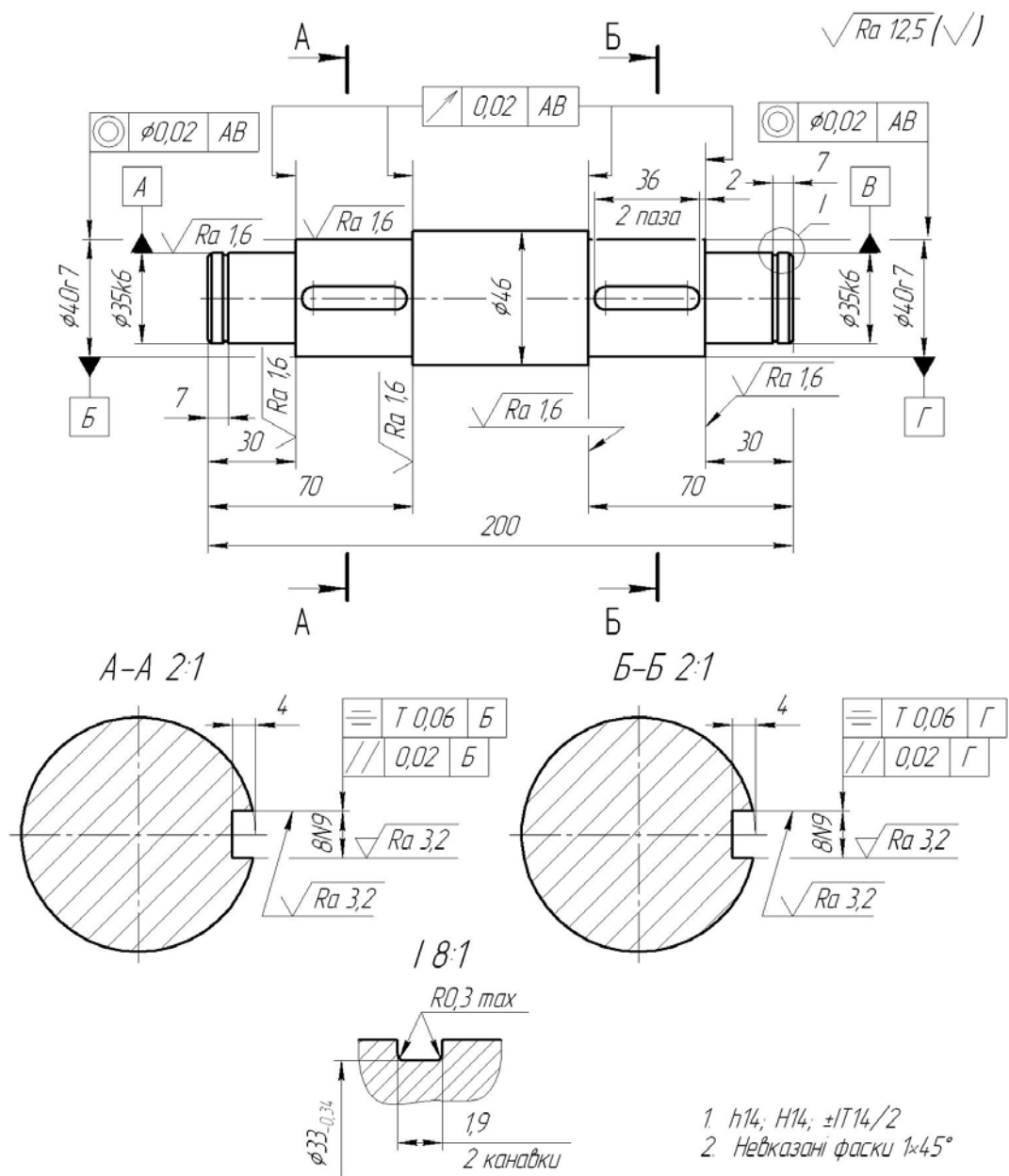


Рис. 1.4. Креслення проміжного вала

Точні кількісні значення допусків відносного розташування поверхонь, які є конструкторськими базами, визначаються за допомогою розмірного аналізу конструкцій. Сутність і методика виконання такого аналізу розглядається в практичному занятті № 4.

1.4. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Ескіз деталі з позначенням функціонального призначення її поверхонь, розмірами, вимогами до шорсткості поверхонь деталі і їх відносного розташування. Кількісні значення допусків на вимогах відносного розташування можна не вказувати.

1.5. Питання для самоконтролю

1. Поняття службового призначення машини.
2. Поняття виконавчих поверхонь машини.
3. Які поверхні пристрою, що розглядається в індивідуальному заданні, є його виконавчими поверхнями?
4. Як розрізняють поверхні деталей і складальних одиниць за їх функціональним призначенням?
5. Поняття конструкторських баз (основних і допоміжних), кріпильних і вільних поверхонь деталей та складальних одиниць.
6. Які поверхні пристрою, що розглядається в індивідуальному заданні, є його основними базами? Які поверхні цього пристрою є допоміжними базами?
7. 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?
8. Що обумовлює вимоги до точності розмірів і вимоги до відносного розташування кріпильних поверхонь?
9. У яких випадках виникає необхідність механічної обробки вільних поверхонь?

1.6. Варіанти задач для індивідуальних завдань

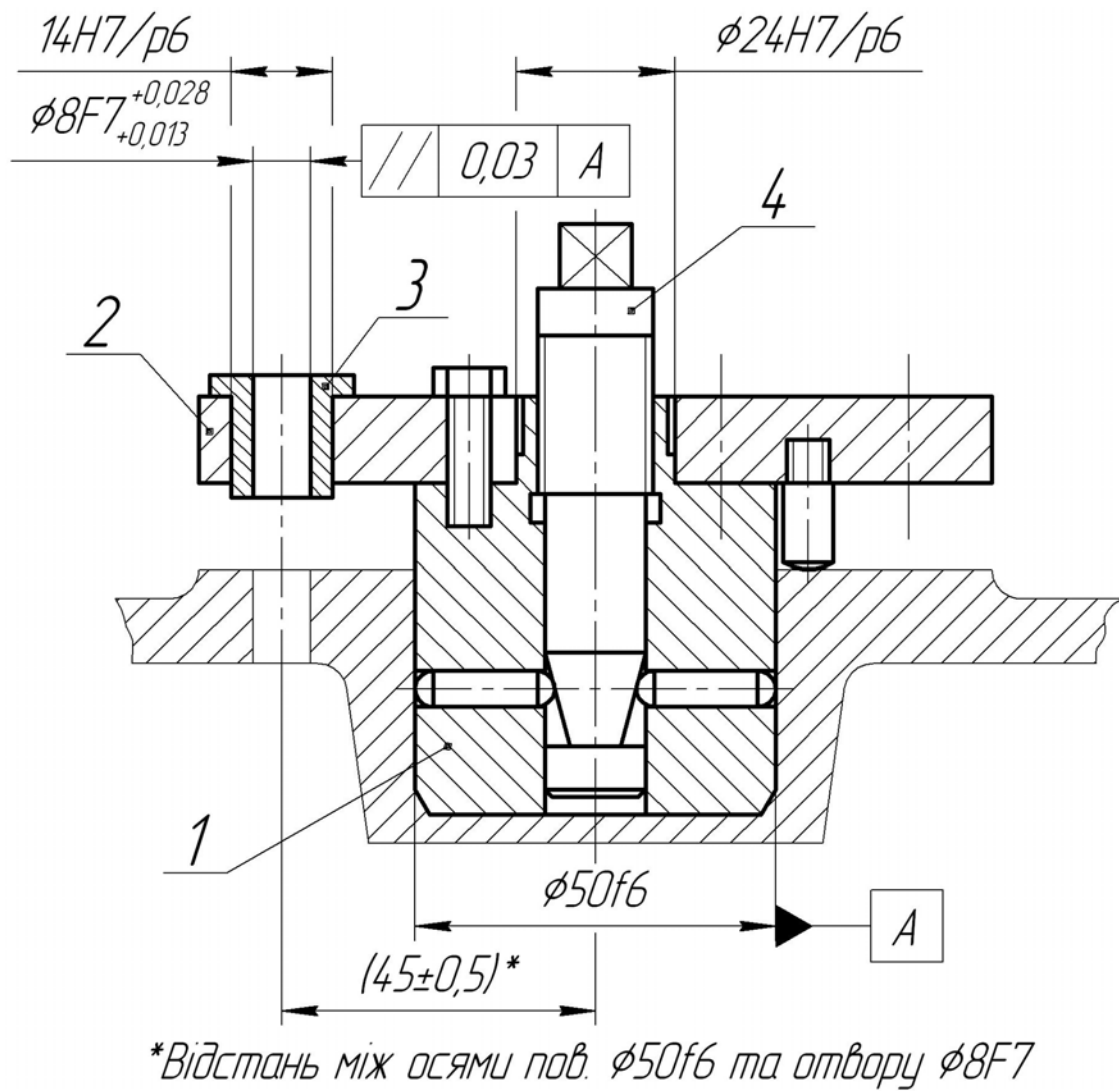


Рис. 1.5. Варіант 1 (кондуктор накладний):

1 – корпус; 2 – плита; 3 – втулка кондукторна; 4 – гвинт натискний

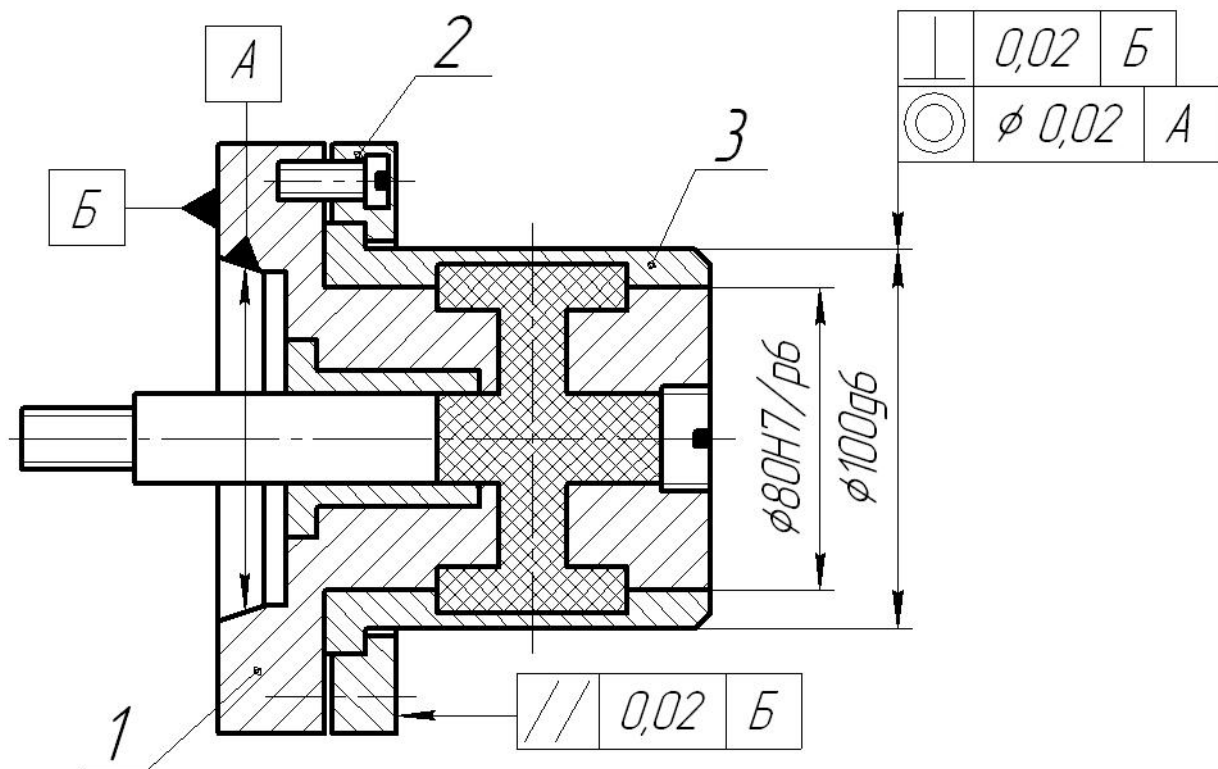


Рис. 1.6. Варіант 2 (оправка гідропластова):

1 – корпус; 2 – кільце; 3 – втулка пружинна

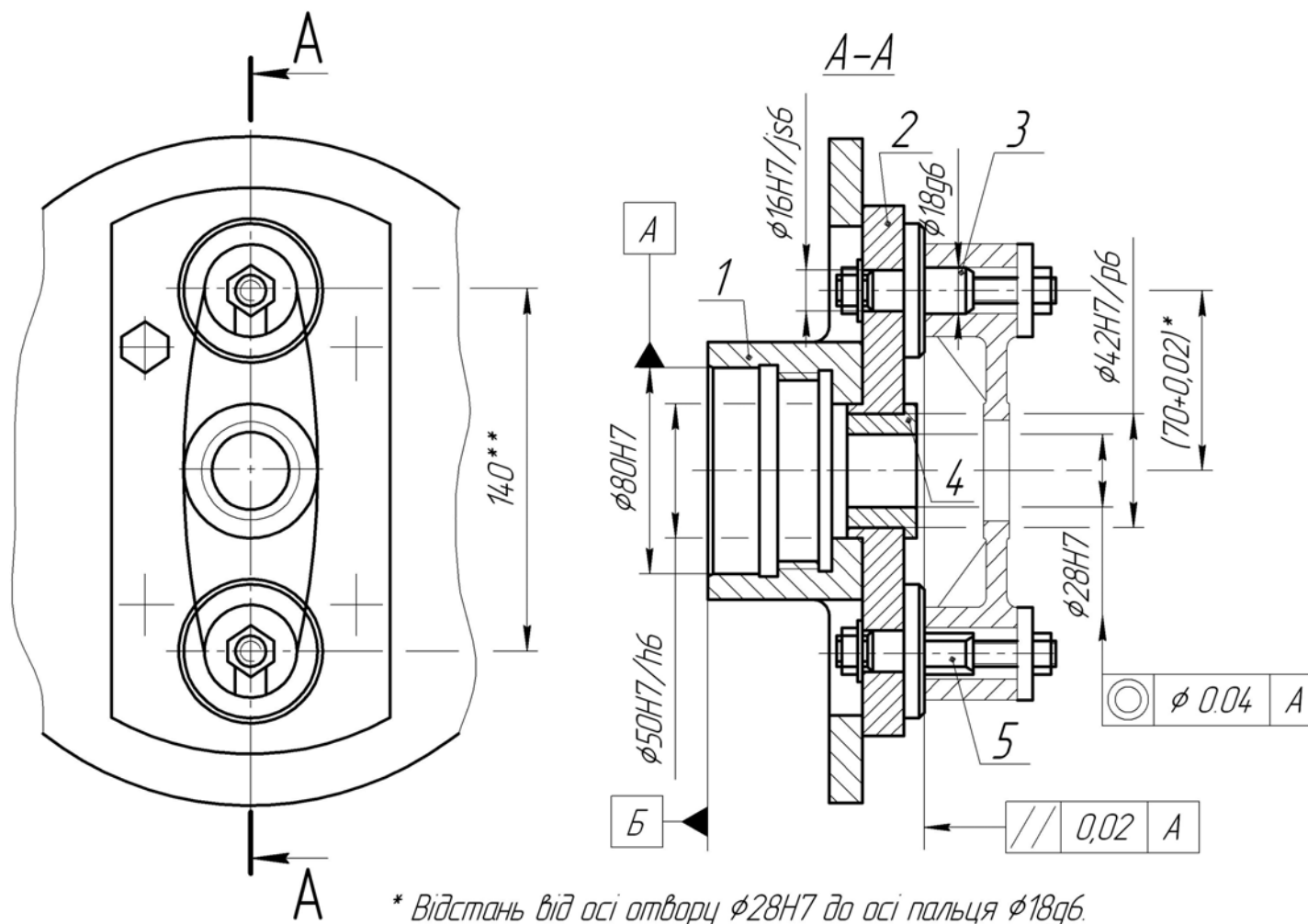
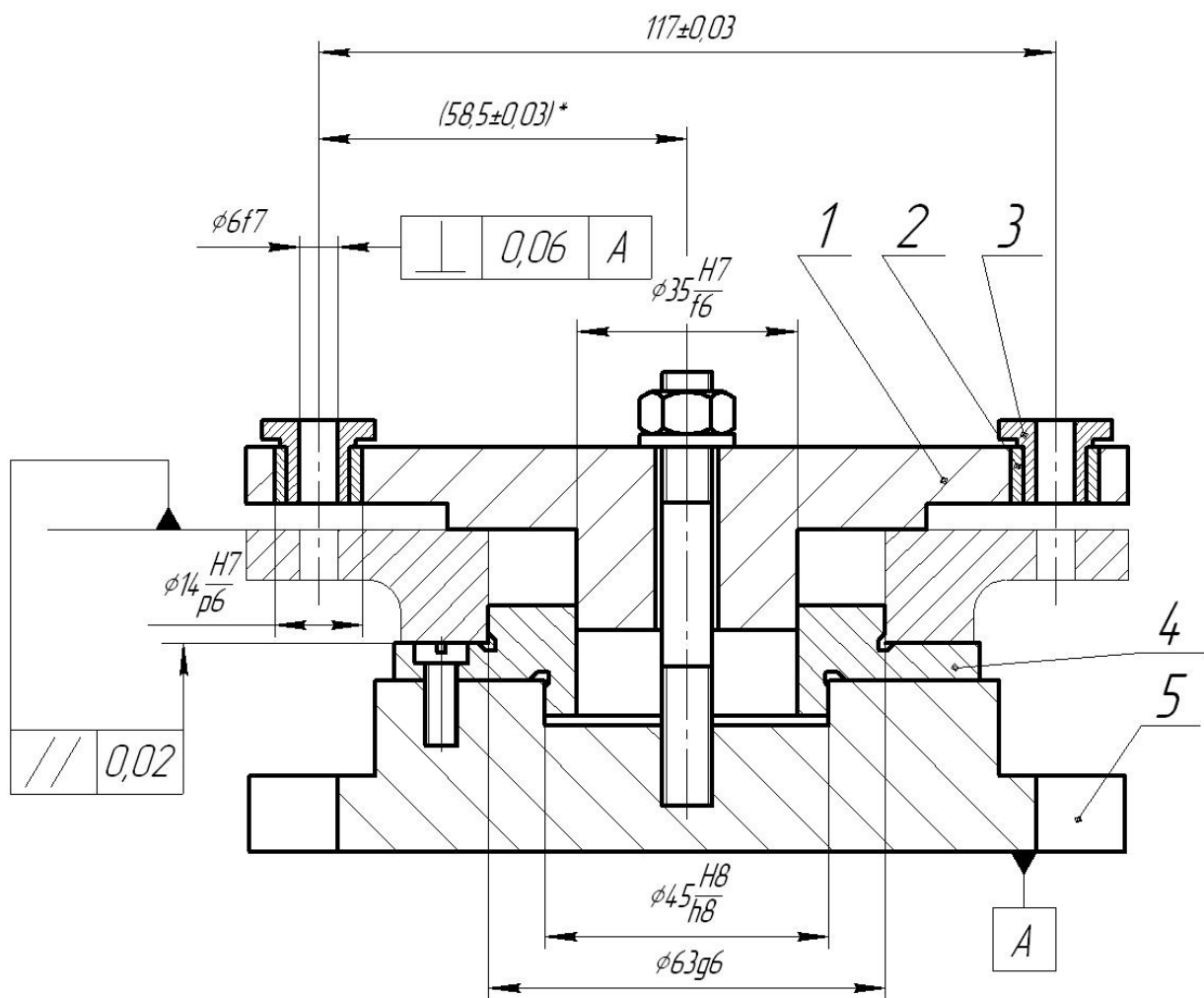


Рис. 1.7. Варіант 3 (пристрій токарний):

1 – корпус; 2 – плита; 3 – палець циліндричний; 4 – втулка кондукторна; 5 – палець зрізаний



1. *Размір для довідок
2. **Показник точності заготовки

Рис. 1.8. Варіант 4 (кондуктор накладний):

1 – плита; 2 – втулка постійна; 3 – втулка змінна; 4 – фланець опорний;
5 – корпус

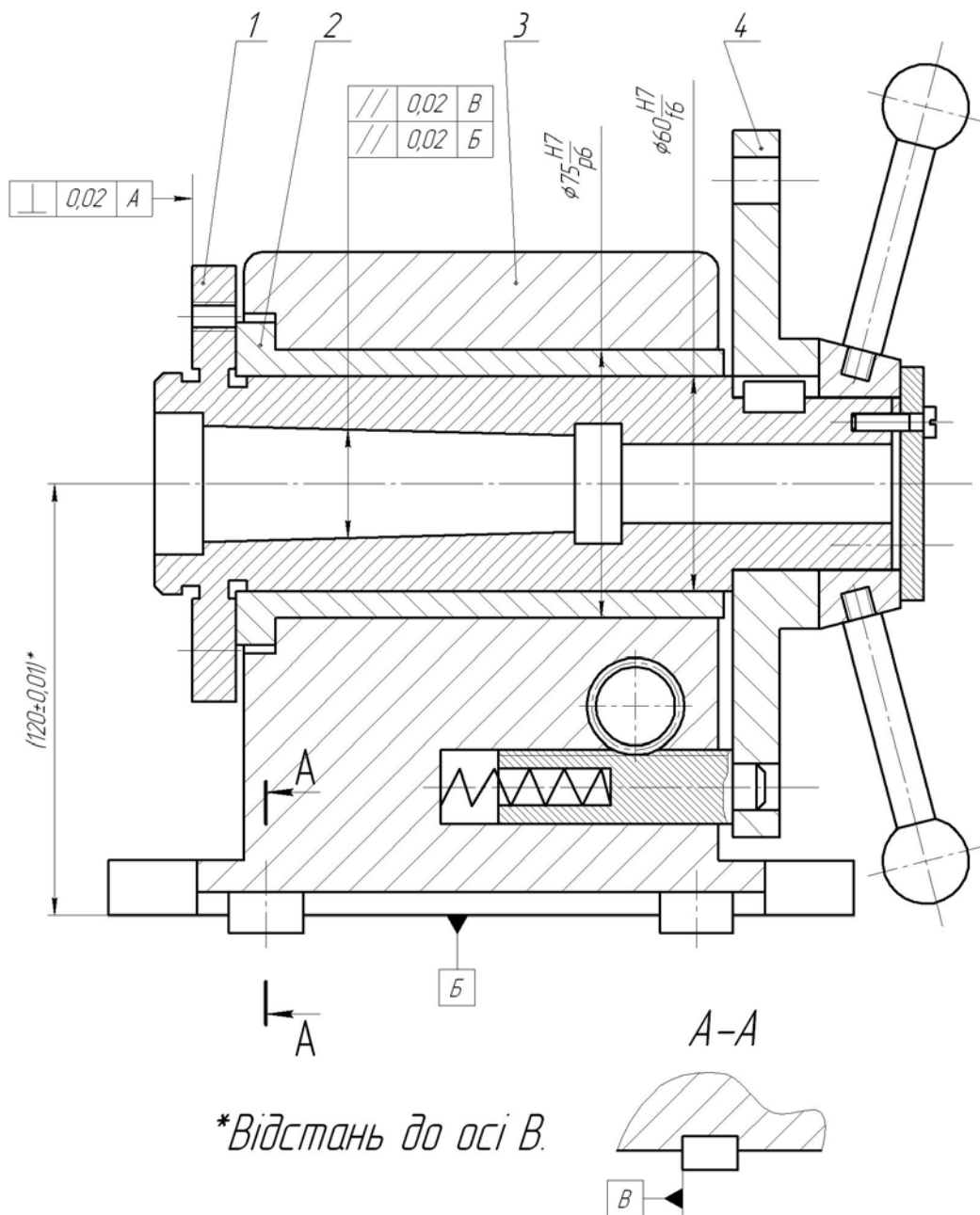


Рис. 1.9. Варіант 5 (головка ділильна):

1 – шпиндель; 2 – втулка; 3 – корпус; 4 – диск ділильний

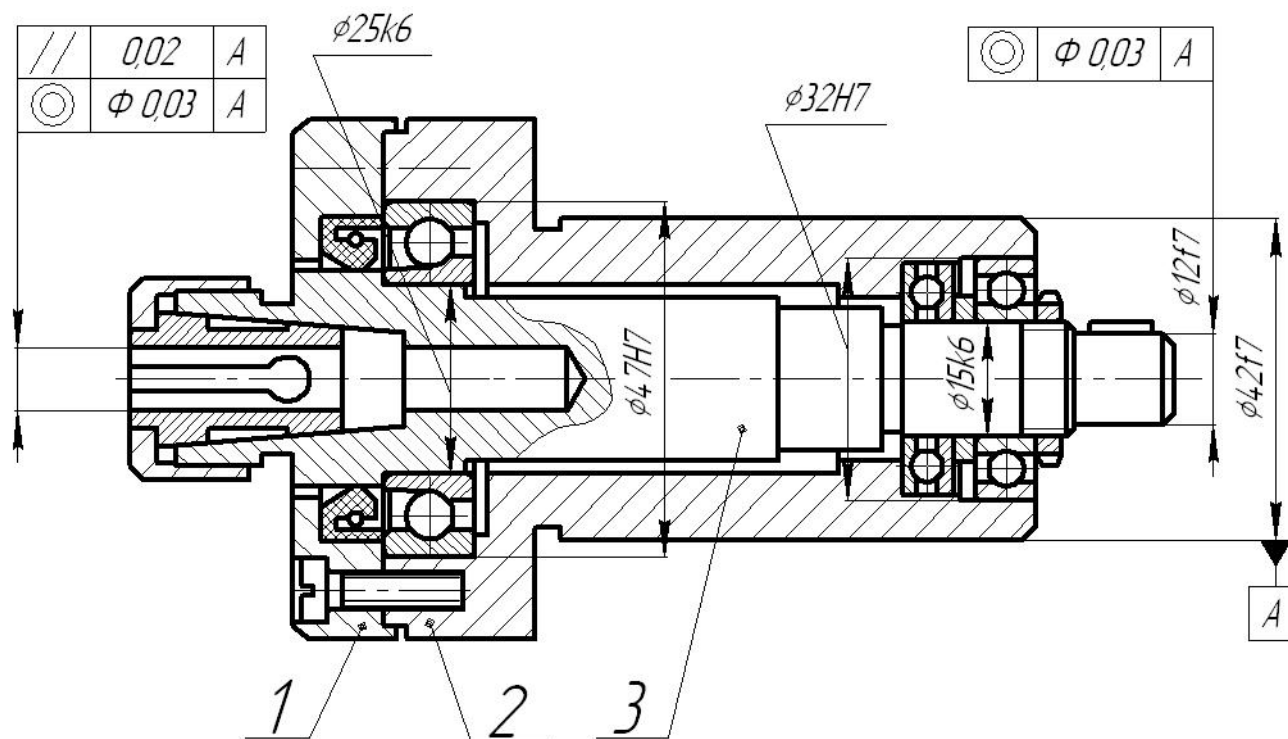


Рис. 1.10. Варіант 6 (головка обертава):

1 – фланець; 2 – корпус; 3 – шпиндель

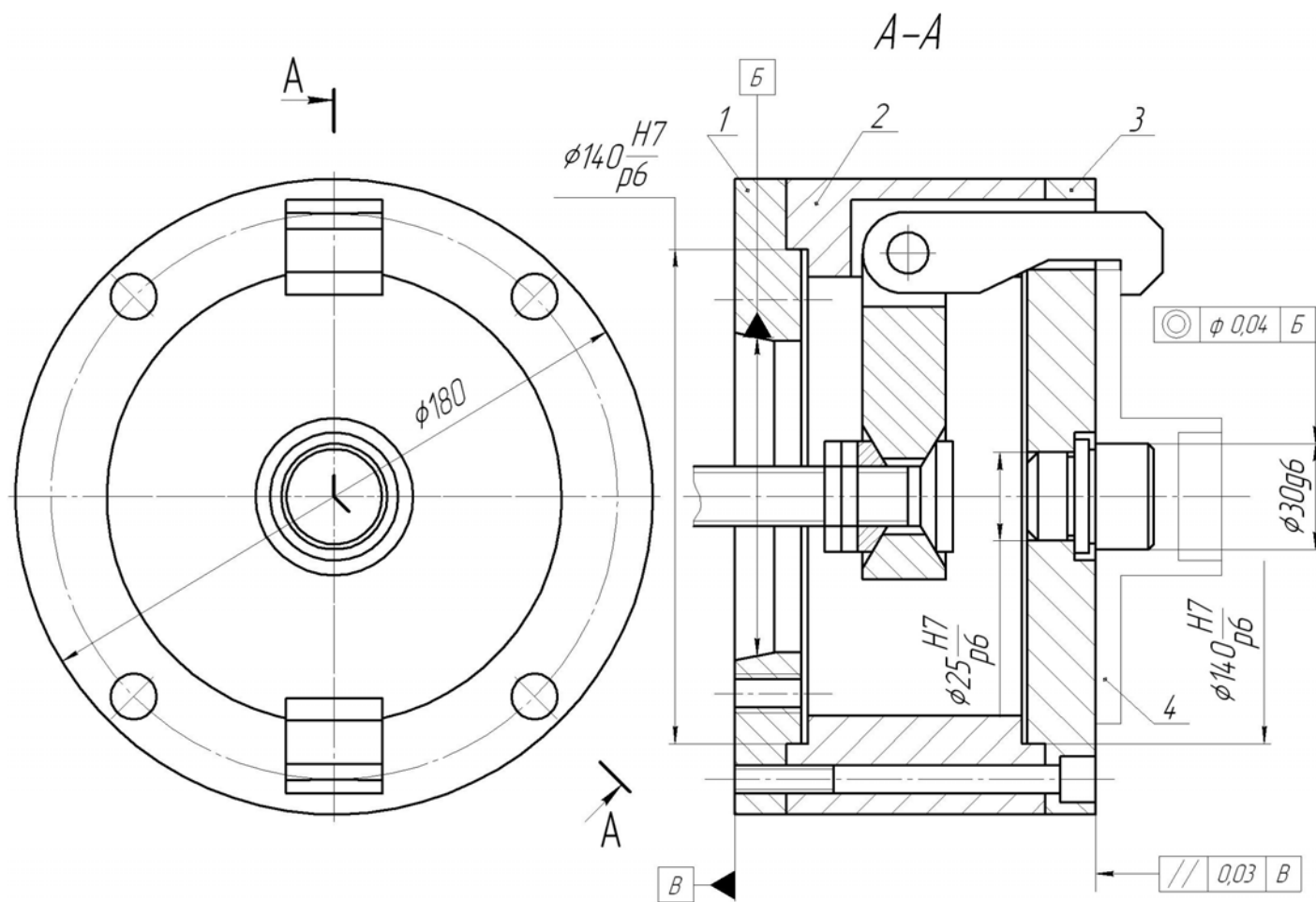
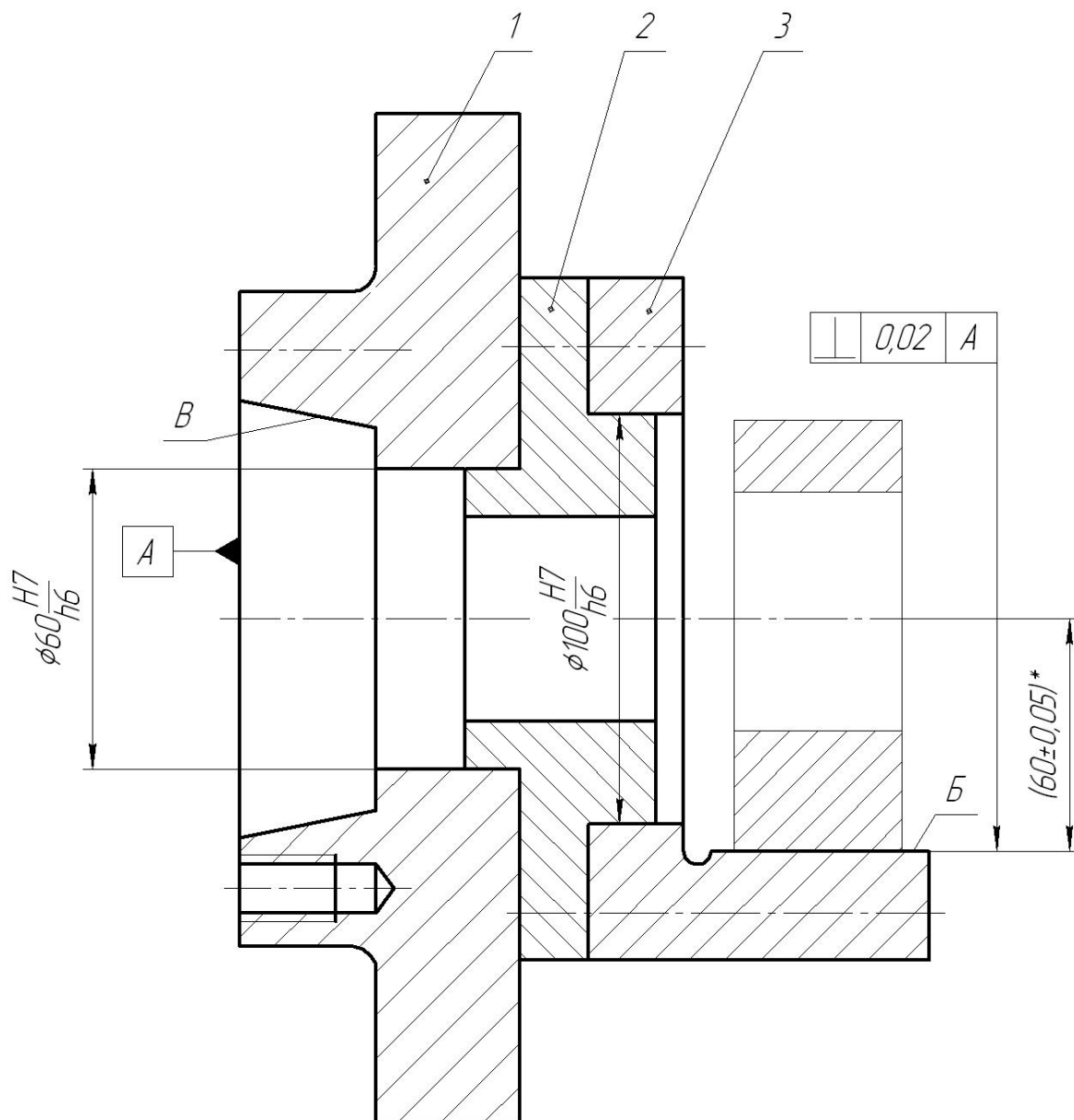


Рис. 1.11. Варіант 7 (патрон токарний):

1 – диск задній; 2 – корпус; 3 – диск передній; 4 – оправка



** Розмір між віссю конічного отвору В і площиною Б*

Рис. 1.12. Варіант 8 (пристрій токарний):

1 – планшайба; 2 – фланець; 3 – кутник

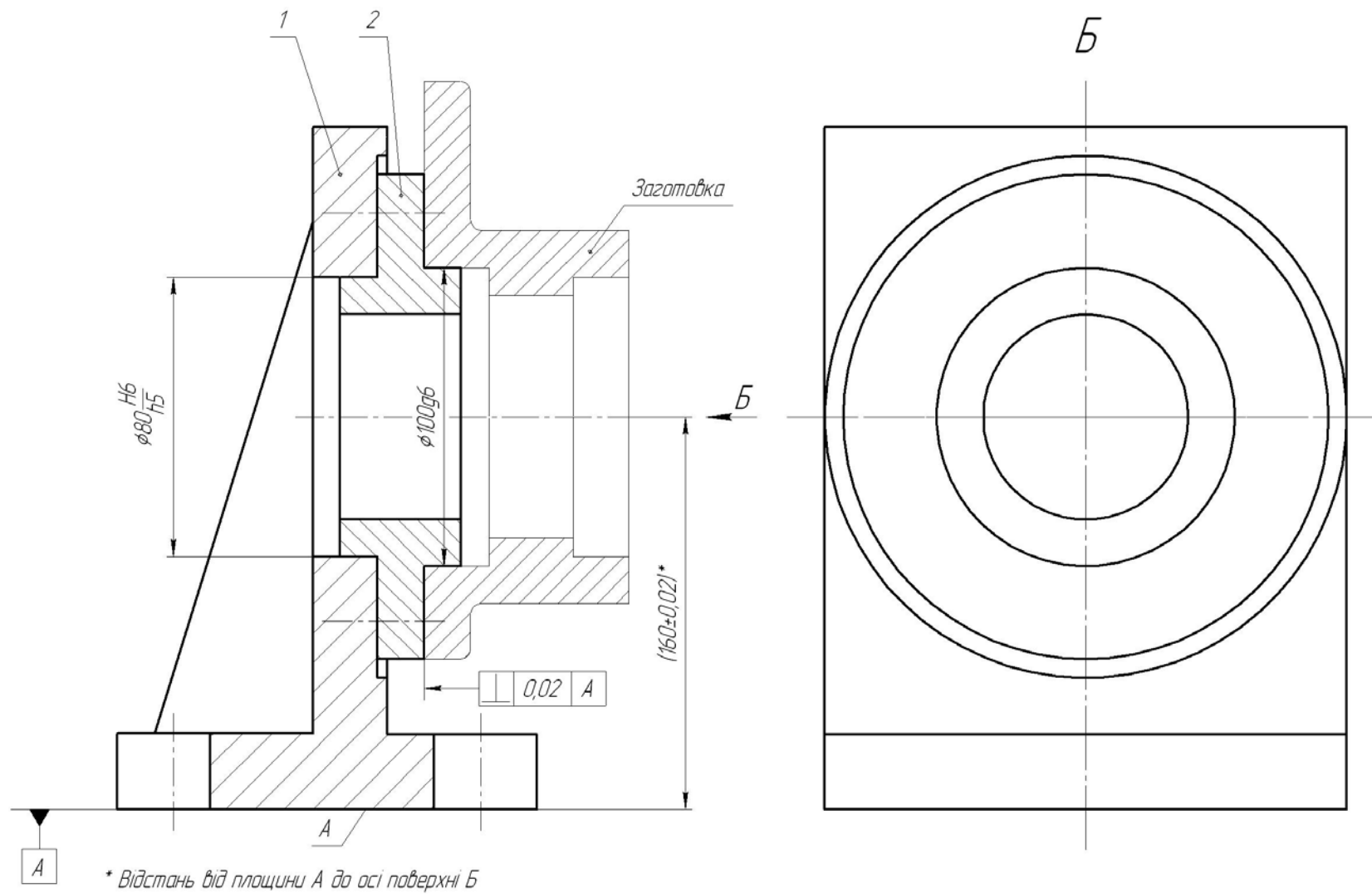


Рис. 1.13. Варіант 9 (пристрій розточувальний):

1 – кутник; 2 – фланець

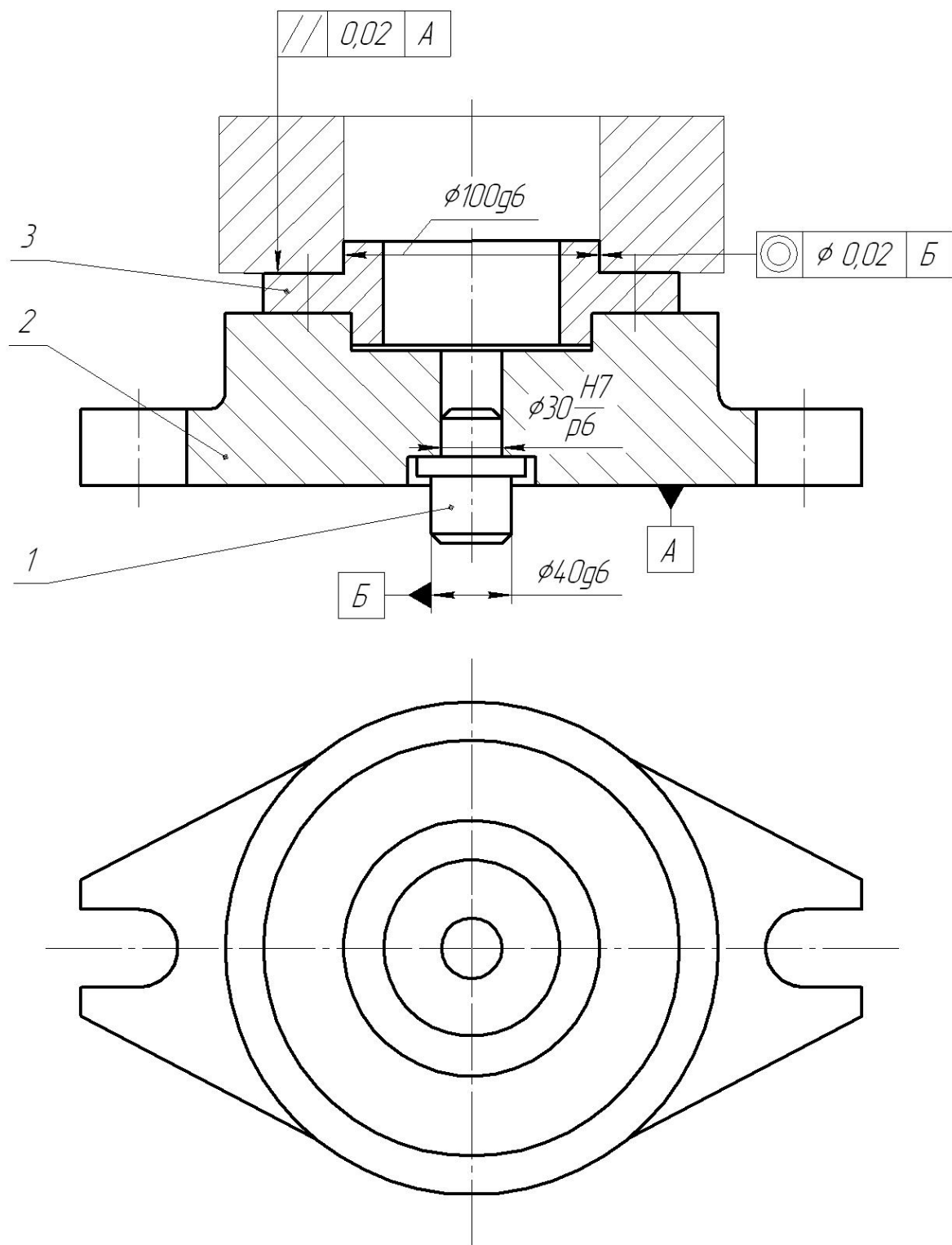


Рис. 1.14. Варіант 10 (пристрій свердлильний):
1 – палець; 2 – корпус; 3 – фланець опорний

Практичне заняття № 2

ОСНОВИ БАЗУВАННЯ. ПРАВИЛО ШЕСТИ ТОЧОК. КЛАСИФІКАЦІЯ БАЗ

Мета заняття – набуття практичних навичок аналізу схеми базування й дослідження впливу та розташування опорних точок на стійкість і визначеність базування.

2.1. Основні положення

У відповідності з [2] в машинобудуванні прийняті такі терміни та означення основних понять базування, що використовуються під час проектування технологічних процесів та конструювання машин.

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.

Комплект баз (set of bases) – сукупність трьох баз, що утворюють систему координат заготовки чи виробу.

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

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

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

Установлення (setting up) – процес базування і закріплення заготовки чи виробу.

Всі бази, які використовуються в машинобудуванні, підпорядковані класифікації [2], схема якої показана на рис. 2.1. Означення конструкторської бази, основної і допоміжної баз наведені у п. 1.1.

Означення решти баз такі.

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

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.

Напрямна 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 координатної осі.

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.

Подвійна опорна база (double resting base) – база, що позбавляє заготовку чи виріб двох ступенів вільності – переміщення уздовж двох координатних осей.

Явна база (rial base) – 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.

Вибираючи схему базування деталі або складальної одиниці під час конструювання машини чи розробляючи технологічний процес механічної обробки слід враховувати викладене нижче [1, 2].

Для повної орієнтації заготовки, деталі або складальної одиниці під час базування кількість опор та їх розташування має бути таким, щоб за умови невідривності баз від опор заготовка не могла зміщуватися й повертатися відносно координатних осей. У цьому випадку виконується правило “шести точок”, згідно з яким для повного визначення положення твердого тіла, тобто позбавлення всіх шести ступенів вільності, його необхідно й достатньо підперти в шести незалежних точках, розташованих на трьох різних площинах координатного кута. Виконання правила “шести точок” є обов'язковим під час вибору схеми базування деталі у складальній одиниці і заготовки у верстатному пристрої.

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 (в залежності від того, скільки опорних точок не вистачає до шести). Слід зазначити, що якщо у відповідності зі своїм службовим призначенням деталь 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” (з точки зору забезпечення правила “шести точок”) 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.

2.2. Порядок виконання індивідуального завдання

1. Вказати ступені вільності, які відбираються у заготовки заданими у варіанті завдання опорними точками.
2. Розробити схему базування, яка відбирає у заготовки шість ступенів вільності, доповнивши задані опорні точки необхідною кількістю нових опорних точок.
3. Дати повне найменування всім базам.

2.3. Методика виконання індивідуального завдання

Розглянемо методику виконання завдання на прикладі заготовки корпуса підшипника (рис. 2.2).

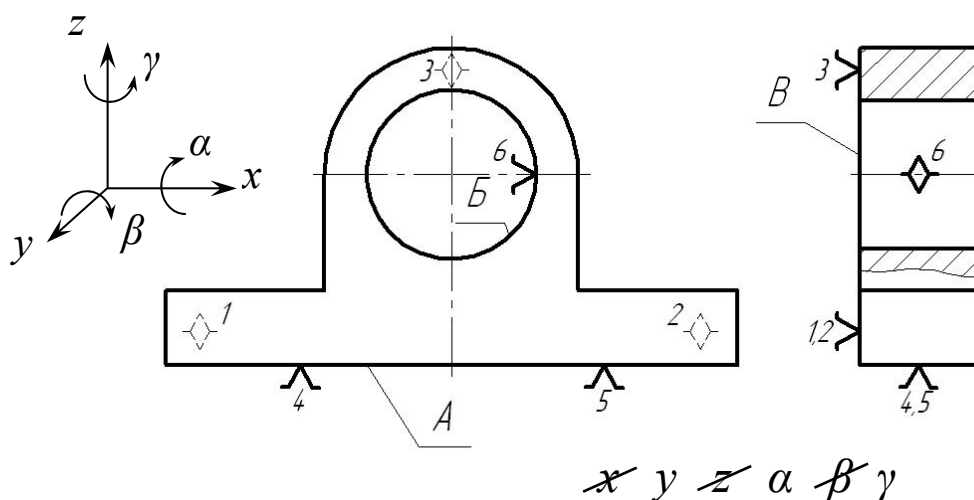


Рис. 2.2. Ескіз до прикладу виконання індивідуального завдання

Задані опорні точки слід показати потовщеною лінією.

Виявляючи ступені вільності, що відбираються у заготовки заданими опорними точками, потрібно враховувати, що заготовка або деталь має певний ступінь вільності у тому випадку, якщо вона може переміщуватися вздовж однієї з координатних осей або обертатися навколо однієї з координатних осей, не відриваючись від жодної з опорних точок. Проковзування по опорних точках не вважається відривом.

Далі поряд із ескізом заготовки запишемо позначення всіх шести можливих ступенів вільності (x ; y ; z ; α ; β ; γ) і за допомогою сформульованого вище правила послідовно встановимо наявність або відсутність кожного із шести можливих ступенів вільності.

Рухаючись уздовж осі x заготовка відірветься від опорної точки 6, і, таким чином, вона позбавлена цього ступеня вільності (для наочності це слід показати, закресливши позначення відповідної координати).

Уздовж осі y заготовка може рухатися без відриву від опорних точок, і, відповідно, вона не позбавлена цього ступеня вільності.

Рухаючись уздовж осі z , заготовка відірветься від опорних точок 3 і 4 і, відповідно, вона позбавлена цього ступеня вільності.

Обертання навколо осі x (координата α) може відбуватись без відриву від опорних точок і, відповідно, заготовка не позбавлена цього ступеня вільності.

Обертаючись навколо осі y (координата β) заготовка відірветься від точки 4 або 5 (в залежності від напрямку обертання) і, відповідно, вона позбавлена цього ступеня вільності.

Навколо осі z (координата γ) заготовка може обертатись без відриву від опорних точок і, відповідно, вона має цей ступінь вільності.

Таким чином, задані три опорні точки позбавляють заготовку трьох ступенів вільності, а саме: можливості переміщуватися у напрямках осей x та z , а також можливості обертатися навколо осі y .

У відповідності з правилом “шести точок” для базування заготовки необхідно і достатньо мати шість опорних точок. У розглянутому прикладі до заданих трьох опорних точок необхідно додати ще три, розташувавши їх так, щоб заготовка позбавлялась усіх шести ступенів вільності.

Розташовуючи опорні точки, не можна допускати, щоб заготовка двічі була позбавлена будь-якого ступеня вільності, оскільки це призводить до невизначеності базування.

Розробляючи схеми базування заготовок та деталей в практиці машинобудування найчастіше використовують такі комплекти баз:

- 1) установна, напрямна і опорна;
- 2) подвійна напрямна і дві опорних;
- 3) установна, подвійна опорна і опорна.

Таким чином, виконуючи п. 1 цього завдання, необхідно намагатись за можливістю використовувати один з вищеперерахованих комплектів баз. Найчастіше використовувані в машинобудуванні схеми базування показані в додатку А.

У прикладі, що розглядається, з урахуванням розташування заданих опорних точок площа B являє собою напрямну базу, поверхня отвору B – опорну базу. Необхідний комплект баз може бути реалізований, якщо, наприклад, площину A використати за установну базу, розташувавши на ній опорні точки 1, 2 і 3 (на рис. 2.2 показані тонкими лініями).

Перевірка з використанням наведених вище рекомендацій показує, що з такою схемою базування заготовка позбавляється усіх шести ступенів вільності.

Отже, у розробленій схемі базування використані такі бази:

- площа A – технологічна установна явна база;
- площа B – технологічна напрямна явна база;
- поверхня отвору B – технологічна опорна явна база.

Варіанти задач для індивідуальних завдань містяться у п. 2.6.

2.4. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Ескіз заготовки із запропонованою схемою базування.
3. Повні найменування всіх баз, використаних у запропонованій схемі базування.

2.5. Питання для самоконтролю

1. Основні поняття і означення теорії базування (базування, база, опорна точка, схема базування, закріплення, установлення).
2. Класифікація баз. Означення баз, використовуваних у машинобудуванні.
3. Як розрізняють бази за призначенням? Наведіть приклади.
4. Як розрізняють бази за кількістю ступенів вільності, що відбираються у заготовки чи виробу певною базою?
5. Як розрізняють бази за характером виявлення?
6. Сутність правила шести “шести точок”.
7. У яких випадках може виникати невизначеність базування?
8. Для чого в конструкції верстатного пристрою можуть використовуватися підвідні або самоустановні опори?

2.6. Варіанти задач для індивідуальних завдань

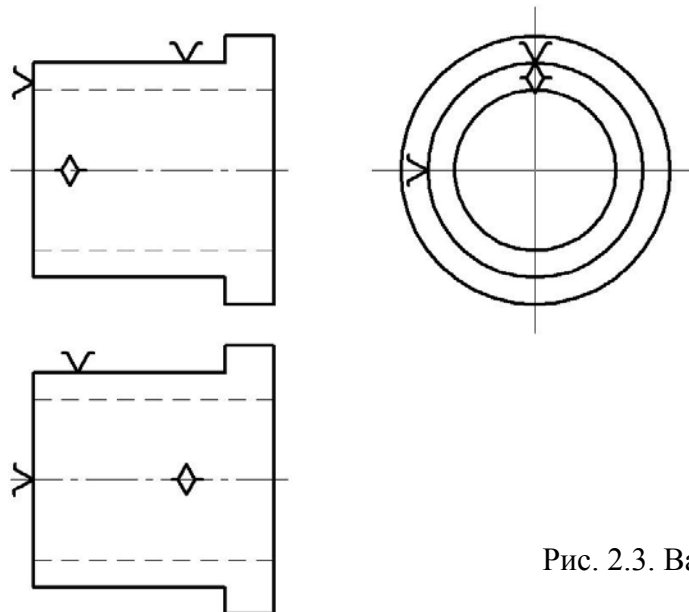


Рис. 2.3. Варіант 1

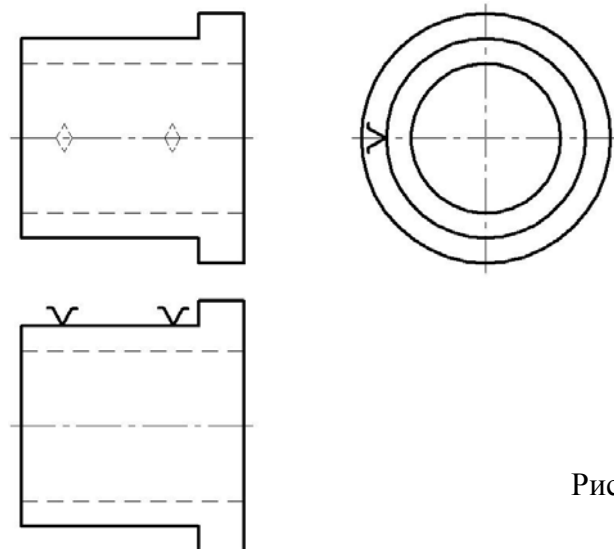


Рис. 2.4. Варіант 2

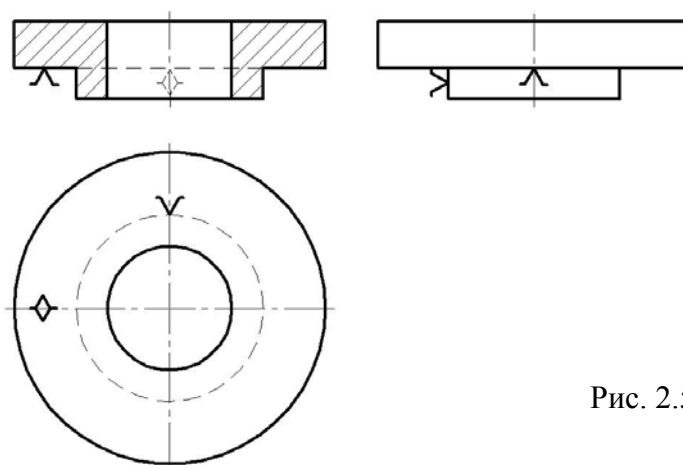


Рис. 2.5. Варіант 3

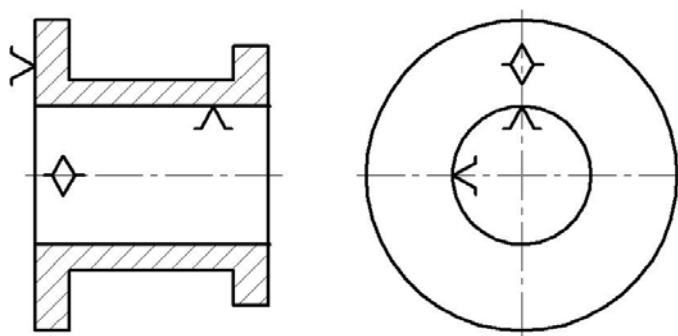


Рис. 2.6. Варіант 4

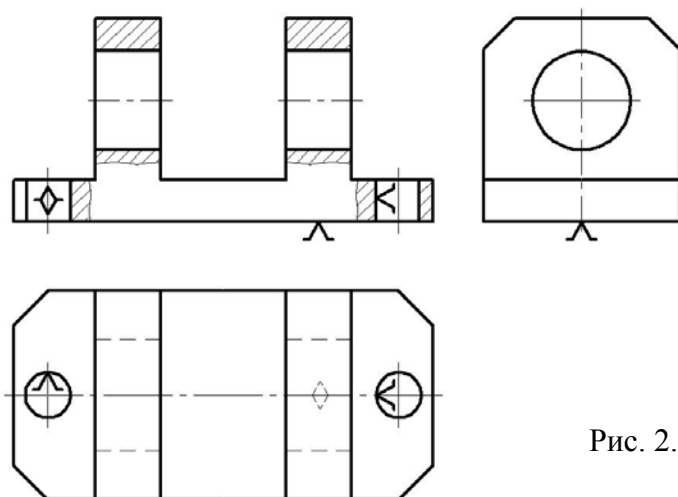


Рис. 2.7. Варіант 5

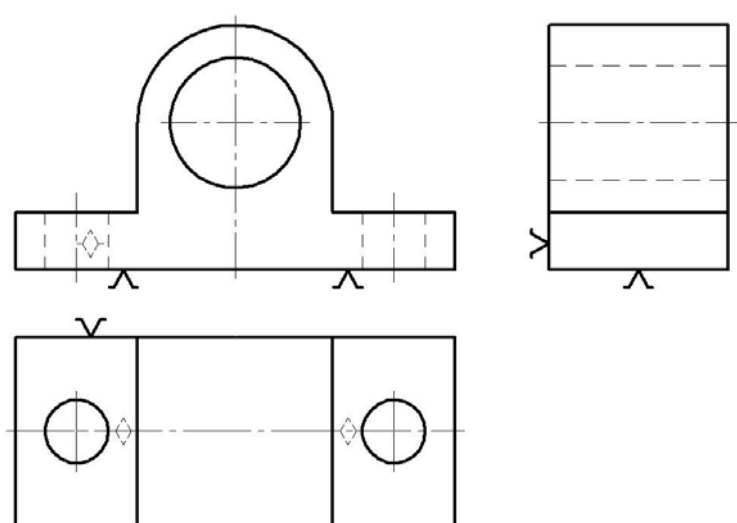


Рис. 2.8. Варіант 6

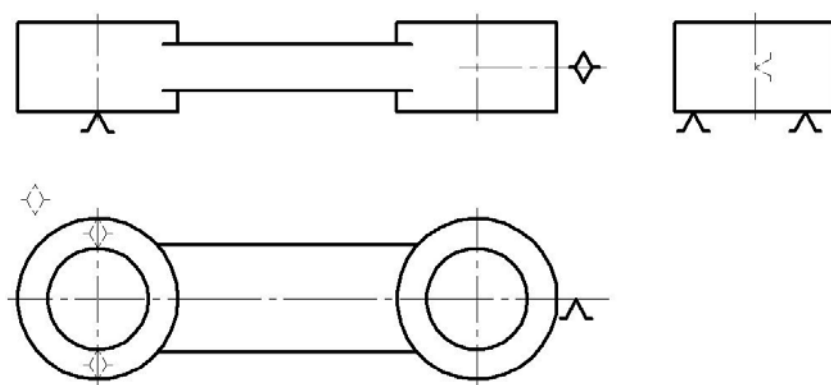


Рис. 2.9. Варіант 7

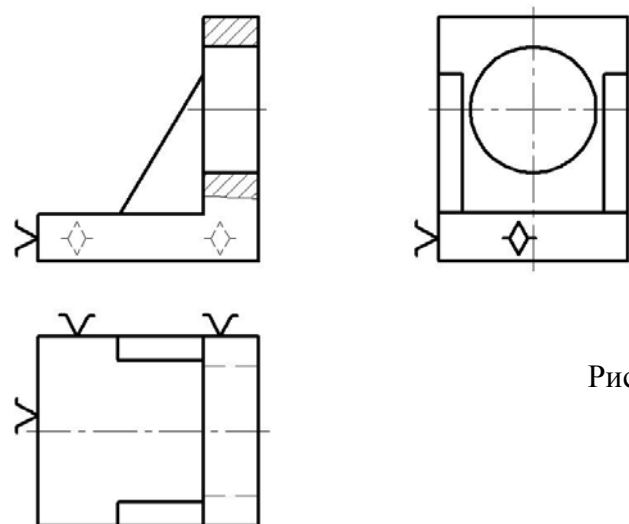


Рис. 2.10. Варіант 8

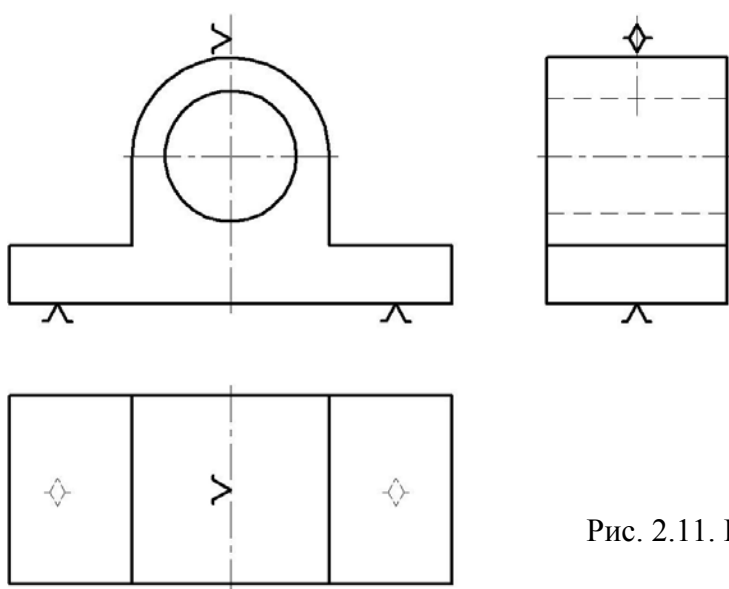


Рис. 2.11. Варіант 9

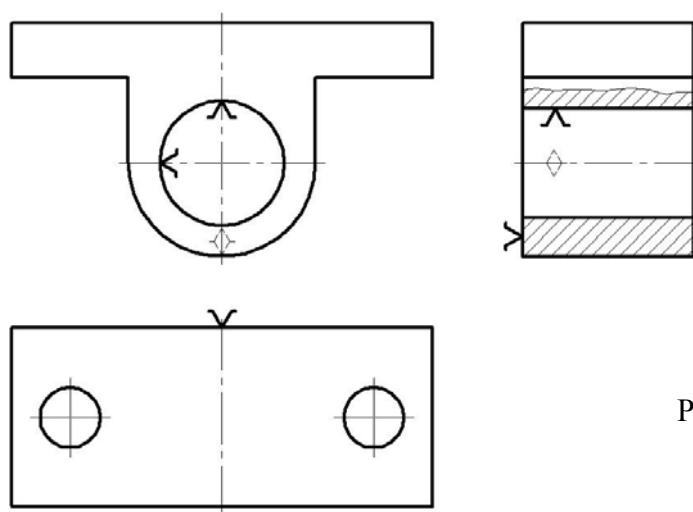
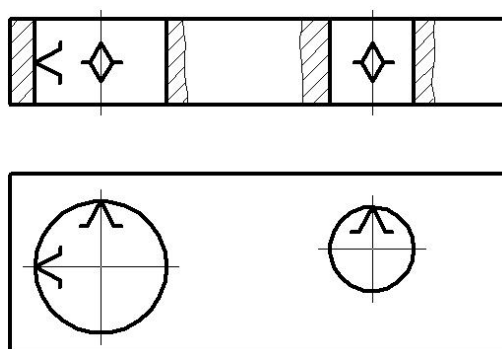
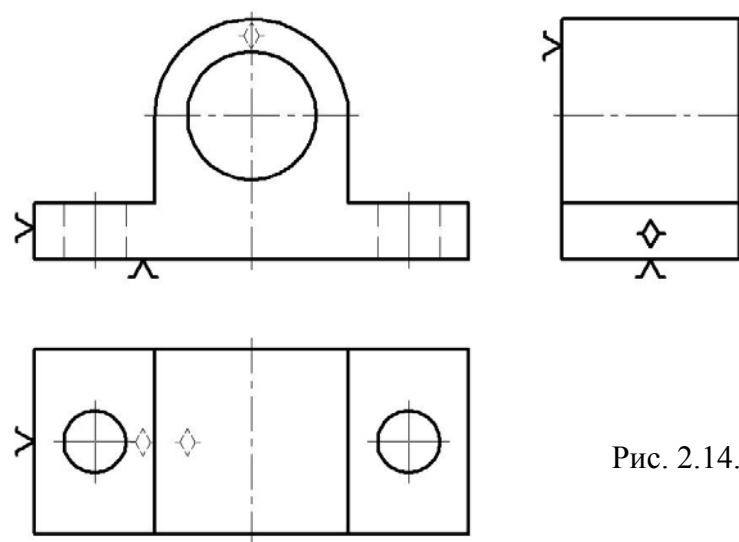
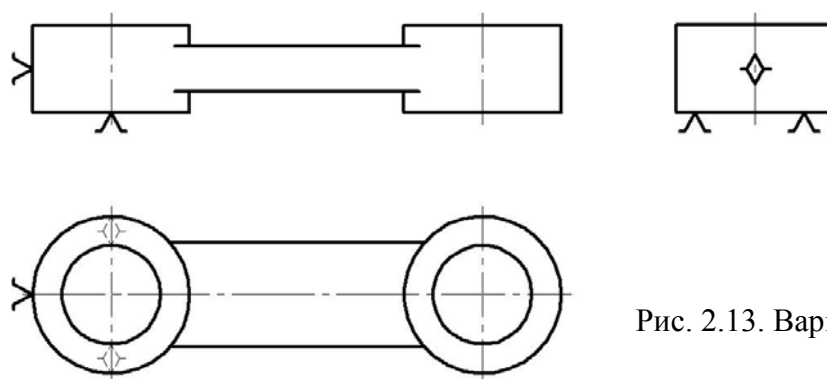


Рис. 2.12. Варіант 10



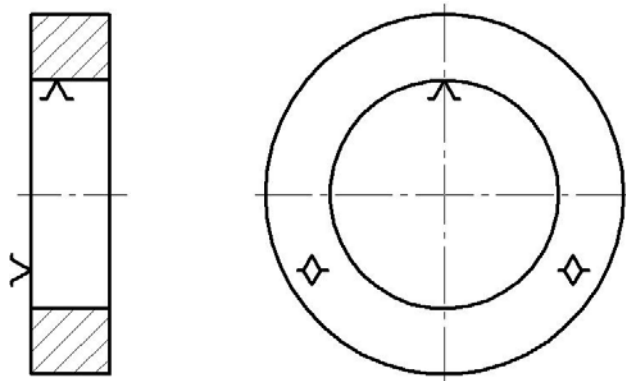


Рис. 2.16. Варіант 14

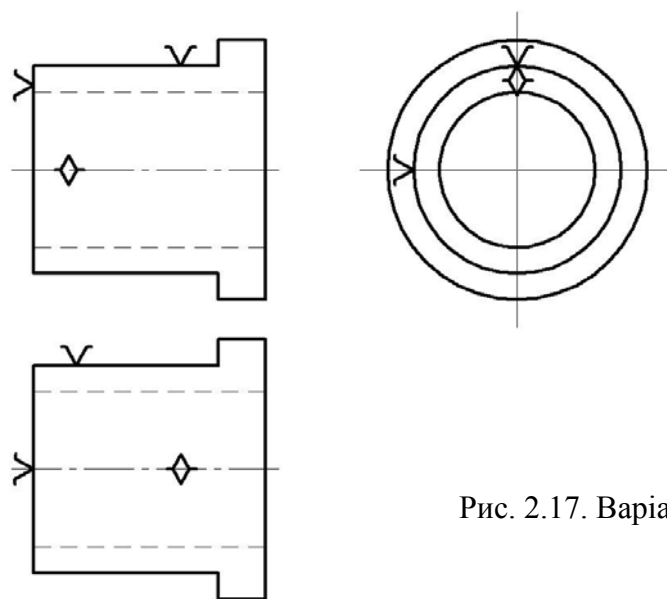


Рис. 2.17. Варіант 15

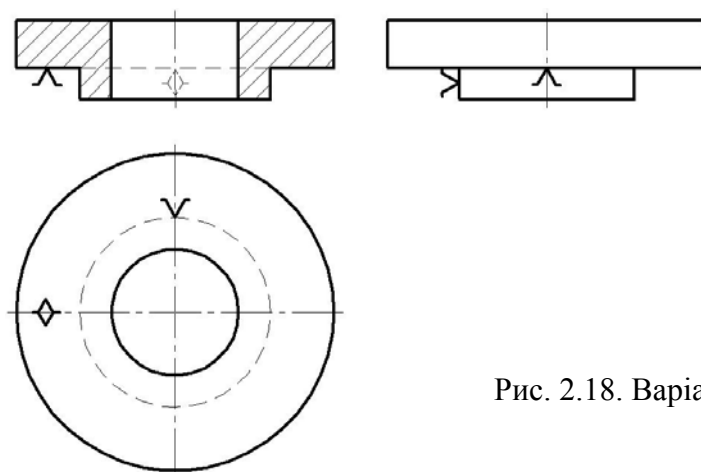


Рис. 2.18. Варіант 16

Практичне заняття № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ БАЗУВАННЯ

Мета заняття – набуття практичних навиків визначення похибки базування як складової сумарної похибки механічної обробки і розроблення заходів щодо мінімізації цієї похибки.

3.1. Основні положення

У відповідності з [2], *похибка базування (error of locating)* – це відхилення фактично досягнутого положення заготовки або виробу від необхідного.

На операціях механічної обробки похибка базування може виникати, якщо обробляється партія заготовок на настроєному на розмір верстаті. 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. Кількісне значення похибки базування визначається як поле розсіювання положень вимірювальної бази партії заготовок у напрямі отриманого технологічного розміра.

Кількісне значення похибки базування можна знайти за допомогою побудови технологічного розмірного ланцюга (**technological size chain**) і розв'язання його рівняння. Ланкою замикання (**link of shorting**) цього ланцюга є розмір, на який визначається похибка базування. Цей розмір завжди розташований між вимірювальною базою і поверхнею або віссю поверхні (якщо поверхня має циліндричну або конічну форму), що утворилися після механічної обробки.

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

Складовими ланками (**component links**) 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.

ня. Ланки позначають великими літерами українського алфавіту з індексами, що відповідають номінальним значенням відповідних розмірів.

Розробляючи технологічний процес 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, які 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 в ході 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 установа.

3.2. Порядок виконання індивідуального завдання

1. Проаналізувавши операційний ескіз, вказати розміри, на які похибка базування не впливає.

2. Знайти похибку базування для решти розмірів, склавши відповідний розмірний ланцюг і розв'язавши його рівняння.

3. Розробити нову схему базування, яка забезпечує відсутність похибки базування на всі отримувані під час виконання операції розміри.

Виконуючи завдання, вважати, що всі технологічні переходи виконуються з одного установа заготовки.

3.3. Приклад виконання індивідуального завдання

Розглянемо приклад визначення похибки базування. Операційний ескіз, який відповідає прикладу, показаний на рис. 3.1.

На свердлильній операції обробляються два отвори $\varnothing 20^{+0,3}$ мм. При цьому мають бути забезпечені розміри: $20 \pm 0,2$ мм; $60 \pm 0,2$ мм; $30 \pm 0,1$ мм. Розмір $90 \pm 0,25$ мм отриманий на одній з попередніх операцій.

Для позначення похибки базування будемо використовувати індекс, що відповідає номінальному значенню розміра, на який ця похибка визначається.

Необхідно визначити: $\varepsilon_{\phi 20}$; ε_{60} ; ε_{20} і ε_{30} .

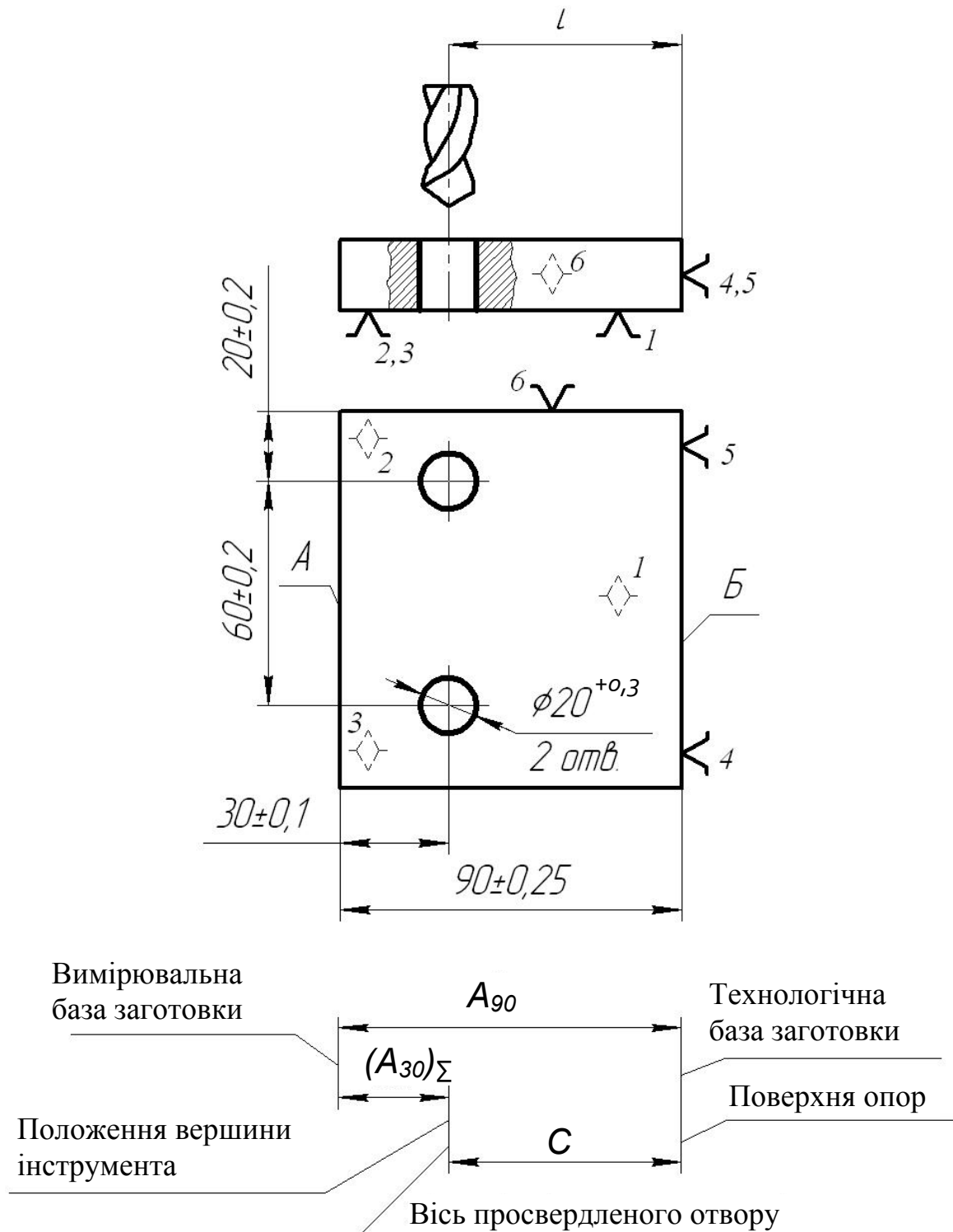


Рис. 3.1. До прикладу визначення похибки базування

Визначимо похибку базування на кожний із розмірів:

$\varepsilon_{\phi_{20}} = 0$, оскільки розмір ϕ_{20} мм є діаметральним;

$\varepsilon_{\phi_{60}} = 0$, оскільки обидва отвори ϕ_{20} мм обробляються з одного установа;

$\varepsilon_{\phi_{20}} = 0$, оскільки вимірювальна база цього розміру збігається з технологічною;

$\varepsilon_{\phi_{30}} \neq 0$, оскільки, в даному випадку, вимірювальна база (площина *A*) не збігається з технологічною (площина *B*).

Для визначення похибки базування на розмір $30 \pm 0,1$ мм з використанням вищенаведених правил будуюмо технологічний розмірний ланцюг.

Однією із складових ланок розмірного ланцюга є розмір, який визначає положення вершини налагодженого інструмента відносно опор пристрою. Цей розмір називають розміром настроєння (**size of tuning**) різального інструмента і позначають латинською літерою *C*. Вважають, що допуск (**admittance**) цього розміру дорівнює похибці настроєння (**error of tuning**), яка входить у сумарну похибку механічної обробки як окрема складова. Тому, визначаючи похибку базування, умовно вважають, що допуск розміру *C* є рівним нулю.

Таким чином, похибка базування на розмір 30 мм складає

$$\varepsilon_{\phi_{30}} = \delta(A_{\Sigma}) = T(A_{90}) + T(C),$$

де $\delta(A_{\Sigma})$ – поле розсіювання ланки замикання; $T(A_{90})$ – допуск на розмір 90 мм; $T(C)$ – допуск розміру настроєння *C*.

У відповідності з викладеним, вважаючи, що $T(C) = 0$, остаточно отримаємо

$$\varepsilon_{\phi_{30}} = 0,5 + 0 = 0,5 \text{ мм.}$$

Оскільки похибка базування на розмір $30 \pm 0,1$ мм більша, ніж допуск на цей розмір (0,2 мм), то необхідно змінити схему базування, сумістивши технологічну базу з вимірювальною базою за рахунок перенесення опорних точок 4 і 5 з поверхні *B* на поверхню *A*. За такої схеми базування $\varepsilon_{\phi_{30}} = 0$, оскільки виконуватиметься принцип суміщення баз.

3.4. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Операційний ескіз із запропонованою в індивідуальному завданні схемою базування.
3. Перелік розмірів, для яких за заданої схеми базування похибка базування відсутня, з поясненням технологічних обставин, які обумовлюють цю відсутність.

4. Розмірний ланцюг (чи ланцюги) і рівняння для визначення похибки базування з їх розв'язанням.

5. Операційний ескіз з новою схемою базування, яка забезпечує відсутність похибки базування на всі розміри, отримувані на операції.

3.5. Питання для самоконтролю

1. Що таке похибка базування і як кількісно вона визначається?
2. У яких випадках похибка базування відсутня?
3. Поясніть сутність принципу суміщення баз. Наведіть приклад.
4. Поясніть, чому відсутня похибка базування на розмір, який координує поверхні, що отримані обробкою за один установ заготовки. Наведіть приклади.
5. Поясніть, чому відсутня похибка базування на діаметральні розміри.

3.6. Варіанти задач для індивідуальних завдань

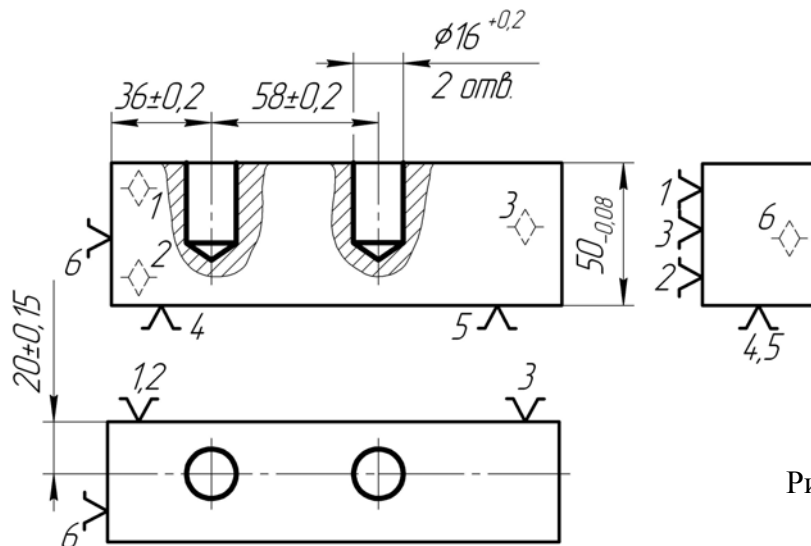


Рис. 3.2. Варіант 1

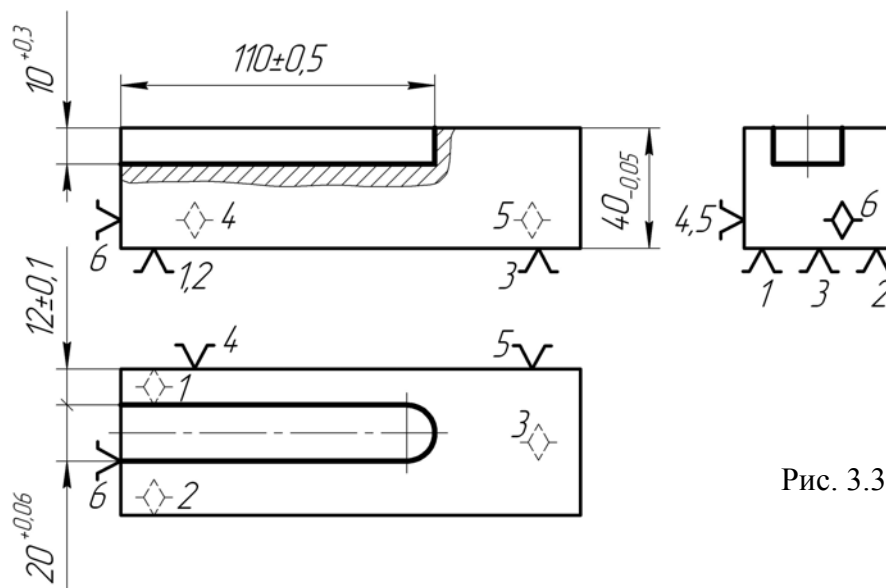


Рис. 3.3. Варіант 2

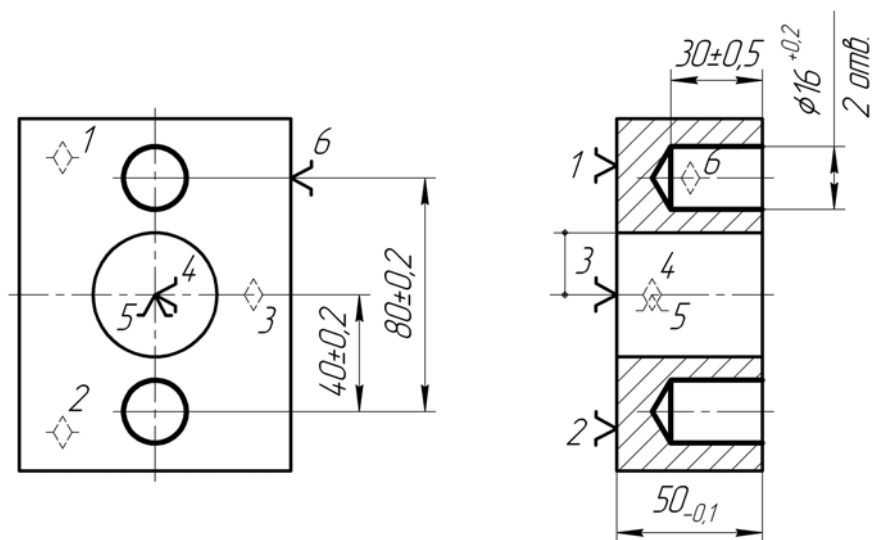


Рис. 3.4. Варіант 3

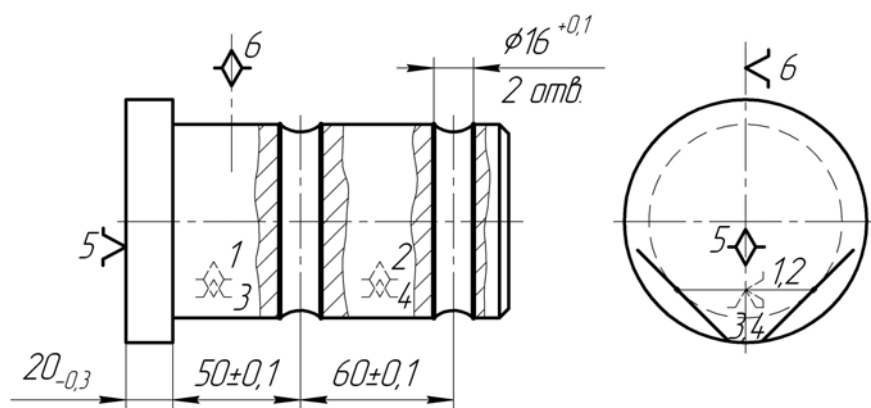


Рис. 3.5. Варіант 4

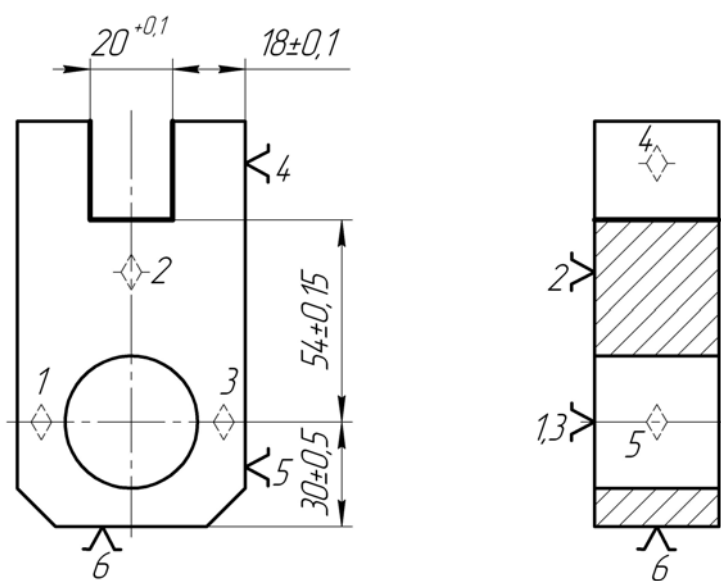


Рис. 3.6. Варіант 5

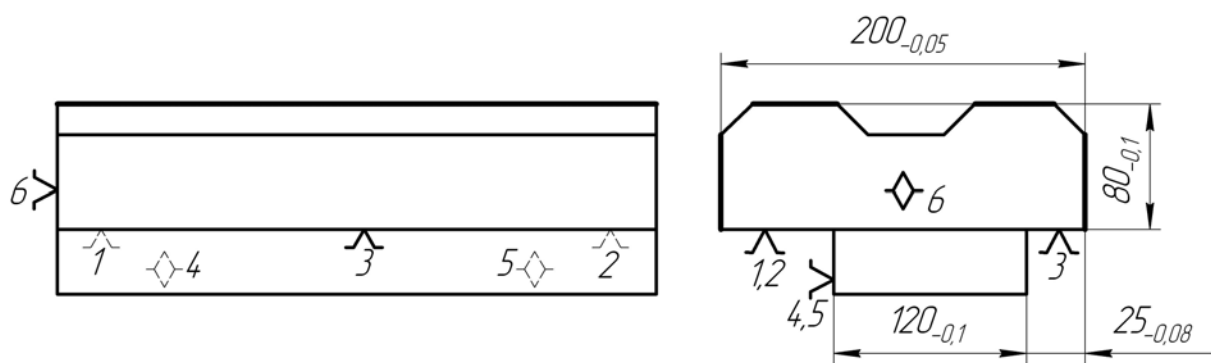


Рис. 3.7. Варіант 6

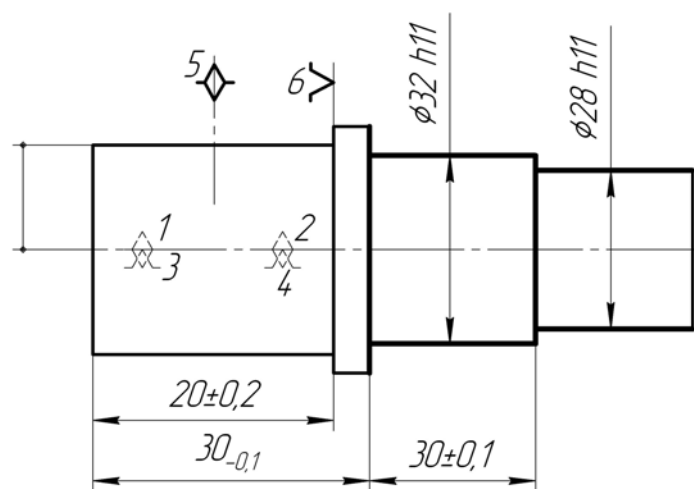


Рис. 3.8. Варіант 7

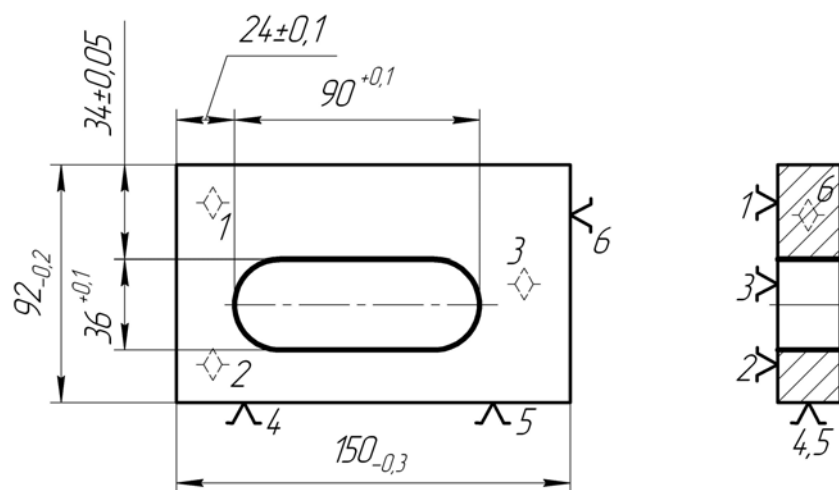


Рис. 3.9. Варіант 8

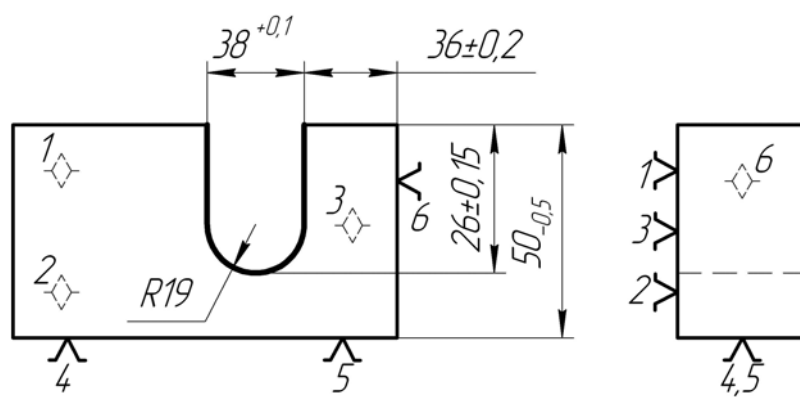


Рис. 3.10. Варіант 9

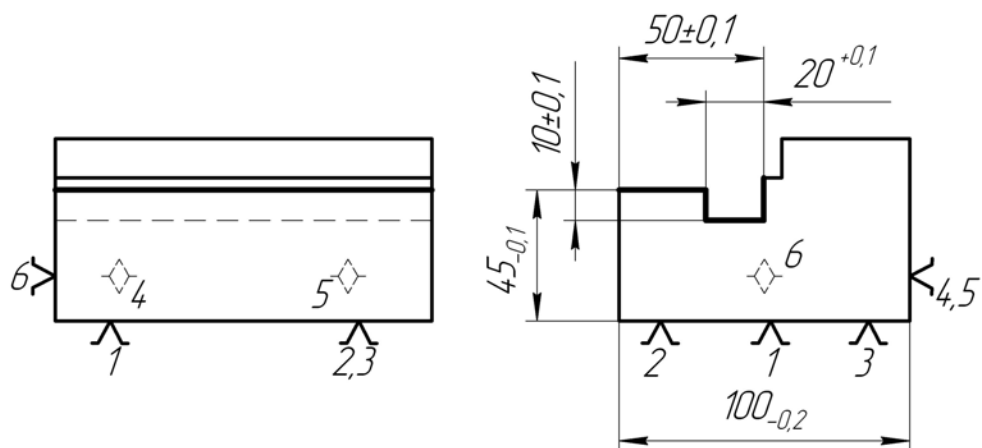


Рис. 3.11. Варіант 10

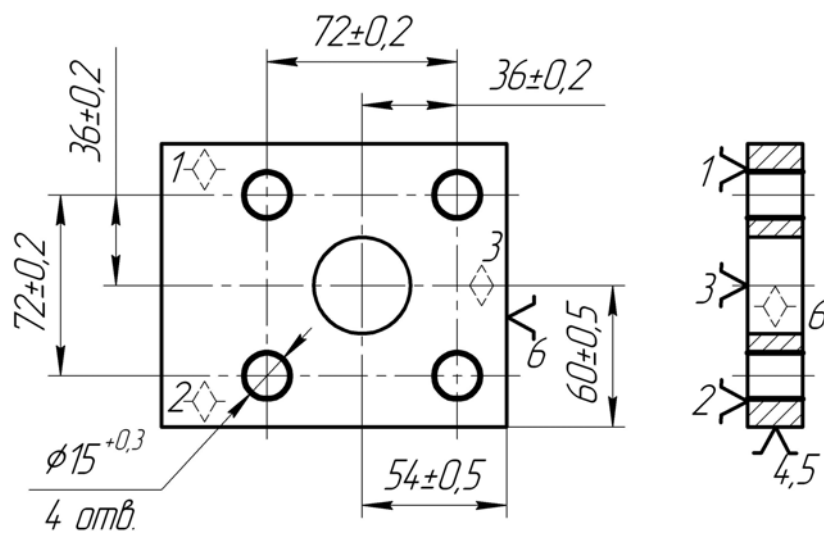


Рис. 3.12. Варіант 11

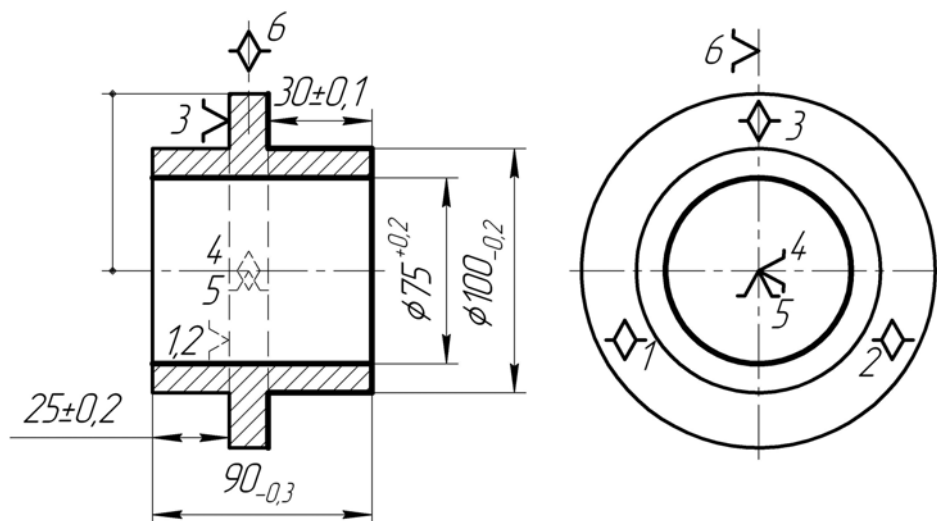


Рис. 3.13. Варіант 12

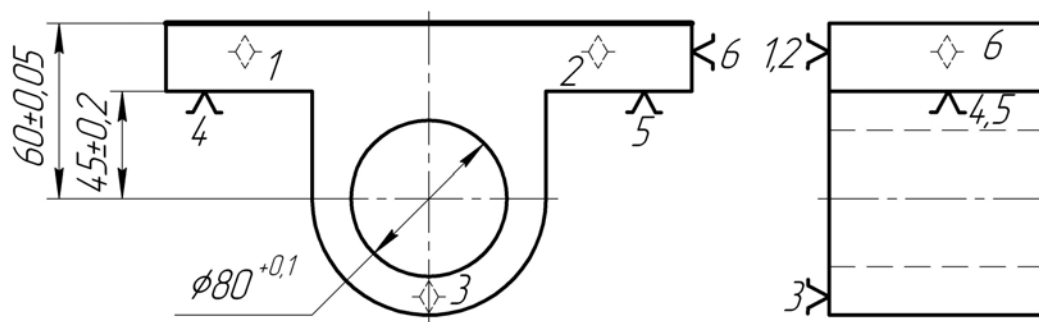


Рис. 3.14. Варіант 13

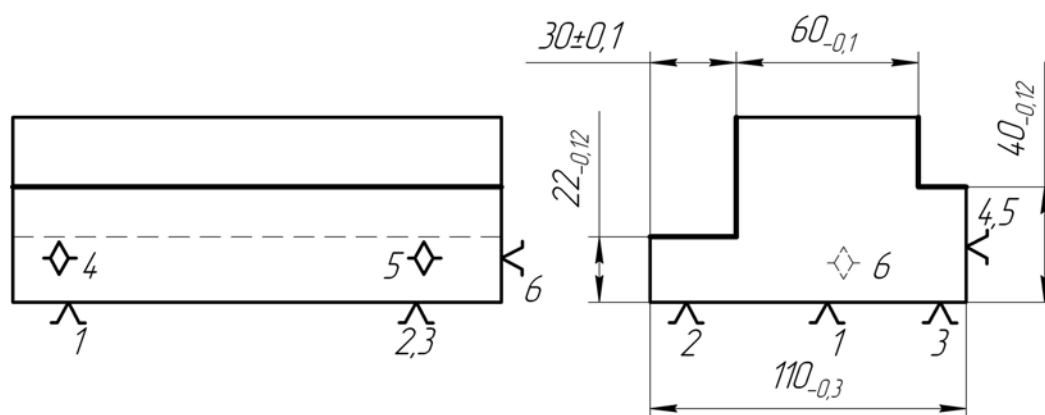


Рис. 3.15. Варіант 14

Практичне заняття № 4

РОЗМІРНИЙ АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ

Мета заняття – набуття практичних навичок виконання розмірних розрахунків для забезпечення точності машин під час їх складання.

4.1. Основні положення

Під час виготовлення машини мають бути забезпечені всі показники точності щодо відносного розташування певних поверхонь у відповідності з технічними вимогами, заданими в конструкторській документації. Ефективним засобом розв’язання цієї задачі є розмірний аналіз.

Метою розмірного аналізу конструкцій є забезпечення необхідної точності машини чи іншої складальної одиниці.

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

Вихідними 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.

4.1.1. Основні поняття та означення теорії розмірних ланцюгів

Розмірний ланцюг – це сукупність взаємозв’язаних розмірів, які утворюють замкнутий контур і визначають відносне розташування певних поверхонь (чи осей) деталі, заготовки або виробу.

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

Вихідною ланкою (initial link) або *замикальною ланкою (closing link)* називають розмір, до якого висувають вимоги точності, що безпосередньо впливають на якість виробу у відповідності з технічними умовами. Поняття вихідної ланки використовують під час виконання проектних розрахунків розмірних ланцюгів, а поняття замикальної ланки – під час перевірок.

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

Ланками розмірних ланцюгів можуть бути будь-які лінійні або кутові параметри: діаметральні розміри, 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.

Ланки лінійних розмірних ланцюгів зазвичай позначають великими буквами латинської абетки з індексами, які відповідають порядковому номеру ланки у розмірному ланцюзі (A_1, A_2 і т. д.), а ланки кутових розмірних ланцюгів – малими буквами грецької абетки (α_1, α_2 і т. д.). Вихідним (замикальним) ланкам присвоюють індекс Σ , тобто вихідну ланку лінійного розмірного ланцюга позначають, наприклад, як A_Σ , а кутового – α_Σ .

4.1.2. Послідовність виконання розмірного аналізу машини (складальної одиниці)

Розмірний аналіз 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, що:

- лінійний розмірний ланцюг складається і розраховується у випадках, якщо потрібно забезпечити необхідні допуски лінійного розміру між поверхнями чи їх осями або співвідношенні 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.

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 вихідної ланки.

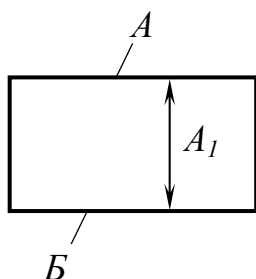
Розмірний аналіз виробу передбачає також вибір методу забезпечення точності вихідної ланки.

Для розмірного аналізу конструкцій можуть використовуватись декілька способів розв'язання прямої задачі, проте найчастіше використовується спосіб спроб (спробних розрахунків). З використанням цього способу розмірний аналіз виробу виконується у такому порядку.

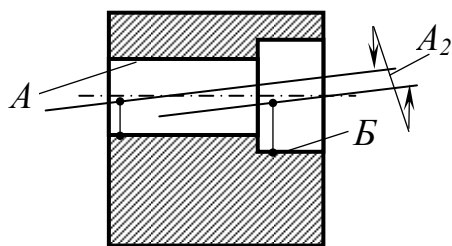
1. З урахуванням результатів аналізу службового призначення виробу призначають номінальні значення та граничні відхилення вихідних ланок всіх лінійних та кутових розмірних ланцюгів.

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 наведених нижче умовних позначень, показують на схемі вихідні і складові ланки цих розмірних ланцюгів, тобто, аналізуючи конструкцію виробу, послідовно будують всі розмірні ланцюги.

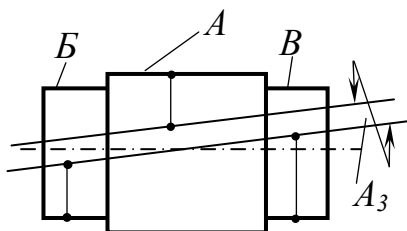
Умовні позначення ланок лінійних розмірних ланцюгів



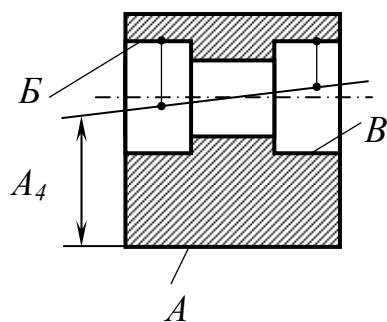
A_1 – відстань між площинами A і B



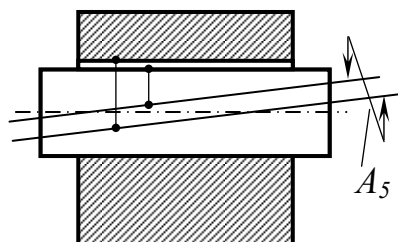
A_2 – відстань між осями отворів A і B



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

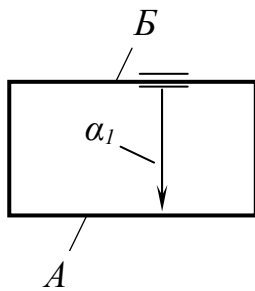


A_4 – відстань між площиною A та спільною віссю поверхонь B і B

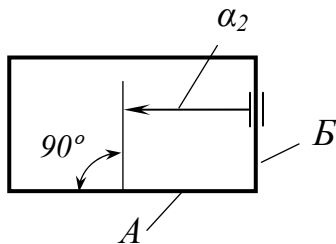


A_5 – відстань між осями вала і отвору

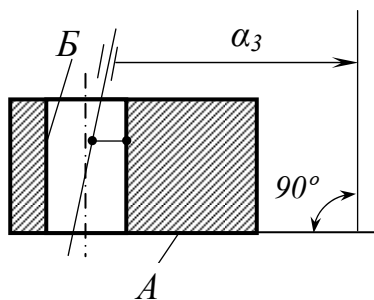
Умовні позначення ланок кутових розмірних ланцюгів



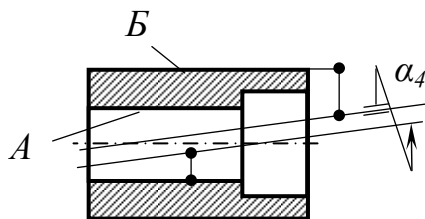
α_1 - кут повороту площини B відносно площини A (при номінальному паралельному розташуванні площин A та B)



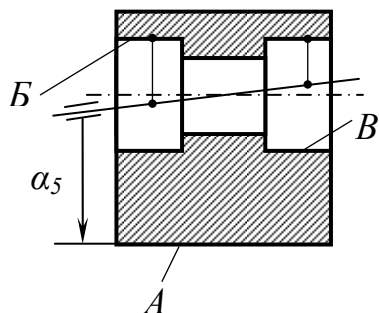
α_2 - кут повороту площини B відносно площини A (при номінальному перпендикулярному розташуванні площин A та B)



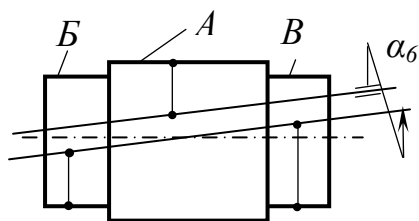
α_3 - кут повороту осі отвору B відносно площини A



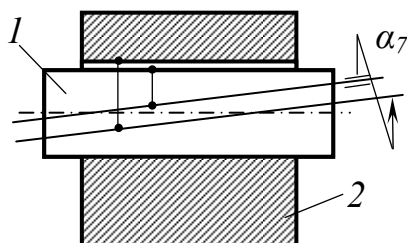
α_4 - кут повороту осі зовнішньої циліндричної поверхні B відносно осі отвору A



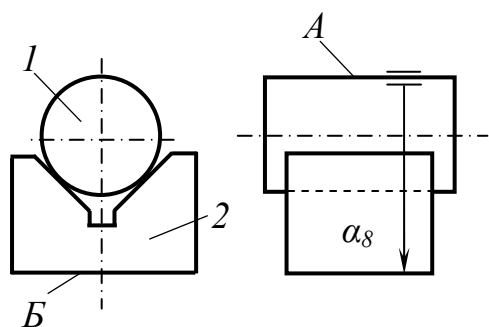
α_5 - кут повороту спільної осі отворів B і B відносно площини A



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

При цьому 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 (згідно з ГОСТ 24643-81).

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

$$T(A_i) = \Delta_{\max} . \quad (4.1)$$

Для ланки кутового розмірного ланцюга

$$T(\alpha_i) = \arctg \Delta_{\max} / L_3 . \quad (4.2)$$

У формулах (4.1) (4.2) $\Delta_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$ – 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 вихідної ланки за формулою

$$\delta(A_{\Sigma}) = \sum_1^{n-1} T_i , \quad (4.3)$$

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

$$T(\alpha_i)_k = \arctg (T(\alpha_i)_l / L_{H_i}) , \quad (4.4)$$

де $T(\alpha_i)_k$ – допуск i -ї ланки в кутовій мірі (градусах чи радіанах); $T(\alpha_i)_l$ – допуск i -ї ланки в лінійній мірі, мм; L_{H_i} – довжина поверхні, положення якої нормується допуском $T(\alpha_i)_l$, мм.

Розглянемо приклад такого перерахунку. Припустимо, що необхідно перерахувати допуск ланки α_1 (рис. 4.1) з лінійної міри в кутову.

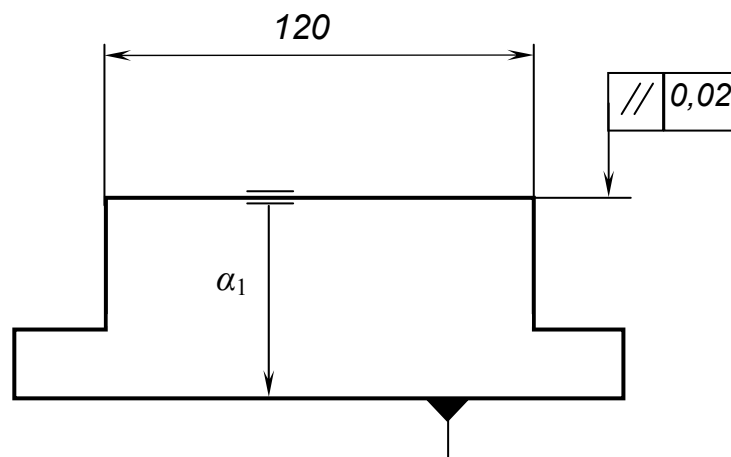


Рис. 4.1. До прикладу перерахунку допуску ланки кутового розмірного ланцюга з лінійної міри в кутову

За формулою (4.4) знаходимо

$$T(\alpha_1)_k = \arctg (T(\alpha_1)_n / L_H) = \arctg (0,02/120) = 9,55 \cdot 10^{-3} \dots^\circ.$$

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 (4.2).

Значення $\delta(A_\Sigma)$, отримане в результаті розрахунку за формулою (4.3), 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

$$\frac{\delta(A_\Sigma)}{T(A_\Sigma)} = 0,8 \dots 1. \quad (4.5)$$

Якщо вдається забезпечити співвідношення (4.5) з прийнятими допусками складових ланок, то переходять до п. 6.

Якщо ж виявиться, що для забезпечення умови (4.5) потрібні технологічно недосяжні або економічно недоцільні допуски складових ланок, то слід спробувати використати метод неповної взаємозамінності.

У цьому випадку поле розсіювання ланки замикання

$$\delta(A_\Sigma) = t \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (\lambda_i T_i)^2}, \quad (4.6)$$

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

Кількісне значення коефіцієнта t в залежності від прийнятого відсотка ризику можна визначити за таблицею 4.1.

Таблиця 4.1

Значення коефіцієнта t

$P, \%$	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 нічого невідомо про характер кривої розсіювання), то $\lambda_i = 0,58$.

Якщо крива розподілу підпорядковується закону нормального розподілу (лінійні розміри деталей, що одержуються на настроєних верстатах, розподіл зміщення поверхонь деталей через зазор у з'єднанні), то $\lambda_i = 0,33$.

Розподіл таких величин як відхилення від: співвісності, перпендикулярності, паралельності підпорядковується закону 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 (4.6) знаходять $\delta(A_\Sigma)$ і порівнюють його з $T(A_\Sigma)$.

Якщо виявиться, що й при використанні методу неповної взаємозамінності виконати умову (4.5) не вдається, то для забезпечення потрібної точності вихідної ланки 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 вихідної ланки при складанні слід за допомогою формул теорії розмірних ланцюгів [5 та ін.] потрібно визначити номінальні значення розмірів деталей та їх верхні і нижні граничні відхилення.

4.2. Порядок виконання індивідуального завдання

1. Отримати від викладача варіант завдання у вигляді складального креслення виробу.
2. Проаналізувати конструкцію виробу і виконати його розмірний аналіз у відповідності з п. 4.1.2.
3. Розробити ескіз деталі виробу, заданої викладачем, на якому, з урахуванням результатів розмірного аналізу, показати всі розміри з допусками, вимоги відносного розташування поверхонь та вимоги шорсткості.
4. Оформити звіт.

4.3. Приклад виконання індивідуального завдання

У токарному пристрої (рис. 4.2) заготовка 6 встановлюється на оправку 5 (коротку циліндричну поверхню і торець). Заготовка закріплюється за допомогою затискачів (на схемі не показані). На шпиндель 1 токарного верстата пристрій встановлюється, базуючись на короткий конічний отвір (база А) і торець фланця 2 (база В).

Припустимо, що в результаті розрахунку точності токарної операції сформульовані 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 А) – 0,04 мм;

Рис. 4.2. Схема токарного пристрою з розмірними ланцюгами

- 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 буртика $\varnothing 200p6$ (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 бурта $\varnothing 200p6$ фланця 4 (основна конструкторська база) та отвору $\varnothing 60H7$ (допоміжна конструкторська база);

A_4 – відстань між осями отвору $\varnothing 60H7$ фланця 4 та бурта $\varnothing 60n6$ пальця 5;

A_6 – відстань між осями бурта $\varnothing 60n6$ (основна конструкторська база) та бурта $\varnothing 60d7$ (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.

Припускаємо, 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 (4.1) як максимальний зазор у з'єднанні $\varnothing 60H7/n6$. У даному 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 (4.3) визначаємо поле розсіювання вихідної ланки 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 (4.5) потрібно значне зменшення допусків деталей патрона, що економічно недоцільно.

Розглянемо можливість використання методу неповної взаємозамінності.

Вважатимемо, що $P = 0,27\%$ і, відповідно, $t = 3$ (згідно з таблицею 4.1).

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 (4.6) визначаємо поле розсіювання вихідної ланки

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

Оскільки $\delta(A_\Sigma)$ ненабагато перевищує $T(A_\Sigma)$, то для забезпечення вимоги (4.3) 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 (4.4) одержимо $\delta(A_\Sigma) = 0,039$ мм.

Таким чином, вимога (4.3) 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), що унормовуються цими ланками, одержимо:

$$\begin{aligned} T_{\text{л}}(\alpha_1) &= 0,016/240 \text{ мм} ; & T_{\text{л}}(\alpha_2) &= 0,016/240 \text{ мм} ; \\ T_{\text{л}}(\alpha_3) &= 0,016/240 \text{ мм} ; & T_{\text{л}}(\alpha_4) &= 0,01/160 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Визначимо допуски складових ланок в кутовій мірі

$$\begin{aligned} T_{\text{к}}(\alpha_1) &= T_{\text{к}}(\alpha_2) = T_{\text{к}}(\alpha_3) = \arctg(0,016/240) = 3,82 \cdot 10^{-3} \dots^\circ ; \\ T_{\text{к}}(\alpha_4) &= \arctg(0,01/160) = 3,58 \cdot 10^{-3} \dots^\circ . \end{aligned}$$

Допуск вихідної ланки 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 (4.3) 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. Прийmemo, 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

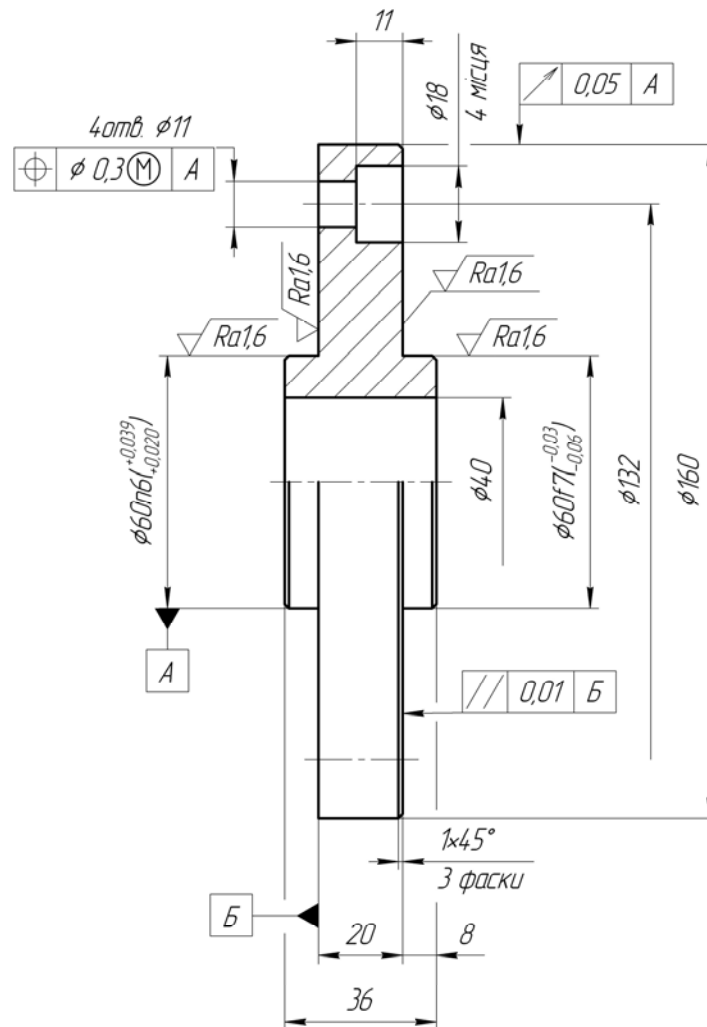
$$\begin{aligned} \delta_{\text{к}}(\alpha_{\Sigma}) &= \sqrt{\left(0,38 \cdot 3,82 \cdot 10^{-3}\right)^2 + \left(0,38 \cdot 3,82 \cdot 10^{-3}\right)^2 + \left(0,38 \cdot 3,82 \cdot 10^{-3}\right)^2 +} \\ &+ \left(0,38 \cdot 3,82 \cdot 10^{-3}\right)^2} = 8,5 \cdot 10^{-3} \dots^\circ . \end{aligned}$$

Вимога (4.5) виконується, тому що

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

Оскільки відхилення від співвісності і паралельності є додатними величинами, то в даному випадку верхні граничні відхилення всіх лінійних та кутових ланок дорівнюють допускам, а нижні граничні значення і номінальні розміри цих ланок дорівнюють нулю.

На рис. 4.3 показаний ескіз деталі токарного пристрою (оправки), виконаний урахуванням вимог точності, отриманих в результаті розмірного аналізу.



Матеріал деталі – Сталь 20Х.
Хіміко-термічна обробка – цементація з подальшим гартуванням і низьким відпуском

1. HRC 52...56.
2. $h14; H14; \pm \frac{1}{2}IT14$

4.4. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Конструктивна схему пристрою з показаним на ній розмірним ланцюгом.
3. Розв'язання прямої задачі розрахунку розмірного ланцюга з визначенням способу забезпечення точності вихідної ланки і всіх показників точності складових ланок.
4. Ескіз однієї з деталей виробу, виконаний урахуванням вимог точності, отриманих в результаті розмірного аналізу.

4.5. Питання для самоконтролю

1. Що таке розмірний ланцюг?
2. Які параметри можуть бути ланками розмірного ланцюга?
3. Мета і послідовність виконання розмірного аналізу конструкції.
4. Які види розмірних ланцюгів Ви знаєте?
5. Що таке вихідна ланка розмірного ланцюга?
6. Що таке замикальна ланка розмірного ланцюга?
7. Що таке складова ланка розмірного ланцюга?
8. Поясніть, яка різниця між допуском і полем розсіювання вихідної ланки розмірного ланцюга.
9. Чи можуть бути ланками розмірного ланцюга розміри, які з'єднують між собою вільні поверхні?
10. Чи можуть бути ланками розмірного ланцюга розміри, які з'єднують вільні поверхні з конструкторськими базами
11. Чи можуть складові ланки розмірного ланцюга з'єднувати поверхні різних деталей?
12. Яку інформацію отримує інженер в результаті виконання розмірного аналізу?

4.6. Варіанти задач для індивідуальних завдань

Як варіанти завдань можуть бути використані конструктивні схеми верстатних пристроїв, показані на С. 11-12 цього практикуму, або інші схеми чи складальні креслення, запропоновані викладачем.

Практичне заняття № 5

ВИБІР СХЕМИ БАЗУВАННЯ НА ОПЕРАЦІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Мета заняття – набуття практичних навиків вибору схем базування на операціях механічної обробки.

5.1. Основні положення і рекомендації до виконання роботи

У цьому практичному занятті розглядається задача вибору схеми базування на певній операції.

На запропонованому до розгляду операційному ескізі показані вимоги точності до оброблюваних поверхонь.

Виконуючи завдання, студент має вибрати із шести показаних можливих схем базування найраціональнішу з точки зору відсутності або мінімальності похибки базування за умови, що вся механічна обробка на операції, що розглядається, здійснюється з *одного установа*.

Під час виконання завдання, слід враховувати, що за будь-якої схеми базування похибка базування не впливає на показники точності форми поверхонь (вимоги площинності, циліндричності, круглості тощо), показники шорсткості поверхні, діаметральні розміри, а також на розміри (лінійні і кутові) між поверхнями, за умови, що ці поверхні отримані обробкою з одного установа.

Вибираючи схему базування, слід намагатися забезпечувати принцип суміщення баз з урахуванням таких рекомендацій:

- якщо вимірювальною базою є площа, довжина і ширина якої порівнянні із габаритними розмірами базованої деталі, то ця площа може використовуватись як технологічна *установна база*;

- якщо за вимірювальну базу вибрана довга і вузька площа, то ця площа може використовуватись як технологічна *напрямна база*;

- якщо за вимірювальну базу вибрана вісь довгої циліндричної поверхні ($l \geq d$), то ця поверхня або її вісь можуть використовуватись як технологічна *подвійна напрямна база*;

- якщо за вимірювальну базу вибрана вісь короткої циліндричної поверхні ($l < d$), то ця поверхня або її вісь можуть використовуватись як технологічна *подвійна опорна база*.

У будь-якому випадку, за технологічні бази з найбільшою можливою кількістю опорних точок повинні бути вибрані ті вимірювальні бази, відносно яких задані найжорсткіші для даної операції вимоги точності.

5.2. Порядок виконання завдання

1. Уважно проаналізувати заданий ескіз механічної обробки і вимоги точності до оброблюваних поверхонь.
2. Із шести показаних схем базування вибрати найдоцільнішу з точки зору забезпечення мінімальності або відсутності похибки базування.
3. Обґрунтувати прийняте рішення, пояснивши чому саме для вибраної схеми базування буде відсутня або буде мінімальною похибка базування на той чи інший розмір або іншу вимогу точності.

5.3. Приклад виконання завдання

Розглянемо розв'язання задачі вибору технологічних баз на прикладі задачі 5.1.

На операції, що розглядається, обробляються дві поверхні – правий торець і отвір. Очевидно, що похибка базування може виникати на розміри, які визначають розташування цих поверхонь відносно вимірювальних баз, а саме, відносно осі зовнішньої циліндричної поверхні (база А) і лівого торця.

Таким чином, в даному випадку похибка базування може вплинути на точність розміру $80_{-0,5}$, перпендикулярність правого торця відносно бази А і співвісність отвору відносно бази А. Для запобігання появи похибки базування сумістимо технологічні бази з вимірювальними, тобто використаємо за технологічні бази вісь зовнішньої циліндричної поверхні (база А) і лівий торець заготовки, який є вимірювальною базою для розміру $80_{-0,5}$.

Оскільки зовнішня циліндрична поверхня достатньо довга, а допуски перпендикулярності і співвісності суттєво менші, ніж допуск розміру $80_{-0,5}$, то вісь згаданої поверхні використаємо як подвійну напрямну базу, а лівий торець – як опорну базу. Шостий ступінь вільності у заготовки може бути відібраний за рахунок сил тертя, які виникають під час її установлення у верстатний пристрій. Такому розташуванню технологічних баз відповідає схема базування № 4. Саме її і вибираємо як правильну відповідь. За такої схеми базування похибка базування відсутня на розмір $80_{-0,5}$, а також на вимоги перпендикулярності і співвісності, оскільки на всі ці три вимоги точності відносного розташування поширюється принцип суміщення баз. На решту показників точності (діаметральний розмір, вимоги відхилення від площинності й циліндричності) похибка базування не впливає.

Операційний ескіз з вибраною схемою базування показаний на рис. 5.1.

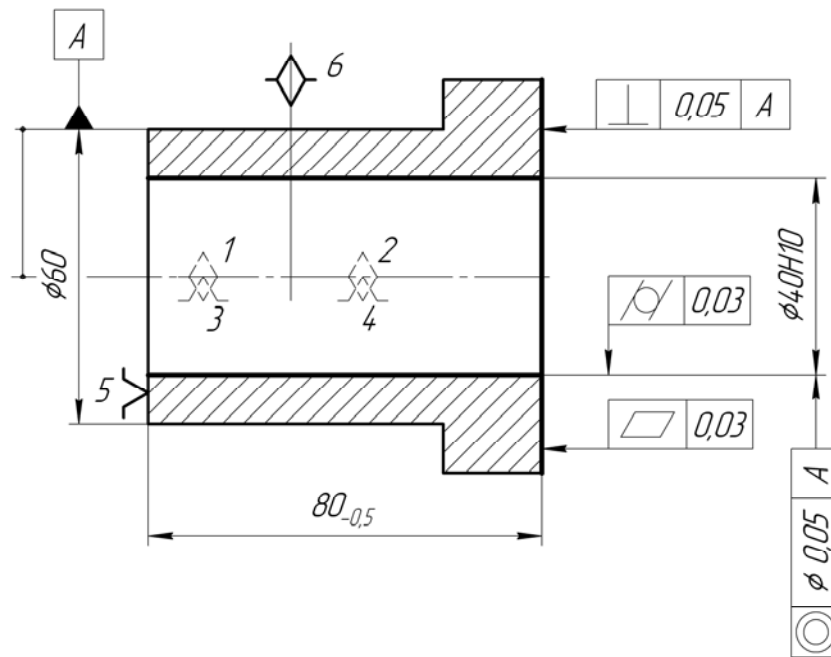


Рис. 5.1. Операційний ескіз з вибраною схемою базування

5.4. Зміст звіту

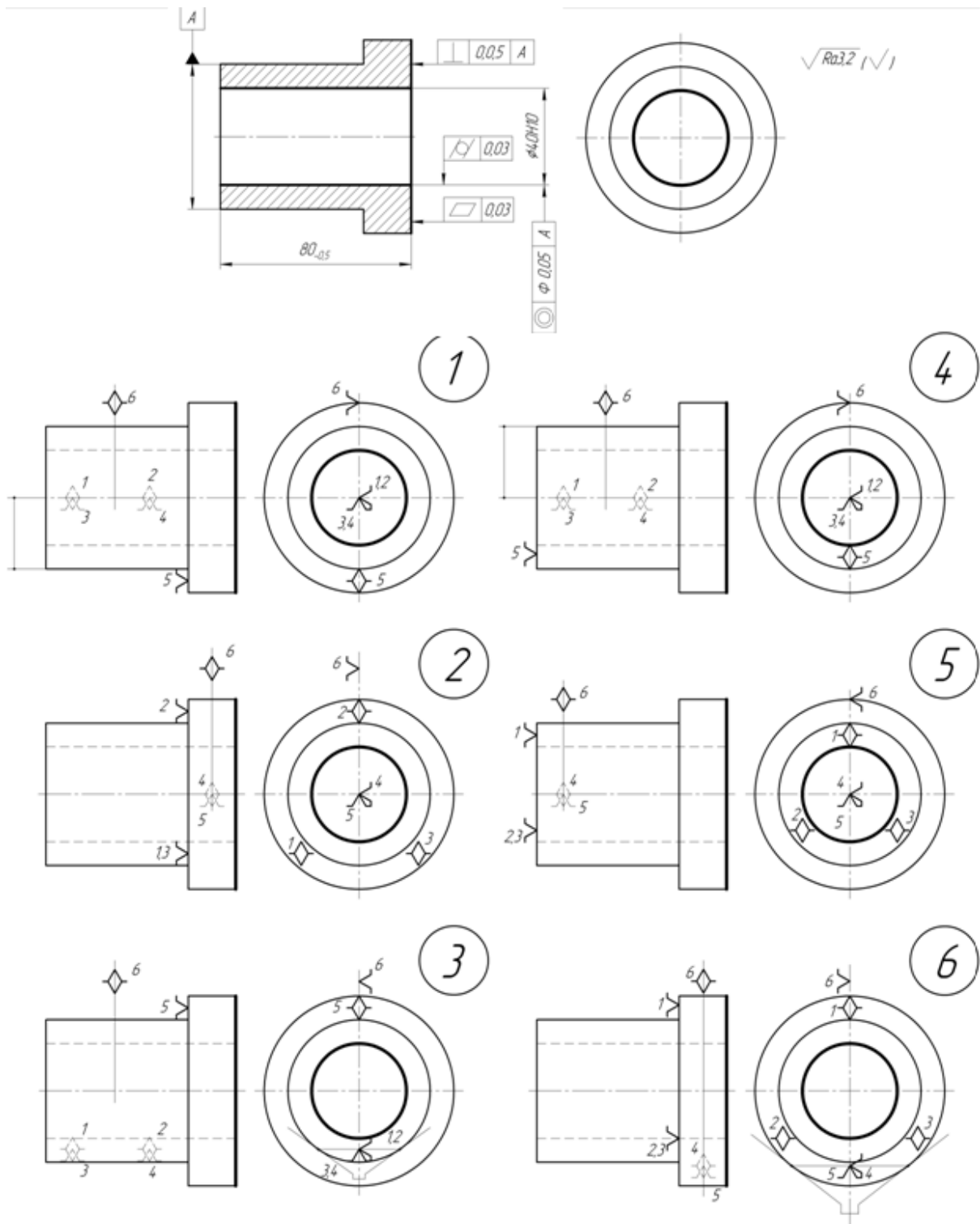
1. Найменування і мета роботи.
2. Ескіз заготовки з вибраною схемою базування.
3. Стисле пояснення щодо відсутності або мінімальності похибки базування на вимоги точності, що забезпечуються на операції, яка розглядається.

5.5. Питання для самоконтролю

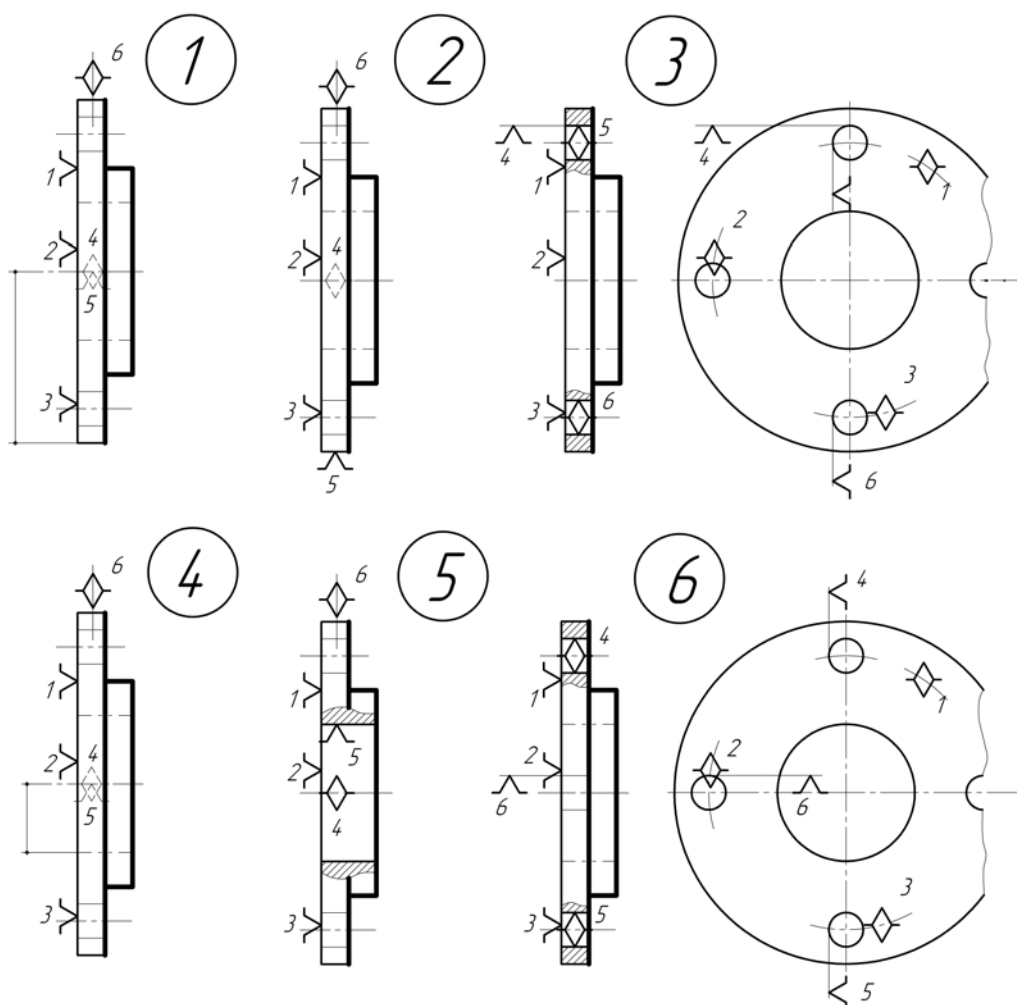
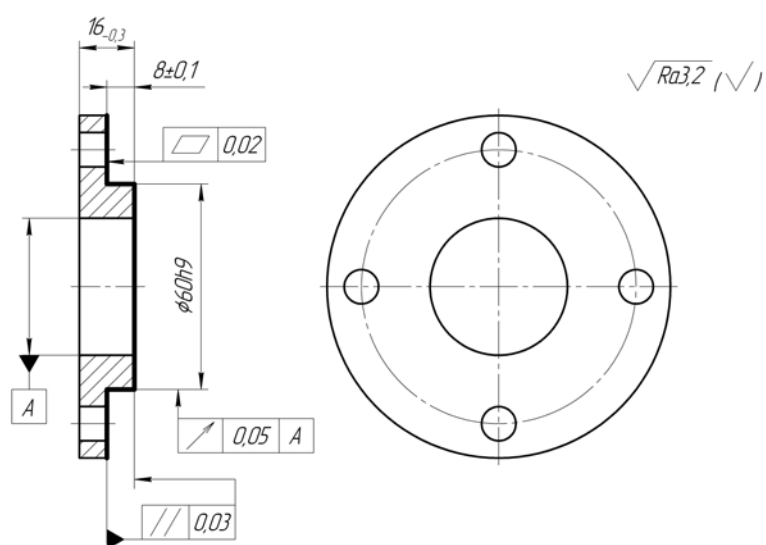
1. Які показники точності механічної обробки не залежать від схеми базування?
2. У чому полягає сутність принципу суміщення баз?
3. Яку поверхню заготовки можна вибрати за технологічну установну базу?
4. Яку поверхню заготовки можна вибрати за технологічну напрямну базу?
5. Яку поверхню заготовки можна вибрати за технологічну подвійну напрямну базу?
6. Яку поверхню заготовки можна вибрати за технологічну подвійну опорну базу?
7. Яку поверхню заготовки можна вибрати за технологічну опорну базу?

5.6. Варіанти задач для індивідуальних завдань

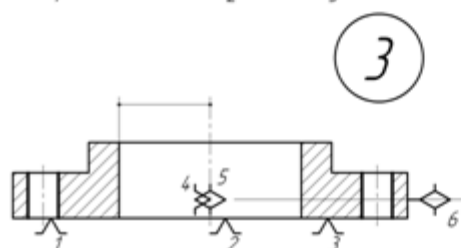
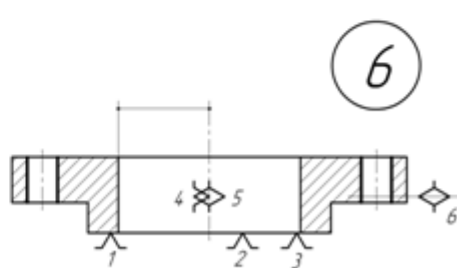
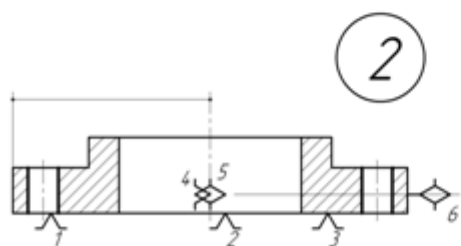
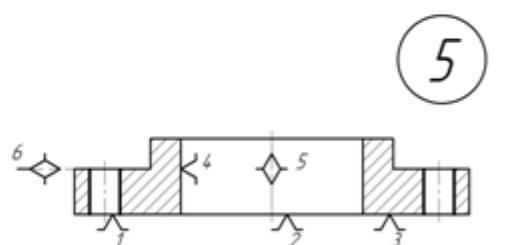
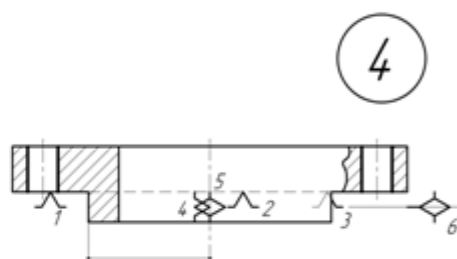
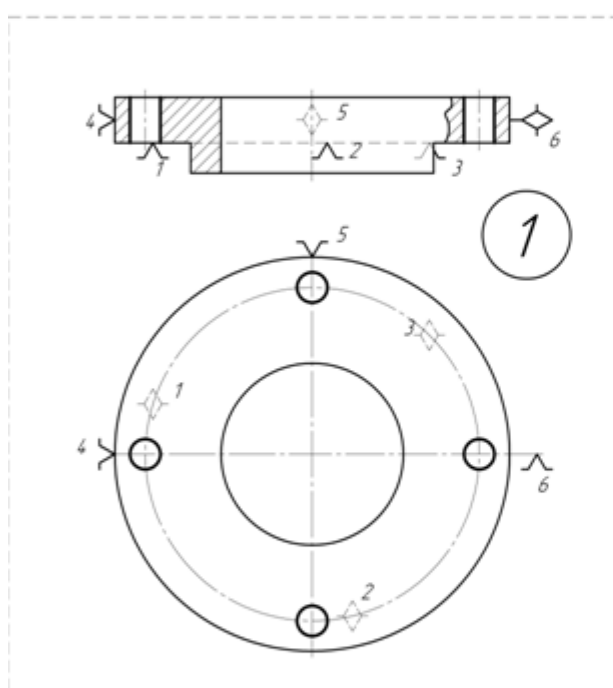
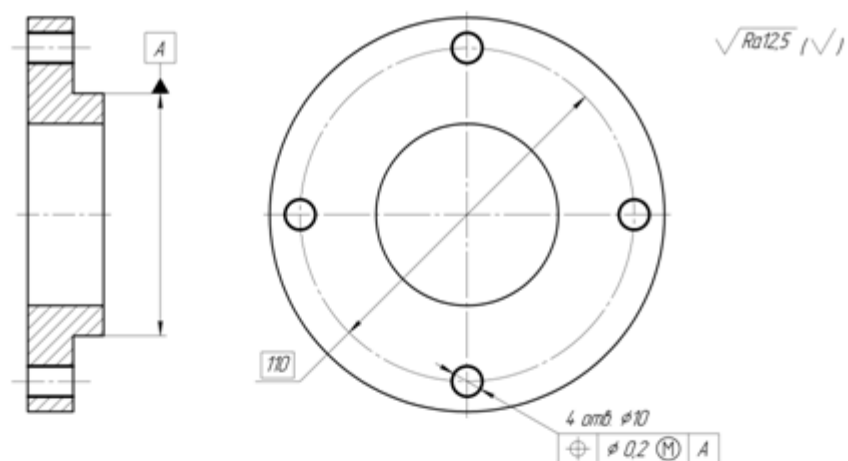
Задача 5.1



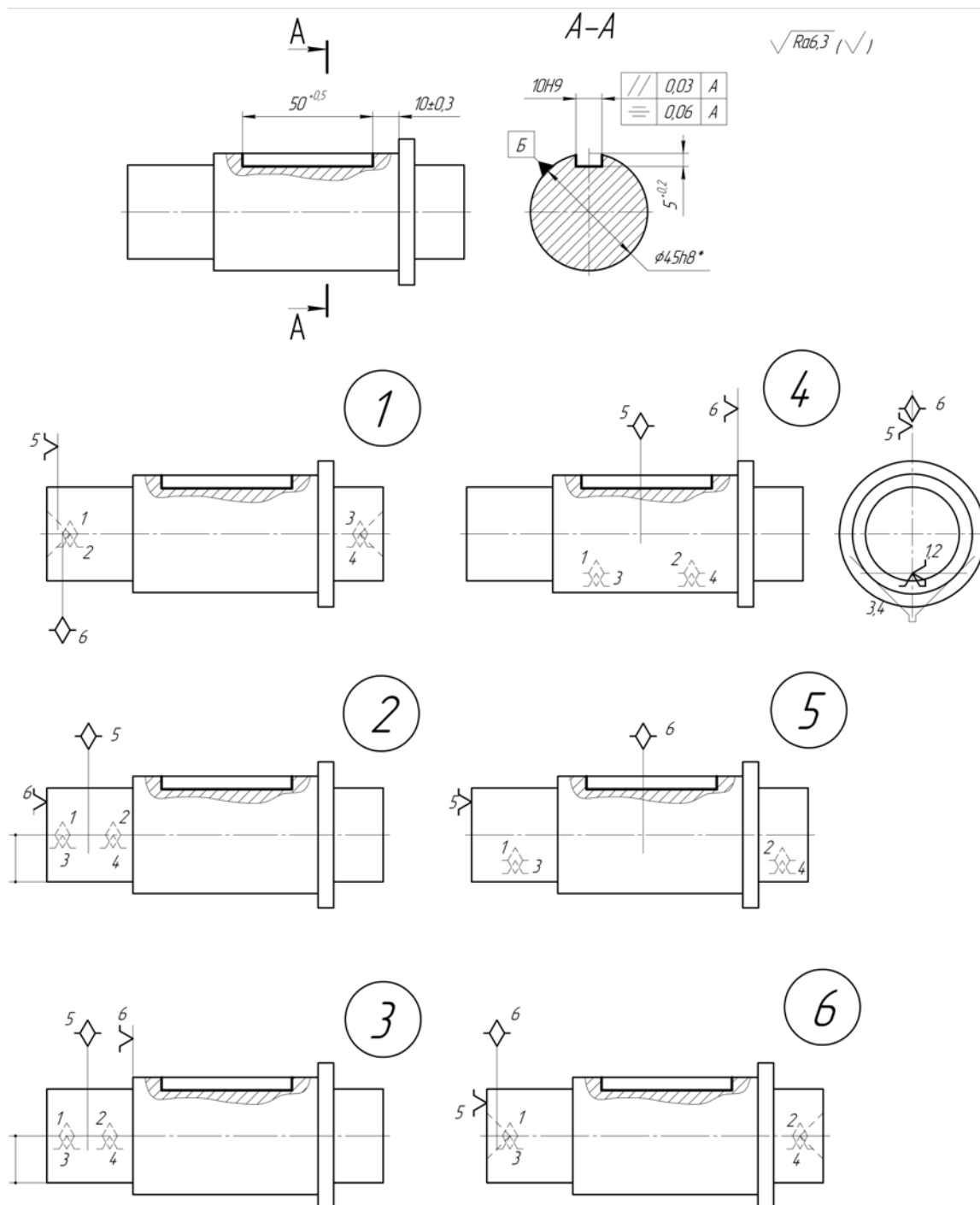
Задача 5.2



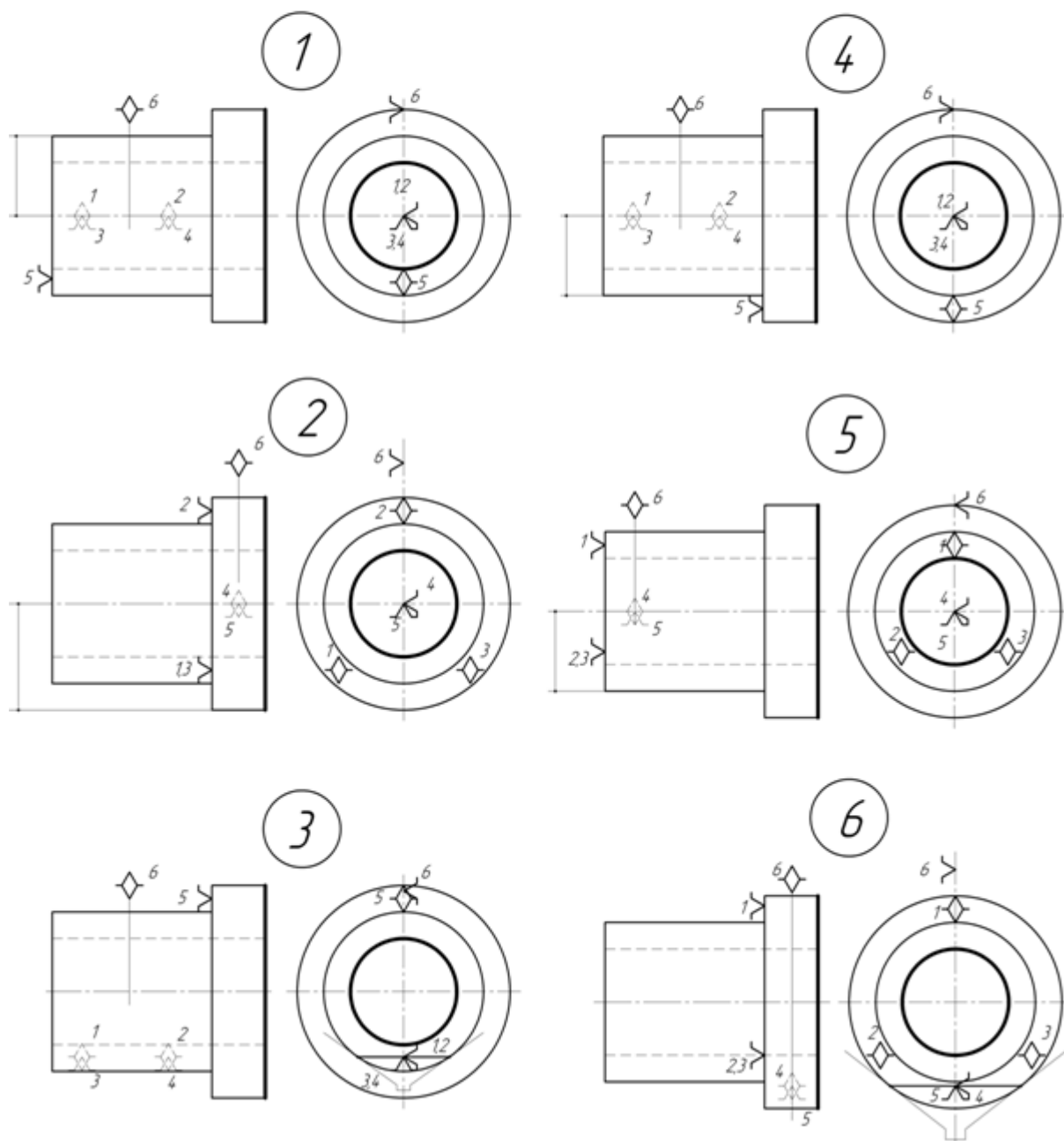
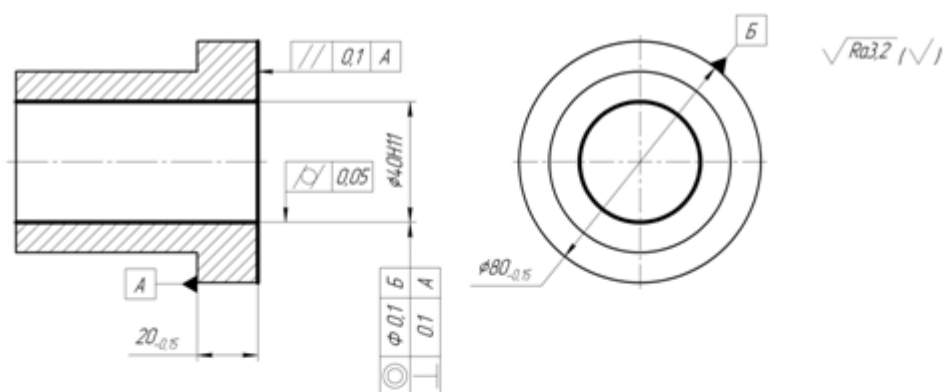
Задача 5.3



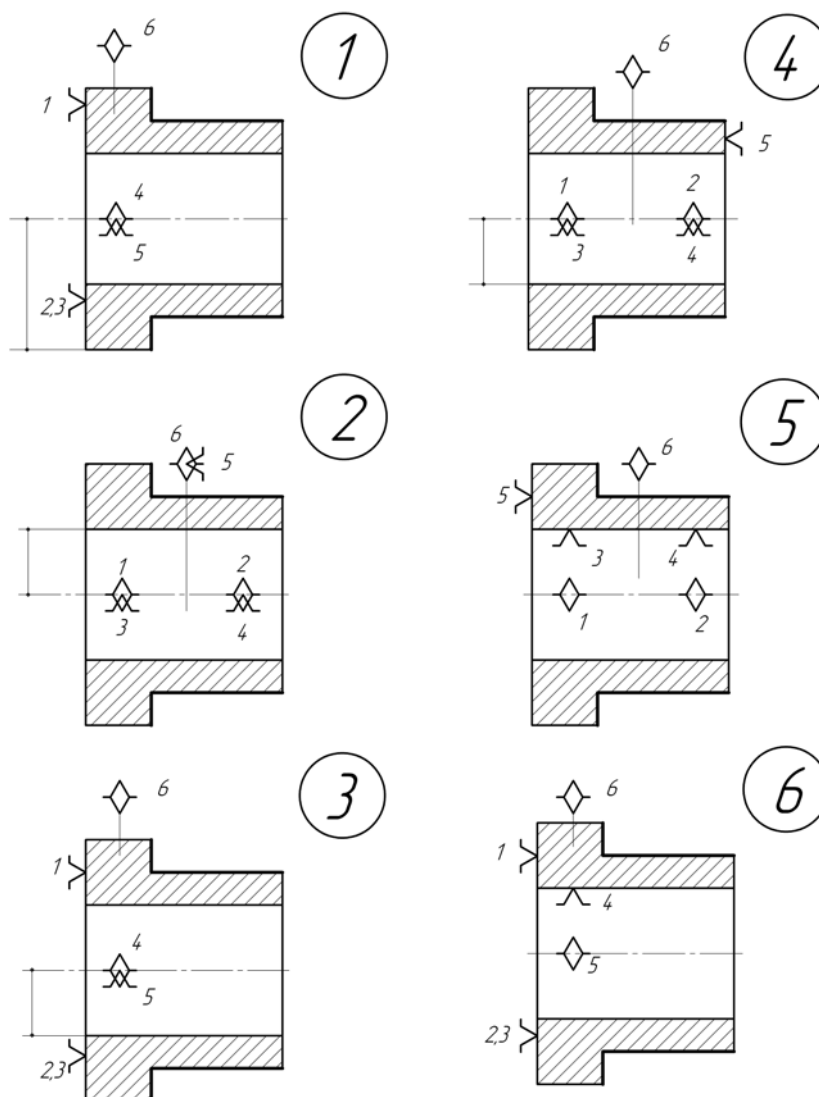
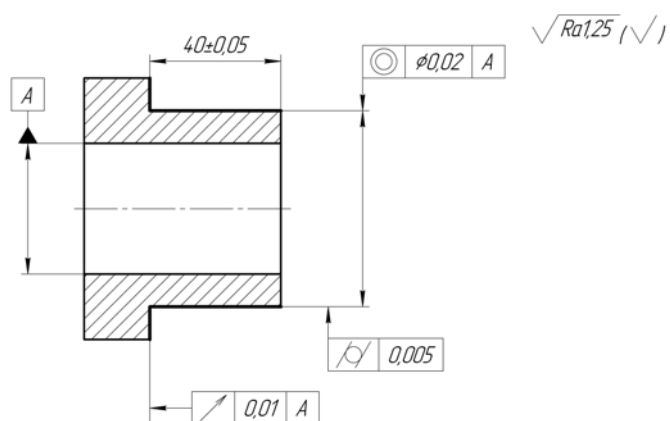
Задача 5.4



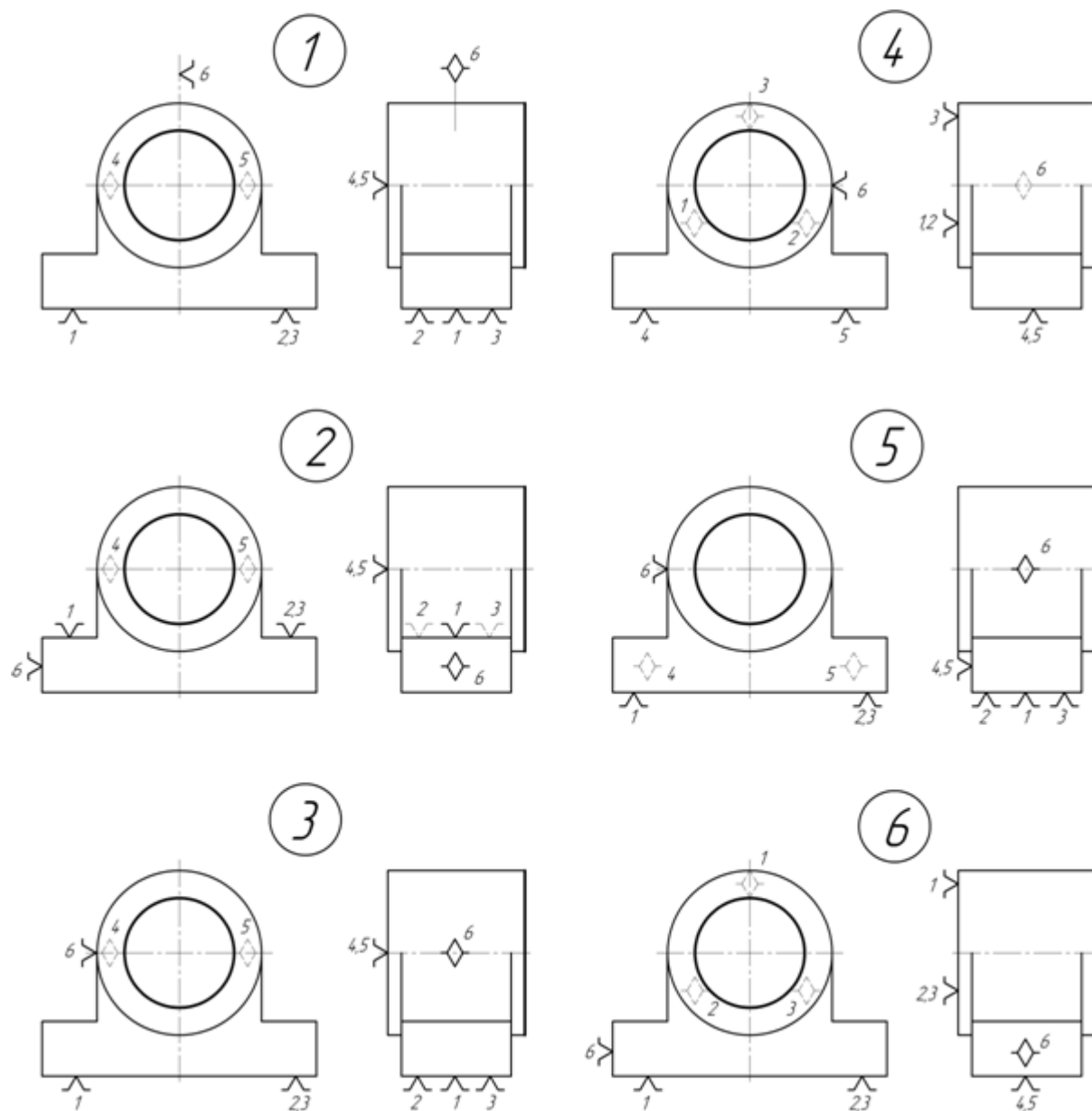
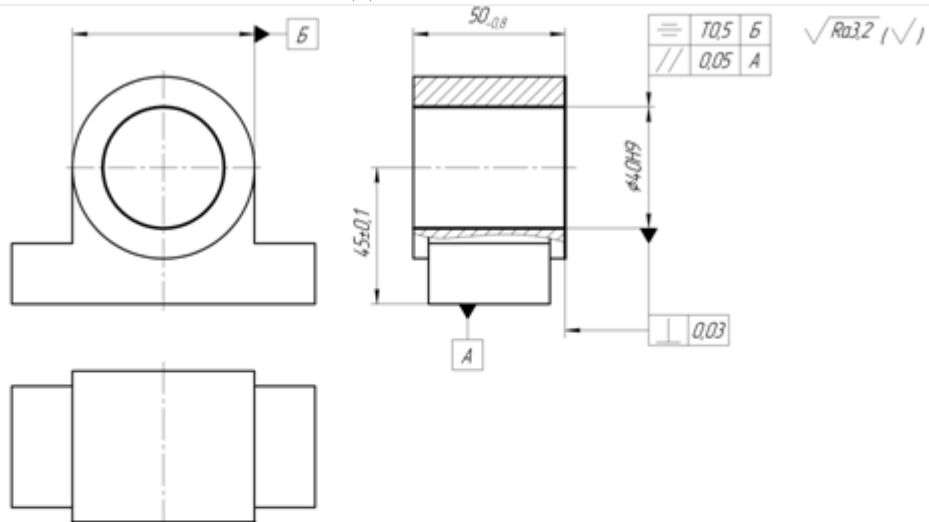
Задача 5.5



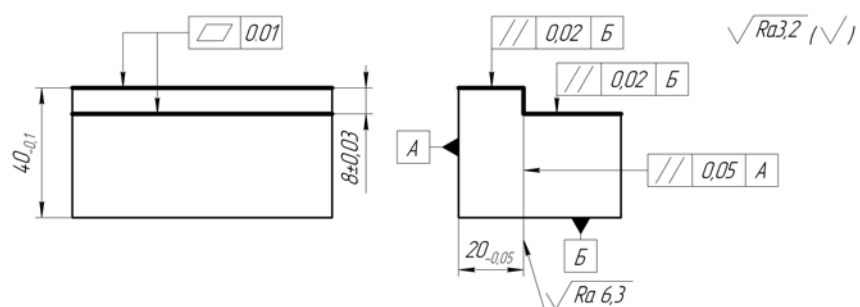
Задача 5.6



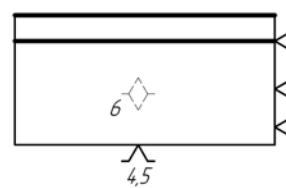
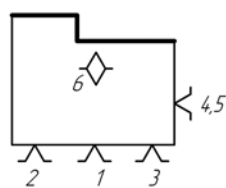
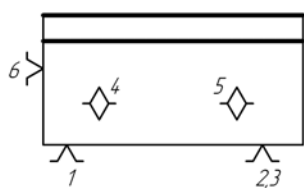
Задача 5.7



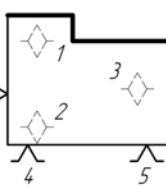
Задача 5.8



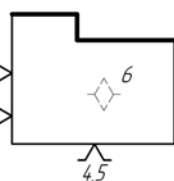
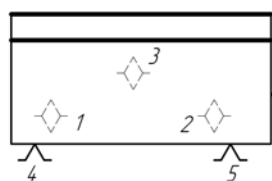
1



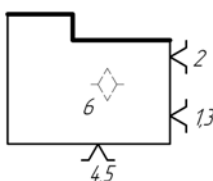
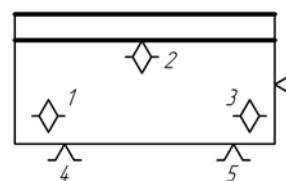
4



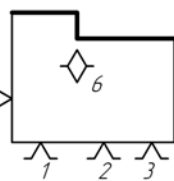
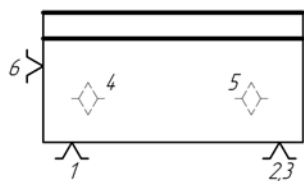
2



5

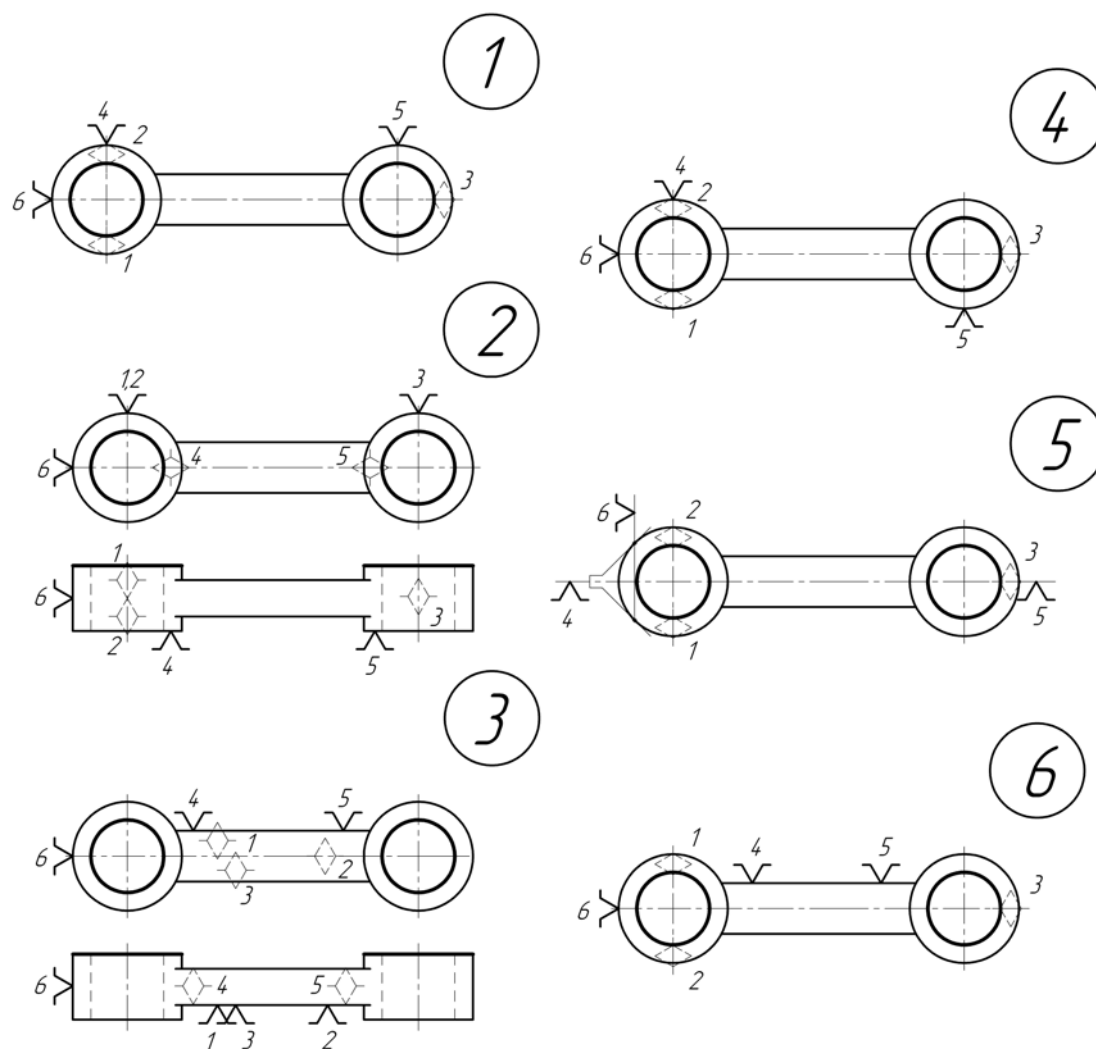
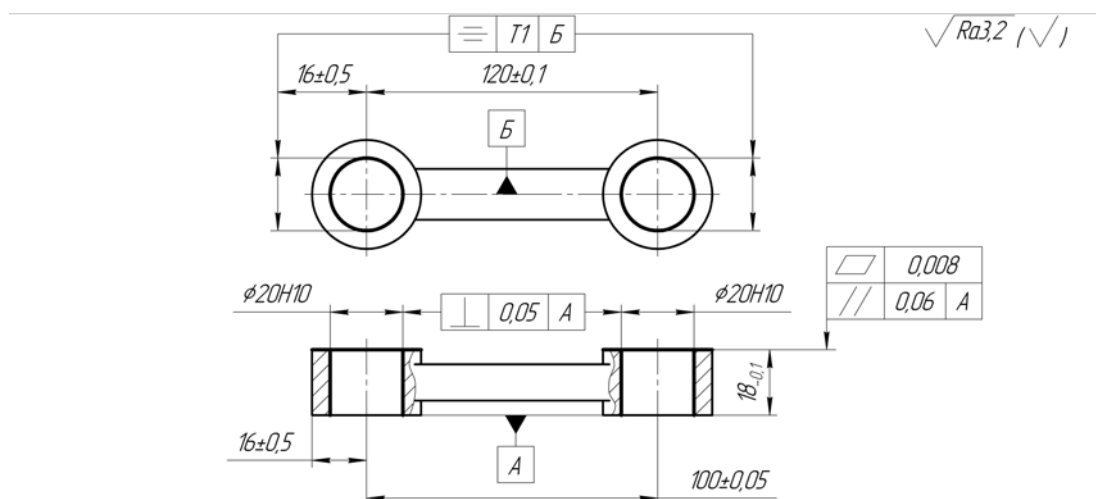


3



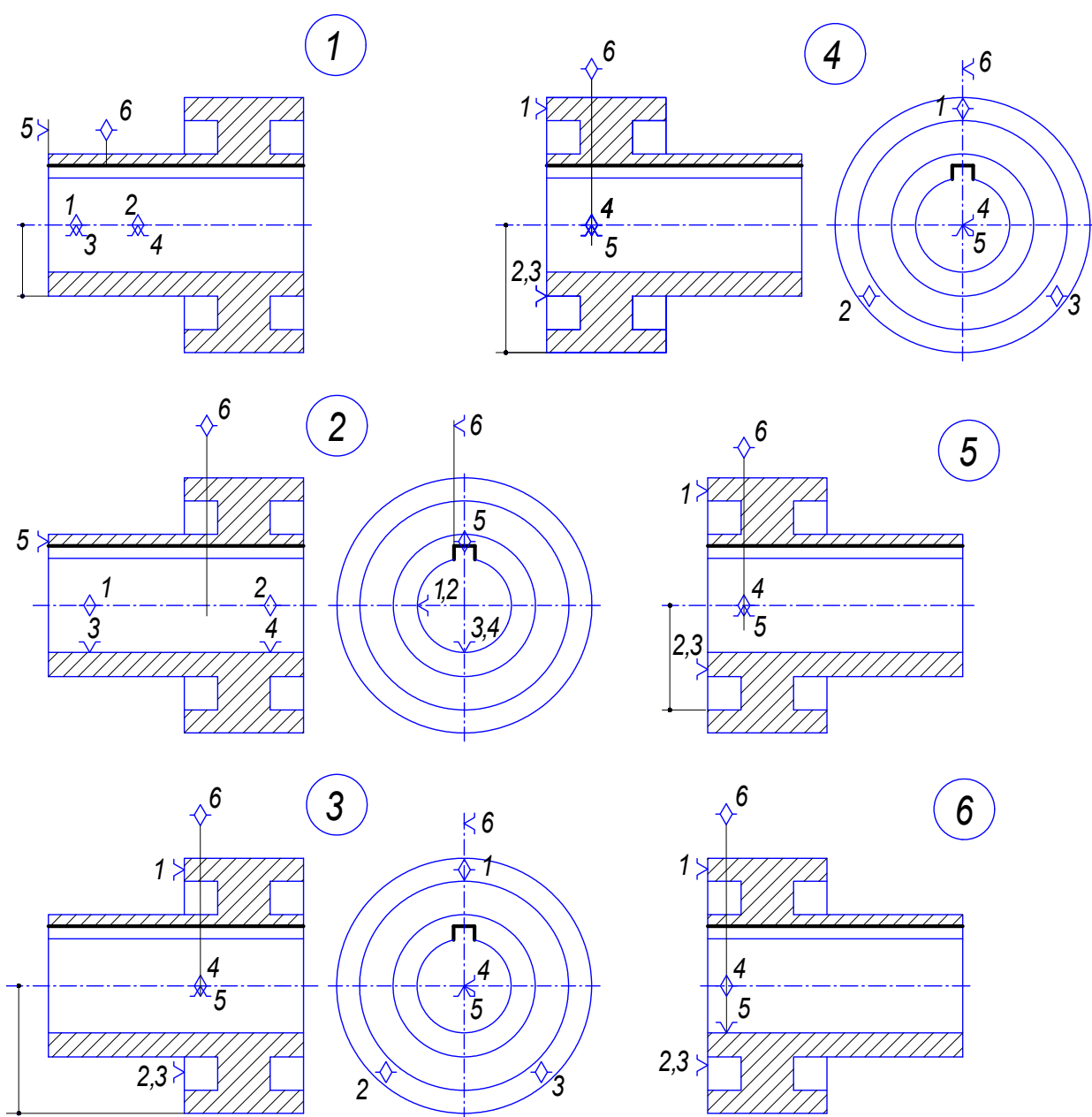
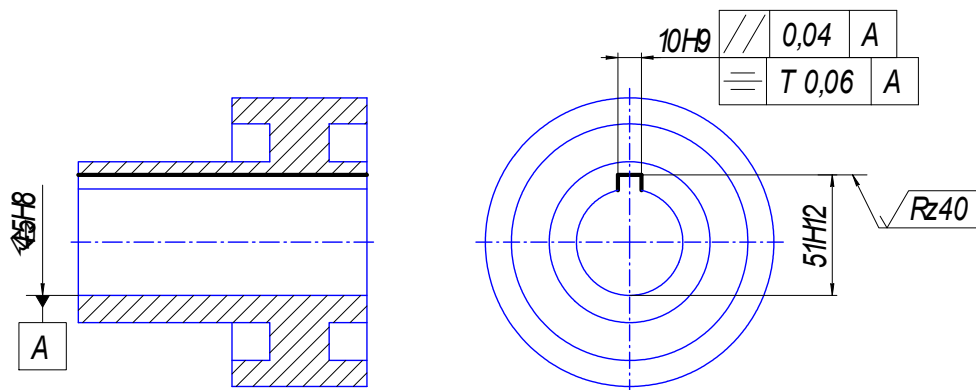
6

Задача 5.9



Задача 5.10

$\sqrt{Ra_{3,2}} (\checkmark)$



АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВПЛИВУ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ПОХИБОК НА ТОЧНІСТЬ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Мета заняття – набуття практичних навиків аналізу можливості впливу елементарних похибок на точність механічної обробки партії заготовок на настроєному верстаті.

6.1. Основні положення

Похибки, які впливають на точність механічної обробки заготовок деталей машин на настроєних на розмір обробки металорізальних верстатах, поділяють на три групи:

- похибки встановлення заготовок у верстатний пристрій ε_y (далі – похибка встановлення (**setting error**));

- похибки настроєння верстата (далі – похибка настроєння) (**error of tuning**) ε_n ;

- похибки, що зумовлені самим процесом обробки; до них відносяться:

- а) похибки, що спричиняються пружними деформаціями технологічної системи під дією сил різання (**error caused by elastic deformation of technological system under the influence of cutting forces**) $\varepsilon_{пд}$;

- б) похибки, що спричиняються розмірним зносом різального інструмента (**error caused by dimensional drift of a cutting tool**) ε_i ;

- в) похибки, що спричиняються геометричною неточністю верстата (**error caused by geometric inaccuracy of a machine-tool**) ε_b ;

- г) похибки, що спричиняються тепловими деформаціями технологічної системи (**error caused by thermal deformation of a technological system**) ε_t .

Згідно з [14, с. 23] сумарна похибка механічної обробки на всі розміри, окрім діаметральних, визначається за формулою

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{\varepsilon_y^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_{пд}^2 + (1,73\varepsilon_i)^2 + (1,73\varepsilon_b)^2 + (1,73\varepsilon_t)^2} . \quad (6.1)$$

Оскільки на точність діаметральних розмірів похибка встановлення не впливає, то сумарна похибка на такі розміри складатиме

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{\varepsilon_n^2 + \varepsilon_{пд}^2 + (1,73\varepsilon_i)^2 + (1,73\varepsilon_b)^2 + (1,73\varepsilon_t)^2} . \quad (6.2)$$

У формулах (6.1) і (6.2) $\frac{1}{K}$ – коефіцієнт, який залежить від бажаної імовірності роботи без браку.

Важливим є те, що під час аналізу точності механічної обробки сумарна похибка завжди має визначатися на конкретний розмір (між поверхнями чи діаметральний) або на іншу вимогу точності (відхилення від співвісності, перпендикулярності, паралельності, циліндричності, площинності, прямолінійності тощо).

Перед тим як розраховувати кількісне значення певної елементарної похибки, потрібно спочатку переконатись, що ця похибка за даних технологічних умов впливатиме на точність обробки і, відповідно, на величину сумарної похибки.

Таким чином, зміст цього практичного заняття полягає у проведенні якісного аналізу наявності чи відсутності впливу заданих у вихідних умовах задачі елементарних похибок на точність певного розміру або на іншу вимогу точності.

Розв'язуючи задачу слід враховувати таке.

1. Похибка встановлення і, відповідно, всі її складові – похибка базування, похибка закріплення, похибка пристрою (і, відповідно, складові похибки пристрою – похибка виготовлення та складання установних елементів пристрою; похибка, що спричиняється неточністю встановлення пристрою на верстат; похибка, що спричиняється зносом установних елементів пристрою) – за будь-яких технологічних умов не впливають на точність діаметральних розмірів і розмірів (як лінійних, так і кутових), що визначають відносне розташування поверхонь, отримуваних обробкою з одного установу.

2. Виконання принципу суміщення баз (технологічної з вимірювальною) запобігає появі лише похибки базування. На інші складові похибки встановлення дотримання цього принципу ніяк не впливає.

3. Вид схеми базування і, відповідно, сама похибка базування не впливає на показники точності форми поверхонь (площинності, прямолінійності, циліндричності, круглості тощо).

4. Похибка закріплення не впливає на точність розмірів, які направлені перпендикулярно до напрямку сили закріплення.

5. Похибка настроєння 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 обробляється – якщо нерегульованим (свердлом, зенкером, розверткою тощо), то похибка настроєння не виникатиме, бо відсутній сам процес настроювання; якщо ж регульованим (настроюваним), наприклад, розточувальною головкою або оправкою, то похибка настроєння впливатиме на точність діаметрального розміру. Похибка настроєння, таким чином, не впливає на забезпечення вимог відносного розташування (співвісності, биття, паралельності, перпе-

ндикуюлярності тощо) і на показники точності форми поверхонь (площинності, прямолінійності, циліндричності, круглості тощо).

6. Похибка, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи під дією сил різання 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).

7. Похибка, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента, не впливає на міжосьові розміри і, відповідно, на співвісність циліндричних поверхонь.

8. Оскільки механічна обробка супроводжується змінними в часі і просторі температурними полями в усіх елементах технологічної системи, то похибки, що спричиняються температурними деформаціями цієї системи, практично завжди впливають на точність лінійних і кутових розмірів, показники точності геометричної форми поверхонь та інші вимоги точності. На переходах попередньої обробки цим впливом зазвичай нехтують. Якщо ж механічна обробка має забезпечувати жорсткі допуски, то у відповідності з [14, с. 76] величину ε_T можна наближено знайти за формулами:

$$\varepsilon_T = (0,1 \div 0,15)\Delta_\Sigma \quad (6.3)$$

для обробки лезовим інструментом,

$$\varepsilon_T = (0,3 \div 0,4)\Delta_\Sigma \quad (6.4)$$

для шліфування.

У формулах (6.3 – 6.4) Δ_Σ – сумарна похибка механічної обробки без урахування похибки базування і самої похибки, що спричиняється температурними деформаціями.

6.3. Порядок виконання завдання

1. Накреслити операційний ескіз згідно з індивідуальним завданням.

2. Послідовно проаналізувати якісно (без розрахунків) можливість впливу (впливатиме чи не впливатиме) кожної із заданих в умові задачі елементарних похибок на заданий розмір або іншу вимогу точності.

3. Якщо елементарна похибка впливатиме на сумарну похибку за даних технологічних умов, то слід записати формулу або скласти розмірний ланцюг (якщо це похибка базування) з використанням яких цю похибку можна знайти.

4. Пояснити, який характер виявлення (систематичний постійний, систематичний закономірно змінний чи випадковий) матимуть ті похибки, що впливають на величину сумарної похибки за даних технологічних умов.

6.4. Приклади виконання індивідуального завдання

Приклад № 1

Умова задачі

Для операції фрезерування (рис. 6.1) партії заготовок проаналізувати можливість впливу на точність розміру $65_{-0,2}$ мм таких елементарних похибок:

- похибки базування;
- похибки настроєння;
- похибки закріплення.

Умови обробки:

- обладнання – вертикально-фрезерний верстат з ЧПК;
- різальний інструмент – торцева фреза.

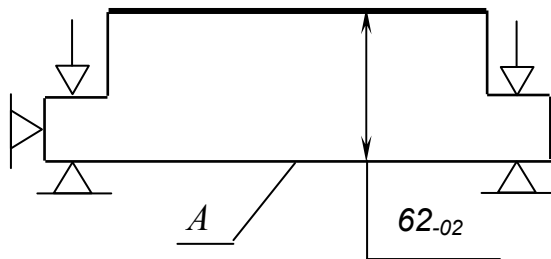


Рис. 6.1. Операційний ескіз до прикладу №1

Розв'язання задачі

1. Похибка базування на точність розміру $62_{-0,2}$ не впливатиме, оскільки виконується принцип суміщення баз – технологічна база збігається з вимірювальною (площиною A).

2. Похибка настроєння впливатиме на точність розміру $62_{-0,2}$, оскільки перед обробкою партії заготовок на даній операції робітник має настроїти фрезу на розмір обробки. Похибка настроєння визначається за формулою

$$\varepsilon_H = \sqrt{(K_p \varepsilon_p)^2 + (K_B \varepsilon_B)^2},$$

де ε_p – похибка регулювання; ε_B – похибка вимірювання; $K_p = 1,73$ і $K_B = 1,0$ – коефіцієнти, що враховують відхилення законів розподілу похибок ε_p і ε_B від закону нормального розподілу.

Похибка настроєння є випадковою похибкою.

3. Оскільки сили закріплення направлені паралельно розміру $62_{-0,2}$, то похибка закріплення впливатиме на його точність. Величину похибки закріплення можна знайти з використанням співвідношення

$$\varepsilon_3 = y_{\max} - y_{\min},$$

де $y_{\max}$ і $y_{\min}$ – відповідно, максимальне і мінімальне зміщення вимірювальної бази під дією сил закріплення.

Похибка закріплення є випадковою похибкою.

Приклад № 2

Умова задачі

Для операції токарної обробки (рис. 6.2) партії заготовок проаналізувати можливість впливу на точність обробки циліндричної поверхні стосовно вимоги співвісності таких елементарних похибок:

- похибки базування;
- похибки настроєння;
- похибки, що спричиняється неточністю виготовлення і складання установних елементів пристрою.

Умови обробки:

- обладнання – токарно-револьверний верстат з ЧПК;
- різальний інструмент – прохідний різець.

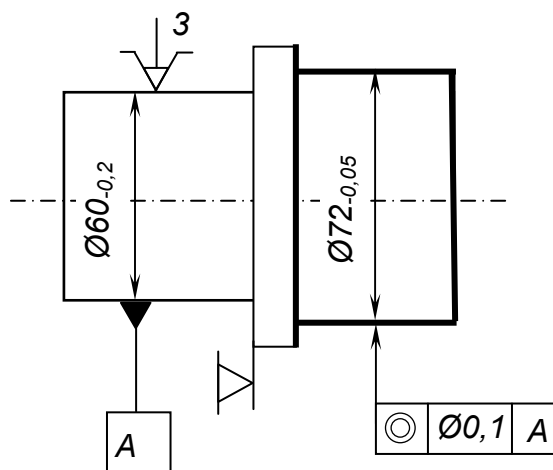


Рис. 6.2. Операційний ескіз до прикладу № 2

Розв'язання задачі

1. Похибка базування на вимогу співвісності у розглядуваному випадку не впливатиме, оскільки виконується принцип суміщення баз – вимірювальна база (вісь поверхні $\text{Ø}60_{-0,2}$) використовується і за технологічну базу завдяки встановленню заготовки саме на цю поверхню в трикулачковому самоцентрувальному патроні.

2. Похибка настроєння не впливатиме на розташування осі оброблюваної циліндричної поверхні $\text{Ø}72_{-0,05}$ відносно осі поверхні $\text{Ø}60_{-0,2}$, оскільки перед обробкою партії заготовок верстат не настроюється на забезпечення вимоги співвісності.

3. Похибка, що спричиняється неточністю виготовлення і складання установних елементів пристрою (трикулачкового самоцентрувального патрона) безпосередньо впливатиме на дійсне значення відхилення від співвісності. Це відхилення і, відповідно, розглядувана похибка дорівнюватиме відстані між осями контрольної оправки, затиснутої в кулачках патрона, і віссю циліндричної або конічної поверхні патрона, яка є його конструкторською основною базою.

Якщо партія заготовок обробляється на одному верстаті, то похибка, що спричиняється неточністю виготовлення і складання установних елементів пристрою буде систематичною постійною похибкою.

6.5. Питання для самоконтролю

1. У яких випадках похибка встановлення не впливає на точність механічної обробки?
2. Чи впливає похибка базування на показники точності форми поверхонь?
3. Який характер виявлення має похибка базування?
4. За якої умови похибка базування не впливатиме на точність відносного розташування поверхонь?
5. Шляхи зменшення впливу похибки закріплення на точність механічної обробки.
6. Яким чином можна зменшити вплив похибки, що спричиняється неточністю встановлення пристрою на верстат, на сумарну похибку обробки?
7. Шляхи зменшення впливу похибки, що спричиняється зносом установних елементів пристрою, на точність механічної обробки.
8. Чи впливає похибка, що спричиняються пружними деформаціями технологічної системи і дією сил різання, на показники точності форми поверхонь?
9. У яких випадках похибка настроєння не впливає на точність діаметральних розмірів?
10. Чи впливає похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата, на показники точності форми поверхонь?
11. Чи впливає похибка настроєння на точність діаметрального розміру отвору, обробленого розвірчуванням нерегульованою розверткою?
12. Чи впливає похибка, що спричиняється температурними деформаціями технологічної системи, на показники точності форми поверхонь?
13. Шляхи зменшення впливу похибки, що спричиняється температурними деформаціями технологічної системи, на точність обробки.
14. Які елементарні похибки можуть впливати на показники точності форми поверхонь? Наведіть приклади.

6.6. Варіанти задач для індивідуальних завдань

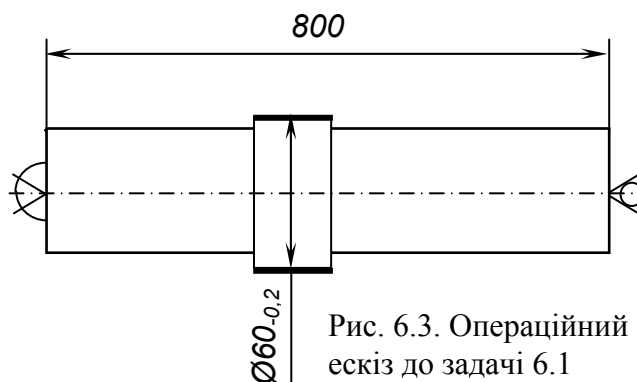
Задача 6.1

Для заданих умов токарної обробки партії заготовок (рис. 6.3) проаналізувати можливість впливу на точність розміру $\varnothing 60_{-0,2}$ мм таких елементарних похибок:

- похибки базування;
- похибки настроєння;
- похибки, що спричиняється пружними деформаціями елементів системи ВПД і дією сил різання.

Умови обробки:

- обладнання – токарний верстат з ЧПК;
- різальний інструмент – прохідний різець.



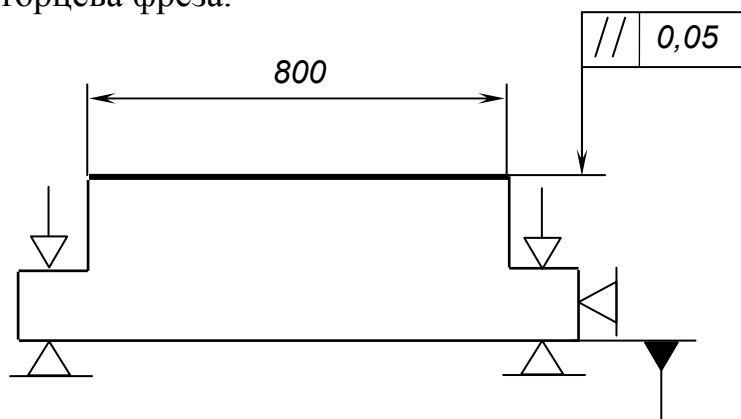
Задача 6.2

Для заданих умов фрезерної обробки партії заготовок (рис. 6.4) проаналізувати можливість впливу на сумарну похибку обробки щодо вимоги паралельності таких похибок:

- похибки базування;
- похибки настроєння;
- похибки, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента.

Умови обробки:

- обладнання – вертикально-фрезерний верстат з ЧПК;
- різальний інструмент – торцева фреза.



Задача 6.3

Для заданих умов токарної обробки партії заготовок (рис. 6.5) проаналізувати можливість впливу на відхилення від циліндричності оброблюваної поверхні таких похибок:

- похибки базування;
- похибки настроєння;
- похибки, що спричиняється геометричною неточністю верстата.

Умови обробки:

- обладнання – токарний верстат з ЧПК;
- різальний інструмент – прохідний різець.

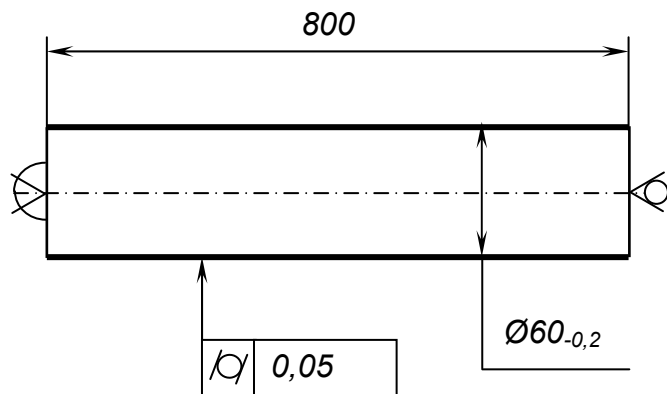
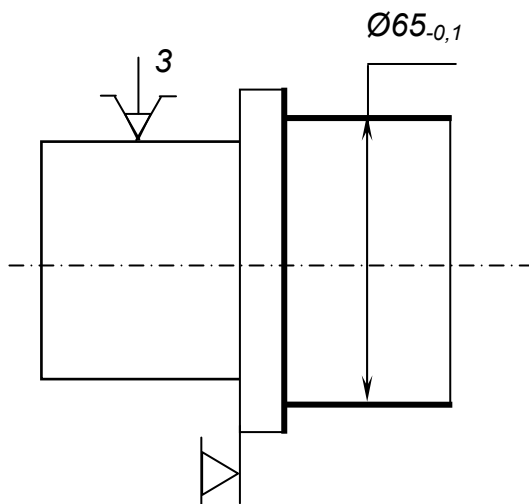


Рис. 6.5. Операційний ескіз до задачі 6.3

Задача 6.4

Для заданих умов токарної обробки партії заготовок (рис. 6.6) проаналізувати можливість впливу на точність розміру $\text{Ø}65_{-0,5}$ таких елементарних похибок:

- похибки закріплення;
- похибки, що спричиняється неточністю виготовлення і складання установних елементів пристрою;
- похибки, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента.



Умови обробки:

- обладнання – токарний верстат з ЧПК;
- різальний інструмент – прохідний різець.

Рис. 6.6. Операційний ескіз до задачі 6.4

Задача 6.5

Для заданих умов обробки отворів з одного установка у партії заготовок (рис. 6.7) проаналізувати можливість впливу на точність розміру $160 \pm 0,05$ мм таких елементарних похибок:

- похибки встановлення;
- похибки настроєння;
- похибки, що спричиняється температурними деформаціями технологічної системи.

Умови обробки:

- обладнання – вертикальний свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат з ЧПК;
- різальний інструмент – розточувальна оправка.

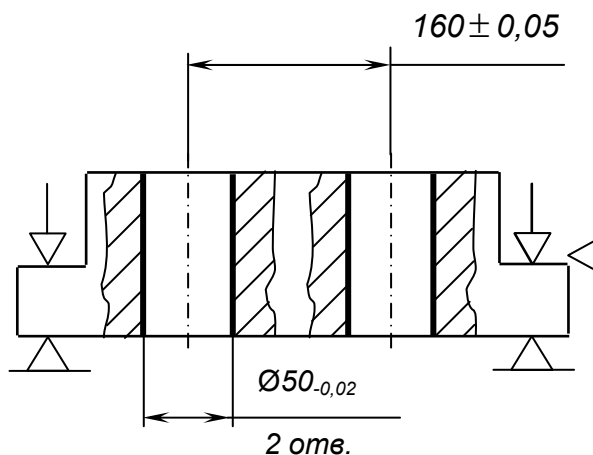


Рис. 6.7. Операційний ескіз до задачі 6.5

Задача 6.6

Для заданих умов токарної обробки партії заготовок (рис. 6.8) проаналізувати можливість впливу на відхилення від співвісності оброблюваного отвору таких елементарних похибок:

- похибки базування;
- похибки, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента;
- похибки, що спричиняється геометричною неточністю верста-та.

Умови обробки:

- обладнання – токарно-револьверний верстат з ЧПК;
- різальний інструмент – розточувальний різець.

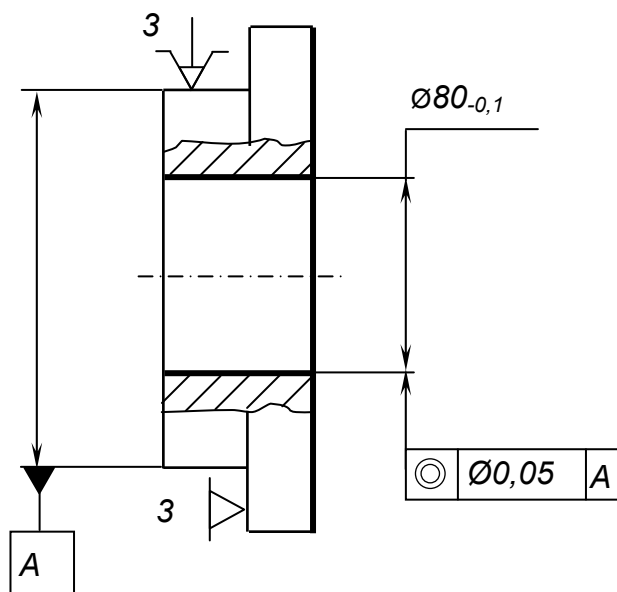


Рис. 6.8. Операційний ескіз до задачі 6.6

Задача 6.7

Для заданих умов фрезерної обробки партії заготовок (рис. 6.9) проаналізувати можливість впливу на відхилення від паралельності площин таких похибок:

- похибки базування;
- похибки настроєння;
- похибки, що спричиняється геометричною неточністю верстата.

Умови обробки:

- обладнання – поздовжньо-фрезерний верстат;
- різальний інструмент – торцева фреза.

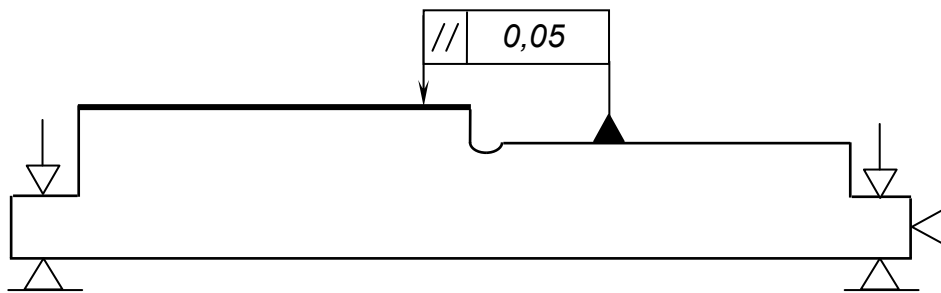


Рис. 6.9. Операційний ескіз до задачі 6.7

Задача 6.8

Для заданих умов обробки партії заготовок (рис. 6.10) проаналізувати можливість впливу на відхилення від перпендикулярності осі отвору відносно площини таких елементарних похибок:

- похибки базування;
- похибки настроєння;
- похибки, що спричиняється геометричною неточністю верстата.

Умови обробки:

- обладнання – вертикальний свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат з ЧПК;
- різальний інструмент – розточувальна оправка.

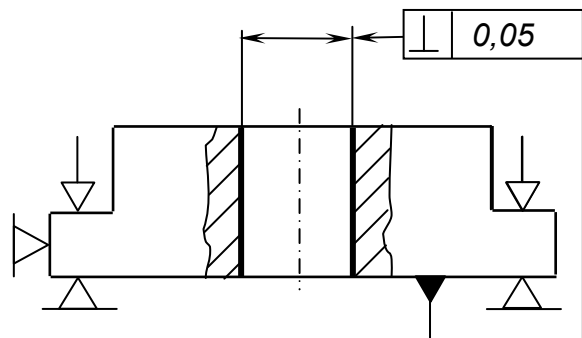


Рис. 6.10. Операційний ескіз до задачі 6.8

Задача 6.9

Для заданих умов обробки партії заготовок (рис. 6.11) проаналізувати можливість впливу на відхилення від перпендикулярності осі отвору таких елементарних похибок:

- похибки базування;
- похибки настроєння;
- похибки, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента.

Умови обробки:

- обладнання – вертикальний свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат з ЧПК;
- різальний інструмент – розточувальна оправка.

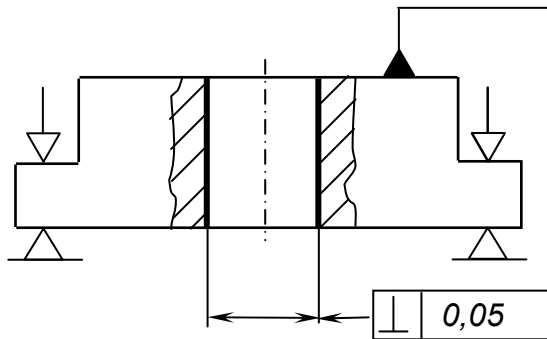


Рис. 6.11. Операційний ескіз до задачі 6.9

Задача 6.10

Для заданих умов обробки партії заготовок (рис. 6.12) проаналізувати можливість впливу на точність розміру $\varnothing 40^{+0,3}$ мм таких елементарних похибок:

- похибки настроєння;
- похибки закріплення;
- похибки, що спричиняється температурними деформаціями технологічної системи.

Умови обробки:

- обладнання – вертикально-свердлильний верстат;
- різальний інструмент – зенкер.

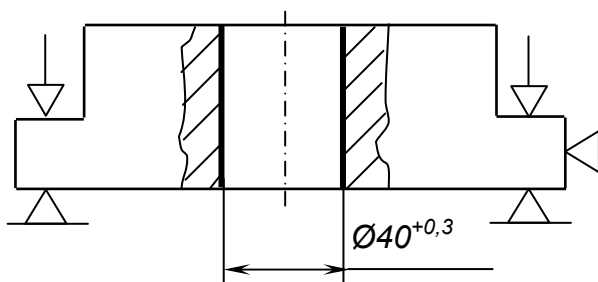


Рис. 6.12. Операційний ескіз до задачі 6.10

Задача 6.11

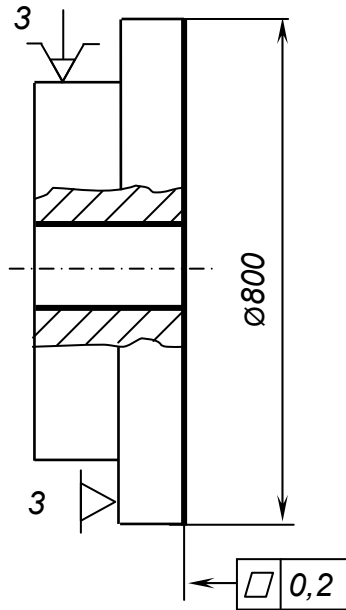


Рис. 6.13. Операційний ескіз до задачі 6.11

Для заданих умов токарної обробки партії заготовок (рис. 6.13) проаналізувати можливість впливу на відхилення від площинності таких елементарних похибок:

- похибки настроєння;
- похибки що спричиняється розмірним зносом різального інструмента
- похибки, що спричиняється геометричною неточністю верстата.

Умови обробки:

- обладнання – лоботокарний верстат;
- різальний інструмент – підрізний різець.

Задача 6.12

Для операції фрезерування двох площин з одного установа (рис. 6.14) в партії заготовок проаналізувати можливість впливу на точність розміру $30 \pm 0,1$ мм таких елементарних похибок:

- похибки базування;
- похибки закріплення;
- похибки настроєння.

Умови обробки:

- обладнання – вертикально-фрезерний верстат з ЧПК;
- різальний інструмент – торцева фреза.

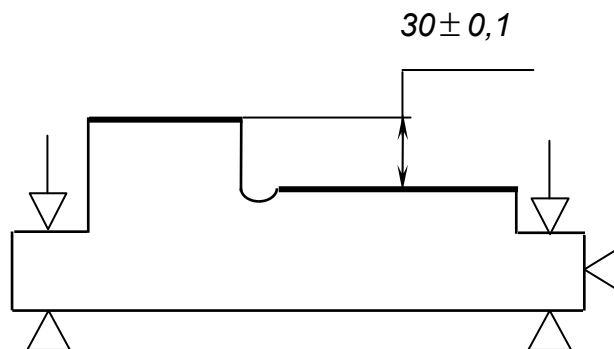


Рис. 6.14. Операційний ескіз до задачі 6.12

Практичне заняття № 7

РОЗРАХУНОК ТОЧНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Мета заняття – набуття практичних навиків визначення сумарної похибки діаметральних розмірів, які утворюються під час однорізцевого точіння циліндричних поверхонь.

7.1. Основні положення

Виконавши розрахунок точності механічної обробки можна:

- оцінити можливе поле розсіювання певного розміру (розрахувати сумарну похибку обробки);
- встановити частку кожної з елементарних похибок і розробити заходи зменшення впливу домінуючих похибок на точність обробки.

Зазвичай розрахунок точності механічної обробки виконується для технологічних переходів, які є завершальними, тобто коли потрібно забезпечити точність конструкторських розмірів.

Оскільки на точність діаметральних розмірів похибка встановлення не впливає, то сумарна похибка на такі розміри визначається за формулою (6.2).

Розрахунок складових сумарної похибки діаметральних розмірів, отриманих однорізцевим точінням, можна виконати за методикою, викладеною в [14, с. 26 – 76].

Після визначення сумарної похибки ε_{Σ} перевіряється можливість роботи без браку за умовою

$$\varepsilon_{\Sigma} \leq T_d, \quad (7.1)$$

де T_d – допуск забезпечуваного технологічного розміру.

Якщо умова (7.1) не виконується, то необхідно проаналізувати, які із складових сумарної похибки найбільше впливають на неї і запропонувати конкретні заходи зменшення цього впливу.

7.2. Зміст індивідуального завдання

Початкові дані

1. Обробка здійснюється чистовим точінням в центрах на токарному верстаті з ЧПК (рис. 7.1).
2. Умови обробки:
 - різець з пластиною з твердого сплаву T15K6;
 - мінімальний припуск на сторону $z_{\min} = 0,6$ мм;
 - подача $s = 0,15$ мм/об;
 - швидкість різання $v = 130$ м/хв;

3. Допуск отриманого діаметрального розміру – IT10.
4. На попередній операції поверхня оброблена чорновим точінням з допуском IT13.
5. Матеріал заготовки – Сталь 45. Межа міцності $\sigma_B = 600$ МПа.
6. Решта початкових даних наведена в таблиці 7.1. Інші показники і передумови, необхідні для виконання розрахунків, слід вибрати самостійно, виходячи з конкретних технологічних умов.

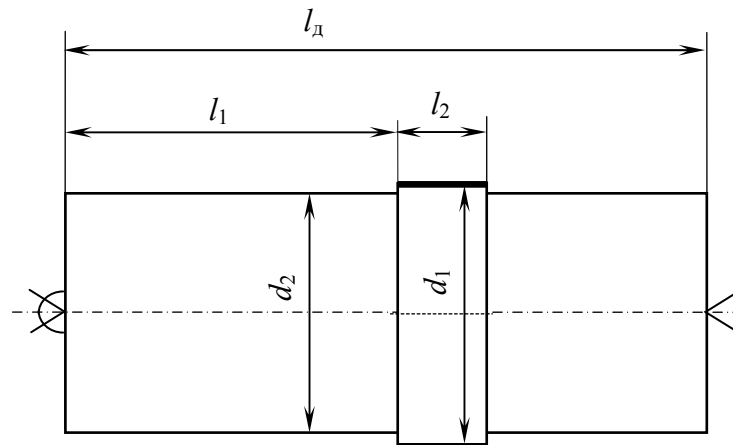


Рис. 7.1. Операційний ескіз до індивідуального завдання

7.3. Порядок виконання завдання

1. Накреслити операційний ескіз і вказати на ньому всі розміри (з граничними відхиленнями), які мають бути досягнуті в результаті обробки, та інші розміри заготовки у відповідності із заданим варіантом завдання (згідно з табл. 7.1).
2. Вважаючи, що чистове точіння циліндричної поверхні до діаметра d_1 партії валів кількістю n штук здійснюється на попередньо настроєному верстаті, знайти елементарні похибки механічної обробки.
3. За формулою (6.2) визначити сумарну похибку. Перевірити виконання умови (7.1), зробити висновок щодо можливості забезпечення заданої точності обробки.
4. Якщо умова (7.1) не виконується, то слід виявити домінуючі похибки і запропонувати заходи їх зменшення.

7.4. Приклад виконання індивідуального завдання

Розглянемо виконання завдання для варіанта 1 (таблиця 7.1).

1. Операційний ескіз матиме такий вигляд (рис. 7.2).

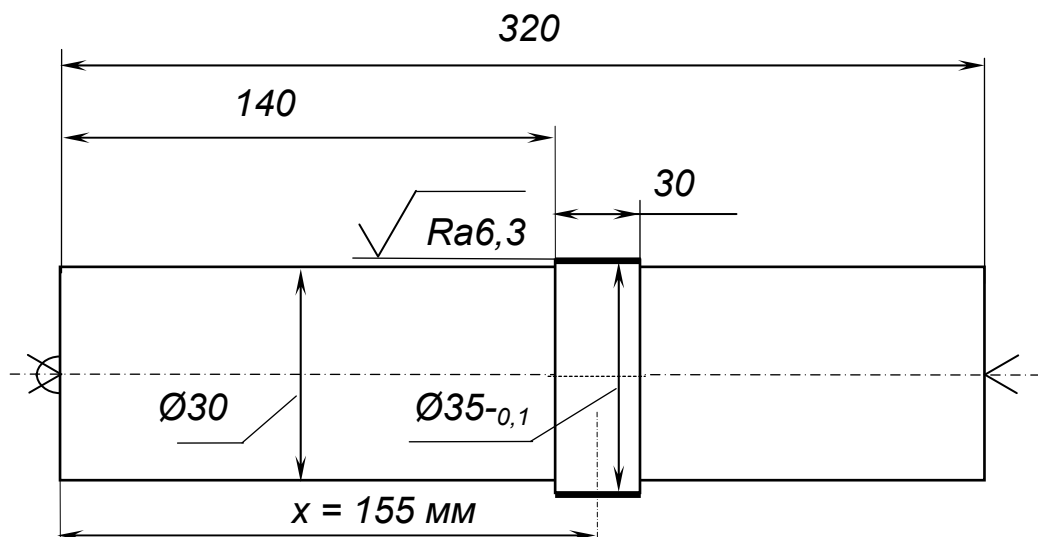


Рис. 7.2. Операційний ескіз до прикладу виконання індивідуального завдання

2. Визначимо елементарні похибки механічної обробки. Всі ці похибки будемо визначати на радіус.

Знайдемо похибку настроєння верстата. Припустимо, що верстат настроюється на розмір обробки за допомогою способу спробних заготовок. У цьому випадку похибка настроєння верстата визначається за формулою

$$\varepsilon_H = \sqrt{(K_p \varepsilon_p)^2 + \left(K_B \frac{\varepsilon_B}{2}\right)^2}, \quad (7.2)$$

де ε_p – похибка регулювання положення різця; ε_B – похибка вимірювання розміру деталі; $K_p = 1,73$ і $K_B = 1,0$ – коефіцієнти, що враховують відхилення законів розподілу похибок ε_p і ε_B від нормального закону розподілу.

Для верстата з ЧПК ε_p дорівнює двом дискретам. У верстата 16K20T1 дискрета (в радіальному напрямі) складає 5 мкм і, відповідно, $\varepsilon_p = 10$ мкм. Похибка вимірювання $\varepsilon_B = 20$ мкм [14, с. 72]. Тоді похибка настроєння

$$\varepsilon_H = \sqrt{(1,73 \cdot 10)^2 + \left(\frac{20}{2}\right)^2} = 20 \text{ мкм}.$$

Визначимо похибку, яка спричиняється пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання. Цю похибку можна знайти за формулою [14, с. 27]

$$\varepsilon_{\text{пд}} = y_{\text{max}} - y_{\text{min}} , \quad (7.3)$$

де y_{max} і y_{min} – відповідно, найбільше і найменше сумарне пружне зміщення елементів технологічної системи.

Пружне зміщення вершини різця відносно осі обертання заготовки складає

$$y = P_y \omega_{\Sigma} , \quad (7.4)$$

де P_y – радіальна складова сили різання; ω_{Σ} – сумарна податливість елементів технологічної системи.

Величину ω_{Σ} на відстані x від лівого торця заготовки можна знайти за формулою [3]

$$\omega_{\Sigma} = \frac{x^2(l_d - x)^2}{3EI_d} + \left(1 - \frac{x}{l_d}\right)^2 \omega_{\text{п.б}} + \left(\frac{x}{l_d}\right)^2 \omega_{\text{з.б}} + \omega_{\text{суп}} ,$$

де $\omega_{\text{п.б}}$, $\omega_{\text{з.б}}$, $\omega_{\text{суп}}$ – відповідно, податливості передньої бабки, задньої бабки і супорта, мм/Н; l_d – довжина заготовки, мм; E – модуль пружності матеріалу заготовки (для сталі $E = 2 \cdot 10^5$ Н/мм²); I – момент інерції перерізу заготовки, мм⁴ (для круглого перерізу $I = \frac{\pi}{64} d_2^4 \approx 0,05 d_2^4$).

У відповідності з ГОСТ 18097-83 податливості передньої бабки, задньої бабки і супорта токарних і токарно-гвинторізних верстатів з ручним керуванням і найбільшим діаметром заготовки над станиною 200 мм складають $\omega_{\text{п.б}} = 0,0227 \cdot 10^{-3}$ мм/Н, $\omega_{\text{з.б}} = 0,0337 \cdot 10^{-3}$ мм/Н, $\omega_{\text{суп}} = 0,0283 \cdot 10^{-3}$ мм/Н. Верстати з ЧПК мають в 2...4 рази меншу податливість, ніж верстати з ручним керуванням аналогічних типорозмірів. З урахуванням цього для верстата 16К20Т1 приймаємо $\omega_{\text{п.б}} = 0,0110 \cdot 10^{-3}$ мм/Н, $\omega_{\text{з.б}} = 0,0135 \cdot 10^{-3}$ мм/Н, $\omega_{\text{суп}} = 0,0140 \cdot 10^{-3}$ мм/Н.

У відповідності з рис. 7.2, для прикладу, що розглядається, координату x знайдемо за формулою $x = l_1 + \frac{l_2}{2} = 140 + 15 = 155$ мм.

Таким чином,

$$\omega_{\Sigma} = \frac{155^2(320-155)^2}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,05 \cdot 30^4 \cdot 320} + 10^{-3} \left[\left(1 - \frac{155}{320} \right)^2 0,0110 + \left(\frac{155}{320} \right)^2 0,0135 + 0,0140 \right] = 0,108 \cdot 10^{-3} \text{ мм/Н}.$$

Радіальну складову сили різання (в Н) можна знайти за формулою [15 та ін.]

$$P_y = 10 C_{P_y} t^{x_{P_y}} s^{y_{P_y}} v^{n_{P_y}} k_{P_y}.$$

де C_{P_y} , k_{P_y} , x , y , n – коефіцієнти і показники степеня, які знаходяться за таблицями [15 та ін.]; v – швидкість різання, м/хв.; s – подача, мм/об.; t – глибина різання, мм.

Найбільше $P_{y_{\max}}$ і найменше $P_{y_{\min}}$ значення радіальної складової сили різання знаходимо з урахуванням того, що на попередній операції заготовка оброблена з допуском за *IT13*, тобто є можливим коливання припуску на сторону на величину $\frac{1}{2} IT13$, що для діаметра 35 мм складе $0,4/2 = 0,2$ мм, а коливання глибини різання $t_{\min} = z_{\min} = 0,6$ мм, $t_{\max} = 0,8$ мм. Таким чином,

$$P_{y_{\max}} = 10 \cdot 2,43 \cdot 0,8^{0,9} \cdot 0,15^{0,6} \cdot 130^{-0,3} \cdot 1,0 = 154 \text{ Н};$$

$$P_{y_{\min}} = 10 \cdot 2,43 \cdot 0,6^{0,9} \cdot 0,15^{0,6} \cdot 130^{-0,3} \cdot 1,0 = 101 \text{ Н}.$$

З урахуванням (7.3) і (7.4), залежність для визначення $\varepsilon_{\text{пд}}$ запишемо у вигляді

$$\varepsilon_{\text{пд}} = \omega_{\Sigma} (P_{y_{\max}} - P_{y_{\min}}).$$

Отже,

$$\varepsilon_{\text{пд}} = 0,108 \cdot 10^{-3} (154 - 101) = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм} = 5,5 \text{ мкм}.$$

Визначимо похибку, що спричиняється розмірним зносом різально-го інструмента (різця).

Згідно з [14, с. 73 – 74]

$$\varepsilon_i = \frac{L}{1000} u_o,$$

де L – довжина шляху різання, який відповідає обробці всіх деталей партії; $u_o = 6$ мкм/км – відносний знос різця, оснащеного пластинкою з твердого сплаву Т15К6 [14, с. 73].

Визначимо величину L . Для випадку, що розглядається, вона складе

$$L = \frac{\pi d_1 l_2 n}{1000 s} = \frac{3,14 \cdot 30 \cdot 60 \cdot 250}{1000 \cdot 0,15} = 9420 \text{ м}.$$

Таким чином, $\varepsilon_i = \frac{9420}{1000} \cdot 6 = 57 \text{ мкм}.$

Визначимо похибку, що спричиняється геометричною неточністю верстата (ε_B). У відповідності з [14, с. 53 – 55],

$$\varepsilon_B = \frac{Cl_2}{L_6},$$

де C – допустиме відхилення від паралельності між напрямом руху супорта і віссю обертання заготовки на базовій довжині L_6 . У відповідності з [16, с. 59] на базовій довжині 300 мм величина C складає 10 мкм.

Таким чином,

$$\varepsilon_B = \frac{10 \cdot 30}{300} = 1 \text{ мкм}.$$

Визначимо похибку, яка спричиняється температурними деформаціями технологічної системи, вважаючи, що у відповідності з вона складає 15% від суми інших похибок

$$\varepsilon_T = 0,15(20 + 5,5 + 57 + 2) = 13 \text{ мкм}.$$

Знайдемо сумарну похибку обробки за допомогою рівняння (6.2). Вважатимемо, що бажана імовірність роботи без браку складає 0,9973. Згідно з [14, с. 24], величина $\frac{1}{K}$ при цьому дорівнюватиме 1. Таким чином,

$$\varepsilon_\Sigma = 2\sqrt{20^2 + 5,5^2 + (1,73 \cdot 57)^2 + (1,73 \cdot 2)^2 + (1,73 \cdot 13)^2} = 206 \text{ мкм}.$$

Умова (7.1) не виконується, оскільки ε_Σ перевищує величину допуску на розмір 35 ($T(d_1) = 100$ мкм).

Аналіз кількісних значень елементарних похибок показує, що найефективнішим заходом, у даному випадку, є зменшення похибки, яка спричиняється розмірним зносом різця (ε_i). Цього можна досягнути, вибравши зносостійкіший матеріал різальної частини різця, наприклад, твердий сплав Т30К4. Відносний знос u_0 для такого сплаву складає 4 мкм/км. Крім цього, можна зменшити кількість заготовок, які обробляються без піднастроювання верстата, наприклад, до 125 шт. Визначимо похибку ε_i за таких умов

$$L = \frac{3,14 \cdot 30 \cdot 60 \cdot 125}{1000 \cdot 0,15} = 4210 \text{ м}; \quad \varepsilon_i = \frac{4210}{1000} \cdot 4 = 19 \text{ мкм}.$$

Сумарна похибка обробки складе

$$\varepsilon_{\Sigma} = 2\sqrt{20^2 + 5,5^2 + (1,73 \cdot 19)^2 + (1,73 \cdot 2)^2 + (1,73 \cdot 13)^2} = 45 \text{ мкм}.$$

Таким чином, умова (7.1) виконується.

7.5. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Початкові дані та операційний ескіз з вказаними на ньому розмірами з граничними відхиленнями, що мають бути досягнуті в результаті обробки, та іншими розмірами заготовки у відповідності із заданим варіантом завдання.
3. Визначення всіх елементарних похибок і сумарної похибки механічної обробки.
4. Висновки щодо можливості забезпечення заданої точності обробки і (за необхідністю) зміст запропонованих заходів її підвищення.

7.6. Питання для самоконтролю

1. Для чого виконують розрахунок точності механічної обробки?
2. Для яких переходів найчастіше розраховують сумарну похибку обробки?
3. За рахунок чого можна зменшити похибку настроєння?
4. Яка елементарна похибка має найсуттєвіший вплив на точність токарної обробки в умовах аналізованого технологічного переходу?
5. За рахунок чого можна зменшити похибку, яка спричиняється розмірним зносом різального інструмента?
6. Що можна сказати про ступінь впливу похибки, що спричиняється пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання, і похибки, що спричиняється геометричною неточністю верстата, на величину сумарної похибки в умовах аналізованого технологічного переходу?

7.7. Варіанти початкових даних для індивідуальних завдань

Таблиця 7.1

№ варіанта	Розміри заготовки, мм					Головний кут в плані, ...°	Модель верстата	Кількість за- готовок в партії (n), шт.
	d_1	d_2	l_d	l_1	l_2			
1	35	30	320	140	30	45	16K20T1	250
2	80	75	400	180	40	90	16K20T1	200
3	55	50	350	160	50	45	16K20	150
4	50	45	300	120	35	90	16K20	150
5	40	37	280	100	20	45	16K20T1	250
6	80	75	450	200	30	90	16K20T1	250
7	30	28	250	100	30	45	16K20	150
8	50	47	350	140	26	90	16K20T1	200
9	40	35	300	170	30	45	16K20	100
10	80	75	420	180	25	90	16K20T1	200
11	55	50	380	145	40	45	16K20	150
12	30	28	180	80	20	90	16K20	180
13	40	35	300	150	15	45	16K20T1	250
14	80	76	380	150	30	90	16K20	200
15	60	56	350	120	25	45	16K20	150
16	50	47	350	170	20	90	16K20T1	250
17	40	37	320	140	22	45	16K20	150
18	80	78	470	200	40	90	16K20T1	200
19	45	58	370	150	20	45	16K20T1	350
20	25	23	200	80	25	90	16K20T1	230
21	40	37	300	140	20	45	16K20T1	250
22	80	76	500	220	50	90	16K20	180
23	30	28	245	120	30	45	16K20	150
24	38	36	280	130	26	90	16K20	160
25	70	66	400	180	40	45	16K20T1	200

Примітки:

1. 16K20T1 – токарний верстат з ЧПК з величиною найменшого можливого переміщення супорта (дискретною) у радіальному напрямі 0,005 мм.

2. 16K20 – токарно-гвинторізний верстат з ручним керуванням з ціною поділки лімба механізму переміщення супорта у радіальному напрямі 0,025 мм (на радіус).

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗА ДОПОМОГОЮ КРИВИХ РОЗПОДІЛУ

Мета роботи – оволодіти методикою побудови теоретичних і емпіричних кривих розподілу випадкових безперервних величин і основами їхнього застосування для аналізу точності механічної обробки.

8.1. Загальні положення і методика виконання роботи

У машинобудуванні статистичні методи широко використовуються для оцінювання точності обробки деталей, настроювання металорізальних верстатів на розмір обробки, оцінювання стабільності технологічних процесів, прогнозування браку, контролю якості продукції і розв'язання інших технологічних задач серійного і масового виробництва.

У математичній статистиці використовуються специфічні поняття, серед яких основними є: випробування, подія, випадкова величина, розподіл випадкової величини, генеральна сукупність, вибірка, об'єм вибірки.

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

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

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

Якщо в результаті кожного випробування неодмінно відбувається певна подія *A*, то таку подію називають достовірною. Якщо в умовах даного випробування деяка подія *B* ніколи не може відбутися, то її називають *неможливою (an event is impossible)*. Якщо ж під час випробування подія *C* може відбутися, а може і не відбутися, то таку подію називають *можливою (an event is possible)* або *випадковою (an event is casual)*.

Якщо результатом масових випробувань є сукупність випадкових подій, які можна охарактеризувати кількісно, то цю кількісну характеристику (лінійний розмір, показник шорсткості, твердість матеріалу тощо) називають *випадковою величиною (casual size)*. 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 casual size) може приймати лише певні, найчастіше цілочислові значення. Наприклад, кількість бракованих деталей в партії може бути тільки цілим додатним числом.

Безперервна випадкова величини (continuous casual sizes) 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 події (frequentness of event)* m_A .

Таким чином,

$$m_A = \frac{f}{N} . \quad (8.1)$$

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

Сукупність значень випадкової величини, отриманих під час масових випробувань і розташованих у висхідному порядку із зазначенням їх імовірності або частоти, називають *розподілом випадкової величини (division of casual size)*.

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.

У відповідності з цією теорією групу предметів, об'єднаних деякою спільною ознакою або властивістю кількісного чи якісного характеру, називають *статистичною сукупністю (statistical aggregate)*. Наприклад, партію деталей, оброблену зі сталими технологічними умовами на певній операції, можна розглядати як статистичну сукупність. Спільною ознакою може бути, наприклад, досліджуваний розмір поверхні або розмір між поверхнями.

Для обстеження великих сукупностей використовують вибірки з них. Таким чином, *вибіркою (selection)* називають частину членів сукупності, відібраних із неї для отримання інформації про всю сукупність. У цьому випадку сукупність, що її представляє вибірка, називають *генеральною сукупністю (general aggregate)*.

Кількість членів вибірки складає її *об'єм (sample size)*.

Для того, щоб за даними аналізу вибірки можна було робити висновки про певну ознаку генеральної сукупності, необхідно, щоб члени вибірки правильно її представляли, тобто вибірка має бути *репрезентативною (representativeness of a sample)*.

Для забезпечення репрезентативності вибірки оброблених заготовок повинні 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 встановлення 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 або піднастроюватися.

Всі заготовки вибірки після механічної обробки вимірюються за допомогою універсального вимірювального інструмента, величина ціни поділки Δ якого має відповідати вимозі

$$\Delta \leq T/10, \quad (8.2)$$

де T – допуск вимірюваного розміру.

В цьому практичному занятті розглядається методика статистичного аналізу точності обробки за допомогою побудови та аналізу кривих розподілу.

Розглянемо методику виконання такого аналізу на прикладі обробки партії заготовок на токарному напівавтоматі. Припустимо, що верстат настроєний на обробку отвору в розмір $\varnothing 40H9^{+0,062}$ мм.

Припустимо, що під час обробки на технологічний процес впливали лише випадкові похибки (коливання розміру заготовок; твердості їх поверхонь тощо), які призвели до розсіювання розмірів деталей в партії.

Для аналізу відібрана вибірка послідовно оброблених деталей об'ємом 50 штук з такими розмірами (таблиця 8.1). Дійсні розміри отворів записані в таблицю у послідовності вимірювання деталей.

Таблиця 8.1

Дійсні розміри отворів

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 має бути побудована крива їх розподілу. Цю криву будують у такій послідовності.

Після проведення вимірювань досліджуваного розміру x визначають емпіричне поле розсіювання δ_e , під яким розуміють інтервал, у якому знаходяться всі дійсні значення x . Цей інтервал знаходять як різницю найбільшого і найменшого значень x , тобто

$$\delta_e = x_{\max} - x_{\min}. \quad (8.3)$$

У розглядуваному випадку $\delta_e = 40,063 - 40,000 = 0,063$ мм.

Далі поле розсіювання розбивають на певну кількість інтервалів k (найчастіше $k = 7 \dots 11$) і визначають ширину інтервалу Δ за формулою

$$\Delta = \frac{\delta}{k}. \quad (8.4)$$

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 8.2.

Таблиця 8.2

№ інтер-валу	Границі інтервалу, мм	Підрахунок частот	Частота, f	Частість, m	Емпірична щільність розподілу, y_e
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

Емпіричний розподіл випадкової величини можна показати графічно (рис. 8.1) у вигляді *полігона розподілу* (**ground of division**) або *гістограми розподілу* (**histogram of division**).

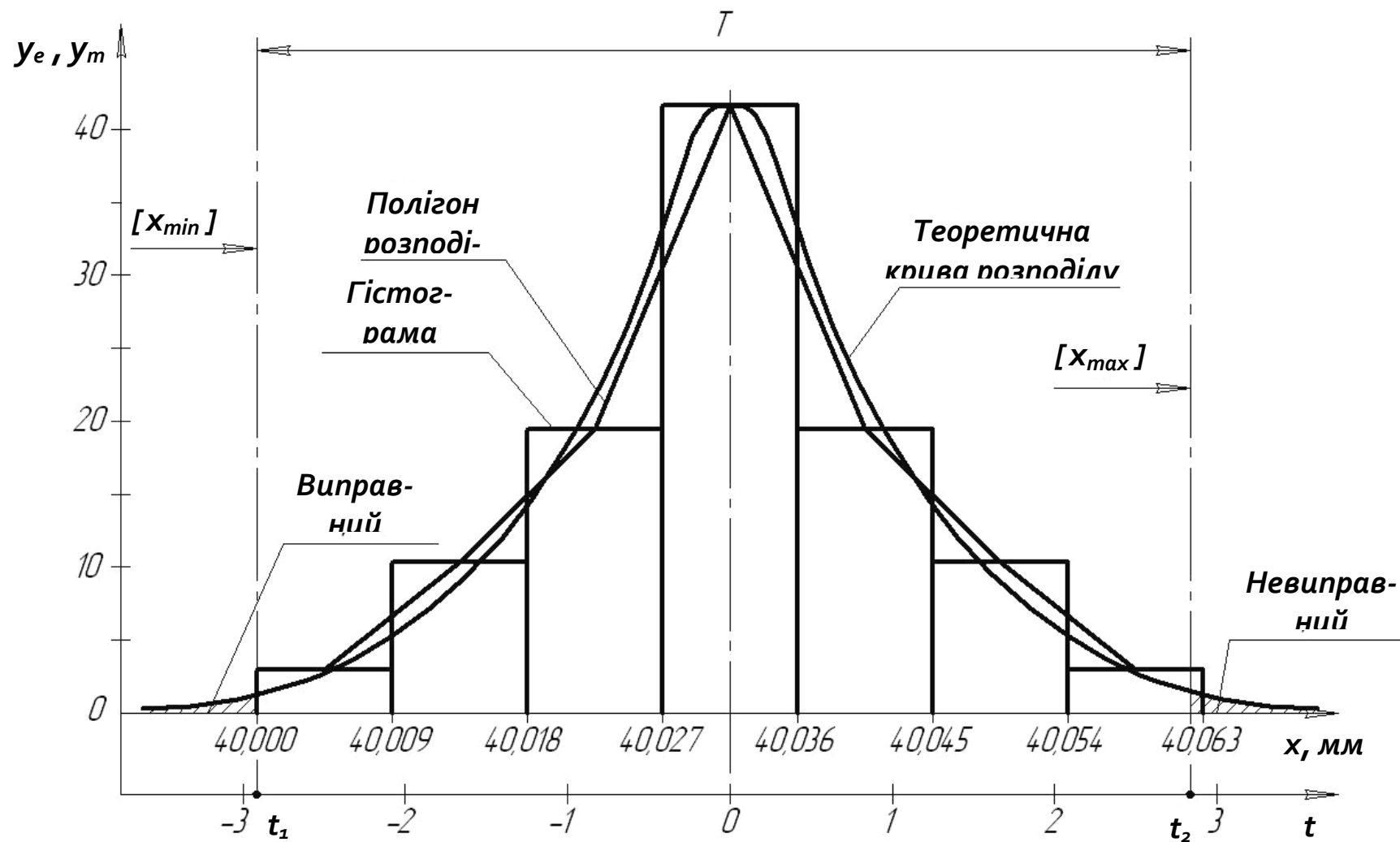


Рис. 8.1. Графіки емпіричної і теоретичної характеристик розподілу безперервної випадкової величини (розміру x)

Очевидно, що значення частотей m_i будуть залежати від ширини вибраного інтервалу. Щоб позбутися цього, розглядають емпіричну щільність розподілу випадкової величини, розуміючи під останньою відношення частоти до величини інтервалу

$$y_{e_i} = \frac{m_i}{\Delta_i}, \quad (8.5)$$

де i – порядковий номер інтервалу.

У цьому випадку вид графіка не залежить від величини інтервалу Δ . Цей інтервал навіть можна вибирати різним на різних ділянках графіка. 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 curve of division**) або розподілом випадкової величини (**division of casual size**).

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.

Встановлено, що емпіричний розподіл розмірів заготовок, оброблених на настроєному верстаті, найчастіше близький до *закону нормального розподілу* (**the law of normal distribution**).

Диференціальна функція розподілу безперервної випадкової величини, що підпорядковується закону нормального розподілу, визначається виразом

$$y(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad (8.6)$$

де y – теоретична щільність розподілу, $\bar{x}$ – середнє значення розміру x , σ – середньоквадратичне відхилення випадкової величини (розміру x).

Значення $\bar{x}$ та σ можна знайти за формулами

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i f_i ; \quad (8.7)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - \bar{x})^2 f_i}, \quad (8.8)$$

де n – кількість заготовок у вибірці (об'єм вибірки); x_i – середній розмір i -го інтервалу; f_i – частота i -го інтервалу.

Для прикладу, що розглядається,

$$\bar{x} = \frac{1}{50} (40,0045 \times 2 + 40,0135 \times 5 + 40,0225 \times 9 + 40,0315 \times 19 + 40,0405 \times 10 + 40,0495 \times 4 + 40,0585 \times 1) = 40,031 \text{ мм};$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{50} (40,0045 - 40,031)^2 \times 2 + (40,0135 - 40,031)^2 \times 5 + (40,0225 - 40,031)^2 \times 9 + (40,0315 - 40,031)^2 \times 19 + (40,0315 - 40,031)^2 \times 10 + (40,0495 - 40,031)^2 \times 4 + (40,0585 - 40,031)^2 \times 1} = 0,011 \text{ мм}.$$

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 зв'язана з x таким співвідношенням

$$t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}. \quad (8.9)$$

З урахуванням (8.9) рівняння (8.5) можна записати у вигляді

$$y(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}t^2}. \quad (8.10)$$

Важливою особливістю виразу (8.6) 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 нормального розподілу є симетричною відносно середнього розміру $\bar{x}$ і тому

$$y(-t) = y(t).$$

Далі, показавши на осі x (див. рис. 8.1) поле допуску досліджуваного технологічного розміру, можна визначити відсоток імовірного браку (виправного та невиправного).

Відсоток виправного браку для отвору (для вала – невиправного) складе

$$m_{\text{бр}}^{\text{г}} = [0,5 - \Phi(t_1)]100\%, \quad (8.11)$$

де $t_1 = \frac{[x_{\min}] - \bar{x}}{\sigma}$ – координата по осі t нижньої границі поля допуску (див. рис. 8.1), $[x_{\min}]$ – найменше допустиме значення технологічного розміру.

Відповідно відсоток невикористаного браку для отвору (для вала – виправного)

$$m_{\text{бр}}^{\text{в}} = [0,5 - \Phi(t_2)]100\%, \quad (8.12)$$

де $t_2 = \frac{[x_{\max}] - \bar{x}}{\sigma}$ – координата по осі t нижньої границі поля допуску, $[x_{\max}]$ – найбільше допустиме значення технологічного розміру.

Величини $\Phi(t_1)$ та $\Phi(t_2)$ визначаються за таблицею функції Лапласа (додаток Б).

Аналіз точності технологічного переходу можна виконати також за допомогою коефіцієнта точності виконання (coefficient of exactness of implementation) $K_{\text{т}}$ і коефіцієнта зміщення настроєння (coefficient of displacement of tuning) E .

Коефіцієнт точності виконання

$$K_{\text{т}} = \frac{6\sigma}{T}, \quad (8.13)$$

де T – допуск досліджуваного технологічного розміру.

Коефіцієнт зміщення настроєння

$$E = \frac{|\bar{x} - [\bar{x}]|}{T}, \quad (8.14)$$

де $[\bar{x}] = \frac{[x_{\max}] + [x_{\min}]}{2}$ – середнє значення заданого технологічного розміру.

Визначений за формулою (8.14) фактичний коефіцієнт зміщення настроєння порівнюється з допустимим

$$E_{\text{доп}} = \frac{T - 6\sigma}{2T}. \quad (8.15)$$

Слід зазначити, що зміщення середини кривої розподілу відносно середини поля допуску може передбачатись для компенсації систематичних похибок, що закономірно змінюються (наприклад, похибки, що спри-

чиняється 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 недоцільне.

Таким чином, робота без браку забезпечується, якщо виконуються умови

$$K_T \leq 1 ; \quad (8.16)$$

$$E \leq E_{\text{доп}} . \quad (8.17)$$

8.2. Зміст і послідовність виконання завдання

На настроєному верстаті оброблена вибірка заготовок об'ємом 50 штук. Всі умови репрезентативності вибірки виконані. Вимірюванням встановлені дійсні значення аналізованого технологічного розміру всіх заготовок вибірки. Технологічні умови обробки і характеристика вимірювального інструмента наведені в таблиці 8.3.

Для заданого викладачем варіанта (таблиця 8.4) необхідно встановити наявність імовірного браку та його характер.

Завдання пропонується виконати у такій послідовності.

1. З використанням умови (8.2) перевірити правильність вибору вимірювального інструмента.

2. Серед сукупності значень розмірів заготовок вибірки (таблиця 8.4) вибрати мінімальний та максимальний, знайти поле розсіювання і розбити його на непарну кількість інтервалів (рекомендована кількість – 7).

3. Для кожного з інтервалів визначити частоту, частість, емпіричну щільність розподілу і записати в таблицю, яку оформити аналогічно таблиці 8.2.

4. Побудувати графіки емпіричного диференціального розподілу (див. рис. 8.1) у вигляді гістограми та полігона розподілу. На рисунку показати також поле допуску.

5. Визначити середнє значення розміру $\bar{x}$ і середнє квадратичне відхилення σ за формулами (8.7) і (8.8).

6. На графік емпіричного розподілу (див. рис. 8.1) нанести графік теоретичної кривої розподілу (кривої нормального розподілу). Точки для побудови графіка знайти за формулою

$$y(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}t^2} = \frac{z}{\sigma} .$$

Значення функції $z = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}t^2}$ можна взяти з додатка В. Для даного

випадку достатньо взяти точки $t = 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3$, а другу половину кривої побудувати симетрично.

8. Визначити відсоток виправного і невиправного браку за формулами (8.11) і (8.12).

9. Визначити коефіцієнт точності виконання і коефіцієнт зміщення настроєння за формулами (8.13) і (8.14), допустимий коефіцієнт зміщення настроєння за формулою (8.15) і перевірити виконання умов (8.16) і (8.17).

10. Зробити висновки і, за необхідності, запропонувати заходи підвищення точності механічної обробки на досліджуваному технологічному переході.

8.3. Зміст звіту

1. Назва і мета заняття.
2. Технологічні умови обробки і характеристика вимірювального інструмента (згідно з індивідуальним завданням).
3. Результати статистичної обробки результатів вимірювання (у формі таблиці 8.2).
4. Розрахунки середнього значення розміру $\bar{x}$ і середнього квадратичного відхилення σ (за формулами (8.7) і (8.8)).
5. Гістограма, полігон і теоретична крива розподілу (рис. 8.1).
6. Визначення імовірного браку, коефіцієнта точності виконання і коефіцієнта зміщення настроєння.
7. Висновки і пропозиції.

8.4. Питання для самоперевірки

1. Сутність методу статистичного аналізу точності механічної обробки за допомогою кривих розподілу.
2. Які вимоги мають задовольняти заготовки вибірки для забезпечення її репрезентативності.
3. Основні статистичні характеристики розподілу безперервних випадкових величин.
4. Які статистичні характеристики точності технологічного переходу можна визначити за допомогою побудови і аналізу кривих розподілу?
5. Як визначається імовірний відсоток браку?
6. Чи залежить імовірний відсоток браку від коефіцієнта точності виконання і коефіцієнта зміщення настроєння?

8.5. Варіанти задач для індивідуальних завдань

Таблиця 8.3

Технологічні умови механічної обробки і характеристика вимірювального інструмента

№ варіанта	Найменування оброблюваної деталі	Тип верстата, на якому виконана обробка	Вид оброблюваної поверхні	Аналізований технологічний розмір, мм	Вимірювальний інструмент (ціна поділки, мм)
1	2	3	4	5	6
1	Вал	Токарний гідропіювальний напівавтомат	Зовнішня циліндрична поверхня	$\varnothing 40h10_{(-0,1)}$	Мікрометр (0,01)
2	Втулка	Токарно-револьверний з ЧПК	Отвір	$\varnothing 65H7^{(+0,03)}$	Індикаторний нутромір (0,001)
3	Корпус	Вертикально-фрезерний з ЧПК	Паз	Ширина паза $(20^{+0,21})$	Штангенциркуль з цифровою індикацією (0,01)
4	Вал	Токарний з ЧПК	Зовнішня циліндрична поверхня	$\varnothing 80h12_{(-0,3)}$	Штангенциркуль з цифровою індикацією (0,01)
5	Планка	Вертикально-фрезерний з ЧПК	Площина	Розмір між площинами $(50 \pm 0,31)$	Штангенциркуль з цифровою індикацією (0,01)
6	Фланець	Токарно-револьверний	Отвір	$\varnothing 40H10^{(+0,1)}$	Індикаторний нутромір (0,01)
7	Кришка	Токарно-револьверний з ЧПК	Отвір	$\varnothing 80H12^{(+0,3)}$	Мікрометричний нутромір (0,01)

Продовження таблиці 8.3

1	2	3	4	5	6
8	Плита	Вертикально-фрезерний з ЧПК	Площина	Розмір між площинами ($60 \pm 0,37$)	Штангенциркуль з глибиноміром (0,05)
9	Шатун	Плоскошліфувальний	Площина	Розмір між площинами ($36 \pm 0,08$)	Штангенциркуль з цифровою індикацією (0,01)
10	Кришка	Токарний з ЧПК	Зовнішня циліндрична поверхня	$\varnothing 120h12_{(-0,35)}$	Мікрометр (0,01)
11	Корпус	Оброблювальний центр	Отвір	$\varnothing 75H10^{(+0,12)}$	Мікрометричний нутромір (0,01)
12	Вал	Токарний з ЧПК	Зовнішня циліндрична поверхня	$\varnothing 50h9_{(-0,062)}$	Оптико-механічний довжиномір (0,001)
13	Фланець	Токарно-револьверний з ЧПК	Терець	Розмір між торцями ($45 \pm 0,31$)	Штангенциркуль з глибиноміром і цифровою індикацією (0,01)
14	Кронштейн	Оброблювальний центр	Отвір	$\varnothing 55H10^{(+0,12)}$	Індикаторний нутромір (0,01)
15	Плита	Вертикально-фрезерний з ЧПК	Паз	Ширина паза ($18_{-0,18}$)	Штангенциркуль з цифровою індикацією (0,01)
16	Ступиця	Токарний з ЧПК	Зовнішня циліндрична поверхня	$\varnothing 100h10_{(-0,14)}$	Мікрометр (0,01)

Закінчення таблиці 8.3

1	2	3	4	5	6
17	Кришка	Карусельно-фрезерний	Площина	Розмір між площинами ($20 \pm 0,18$)	Штангенциркуль з цифровою індикацією (0,01)
18	Вал	Токарний ЧПК	Зовнішня циліндрична поверхня	$\varnothing 90h12_{(-0,35)}$	Мікрометр (0,01)
19	Корпус	Вертикально-фрезерний з ЧПК	Площина	Розмір між площинами ($150 \pm 0,2$)	Штангенциркуль з цифровою індикацією (0,01)
20	Втулка	Алмазно-розточувальний	Отвір	$\varnothing 90H7^{(+0,035)}$	Індикаторний нутромір (0,001)
21	Кришка	Токарно-револьверний з ЧПК	Торець	Розмір між торцями ($30 \pm 0,26$)	Штангенциркуль з глибиноміром і цифровою індикацією (0,01)
22	Вал	Токарний з ЧПК	Зовнішня циліндрична поверхня	$\varnothing 45h10_{(-0,1)}$	Мікрометр (0,01)
23	Стакан	Внутрішньошліфувальний	Отвір	$\varnothing 65H8^{(+0,046)}$	Індикаторний нутромір (0,001)
24	Втулка	Токарно-револьверний з ЧПК	Отвір	$\varnothing 100H10^{(+0,14)}$	Індикаторний нутромір (0,01)
25	Шатун	Вертикально-фрезерний з ЧПК	Площина	Розмір між площинами $35h11_{(-0,16)}$	Штангенциркуль з глибиноміром і цифровою індикацією (0,01)

Таблиця 8.4

Дійсні значення розмірів оброблених заготовок вибірки

Варіант 1									
39,99	39,95	39,93	39,95	39,92	39,93	39,99	39,96	39,95	39,91
40,00	39,91	39,95	40,02	40,00	39,94	39,94	39,95	39,96	39,92
39,93	39,88	39,98	39,99	39,98	39,98	39,95	40,00	39,95	39,96
39,97	39,89	39,96	39,93	39,97	39,93	39,96	39,97	39,96	39,97
39,99	39,92	39,94	39,98	39,95	39,96	39,95	39,95	39,95	39,98
Варіант 2									
65,024	65,025	64,995	65,006	65,014	65,008	65,02	65,013	65,014	65,012
65,007	65,012	65,016	65,019	65,018	65,017	65,015	65,018	65,017	65,015
65,015	65,021	65,022	65,01	65,015	65,013	65,007	65,013	65,012	65,020
65,025	65,014	65,012	65,023	65,005	65,011	65,000	65,020	65,016	65,016
65,004	65,003	65,019	65,008	65,03	65,016	65,018	65,015	65,018	65,020
Варіант 3									
20,01	20,11	20,08	20,09	20,02	20,05	20,07	20,1	20,08	20,012
20,17	20,04	19,97	20,15	20,13	20,14	20,13	20,07	20,17	20,15
20,08	20,14	20,16	20,11	20,08	20,10	20,06	20,13	20,11	20,12
20,06	20,07	20,12	20,19	20,03	20,06	20,2	20,1	20,12	20,25
20,18	20,15	20,02	20,11	20,16	20,21	20,1	20,12	20,13	20,12
Варіант 4									
79,66	79,75	79,8	79,65	79,60	79,92	79,82	79,83	79,58	79,68
79,87	79,84	79,85	79,62	79,86	79,79	79,64	79,69	79,74	79,76
79,98	80,06	79,7	79,89	79,76	79,70	79,80	79,75	79,79	79,90
79,76	79,96	79,8	79,74	79,81	79,75	79,78	79,80	79,82	79,90
79,88	79,98	79,81	79,50	79,94	79,82	79,73	79,72	79,67	79,71
Варіант 5									
49,98	49,90	49,93	49,97	50,04	50,11	49,96	49,88	49,75	50,14
50,20	50,25	50,12	50,07	49,97	49,9	49,87	50,00	49,98	49,70
49,90	50,09	50,02	49,96	49,85	49,65	50,08	49,86	50,02	50,02
49,98	49,92	50,01	50,05	50,05	50,00	50,03	50,16	49,95	50,03
50,10	50,18	49,78	50,00	50,22	50,35	49,80	50,06	50,15	50,05

Варіант 6									
39,98	40,01	40,38	39,97	40,09	40,07	40,05	40,03	40,02	40,01
40,03	40,00	39,96	40,05	40,05	40,03	40,02	40,06	40,04	40,03
40,02	40,07	40,04	40,03	40,25	40,01	40,03	40,02	40,06	40,05
40,03	40,10	40,08	39,99	40,06	40,08	40,05	40,05	40,03	40,04
40,07	40,05	40,05	40,04	40,03	40,01	40,03	40,05	40,04	40,03
Варіант 7									
80,00	79,97	80,06	80,22	80,04	80,13	80,17	80,15	80,016	80,17
80,05	80,30	80,27	80,18	80,12	80,08	80,13	80,09	80,12	80,23
80,09	80,19	80,08	80,07	80,26	80,16	80,21	80,18	80,14	80,15
80,16	80,10	80,20	80,14	80,15	80,15	80,15	80,14	80,22	80,03
80,20	80,25	80,11	80,25	80,10	80,13	80,24	80,32	80,15	80,16
Варіант 8									
60,20	60,09	60,05	60,04	59,76	59,58	60,02	59,98	60,25	60,16
60,00	60,30	59,95	59,80	60,05	60,08	59,95	60,18	60,06	60,07
59,94	60,04	60,00	59,96	59,88	59,86	59,84	60,40	59,90	60,15
59,82	60,12	60,06	59,84	60,14	59,72	59,70	60,02	60,35	60,42
59,78	59,98	60,10	60,30	59,85	59,88	60,00	59,85	59,86	59,96
Варіант 9									
36,03	36,03	35,98	36,01	35,94	36,00	36,06	36,04	35,93	36,01
35,98	36,00	36,02	35,99	36,08	36,05	36,01	36,01	36,00	36,10
36,02	36,08	36,00	36,02	36,01	36,02	36,04	35,99	35,98	35,98
36,01	36,01	36,04	36,00	36,07	35,96	36,02	35,95	36,06	35,99
35,97	36,07	36,02	36,03	36,02	35,90	36,00	36,11	36,05	36,05
Варіант 10									
119,84	119,65	119,70	119,81	119,72	119,60	119,79	119,74	119,74	119,74
119,90	119,82	119,80	119,78	119,80	119,80	119,73	119,81	119,82	119,96
120,02	119,76	119,75	119,80	119,84	119,87	119,78	119,75	119,85	119,68
119,70	119,88	119,86	119,81	119,86	119,82	119,94	119,83	119,85	119,76
119,82	119,80	119,82	119,88	119,80	119,84	119,83	119,85	119,92	119,90

Варіант 11									
75,05	75,05	74,95	75,09	75,10	75,05	75,05	75,09	74,96	75,12
75,08	75,07	75,08	75,04	75,13	75,03	75,08	75,06	75,06	75,06
75,02	75,10	75,04	74,98	74,90	75,01	75,06	75,10	75,10	75,08
74,90	75,02	75,07	75,03	75,12	75,06	75,00	75,04	75,07	75,16
75,02	75,09	75,03	75,07	75,07	75,04	75,05	75,06	75,05	75,07
Варіант 12									
49,88	49,58	49,85	49,78	49,81	49,92	49,50	49,63	49,73	49,77
49,74	49,90	49,67	49,68	49,57	49,66	49,70	49,86	49,95	49,83
49,67	49,71	49,75	49,55	49,74	49,71	49,84	50,00	49,72	49,69
49,68	49,62	49,80	49,69	49,66	49,70	49,65	49,47	49,81	49,75
49,72	49,35	49,66	49,79	49,64	49,94	49,72	49,56	50,05	49,76
Варіант 13									
45,16	45,09	45,01	44,98	44,78	45,01	44,80	44,97	44,96	44,98
44,87	44,97	44,95	45,05	44,94	44,90	44,96	44,88	45,02	45,11
44,99	45,05	45,00	44,65	45,00	45,13	45,02	44,92	44,91	45,04
45,03	44,93	45,18	45,25	45,20	44,85	45,30	45,12	44,86	45,08
44,82	44,75	44,84	45,03	44,89	45,14	45,35	45,06	45,15	45,04
Варіант 14									
55,00	55,06	55,065	55,06	55,065	55,06	55,11	55,07	55,05	55,04
55,04	55,05	55,08	55,07	55,05	55,04	55,045	55,05	55,025	55,06
55,065	55,08	55,03	55,03	55,07	55,03	55,06	55,03	55,04	55,01
55,09	55,02	55,055	55,01	55,055	55,10	55,05	55,06	55,08	55,04
55,05	55,06	55,045	54,98	55,02	55,08	55,035	55,04	55,12	55,08
Варіант 15									
17,90	17,90	17,83	17,90	17,91	17,87	17,88	17,95	17,84	17,87
17,94	17,85	17,94	17,92	17,97	17,91	17,90	17,98	17,91	18,01
17,92	17,92	17,91	17,85	17,86	17,86	17,94	17,93	17,95	17,89
17,88	17,90	17,89	17,80	17,92	17,98	17,91	17,89	17,93	17,96
17,92	17,88	17,97	17,96	17,90	17,91	17,82	17,95	17,92	17,87

Продовження таблиці 8.4

Варіант 16									
99,92	99,90	99,97	99,91	99,96	100,00	99,90	99,98	99,86	99,95
99,98	99,94	99,92	99,92	99,92	99,92	99,94	99,93	99,91	99,90
99,93	99,92	99,90	99,97	99,90	99,88	99,97	99,93	99,95	99,94
99,89	99,89	99,88	99,94	99,93	99,95	99,99	100,00	100,02	99,93
99,96	99,82	99,94	99,89	99,96	99,93	99,87	100,03	99,94	99,94
Варіант 17									
20,10	20,09	19,86	20,00	19,99	20,01	19,8	20,10	19,93	20,22
19,97	20,00	19,99	20,04	20,08	20,04	20,01	20,03	20,00	20,14
20,04	19,95	20,06	20,02	19,94	19,95	20,05	19,98	20,02	20,03
20,07	19,99	20,16	19,92	19,89	20,01	20,15	20,00	20,08	20,05
19,98	19,90	19,96	20,03	20,06	19,87	19,88	20,03	20,12	20,02
Варіант 18									
89,92	89,80	89,67	89,86	89,81	89,80	89,58	89,72	89,81	89,79
89,78	89,77	89,75	89,77	89,77	89,88	89,83	89,84	89,85	89,86
89,74	89,85	89,80	89,80	89,72	89,73	89,78	89,95	89,89	89,90
89,70	89,78	89,73	89,85	89,65	89,82	89,74	89,75	89,83	90,00
89,88	89,94	89,84	89,82	89,76	89,76	89,82	89,80	89,68	89,79
Варіант 19									
150,05	149,98	149,92	149,88	149,86	149,96	149,84	149,99	149,94	150,12
149,97	149,90	150,01	150,14	150,03	150,00	150,01	150,10	150,16	150,09
149,98	149,97	149,97	150,03	150,15	149,94	149,96	150,24	150,08	150,17
149,92	150,00	150,00	149,98	149,75	150,02	150,02	149,89	150,02	150,20
150,07	150,06	149,92	150,00	150,03	150,04	149,82	149,90	149,82	150,10
Варіант 20									
90,00	89,990	90,011	89,99	90,00	90,00	89,99	90,025	90,00	90,014
90,015	89,980	90,006	90,028	90,012	89,995	90,004	89,995	89,99	90,03
90,011	90,014	90,018	90,012	90,005	90,012	90,018	90,024	90,02	90,016
90,010	90,006	90,01	90,01	90,011	90,015	90,005	90,012	90,036	90,00
90,002	90,01	90,005	90,004	90,02	90,026	90,012	90,06	89,99	90,016

Закінчення таблиці 8.4

Варіант 21									
30,05	29,84	29,93	29,83	29,80	30,01	29,85	30,60	29,85	30,02
29,95	29,98	29,97	29,65	30,00	29,94	29,98	30,15	29,92	30,12
29,86	29,97	30,00	30,00	29,94	29,82	29,95	30,28	30,08	30,03
30,00	30,01	29,78	30,18	29,75	29,90	29,88	30,01	30,04	30,07
29,96	29,98	29,90	29,95	30,16	30,09	29,70	30,10	29,96	30,10
Варіант 22									
44,93	44,94	44,98	44,97	44,94	44,93	44,90	44,91	44,94	44,94
44,95	44,95	44,95	44,91	44,96	44,98	44,95	44,97	44,96	44,90
44,96	44,96	44,97	44,88	44,95	44,96	44,99	44,95	44,93	44,93
44,97	44,98	44,96	44,96	44,98	44,93	44,96	44,99	45,01	44,95
44,92	44,92	44,95	44,98	44,96	44,95	44,94	45,00	45,02	45,00
Варіант 23									
65,021	65,018	64,990	65,006	65,018	65,030	65,03	65,022	65,053	65,024
65,028	65,024	65,036	65,022	65,024	65,016	65,022	65,030	65,028	65,02
65,024	65,020	65,014	65,040	65,022	65,012	65,014	65,012	65,022	65,01
65,026	65,026	65,026	65,002	65,035	65,004	65,02	65,000	65,008	65,017
65,02	65,016	65,035	64,995	65,028	65,044	65,038	65,030	65,017	65,035
Варіант 24									
100,02	100,11	100,08	100,06	100,12	100,09	100,00	100,07	100,14	100,19
100,10	99,98	100,09	100,15	100,09	100,10	100,16	100,09	100,09	100,11
100,08	100,15	100,05	100,07	100,13	100,05	100,06	100,12	100,04	100,09
100,09	100,13	100,12	100,10	100,08	100,12	100,08	100,08	100,10	100,13
100,10	100,11	100,08	100,04	100,05	100,03	100,10	100,18	100,07	100,09
Варіант 25									
34,92	34,91	34,88	34,90	34,84	34,80	34,90	34,93	34,89	34,85
34,87	34,88	34,92	34,94	34,90	34,85	34,86	34,91	34,82	35,01
34,96	34,94	34,95	34,92	34,88	34,95	34,90	34,89	34,93	34,87
34,90	34,97	34,98	34,90	34,94	34,87	34,88	34,83	34,90	34,91
34,92	34,91	34,91	34,97	34,96	34,91	34,95	34,95	34,89	34,92

СЛОВНИК НАЙУЖИВАНІШИХ ТЕРМІНІВ

- База – base
Базування – locating
Безперервна випадкова величини – continuous random quantity
Вибірка – sample
Виконавчі поверхні машини – executive surfaces of a machine
Вимірювальна база – measuring base
Випробування – test
Вихідна ланка – initial link
Вільна поверхня – free surface
Генеральна сукупність – general totality
Гістограма розподілу – distribution barchart
Дискрета – discrete step
Дискретна випадкова величина – discrete random quantity
Допуск – tolerance
Допоміжна база – auxiliary base
Емпірична диференціальна крива розподілу – empiric differential distribution curve
Закон нормального розподілу – the law of normal distribution
Закріплення – clamping
Замикальна ланка – closing link
Коефіцієнт точності виконання – execution precision factor
Коефіцієнт зміщення настроєння – tuning shift coefficient
Конструкторська база – designing base
Комплект баз – set of bases
Комплект допоміжних баз – set of auxiliary bases
Комплект основних баз – set of main bases
Кріпильні поверхні – fastening surfaces
Механічна обробка – machining
Напрямна база – guiding base
Опорна точка – locating point
Основна база – main base
Опорна база – resting base
Об'єм вибірки – sample size
Подвійна напрямна база – double guiding base
Подвійна опорна база – double resting base
Події масові – mass events
Подія – event
Можлива подія – probable event
Неможлива подія – improbable event
Подія випадкова – random event
Полігон розподілу – distribution polygon

Похибка базування – error of locating
 Похибка встановлення – setting error
 Похибка настроєння – tuning error
 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 спричиняються тепловими деформаціями технологічної системи – error caused by thermal deformation of a technological system
 Прихована база – latent base
 Репрезентативність вибірки – representativeness of a sample
 Розмір настроєння – tuning size
 Розмірний ланцюг – dimension chain
 Розподіл випадкової величини – distribution of a random quantity
 Складова ланка – component link
 Службове призначення машини – functional purpose of a machine
 Статистична сукупність – statistical universe
 Сумарна похибка механічної обробки – total machining error
 Схема базування – locating chart
 Технологічна база – technological base
 Технологічний розмірний ланцюг – technological dimension chain
 Установлення – setting up
 Установна база – setting base
 Частота події – frequency of event
 Частість події – frequency ratio of event
 Явна база – rial base

ЛІТЕРАТУРА

1. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения. Учебник для машиностроительных специальностей вузов. / Б. С. Балакшин. — М. : Машиностроение, 1969. — 358 с.
2. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения : ГОСТ 21495-76. — [Чинний від 1977-01-01] М. : Изд-во стандартов, — 1987. — 35 с.
3. 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.
4. Допуски и посадки : справочник в 2 ч. / [Мягков В. Д., Палей М. А., Романов А. Б. и др.]. — Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, Ч. 1. — 1983. — 543 с.
5. Допуски и посадки : справочник в 2 ч. / [Мягков В. Д., Палей М. А., Романов А. Б. и др.]. — Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, Ч. 2. — 1983. — 448 с.
6. Колесов И. М. Основы технологии машиностроения. Учебник для машиностроительных специальностей вузов. / И. М. Колесов. — М. : Высшая школа, 2001. — 591 с.
7. Колкер Я. Д. Математический анализ точности механической обработки деталей. / Я. Д. Колкер. — К. : Техника, 1976. — 200 с.
8. Методические указания и задания для самостоятельной работы по теме “Базы и базирование” курса “Основы технологии машиностроения”. — Винница: ВПИ, 1990. — 36 с.
9. Маталин А. А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных специальностей вузов. / А. А. Маталин. — Л. : Машиностроение, 1985. — 496 с.
10. Методичні вказівки до виконання розділу “Розрахунок точності операції механічної обробки” при самостійній роботі, курсовому та дипломному проектуванні. Вінниця: ВПІ, 1990. — 36 с.
11. Розмірний розрахунок верстатних пристроїв на точність. Методичні вказівки до самостійної роботи з курсового та дипломного проектування. — Вінниця : ВПІ, 1990. — 20 с.
12. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения. / [Аверченков А. В., Суслов А. Г., Ильницкий В. Б. и др.] ; Под ред. О. А. Горленко. — М : Машиностроение, 1988. — 216 с.
13. Солонин И. С. Математическая статистика в технологии машиностроения. / И. С. Солонин. — М. : Машиностроение, 1972. — 216 с.
14. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / [Борисов В. Б., Борисов Е. И., Васильев В. Н. и др.] ; Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — 656 с.

15. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / [Абрамов Ю. А., Андреев В. Н., Горбунов Б. И. и др.] ; Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — 496 с.

16. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / [Антипов К. Ф., Горбунов Б. И., Калашников С. Н. и др.] ; Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1972. — 694 с.

Розповсюджені схеми базування

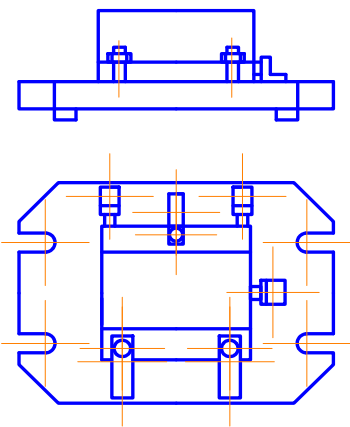
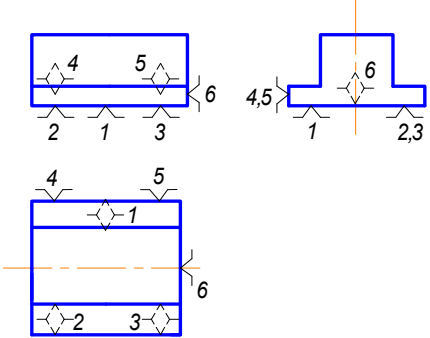
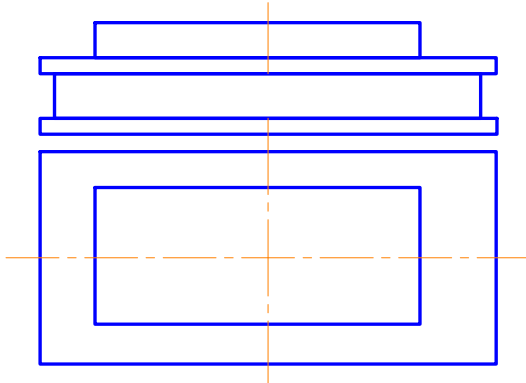
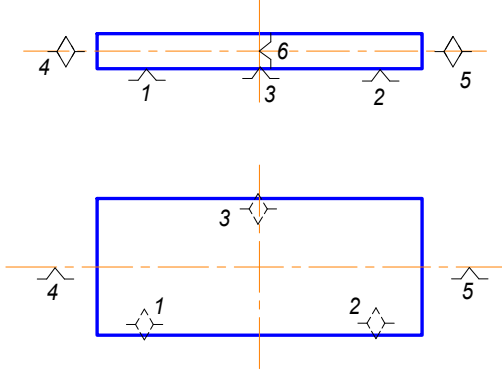
Схема встановлення	Теоретична схема базування
Встановлення заготовки на площину основи і дві бокові сторони 	
Встановлення заготовки на площину (на магнітній плиті) 	

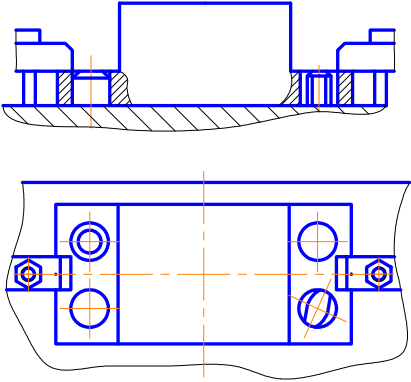
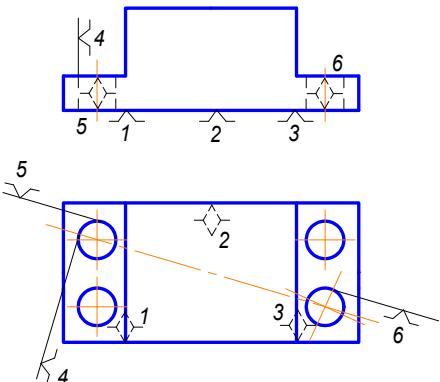
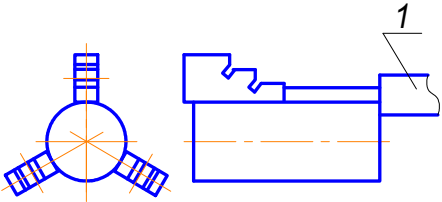
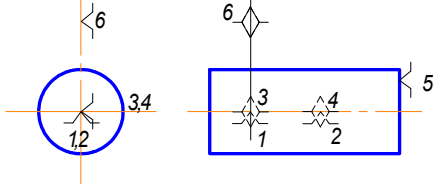
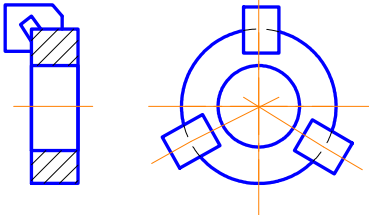
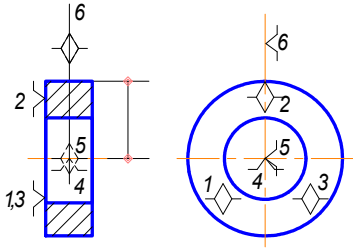
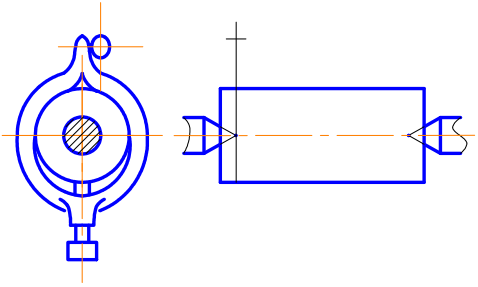
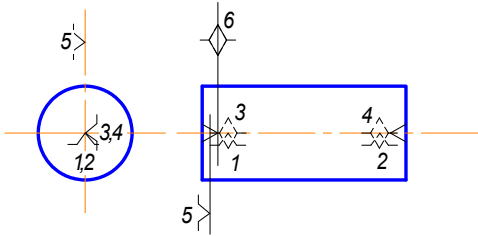
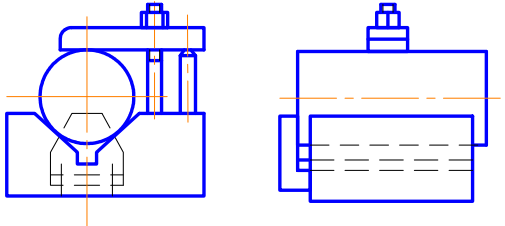
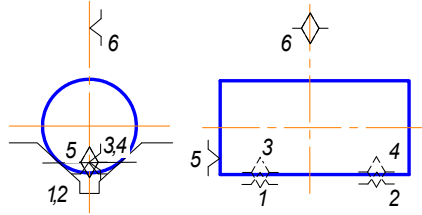
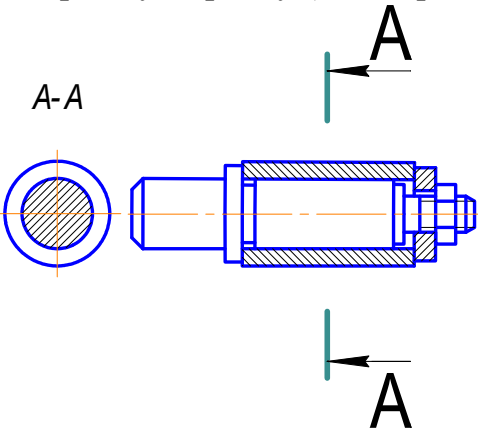
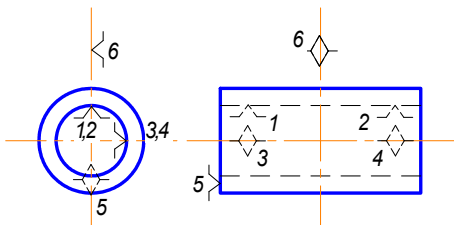
Схема встановлення	Теоретична схема базування
Встановлення заготовки на площину і два пальці (круглий і зрізаний) 	
Встановлення вала в трикутчастковому самоцентрувальному патроні  1 - штангенциркуль	
Встановлення диска в трикутчастковому самоцентрувальному патроні 	

Схема встановлення	Теоретична схема базування
Встановлення вала в центрах 	
Встановлення вала на призмі 	
Встановлення втулки на циліндричну оправку (із зазором) 	

Додаток Б

Значення функції Лапласа $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$

t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$
0,00	0,000	1,00	0,3415	2,00	0,4775
0,05	0,020	1,05	0,3530	2,05	0,4800
0,10	0,040	1,10	0,3645	2,10	0,4820
0,15	0,0595	1,15	0,3740	2,15	0,4840
0,20	0,0795	1,20	0,3850	2,20	0,4860
0,25	0,0985	1,25	0,3945	2,25	0,4880
0,30	0,1180	1,30	0,4030	2,30	0,4895
0,35	0,1370	1,35	0,4115	2,35	0,4905
0,40	0,1555	1,40	0,4190	2,40	0,4920
0,45	0,1735	1,45	0,4265	2,45	0,4930
0,50	0,1915	1,50	0,4330	2,50	0,4940
0,55	0,2090	1,55	0,4395	2,55	0,4945
0,60	0,2255	1,60	0,4450	2,60	0,4955
0,65	0,2420	1,65	0,4505	2,65	0,4960
0,70	0,2580	1,70	0,4555	2,70	0,4965
0,75	0,2735	1,75	0,4600	2,75	0,4970
0,80	0,2880	1,80	0,4640	2,80	0,4975
0,85	0,3025	1,85	0,4680	2,85	0,4975
0,90	0,3160	1,90	0,4715	2,90	0,4980
0,95	0,3290	1,95	0,4745	2,95	0,4985
1,00	0,3415	2,00	0,4775	3,00	0,4986

Додаток В

Таблиця значень функції $z(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} at$

t	$z(t)$	t	$z(t)$	t	$z(t)$	t	$z(t)$	t	$z(t)$
0,0	0,3989	0,6	0,3832	1,2	0,1942	1,8	0,0790	2,4	0,0224
0,1	0,3980	0,7	0,3123	1,3	0,1714	1,9	0,0656	2,5	0,0175
0,2	0,3910	0,8	0,2897	1,4	0,1497	2,0	0,0540	2,6	0,0136
0,3	0,3814	0,9	0,2661	1,5	0,1295	2,1	0,0440	2,7	0,01,4
0,4	0,3683	1,0	0,2420	1,6	0,1109	2,2	0,0355	2,8	0,0070
0,5	0,3521	1,1	0,2179	1,7	0,0940	2,3	0,0289	2,9	0,0060
								3,0	0,0044

Навчальне видання

**Дерібо Олександр Володимирович,
Дусанюк Жанна Павлівна,
Репінський Сергій Володимирович**

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ
ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ
ТА СКЛАДАННЯ МАШИН**
практикум
Частина 1

Практикум

Редактор В. Дружиніна

Оригінал-макет підготовлено О. Дерібо

Підписано до друку
Формат 29,7×42 $\frac{1}{4}$ Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman
Друк різнографічний Ум. друк. арк.
Наклад прим. Зам. №

Вінницький національний технічний університет,
науково-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) 59-85-32
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.