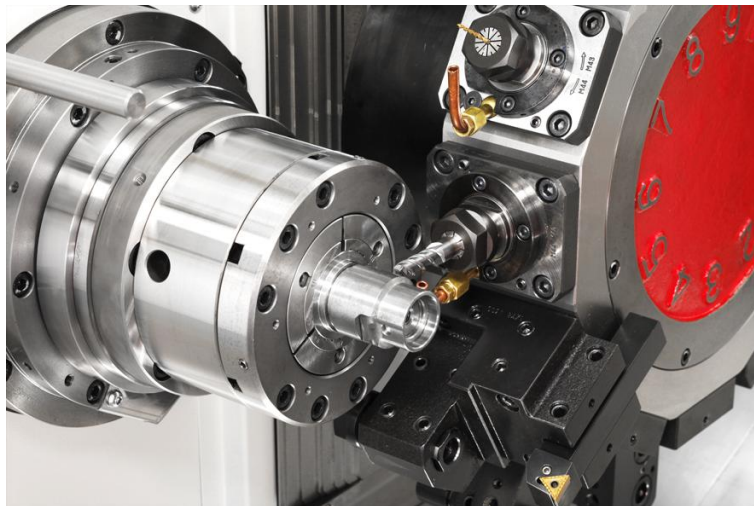


О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

Частина 1



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

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

**ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ
МАШИНОБУДУВАННЯ**

Частина 1

Практикум

Вінниця
ВНТУ
2017

УДК 621.01(075)

Д36

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 15 від 25 травня 2017 р.)

Рецензенти:

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

В. І. Савуляк, доктор технічних наук, професор

І. П. Паламарчук, доктор технічних наук, професор

Дерібо, О. В.

Д36 Основи технології машинобудування. Частина 1 : [практикум] / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 106 с.

Практикум відповідає програмі першої частини навчальної дисципліни «Основи технології машинобудування» і містить задачі з технологічного забезпечення точності складання машин та механічної обробки, приклади розв'язання цих задач і питання для самоконтролю знань.

Зміст практикуму дозволяє використовувати його під час практичних занять, для виконання індивідуальних домашніх завдань, а також для самостійної роботи студентів. Він може бути корисним також для курсового проектування й виконання бакалаврських дипломних робіт.

Практикум призначений для студентів спеціальності 131 – «Прикладна механіка» та спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування».

УДК 621.01(075)

© ВНТУ, 2017

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>	
Розмірний аналіз конструкцій.....	31
<i>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4</i>	
Визначення похибки базування	44
<i>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5</i>	
Вибір схеми базування для операції механічної обробки	54
<i>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6</i>	
Розрахунок сумарної похибки обробки	67
<i>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7</i>	
Аналіз можливості впливу елементарних похибок на точність механічної обробки.....	88
ЛІТЕРАТУРА.....	101
ДОДАТКИ.....	102

ВСТУП

Предметом дисципліни «Основи технології машинобудування» (далі – ОТМ) є вивчення закономірностей, які діють під час механічної обробки заготовок і складання машин, та опанування практичними навиками застосування цих закономірностей для забезпечення проектної якості виробів, найменшої їхньої собівартості, запланованого обсягу випуску.

Надзвичайно важливим є зв'язок дисципліни ОТМ з такими дисциплінами, як: «Вступ до фаху», «Технологічні основи машинобудування», «Теоретична механіка», «Технологія конструкційних матеріалів», «Матеріалознавство», «Теорія різання», «Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання». Вирішення технологічних питань без ґрунтовних знань з цих дисциплін взагалі не можливе.

Дисципліна ОТМ є однією з базових для вивчення таких спеціальних дисциплін, як: «Технологія машинобудування», «Технологічна оснастка», «Основи автоматизації виробництва», «Технологічні основи гнучкого автоматизованого виробництва», «Проектування пристосувань», «Технологічне обладнання та верстати з ЧПК», «Проектування та виробництво заготовок деталей машин» та інших спеціальних дисциплін.

У першій частині розглядаються основні поняття й означення технології машинобудування, теоретичні основи конструкторського і технологічного забезпечення точності складання машини та виготовлення її деталей.

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

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

Цей практикум є узагальненням багаторічної роботи колективу кафедри технологій та автоматизації машинобудування» (ТАМ) Вінницького національного технічного університету. В основу змісту багатьох практичних занять покладено підходи, запропоновані доцентом Ю. М. Дівєєвим та професором В. І. Савуляком, котрі в попередні роки викладали цю дисципліну.

Зміст практикуму дозволяє використовувати його під час практичних занять, для виконання індивідуальних домашніх завдань, а також для самостійної роботи студентів. Він може бути корисним також для курсового проектування і виконання бакалаврських дипломних робіт.

Практикум призначений для студентів спеціальності 131 – «Прикладна механіка» та спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування».

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ ПОВЕРХОНЬ МАШИН, СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ ТА ДЕТАЛЕЙ

Мета заняття – набуття практичних навиків визначення поверхонь машин, складальних одиниць та деталей відповідно з їхнім 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 столу, на яку встановлюються верстатні пристрої (машинні лещата, ділильні головки, кондуктори тощо), і конічний отвір шпинделя, у який встановлюються хвостовики різальних і допоміжних інструментів (свердел, зенкерів, свердлильних патронів тощо).

З огляду на функціональне призначення поверхонь деталей і складальних одиниць розрізняють такі їхні 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 й допоміжні.

Основна база (**main base**) – це конструкторська база, що належить деталі чи складальній одиниці й використовується для визначення розташування цієї деталі чи складальної одиниці у виробі. Для повної орієнтації деталі чи складальної одиниці у виробі потрібен так званий *комплект основних баз* (**set of main bases**), який завжди складається з трьох баз.

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

Кількість допоміжних баз певної деталі або складальної одиниці визначається кількістю виробів, що приєднуються до цієї 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. Важливо, що виконавчі поверхні машини є допоміжними базами певних її деталей і, відповідно, машини загалом. 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 їхнього 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 або 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. Якісний склад цих вимог і їхні кількісні значення визначаються службовим призначенням машини.

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

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

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

- під час виготовлення швидкообертюваних 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 дисбалансу та спрощення динамічного балансування;

- під час виготовлення деталей, які зазнають значних знакозмінних навантажень, для підвищення їхньої утомної міцності;

- якщо вільні поверхні використовуються як 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 й розібратися в принципі його роботи.

2. Накреслити ескіз заданої викладачем деталі, на якому показати конструкторські основні й допоміжні бази, а також кріпильні поверхні деталі.

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.

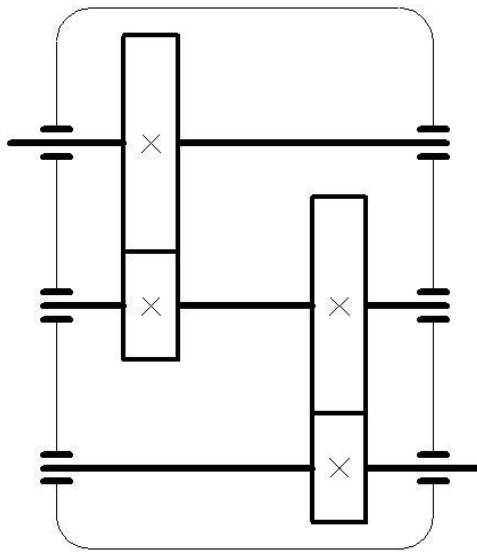


Рисунок 1.1 – Кінематична схема двоступінчастого редуктора

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 тому числі й розглядуваного, 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 ($\text{Ø}35k6$) 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.

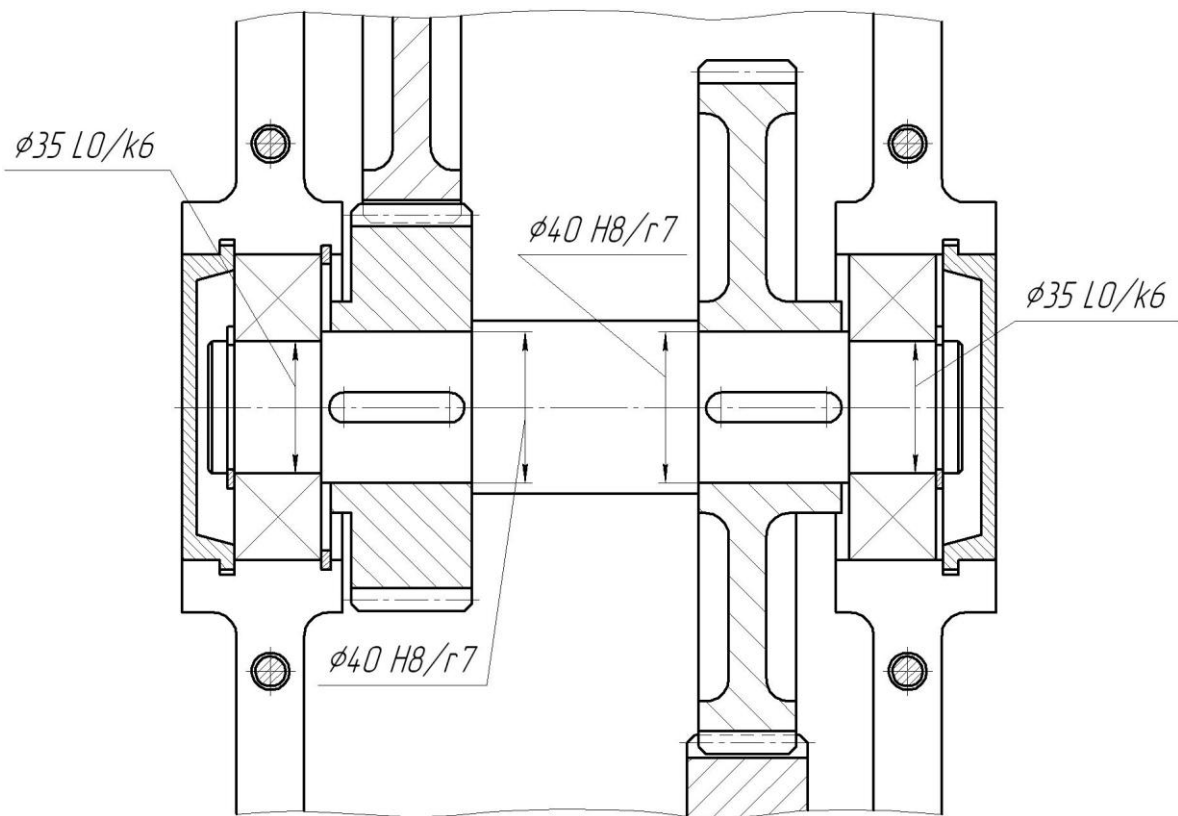


Рисунок 1.2 – Конструктивна схема вузла проміжного вала

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 вала:

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

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

- циліндрична поверхня $\phi 40r7$;
- 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 запресовування підшипників кочення, установлюються 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 й розглянутих вище вимог точності до просторового розташування цих поверхонь розроблено креслення проміжного вала (рис. 1.4).

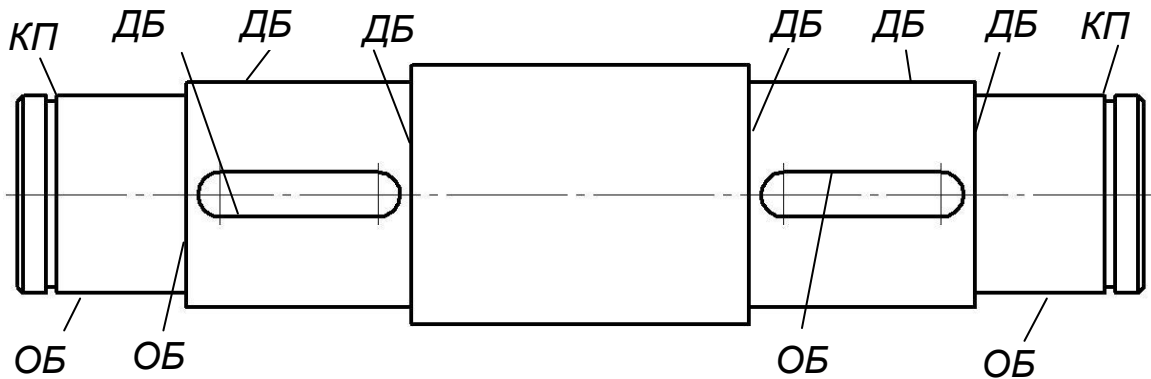


Рисунок 1.3 – Функціональне призначення поверхонь проміжного вала:
ОБ – основна база; **ДБ** – допоміжна база; **КП** – кріпильна поверхня

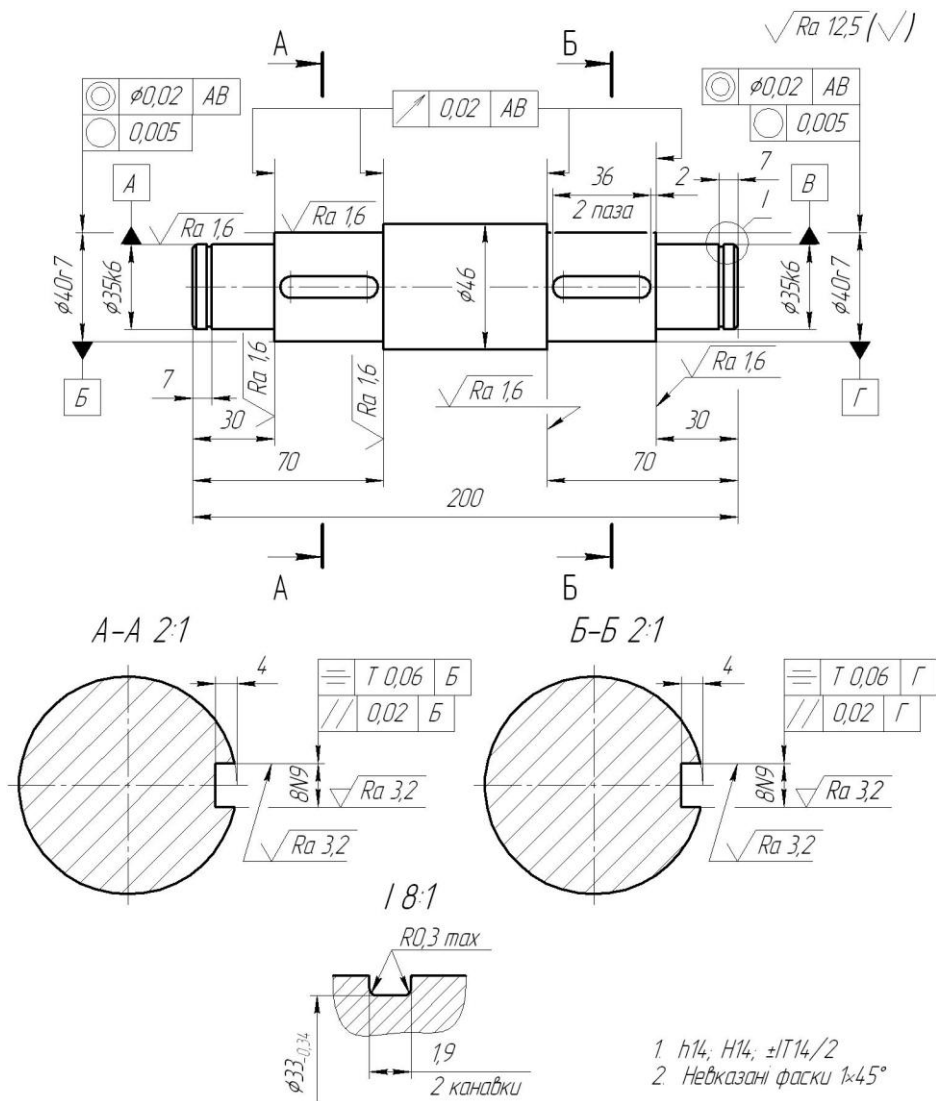


Рисунок 1.4 – Креслення проміжного вала

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

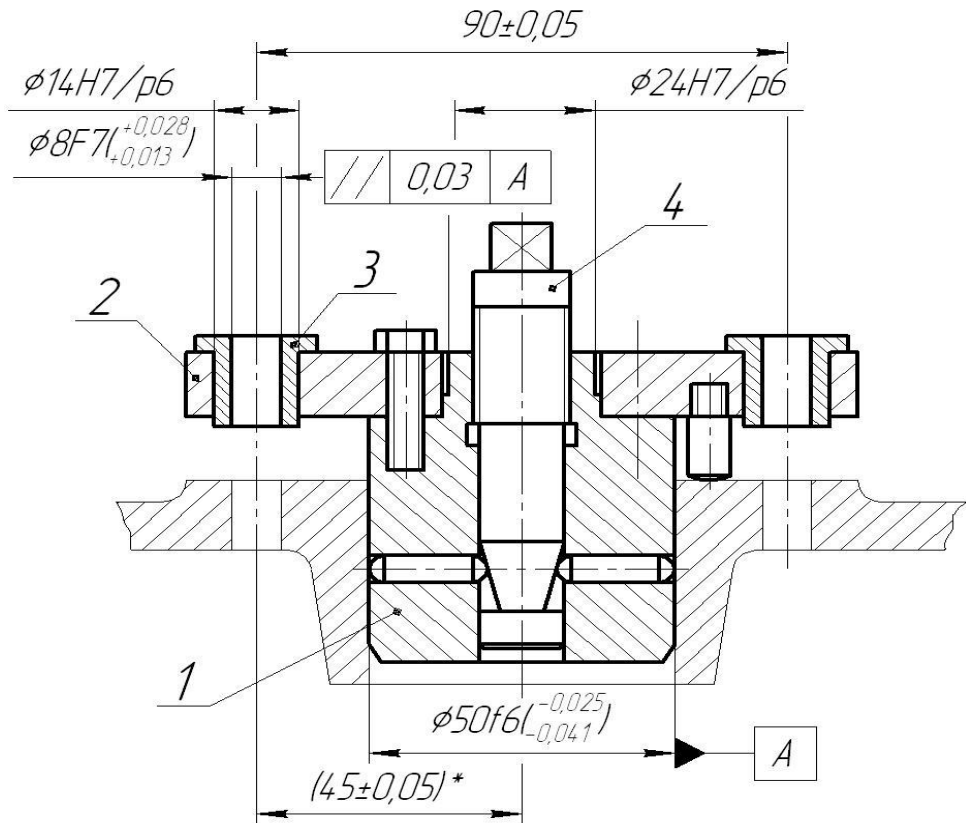
1.4 Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Ескіз деталі з позначенням функціонального призначення її поверхонь, розмірами, вимогами до шорсткості поверхонь деталі та їхнього 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. Як класифікують поверхні деталей і складальних одиниць за їхнім функціональним призначенням?
4. Які поверхні пристрою, що розглядається в індивідуальному завданні, є його виконавчими поверхнями?
5. Поняття конструкторських баз (основних і допоміжних), кріпильних і вільних поверхонь деталей та складальних одиниць.
6. Які поверхні пристрою, що розглядається в індивідуальному завданні, є його основними базами? Які поверхні цього пристрою є допоміжними базами?
7. Чому під час розробки креслення деталі потрібно передбачати жорсткий геометричний взаємозв'язок між основними й допоміжними базами? Чим визначаються вимоги точності до такого взаємозв'язку?
8. Що обумовлює вимоги до точності розмірів і вимоги до точності відносного розташування кріпильних поверхонь?
9. У яких випадках виникає необхідність механічної обробки вільних поверхонь?

1.6 Варіанти задач для індивідуальних завдань



*Відстань між осями поверхні $\text{Ø}50f6$ та отвору $\text{Ø}8F7$

Рисунок 1.5 – Варіант 1 (кондуктор накладний):
1 – корпус; 2 – плита; 3 – втулка кондукторна; 4 – гвинт натискний

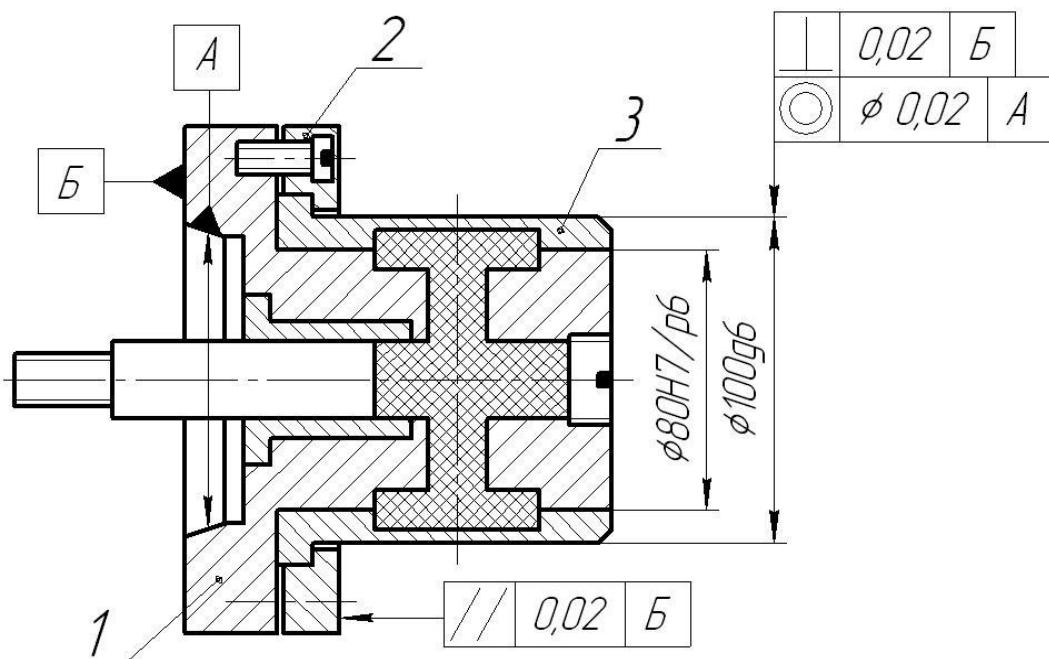
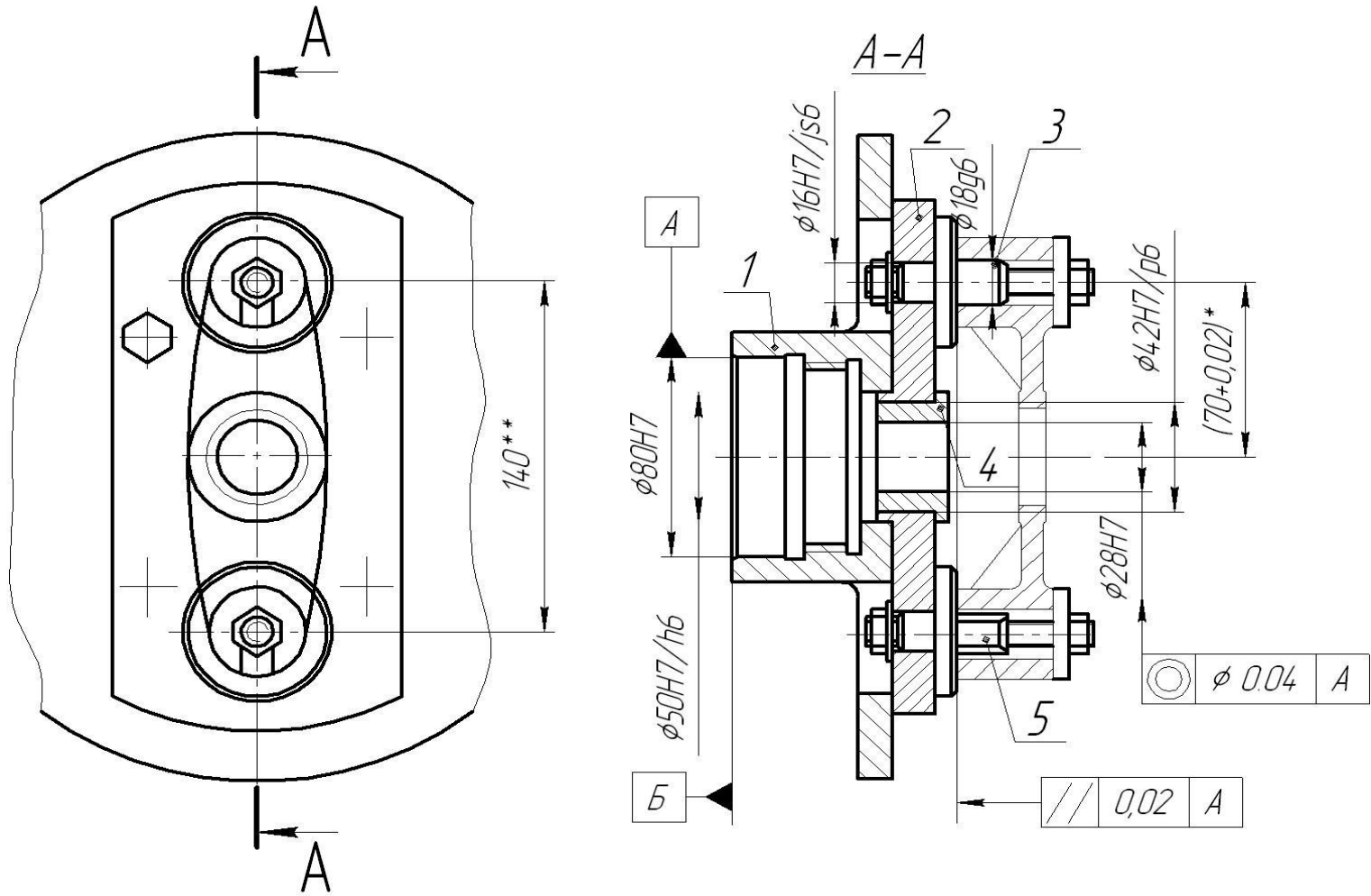
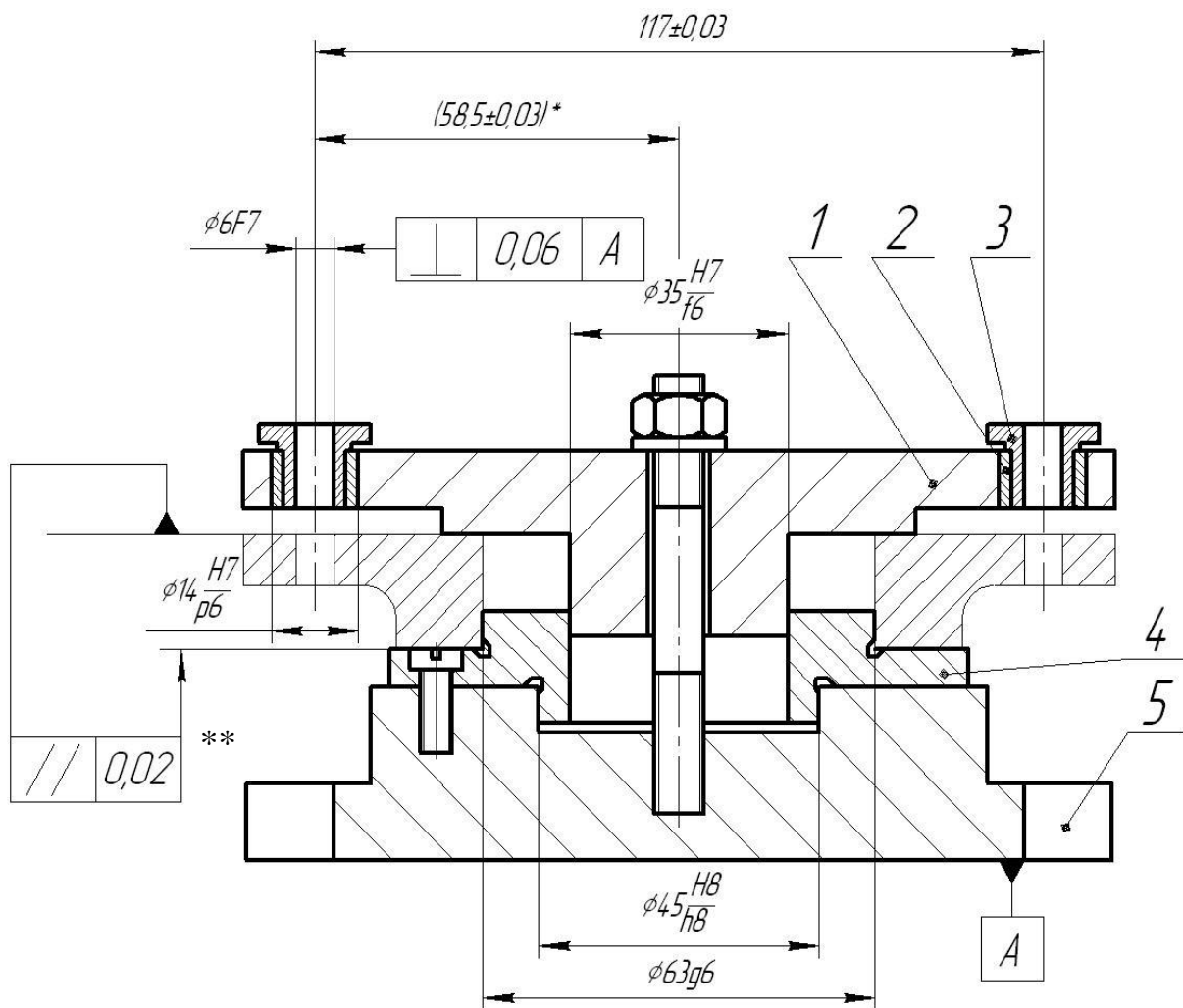


Рисунок 1.6 – Варіант 2 (оправка гідропластова):
1 – корпус; 2 – кільце; 3 – втулка пружинна



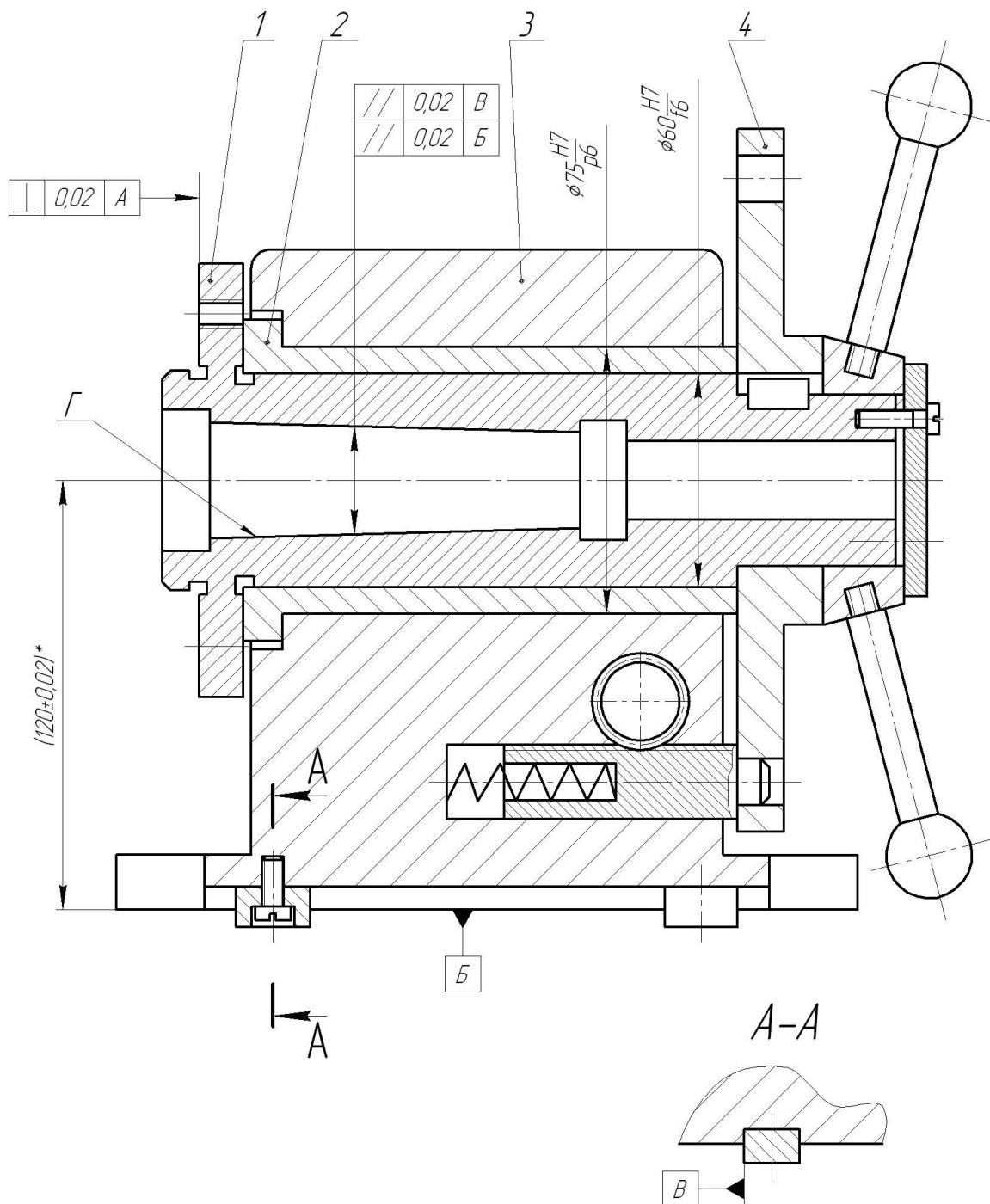
1. *Відстань від осі отвору $\varnothing 28H7$ до осі пальця $\varnothing 18g6$.
 2. **Розмір для довідок.

Рисунок 1.7 – Варіант 3 (пристрій токарний):
 1 – корпус; 2 – плита; 3 – палець циліндричний; 4 – втулка кондукторна; 5 – палець зрізаний



1. *Відстань від осі поверхні $\varnothing 63g6$ до осі отвору $\varnothing 6F7$ в кондукторній втулці.
 2. **Показник точності заготовки.

Рисунок 1.8 – Варіант 4 (кондуктор накладний):
 1 – плита; 2 – втулка постійна; 3 – втулка змінна;
 4 – фланець опорний;
 5 – корпус



1. *Відстань від площини (база B) до осі конічного отвору Г.
2. База B – площина, що прилягає до бокових поверхонь обох шпонок.

Рисунок 1.9 – Варіант 5 (головка ділильна):
 1 – шпиндель; 2 – втулка; 3 – корпус; 4 – диск ділильний

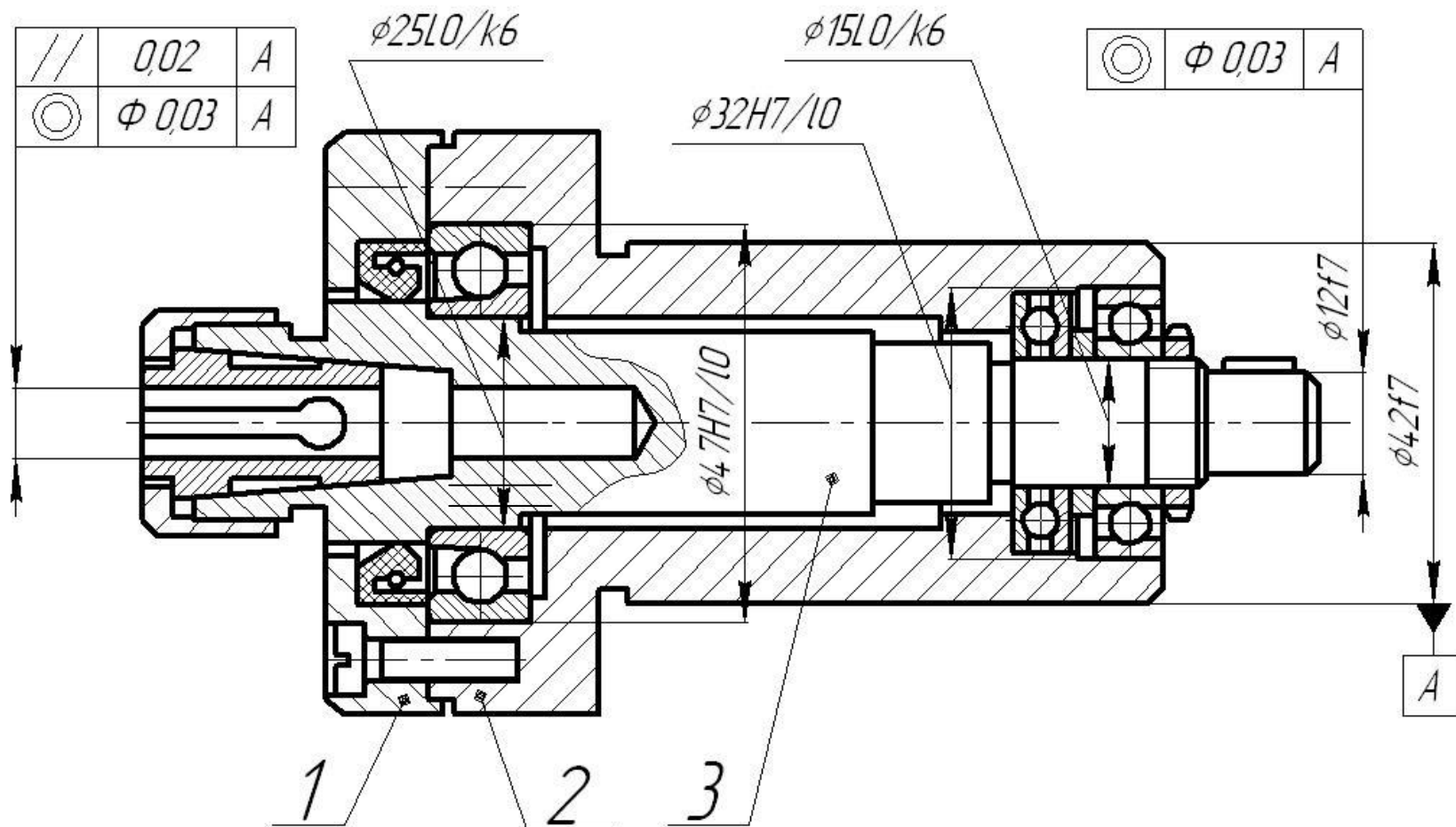


Рисунок 1.10 – Варіант 6 (головка обертова):

1 – фланець; 2 – корпус;

3 – шпиндель

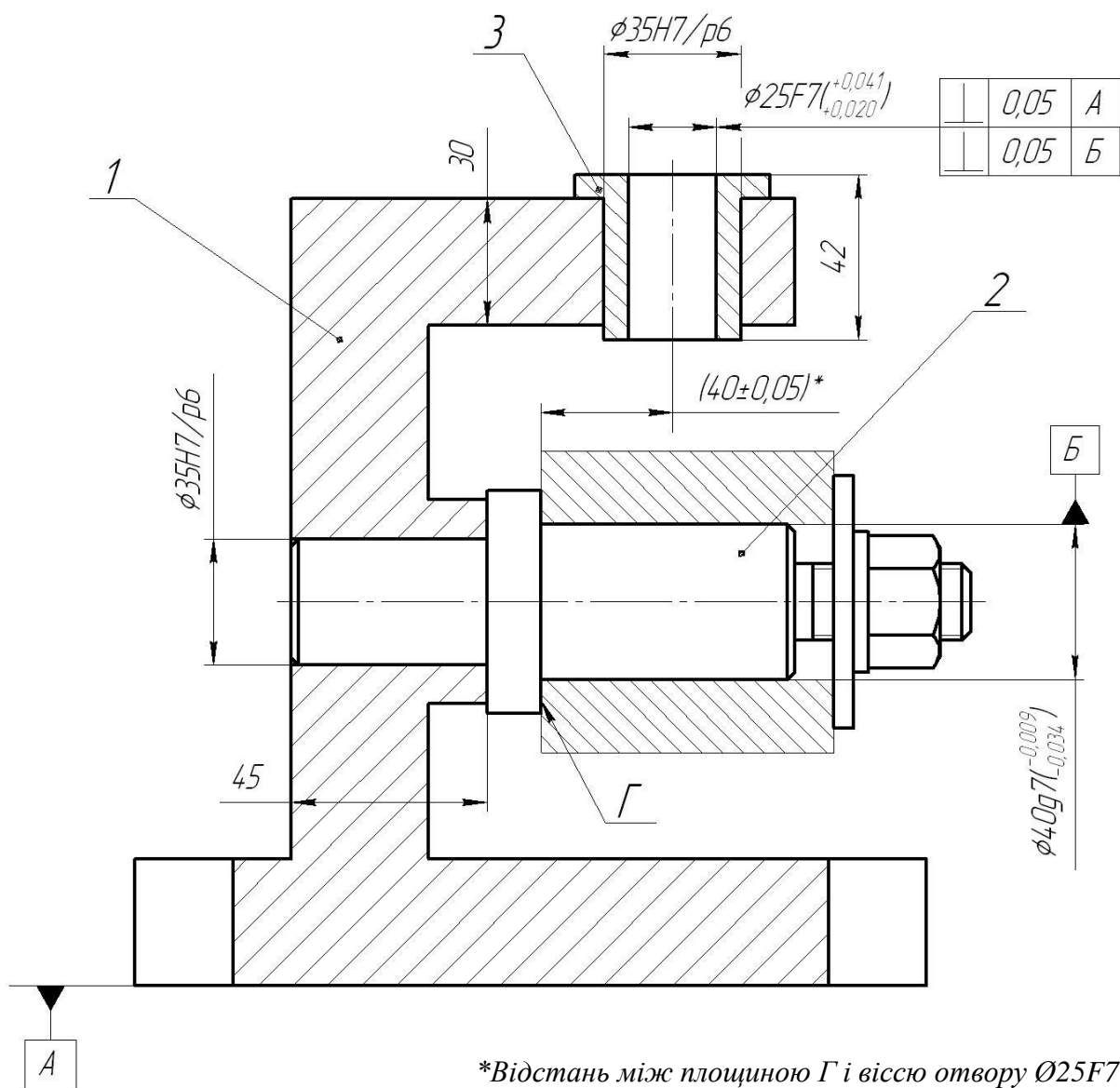
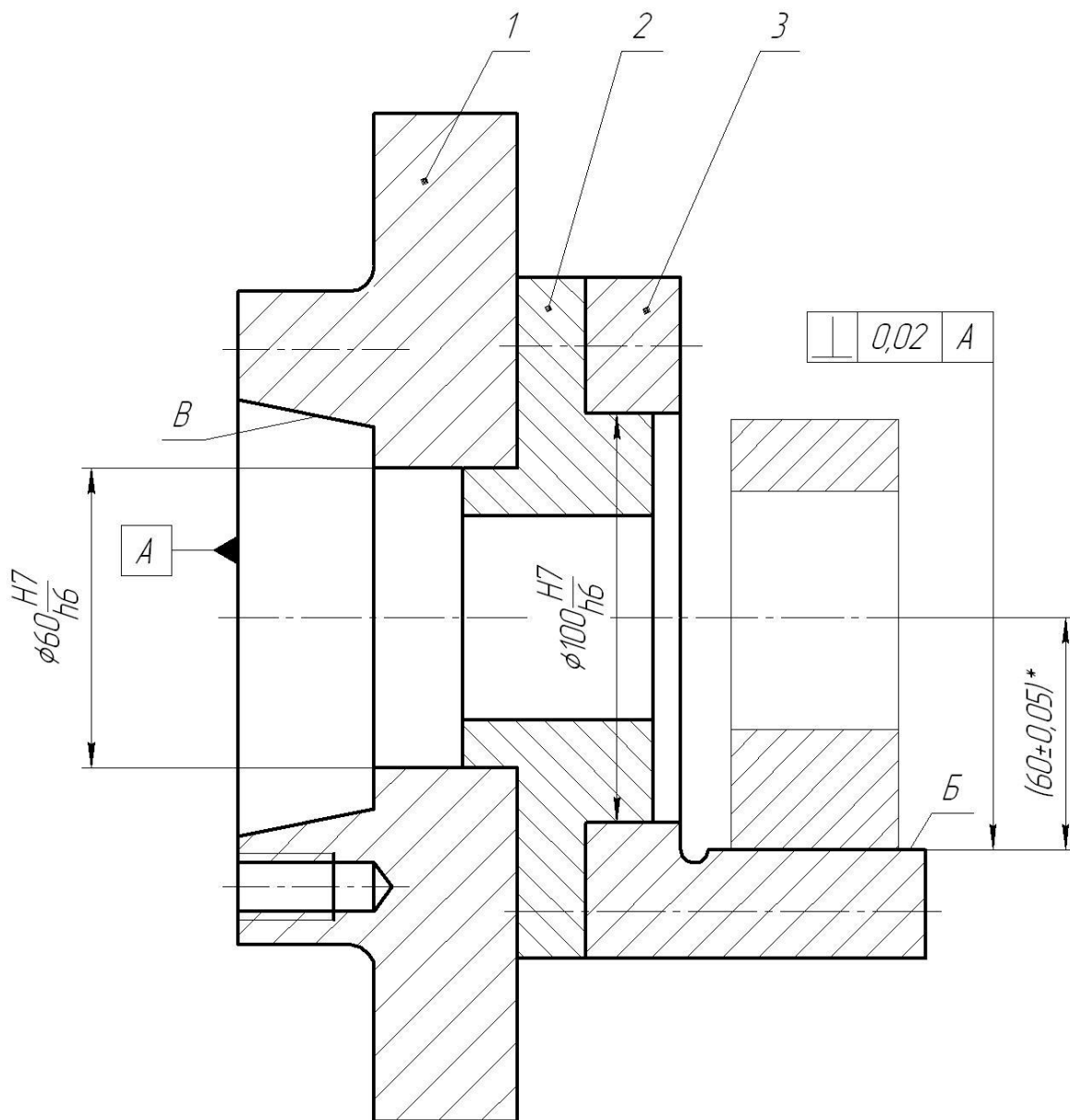
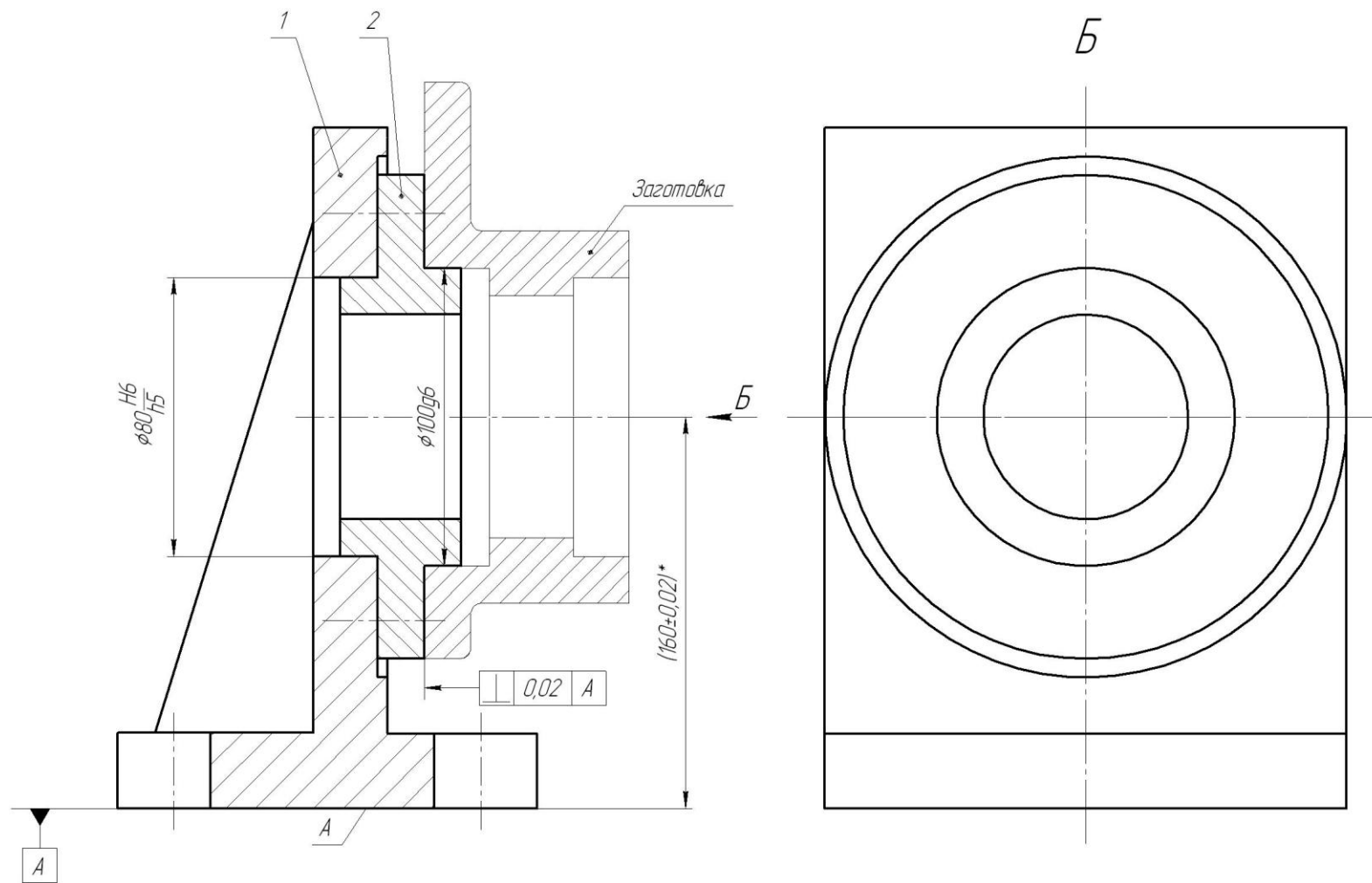


Рисунок 1.11 – Варіант 7 (кондукторний пристрій):
 1 – корпус; 2 – оправка; 3 – кондукторна втулка



**Відстань між віссю конічного отвору В площиною Б*

Рисунок 1.12 — Варіант 8 (пристрій токарний):
 1 — планшайба; 2 — фланець; 3 — кутник



*Відстань від площини А до осі поверхні $\phi 100g6$

Рисунок 1.13 – Варіант 9 (пристрій розточувальний):
1 – кутник; 2 – фланець

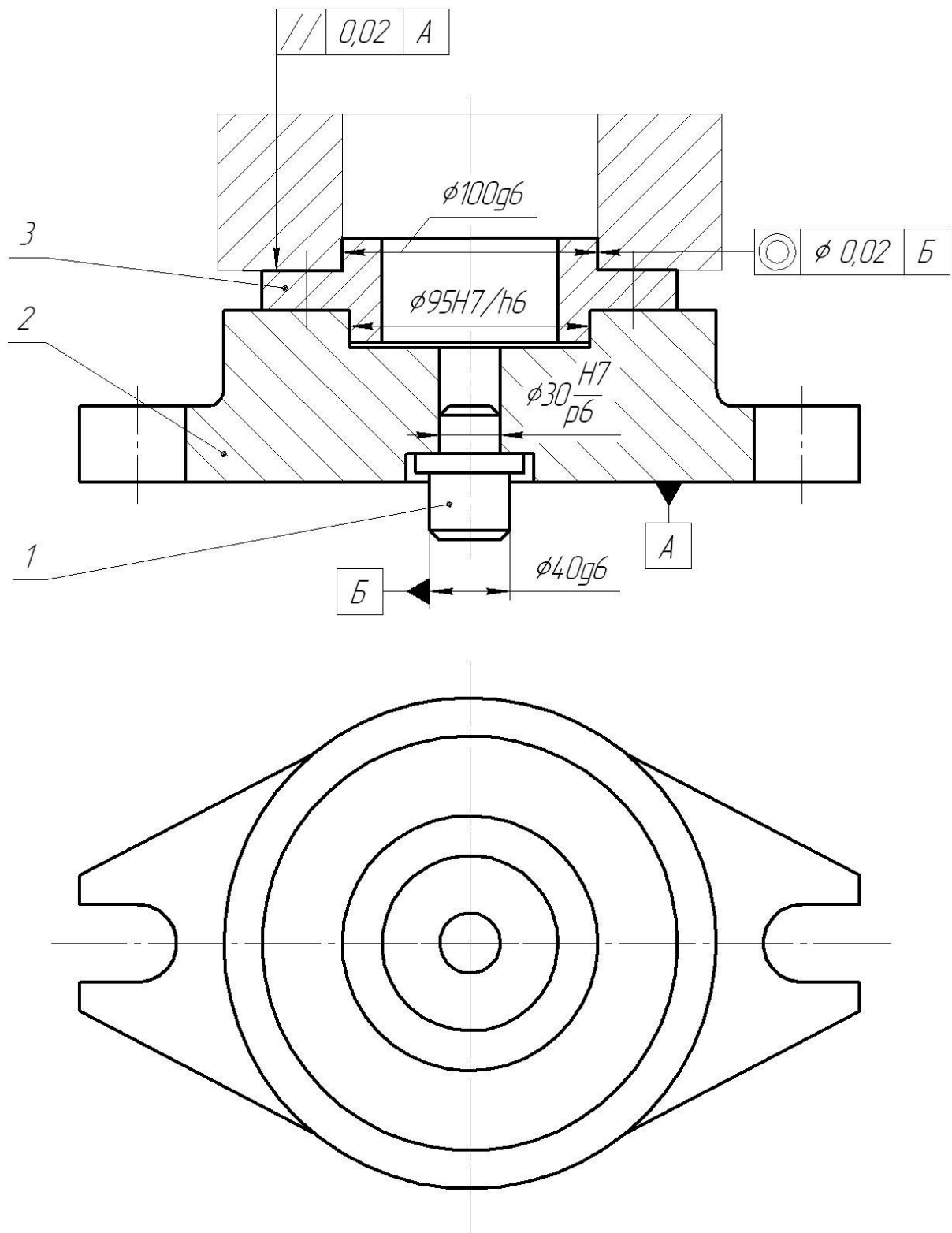


Рисунок 1.14 — Вариант 10 (пристрій свердлильний):
 1 – палець; 2 – корпус; 3 – фланець опорний

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

Відповідно до [3] у 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 або виробу й 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 (clamping) – прикладання сил чи пар сил до заготовки або до виробу для забезпечення постійності їхнього положення, досягнутого під час базування.

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

Усі бази, які використовуються в машинобудуванні, підпорядковані класифікації [3], 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.

Вимірювальна 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.

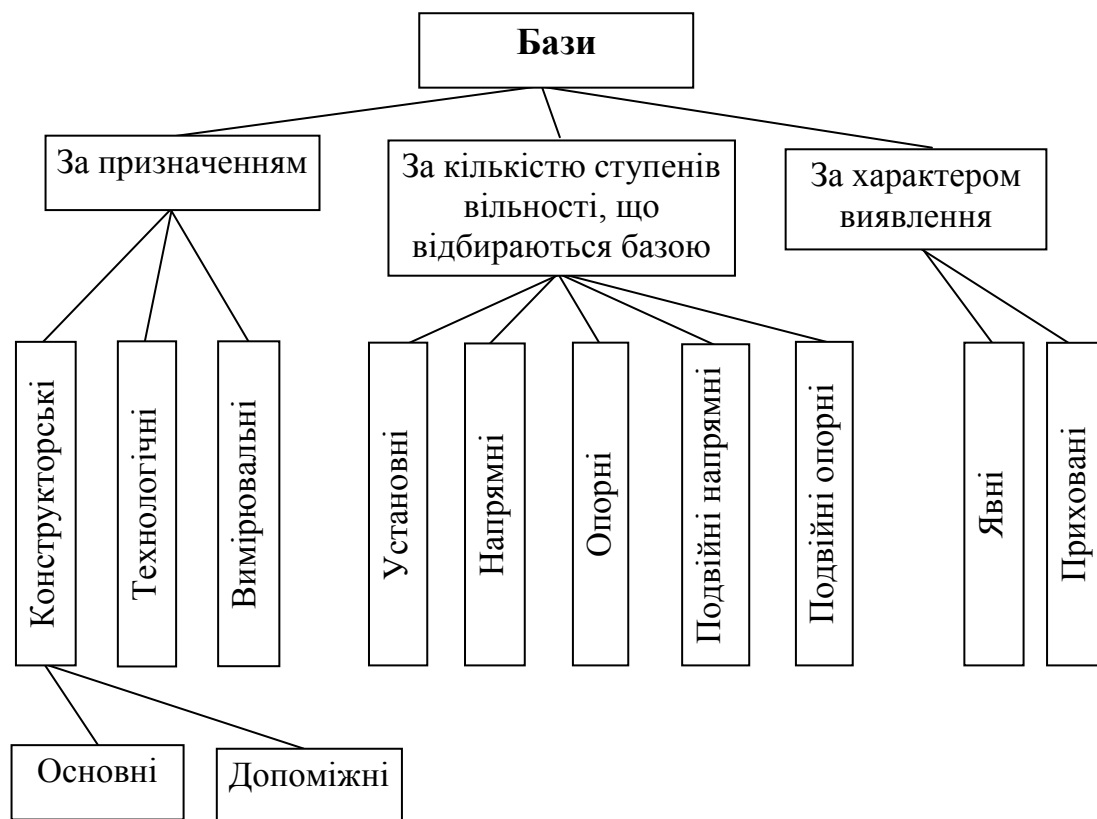


Рисунок 2.1 – Класифікація баз

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 – переміщень 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 у складальній одиниці чи заготовки у верстатному пристрої потрібно враховувати такі правила [2, 3].

Для повної орієнтації заготовки, деталі або складальної одиниці під час базування кількість опор та їхнього розташування мають бути такими, 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 й 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 (залежно від того, скільки опорних точок не вистачає до шести). Якщо відповідно 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 самовстановлюваних 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 корпусу підшипника (рис. 2.2).

Задані опорні точки потрібно 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 з 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 з шести можливих ступенів вільності.

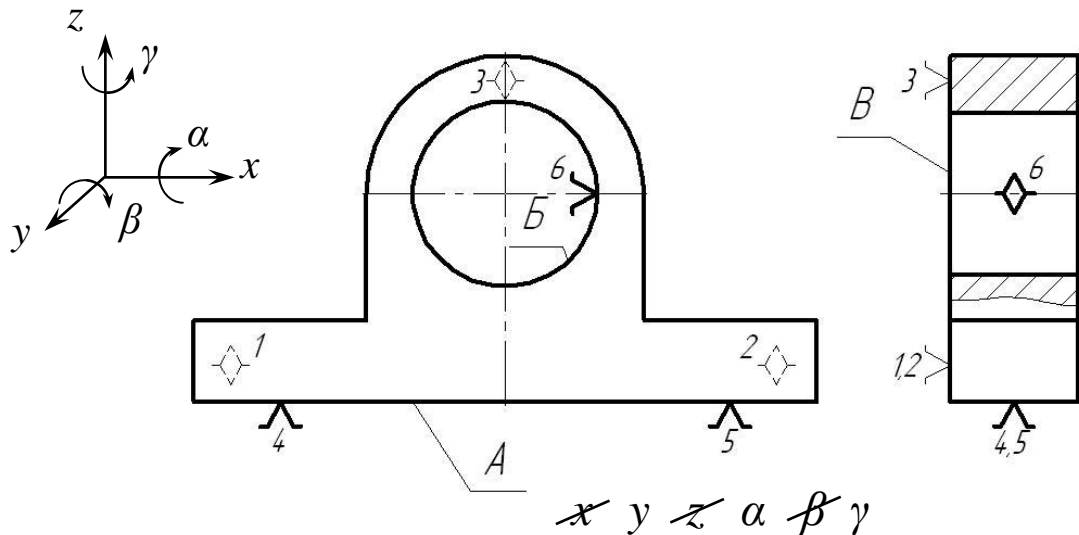


Рисунок 2.2 – Ескіз до прикладу виконання індивідуального завдання

Рухаючись уздовж осі x заготовка відірветься від опорної точки 6, і таким чином вона позбавлена цього ступеня вільності (для наочності це потрібно 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 4 і 5, 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 (залежно 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 .

Згідно з *правилом шести точок* для базування заготовки необхідно їй 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.

Під час конструювання виробів і проектування технологічних процесів їхнього виготовлення використовують такі комплекти технологічних баз:

- установна – напрямна – опорна;
- установна – подвійна опорна – опорна;
- подвійна напрямна – опорна – опорна.

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

За характером виявлення установні бази завжди є явними базами, а інші бази можуть бути як явними, так і прихованими.

У прикладі, що розглядається, з урахуванням розташування заданих опорних точок площина A є напрямною базою, поверхня отвору B – опорною базою. Необхідний комплект баз може бути реалізований, якщо, наприклад, площину B використати як 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:

- площина B – технологічна установна явна база;
- площина A – 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 й 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 точок.
7. У яких випадках може виникати невизначеність базування?
8. Для чого в конструкції верстатного пристрою можуть використовуватися підвідні або самовстановлювані опори?

2.6 Варіанти задач для індивідуальних завдань

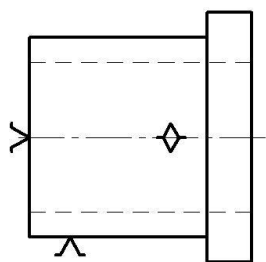
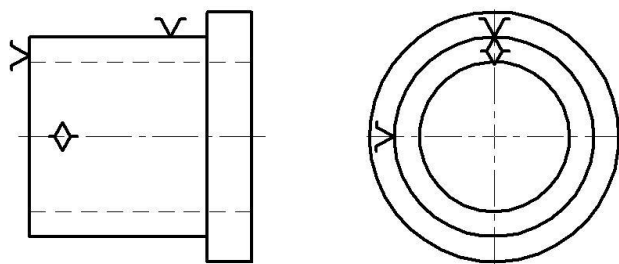


Рисунок 2.3 – Варіант 1

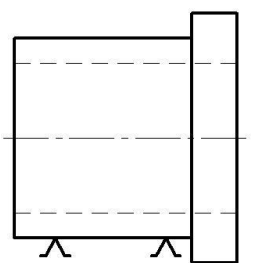
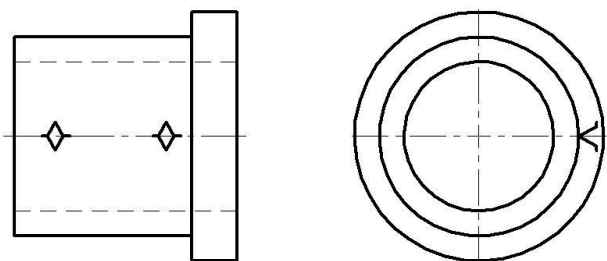


Рисунок 2.4 – Варіант 2

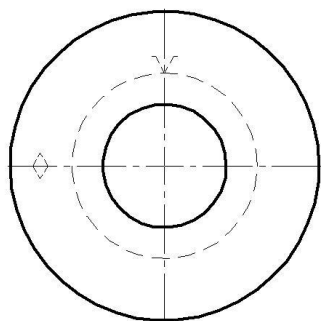
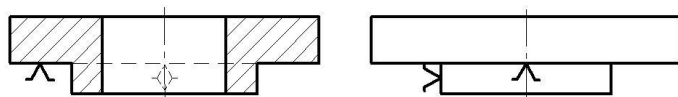


Рисунок 2.5 – Варіант 3

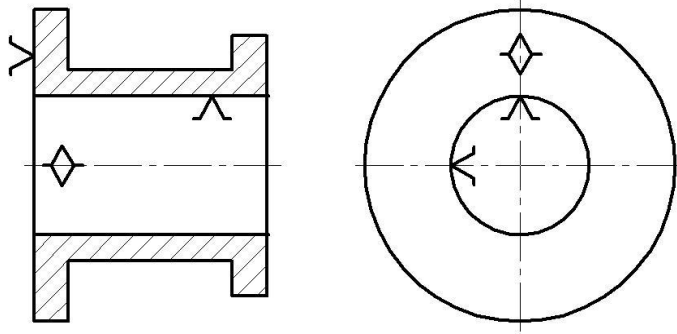


Рисунок 2.6 – Варіант 4

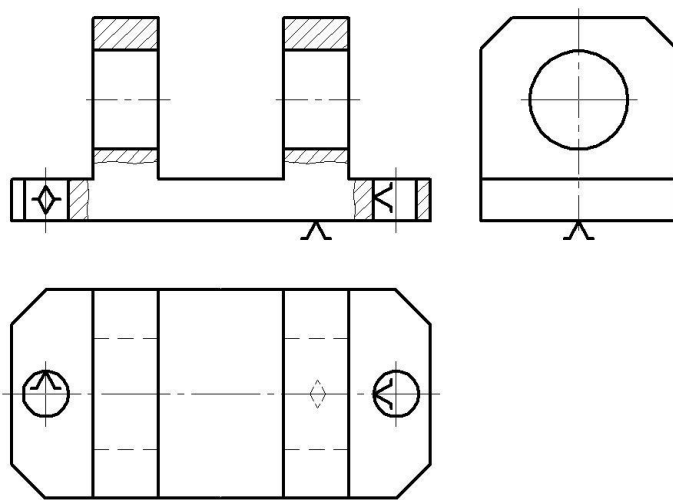


Рисунок 2.7 – Варіант 5

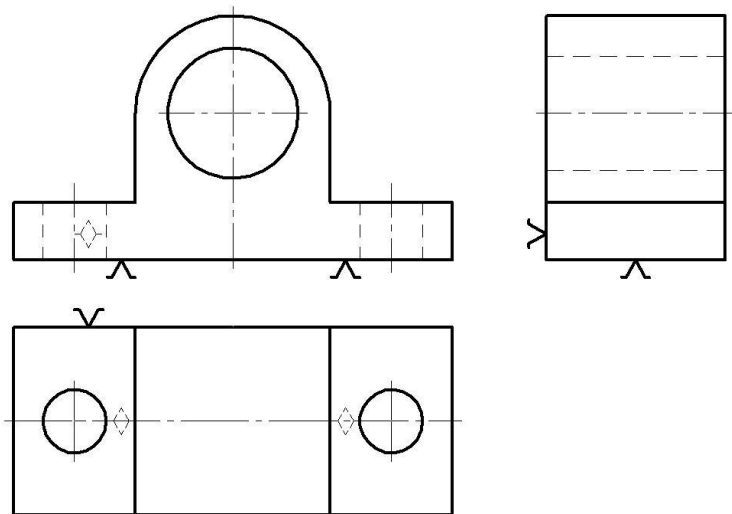


Рисунок 2.8 – Варіант 6

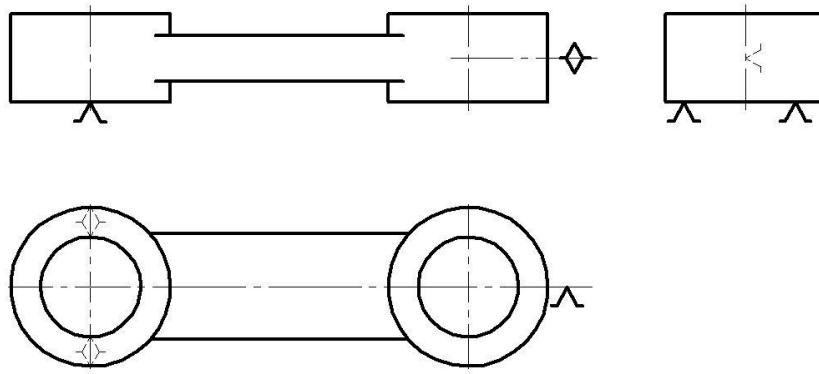


Рисунок 2.9 – Варіант 7

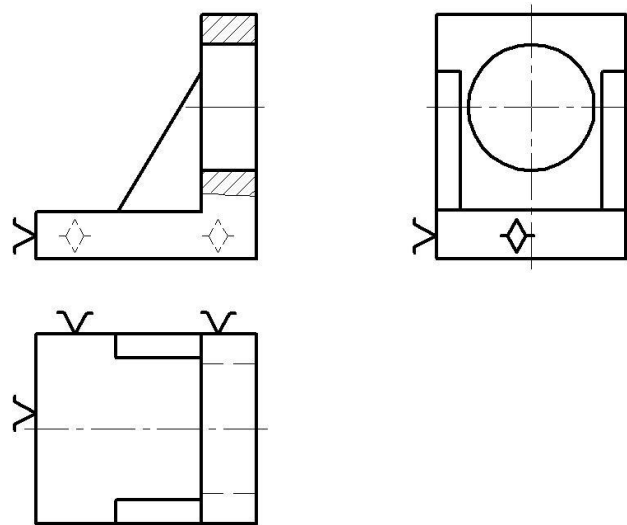


Рисунок 2.10 – Варіант 8

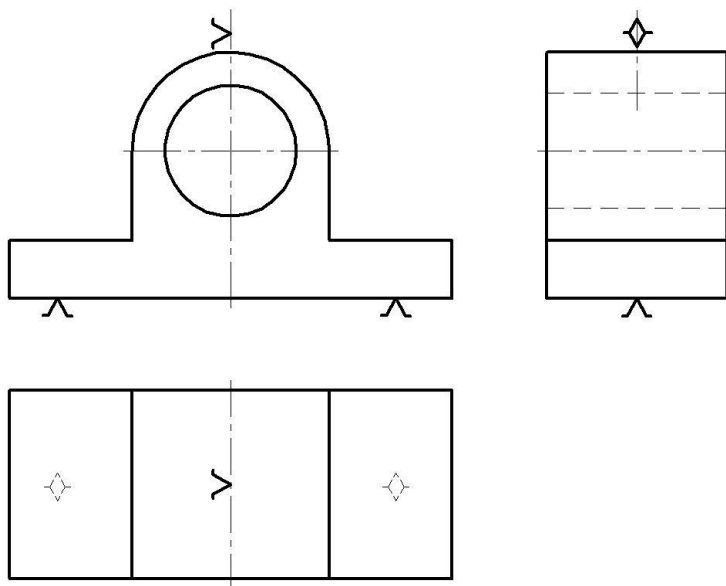


Рисунок 2.11 – Варіант 9

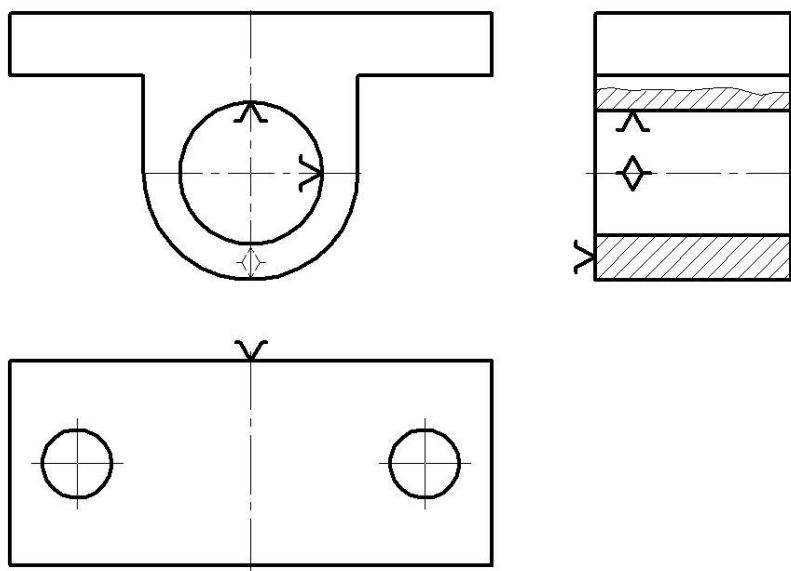


Рисунок 2.12 – Варіант 10

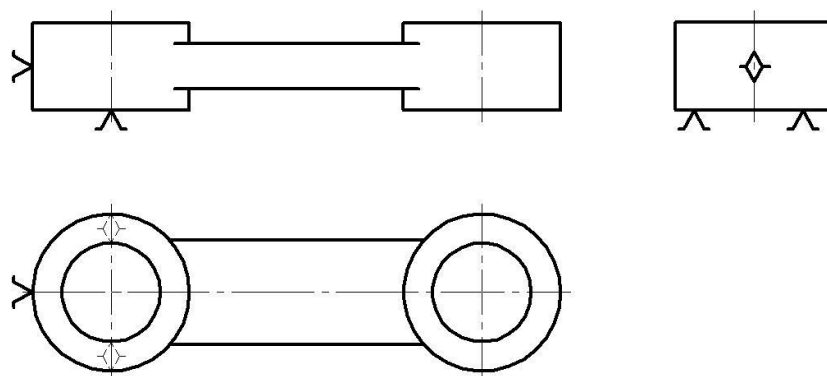


Рисунок 2.13 – Варіант 11

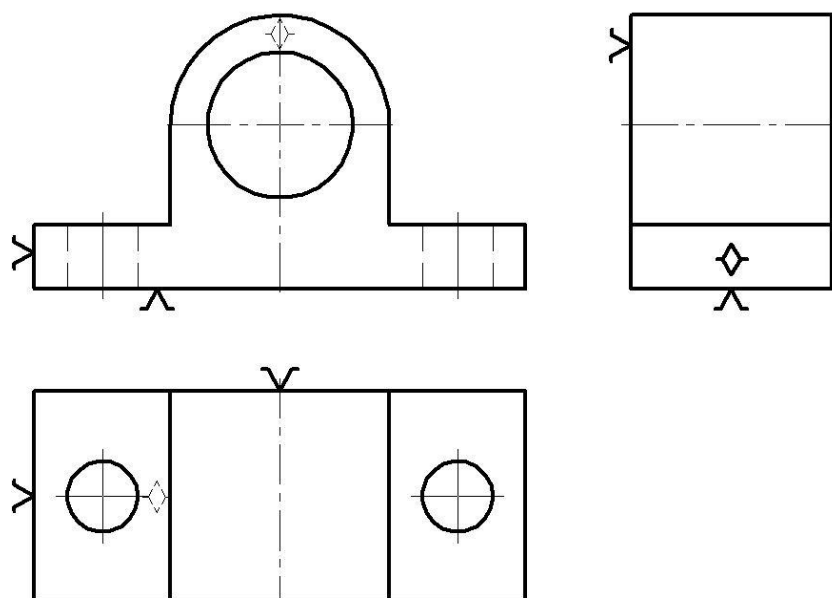


Рисунок 2.14 – Варіант 12

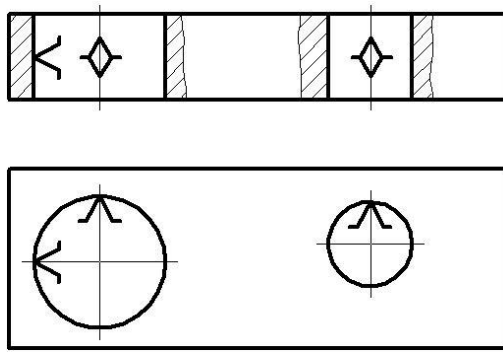


Рисунок 2.15 – Варіант 13

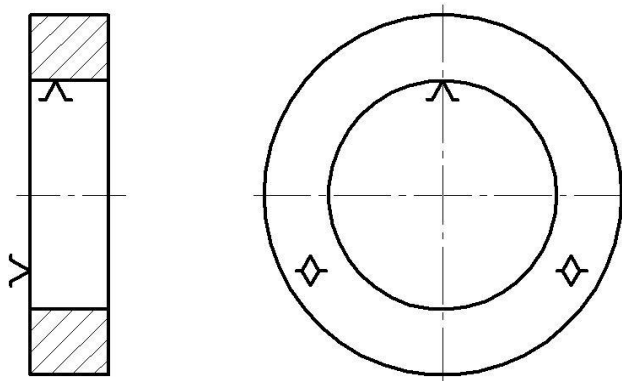


Рисунок 2.16 – Варіант 14

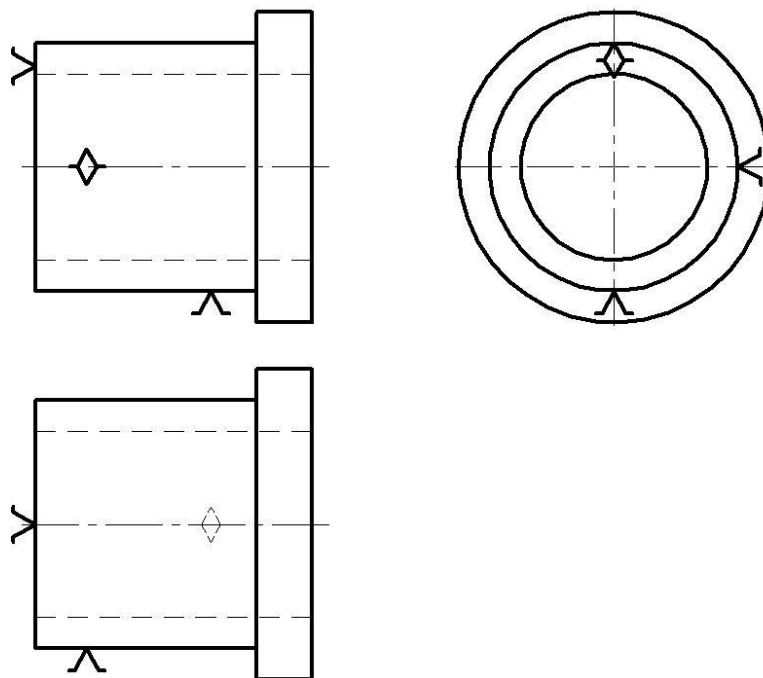


Рисунок 2.17 – Варіант 15

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

РОЗМІРНИЙ АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ

Мета заняття – набуття практичних навиків виконання розмірних розрахунків для забезпечення необхідної точності машин під час їхнього виготовлення.

3.1 Основні положення

Під час виготовлення машини мають бути забезпечені всі показники точності щодо відносного розташування певних поверхонь відповідно до технічних вимог, заданих складальним кресленням. Ефективним засобом розв'язання цієї задачі є розмірний аналіз.

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

У результаті виконання розмірного аналізу вибираються методи забезпечення точності всіх вихідних ланок машини й 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 з її службового призначення.

3.1.1 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 й 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. 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 й 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 в 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 .

3.1.2 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 їхніми осями або співвісності циліндричних поверхонь;

- кутовий розмірний ланцюг складається і розраховується у тому випадку, якщо необхідно забезпечити певне кутове положення поверхонь або їхніх 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.

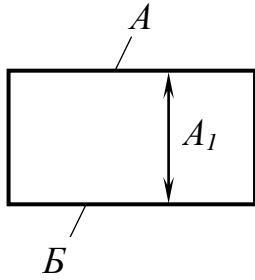
Розмірний аналіз виробу передбачає також вибір методу забезпечення точності вихідної ланки.

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.

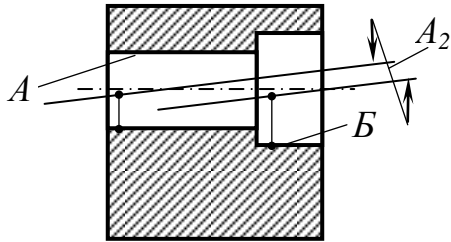
1. З урахуванням результатів аналізу службового призначення виробу призначають номінальні значення та граничні відхилення вихідних ланок усіх лінійних та кутових розмірних ланцюгів.

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 усі розмірні ланцюги.

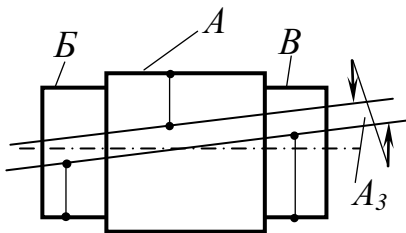
Умовні позначення ланок лінійних розмірних ланцюгів



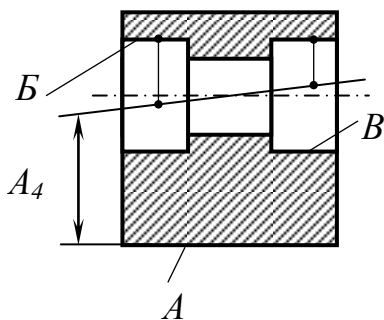
A_1 – відстань між площинами A і B



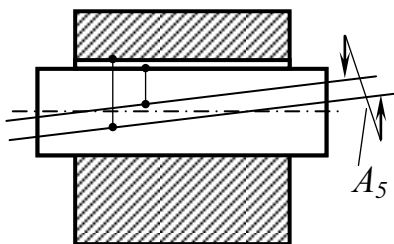
A_2 – відстань між осями отворів A і B



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

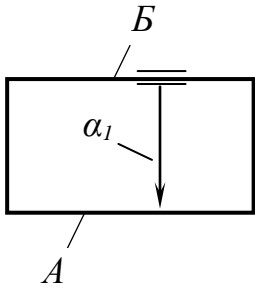


A_4 – відстань між площиною A та спільною віссю поверхонь B і B

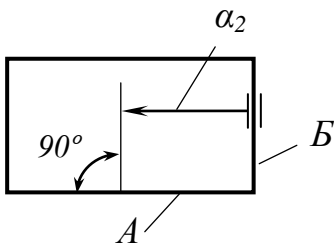


A_5 – відстань між осями вала та отвору

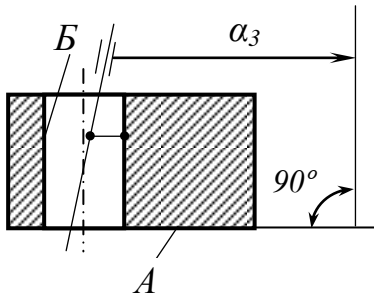
Умовні позначення ланок кутових розмірних ланцюгів



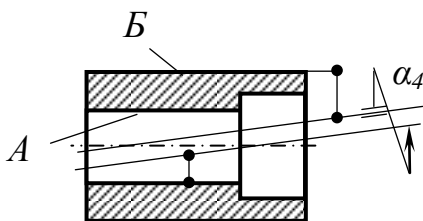
α_1 – кут повороту площини *Б* відносно площини *А* (при номінальному паралельному розташуванні площин *А* та *Б*)



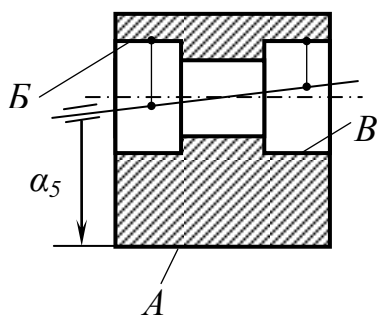
α_2 – кут повороту площини *Б* відносно площини *А* (при номінальному перпендикулярному розташуванні площин *А* і *Б*)



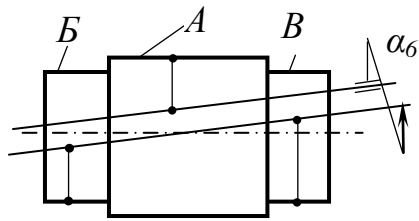
α_3 – кут повороту осі отвору *Б* відносно площини *А*



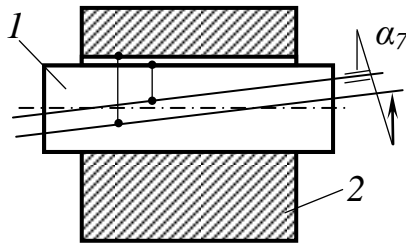
α_4 – кут повороту осі зовнішньої циліндричної поверхні *Б* відносно осі отвору *А*



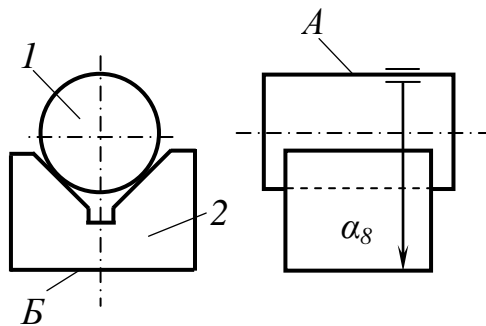
α_5 – кут повороту спільної осі отворів *Б* і *В* відносно площини *А*



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 потрібно 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.

3. На всі складові ланки розмірних ланцюгів призначають (з урахуванням особливостей конструкції деталі та умов її виготовлення) економічно доцільні допуски. Призначаючи допуски деталей виробу, потрібно 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, у [5, 6].

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

$$T(A_i) = \Delta_{\max}. \quad (3.1)$$

Для ланки кутового розмірного ланцюга

$$T(\alpha_i) = \arctg \Delta_{\max} / L_3 . \quad (3.2)$$

У формулах (3.1) і (3.2) $\Delta_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$ – це максимальний зазор у з'єднанні, мм; L_3 – довжина з'єднання, мм; D_{\max} і d_{\min} – відповідно найбільший діаметр отвору й найменший діаметр вала, мм.

4. Далі проводять розрахунок розмірних ланцюгів, який потрібно 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

$$\delta(A_\Sigma) = \sum_1^{n-1} T_i , \quad (3.3)$$

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

$$T(\alpha_i)_к = \arctg (T(\alpha_i)_л / L_{н_i}) , \quad (3.4)$$

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

$T(\alpha_i)_л$ – допуск i -ї ланки в лінійній мірі, мм;

$L_{н_i}$ – довжина поверхні, положення якої нормується допуском $T(\alpha_i)_л$, мм.

Розглянемо приклад такого перерахунку. Припустимо, що необхідно перерахувати допуск ланки α_1 (рис. 3.1) з лінійної міри в кутову.

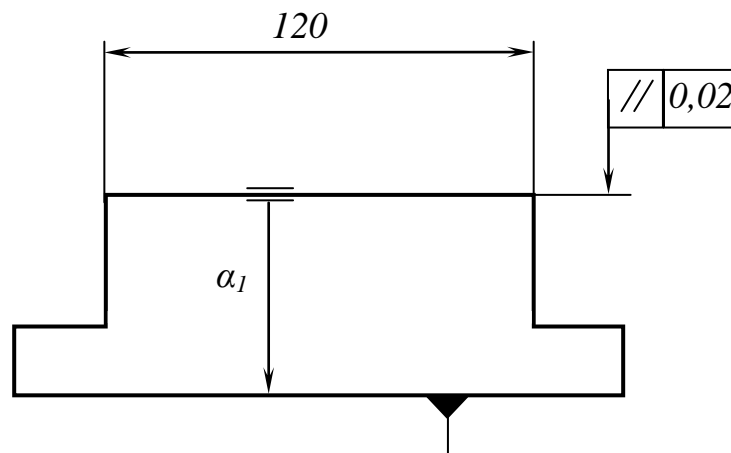


Рисунок 3.1 – До прикладу перерахунку допуску ланки кутового розмірного ланцюга з лінійної міри в кутову

За формулою (3.4) знаходимо

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

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 (3.2).

Значення $\delta(A_\Sigma)$, отримане в результаті розрахунку за формулою (3.3), потрібно 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

$$\frac{\delta(A_\Sigma)}{T(A_\Sigma)} = 0,8 \dots 1. \quad (3.5)$$

Якщо вдається забезпечити співвідношення (3.5) з прийнятими допусками складових ланок, то переходять до п. 5.

Якщо ж виявиться, що для забезпечення умови (3.5) потрібні технологічно недосяжні або економічно недоцільні допуски складових ланок, то варто спробувати використати метод неповної взаємозамінності.

У цьому випадку поле розсіювання ланки замикання

$$\delta(A_\Sigma) = t \sqrt{\sum_1^{n-1} (\lambda_i T_i)^2}, \quad (3.6)$$

де t – коефіцієнт, що залежить від відсотка ризику появи браку P ;

λ_i – коефіцієнт відносного розсіювання i -ї складової ланки.

Кількісне значення коефіцієнта t залежно від прийнятого відсотка ризику можна визначити за табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – 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

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

Коефіцієнти λ_i за даними [6] 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 отримуються 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 законові Релея. У цьому випадку $\lambda_i = 0,38$.

Таким чином, вибравши значення T і λ для кожної зі складових ланок та задавшись відсотком ризику, за формулою (3.6) знаходять $\delta(A_\Sigma)$ і порівнюють його з $T(A_\Sigma)$.

Якщо виявиться, що й при використанні методу неповної взаємозамінності виконати умову (3.5) 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.

5. Після остаточного вибору допусків деталей вузла та методу забезпечення точності вихідної ланки під час складання потрібно за допомогою формул теорії розмірних ланцюгів [6] визначити номінальні значення розмірів деталей та їхні верхні й нижні граничні відхилення.

3.2 Порядок виконання індивідуального завдання

1. Отримати від викладача варіант завдання у вигляді складального креслення виробу.

2. Проаналізувати конструкцію виробу й виконати його розмірний аналіз відповідно до п. 3.1.2.

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.

3.3 Приклад виконання індивідуального завдання

У токарному пристрої (рис. 3.2) заготовка $б$ встановлюється на оправку 5 (на коротку циліндричну поверхню й торець). Заготовка закріплюється за допомогою затискачів (на схемі не показані). На шпindel 1 токарного верстата пристрій встановлюється, базуючись на короткий конічний отвір (база A) і торець фланця 2 (база B).

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 $\text{Ø}60f7$ оправки 5 відносно конічного отвору фланця 2 (база A) – $0,04$ мм;

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

На схемі пристрою покажемо розмірні ланцюги – лінійний та кутовий.

Таким чином, вихідною ланкою A_{Σ} лінійного розмірного ланцюга є відстань між осями конічного отвору (основна конструкторська база пристрою загалом 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 поверхні $\varnothing 200p6$ (допоміжна конструкторська база фланця 2);

A_2 – відстань між осями отвору $\varnothing 200H7$ зі сторони фланця 2 у 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 поверхні $\varnothing 200p6$ фланця 4 (основна конструкторська база) та отвору $\varnothing 60H7$ (допоміжна конструкторська база);

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

A_5 – відстань між осями поверхні $\varnothing 60n6$ (основна конструкторська база) та поверхні $\varnothing 60d7$ (допоміжна конструкторська база оправки 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 загалом, так і фланця 2).

Складовими ланками кутового розмірного ланцюга є кути поворотів конструкторських допоміжних баз деталей пристрою відносно їхніх 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 [5] 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 (3.1) як максимальний зазор у з'єднанні $\text{Ø}60H7/n6$. 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 (3.3) 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 (3.5) 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 табл. 3.1).

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 (3.6) визначаємо поле розсіювання вихідної ланки

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

Оскільки $\delta(A_{\Sigma})$ ненабагато перевищує $T(A_{\Sigma})$, то для забезпечення вимоги (3.3) зменшимо допуск співвісності поверхонь оправки 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 (3.4) отримаємо $\delta(A_{\Sigma}) = 0,039$ мм.

Таким чином, вимога (3.5) 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 (указані в знаменнику), що унормовуються цими ланками, отримаємо:

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

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

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

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

Визначимо допуски складових ланок у кутовій мірі:

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

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

Допуск вихідної ланки в кутовій мірі

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

Поле розсіювання вихідної ланки за умови використання методу повної взаємозамінності згідно з (3.3) становитиме

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

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 становитиме

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

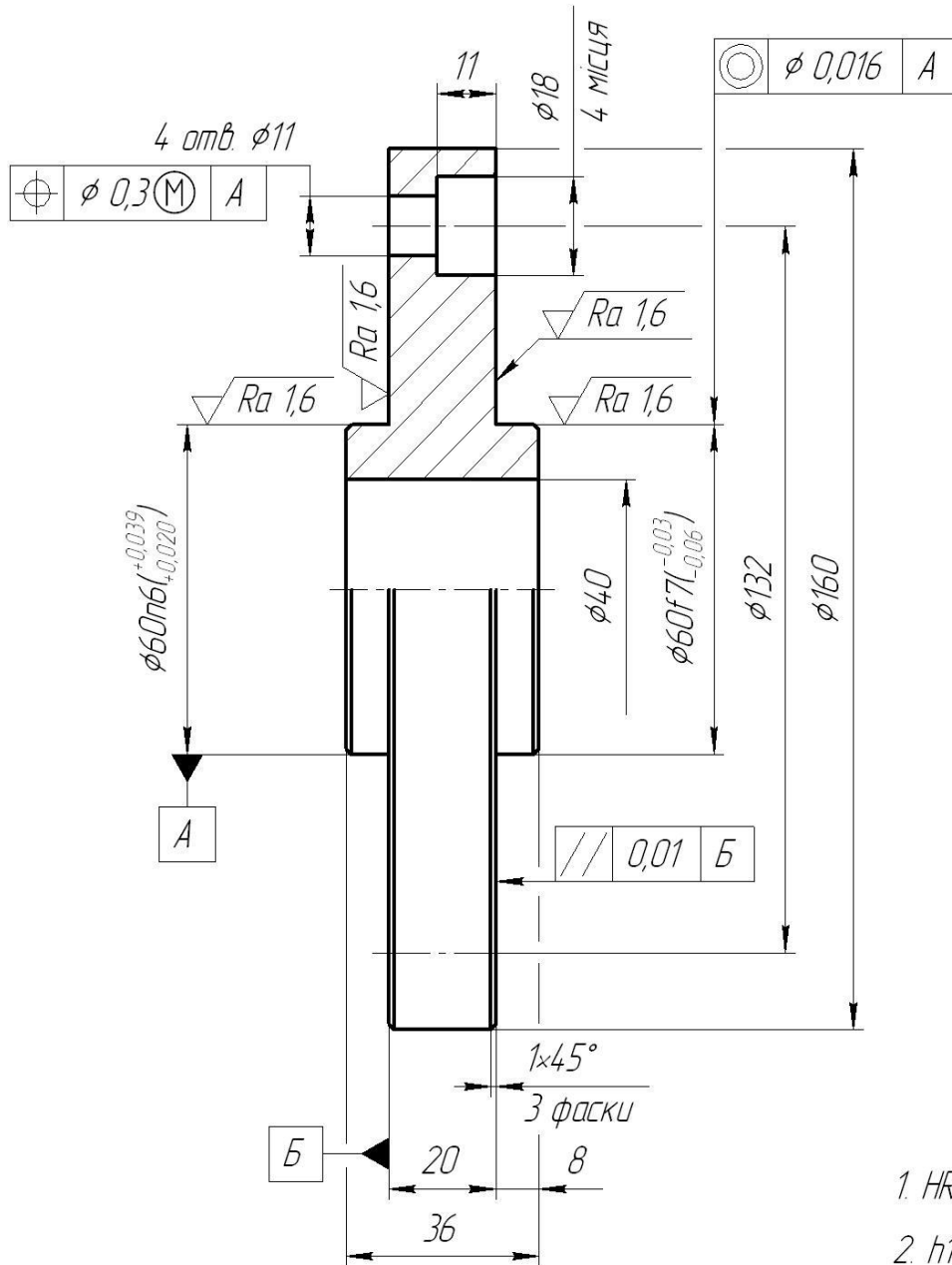
Вимога (3.5) виконується, тому що

$$\delta_k(\alpha_\Sigma) / T_k(\alpha_\Sigma) = 8,5 \cdot 10^{-3} / 10,7 \cdot 10^{-3} = 0,8.$$

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

На рис. 3.3 показаний ескіз деталі токарного пристрою (оправки 5), виконаний з урахуванням вимог точності до цієї деталі, отриманих у результаті виконання розмірного аналізу.

$\sqrt{Ra\ 6,3\ (\sqrt{1})}$



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

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

Рисунок 3.3 – Ескіз оправки

3.3 Зміст звіту

1. Найменування та 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 й усіх показників точності складових ланок.
4. Ескіз однієї з деталей виробу, виконаний з урахуванням вимог точності, отриманих у результаті розмірного аналізу.

3.5 Питання для самоконтролю

1. Що таке розмірний ланцюг?
2. Які параметри можуть бути ланками розмірного ланцюга?
3. Мета й 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 у результаті виконання розмірного аналізу?

3.6 Варіанти задач для індивідуальних завдань

Як варіанти завдань можуть бути використані конструктивні схеми верстатних пристроїв, наведені у п. 1.6 цього практикуму, або інші схеми чи складальні креслення, запропоновані викладачем.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ БАЗУВАННЯ

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

4.1 Основні положення

Відповідно до [3] *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 отримуваного 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 та 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, а якщо обробляється циліндрична поверхня, – то з її віссю. Тобто нехтують іншими похибками механічної обробки. За такого припущення похибку базування визначають як поле розсіювання ланки замикання.

Складовими ланками (**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 ймовірнісний метод.

Для наочності розмірний ланцюг будують так, щоб його ланки розташовувались паралельно розміру, на який визначається похибка базування. Ланки позначають великими буквами української абетки 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 у процесі механічної обробки безпосередньо під час виконуваної операції, і тому буде займати в усіх заготовках партії одне й 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.

4.2 Порядок виконання індивідуального завдання

1. Проаналізувавши операційний ескіз, указати 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.

4.3 Приклад виконання індивідуального завдання

Розглянемо приклад визначення похибки базування. Операційний ескіз, який відповідає прикладу, показано на рис. 4.1.

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: $\varepsilon_{\varnothing 20}$; ε_{60} ; ε_{20} і ε_{30} .

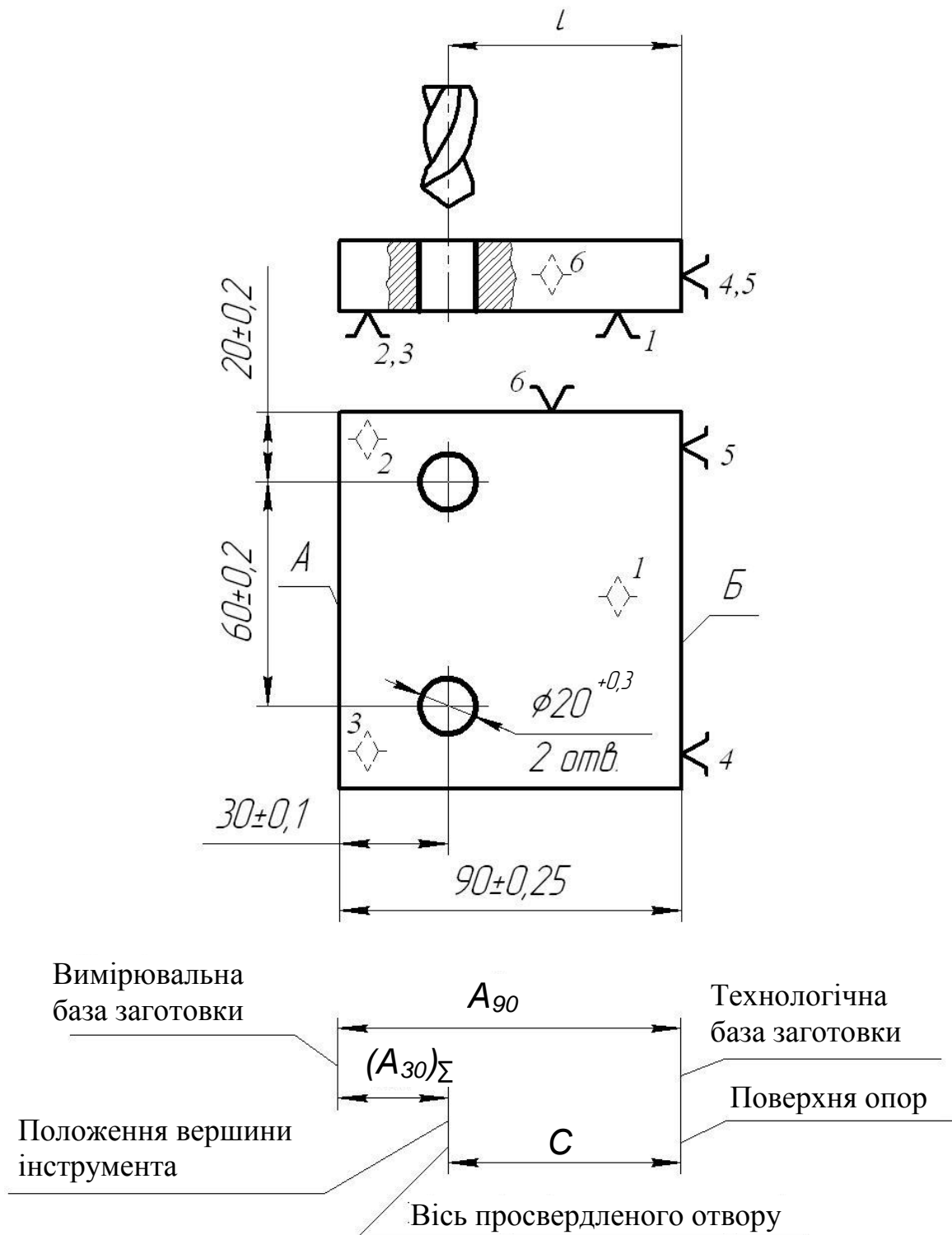


Рисунок 4.1 – До прикладу визначення похибки базування

Визначимо похибку базування на кожний розмір:

$\varepsilon_{\bar{\phi}20} = 0$, оскільки розмір $\phi 20$ мм є діаметральним;

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

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

$\varepsilon_{\bar{b}_{30}} \neq 0$, оскільки у цьому 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 зі 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 буквою 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 становитиме

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

Відповідно до викладеного вище, вважаючи, що $T(C) = 0$, остаточно отримаємо

$$\varepsilon_{\bar{b}_{30}} = 0,5 + 0 = 0,5 \text{ мм.}$$

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 $\varepsilon_{\bar{b}_{30}} = 0$, оскільки виконуватиметься принцип суміщення баз.

4.4 Зміст звіту

1. Найменування та 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 забезпечують цю відсутність.
4. Розмірний ланцюг і рівняння для визначення похибки базування з їхнім розв'язанням.
5. Операційний ескіз із новою схемою базування, яка забезпечує відсутність похибки базування на всі розміри, отримувані під час виконання операції.

4.5 Питання для самоконтролю

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

4.6 Варіанти задач для індивідуальних завдань

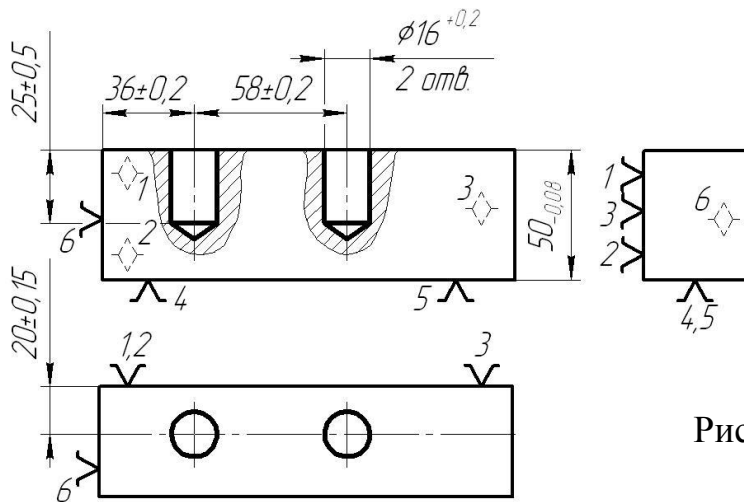


Рисунок 4.2 – Варіант 1

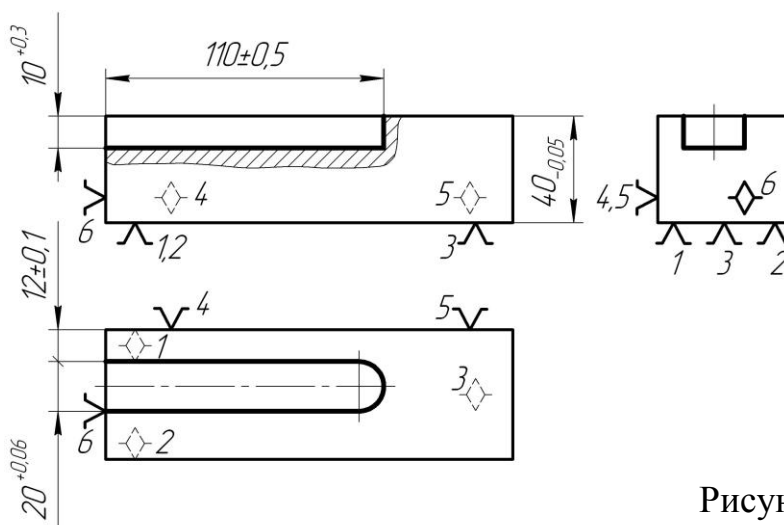


Рисунок 4.3 – Варіант 2

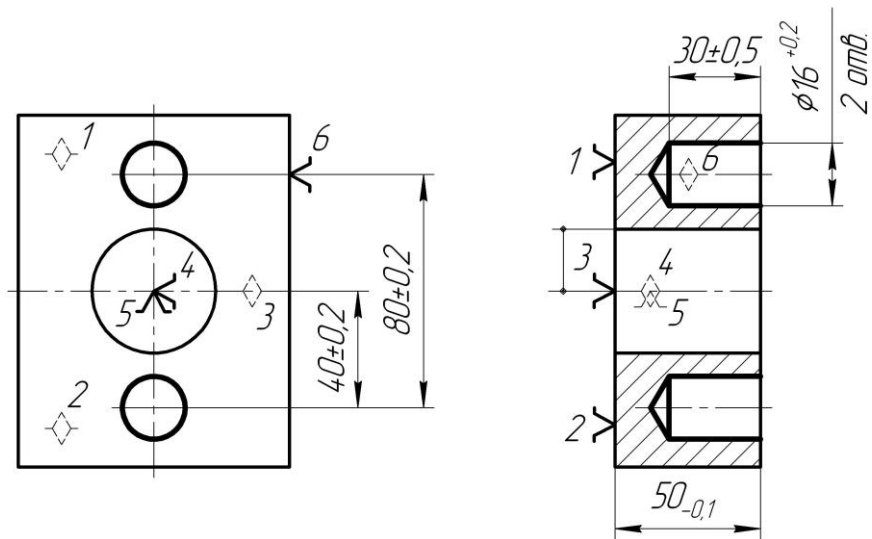


Рисунок 4.4 – Варіант 3

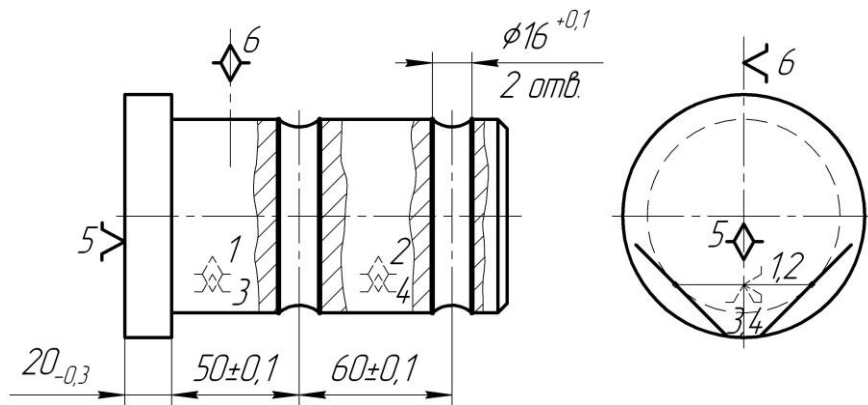


Рисунок 4.5 – Варіант 4

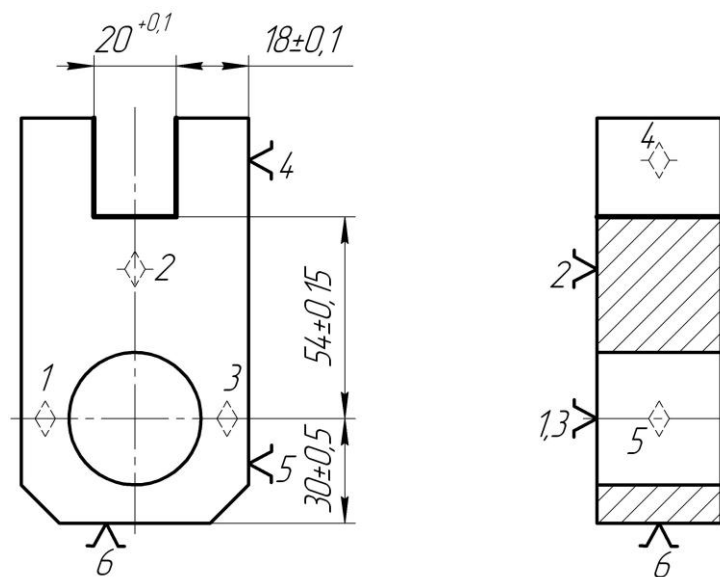


Рисунок 4.6 – Варіант 5

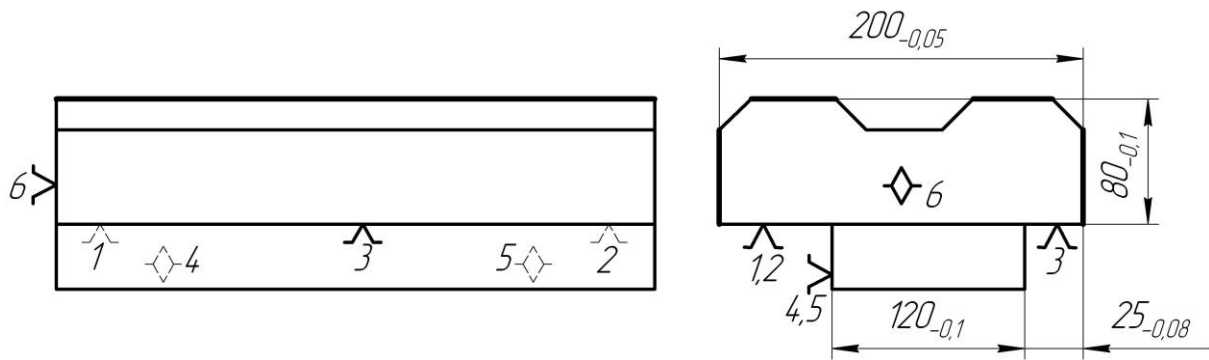


Рисунок 4.7 – Варіант 6

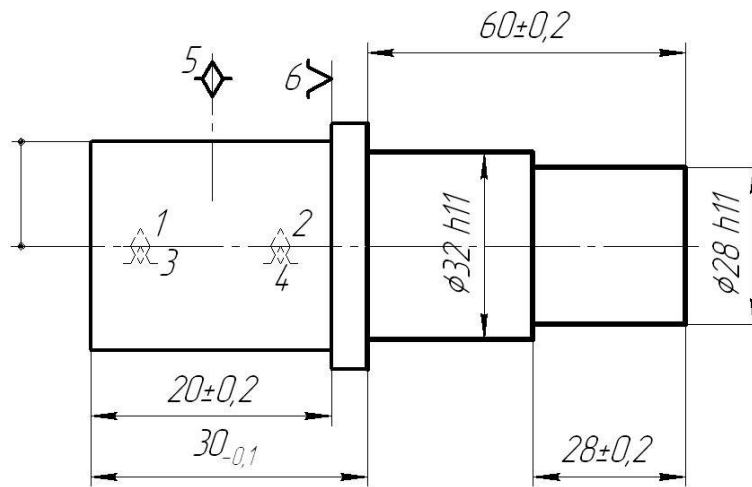


Рисунок 4.8 – Варіант 7

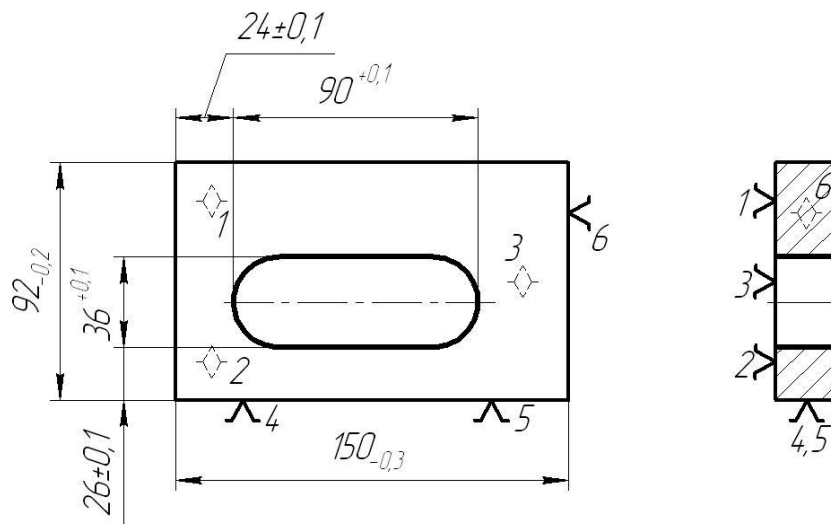


Рисунок 4.9 – Варіант 8

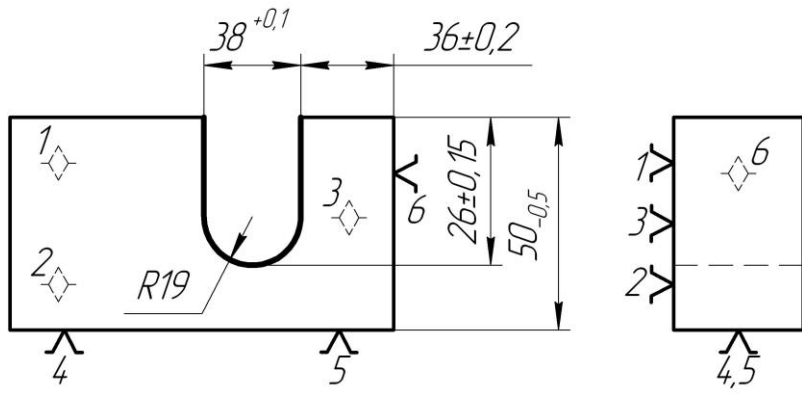


Рисунок 4.10 – Варіант 9

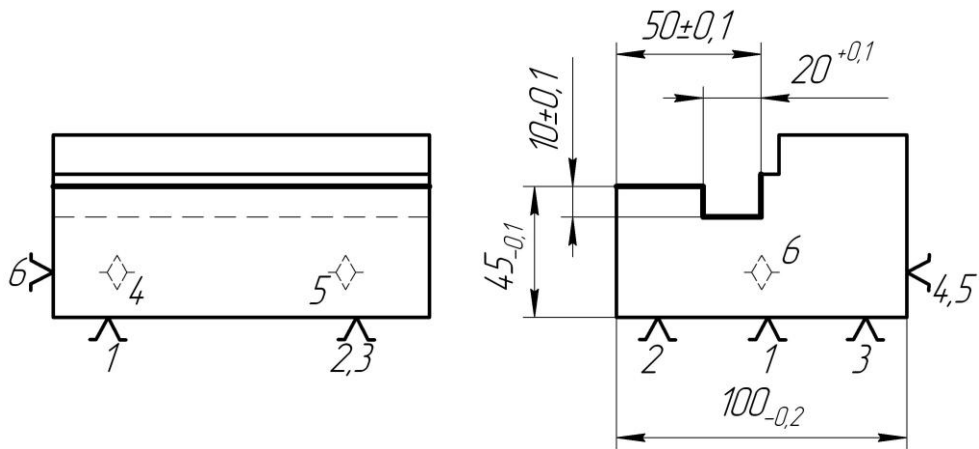


Рисунок 4.11 – Варіант 10

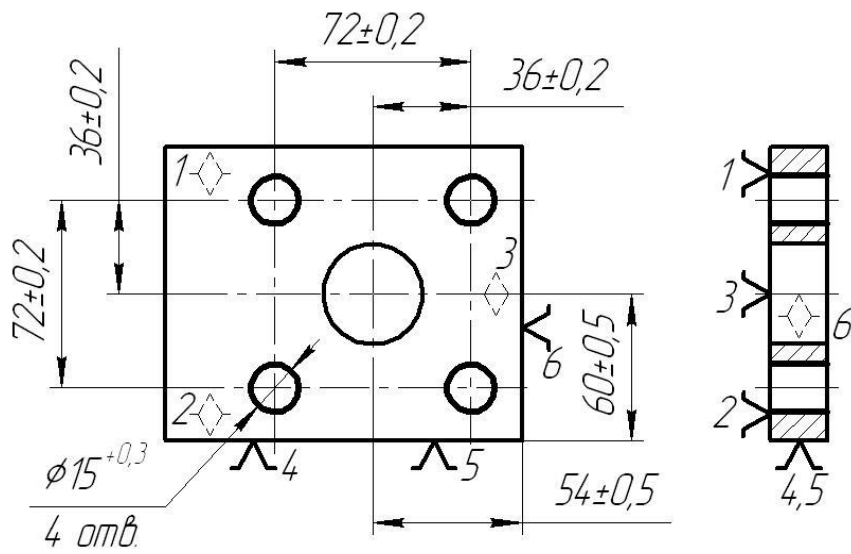


Рисунок 4.12 – Варіант 11

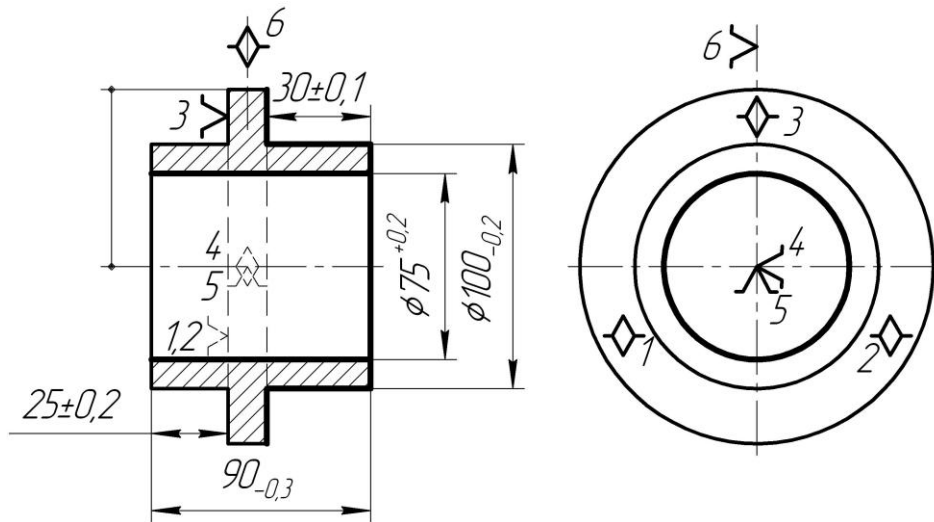


Рисунок 4.13 – Варіант 12

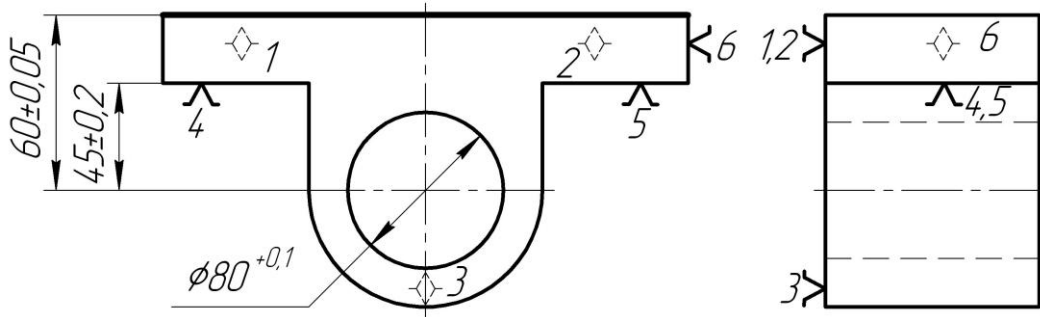


Рисунок 4.14 – Варіант 13

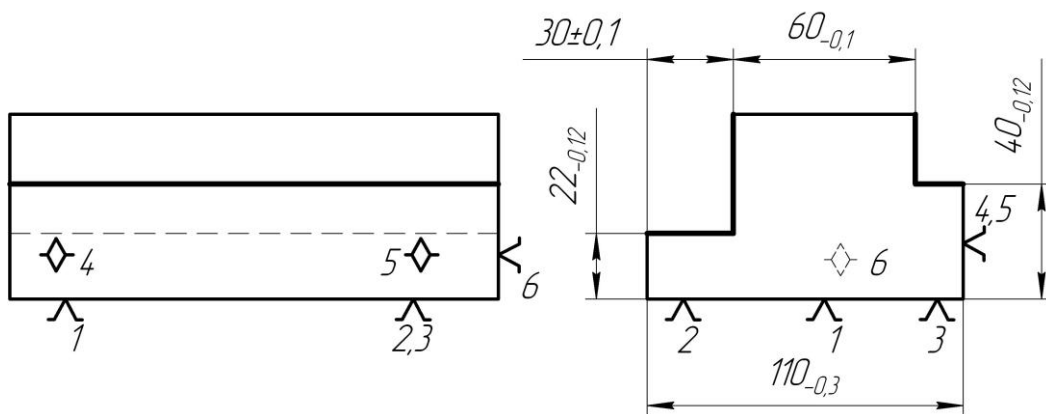


Рисунок 4.15 – Варіант 14

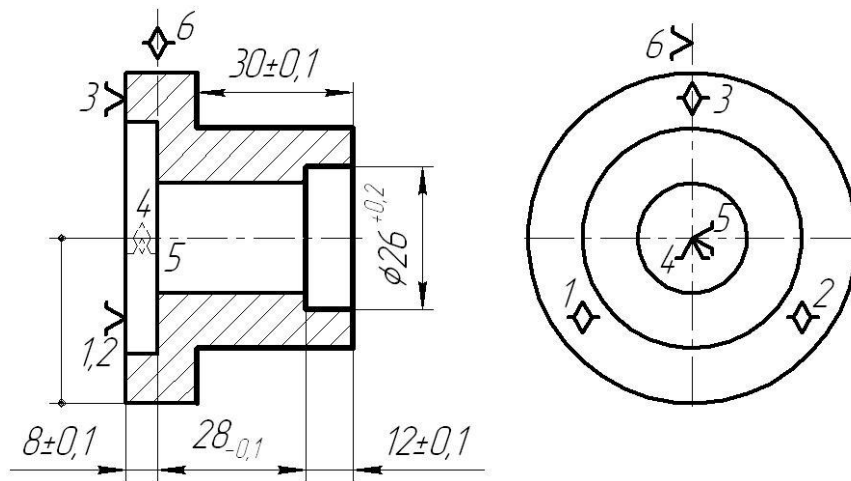


Рисунок 4.16 – Варіант 15

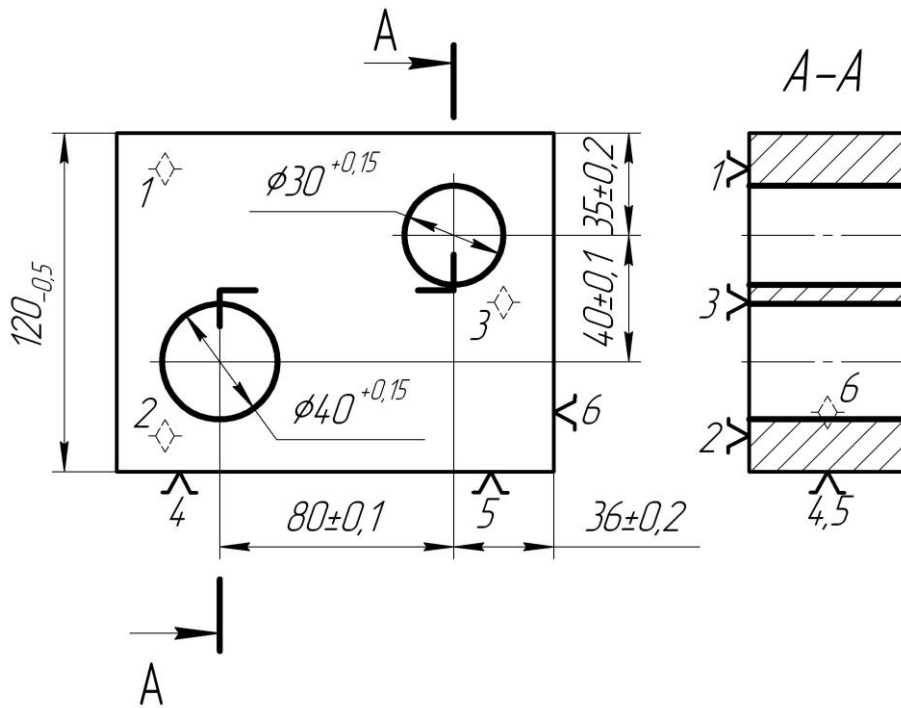


Рисунок 4.17 – Варіант 16

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5
ВИБІР СХЕМИ БАЗУВАННЯ
ДЛЯ ОПЕРАЦІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

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

5.1. Основні положення й рекомендації до виконання роботи

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

На запропонованому до розгляду операційному ескізі показано 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 здійснюється з *одного установа*.

Виконуючи завдання, потрібно 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 й кутові) між поверхнями за умови, що ці поверхні оброблені на одному установі заготовки.

Вибираючи схему базування, потрібно намагатися забезпечувати принцип суміщення баз із урахуванням таких рекомендацій:

- якщо вимірювальною базою є площа, довжина й ширина якої приблизно такі ж, як габаритні розміри базованої заготовки, то ця площа може використовуватись як технологічна *установна база*;

- якщо за вимірювальну базу вибрана довга й 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 прямна 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 задано найжорсткіші для даної операції вимоги точності.

5.2 Порядок виконання завдання

1. Уважно проаналізувати заданий ескіз механічної обробки й 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 з вибору технологічних баз на прикладі задачі за варіантом 1 (п. 5.6).

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 *A*) і лівого торця.

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

Оскільки зовнішня циліндрична поверхня достатньо довга, а допуски перпендикулярності й співвісності суттєво менші, ніж допуск розміру $80_{-0,5}$ мм, то вісь згаданої поверхні використаємо як подвійну напрямну базу, а лівий торець – як опорну базу. Шостий ступінь вільності в заготовці 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 $80_{-0,5}$ мм, а також на вимоги перпендикулярності й 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.

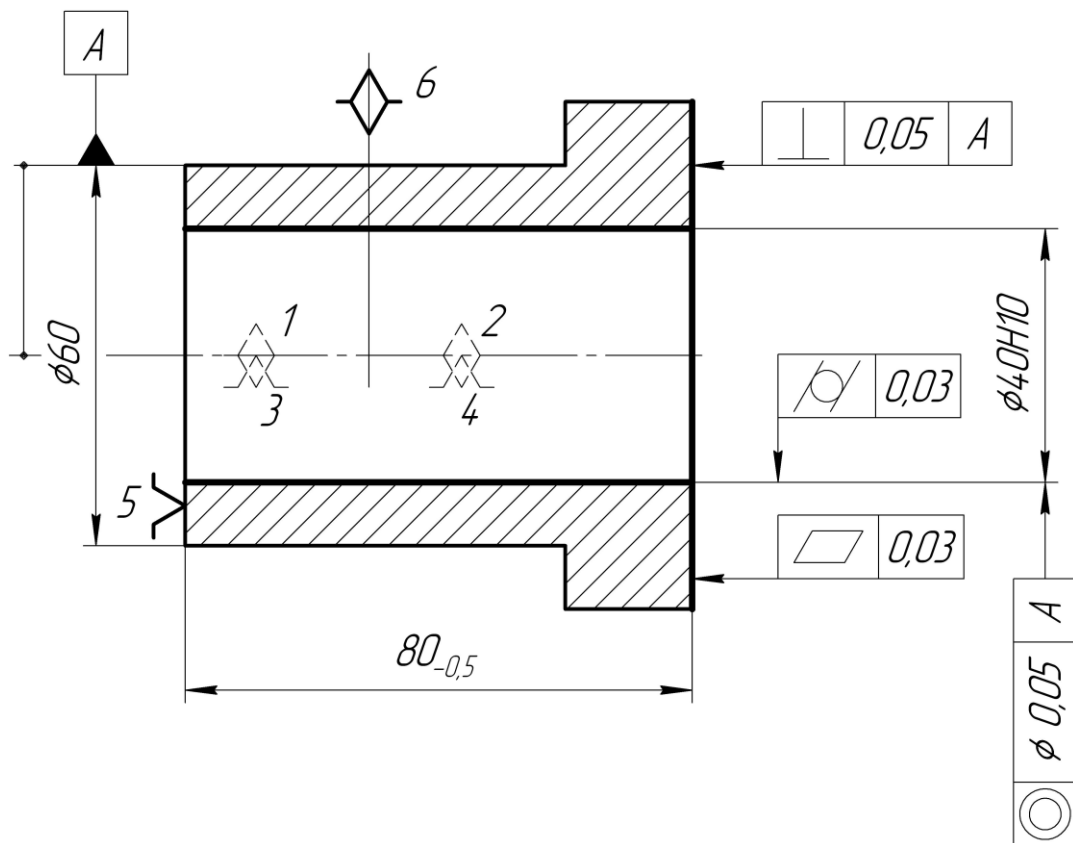


Рисунок 5.1 – Операційний ескіз з вибраною схемою базування

5.4 Зміст звіту

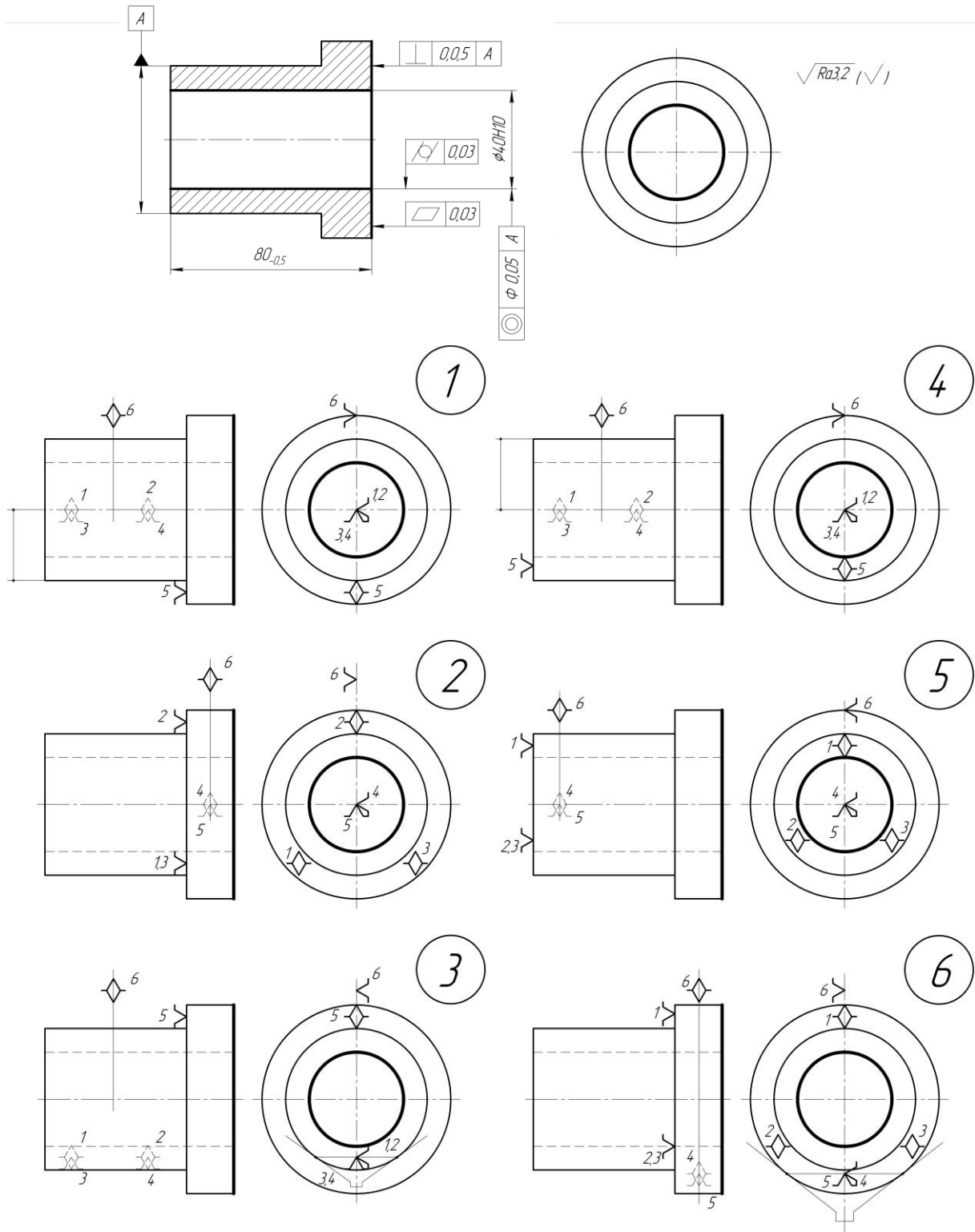
1. Найменування та мета роботи.
2. Ескіз заготовки з вибраною схемою базування.
3. Стисле пояснення щодо відсутності або мінімальності похибки базування на вимоги точності, що забезпечуються на операції, яка розглядається.

5.5 Питання для самоконтролю

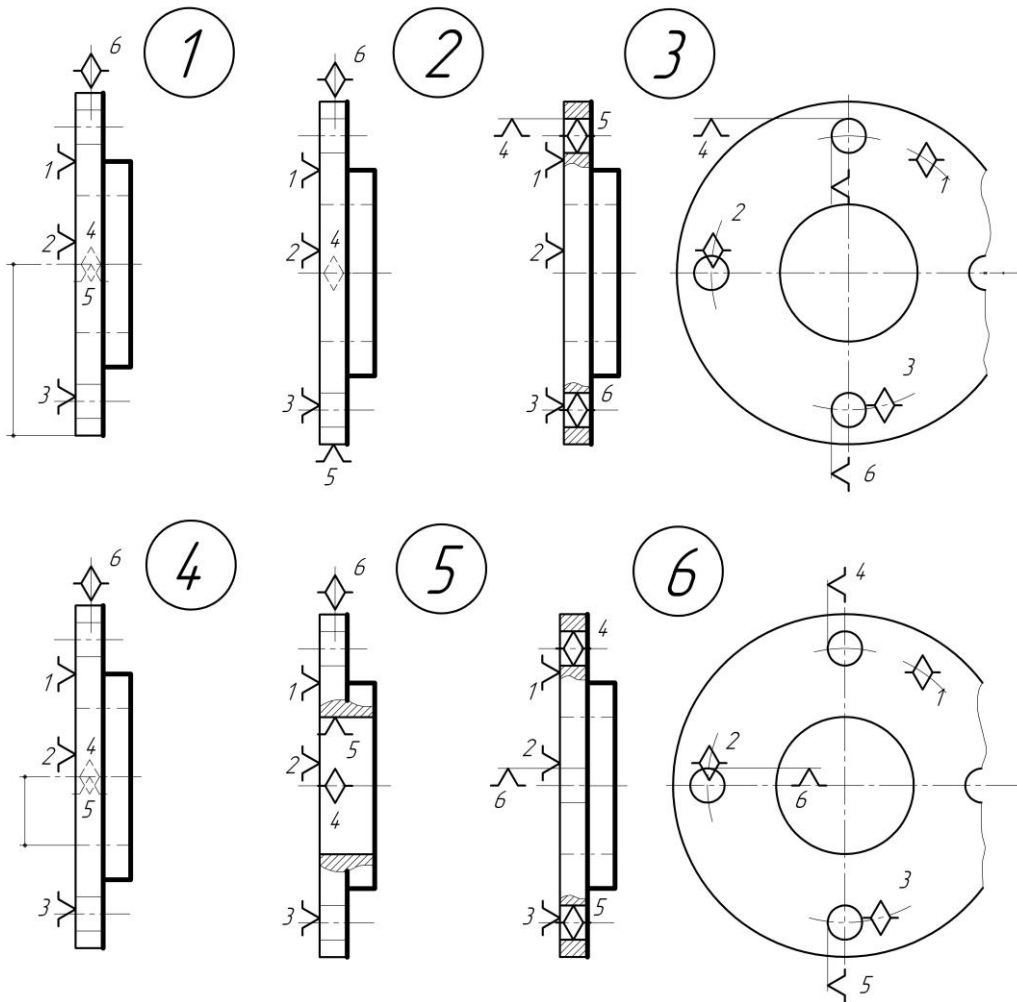
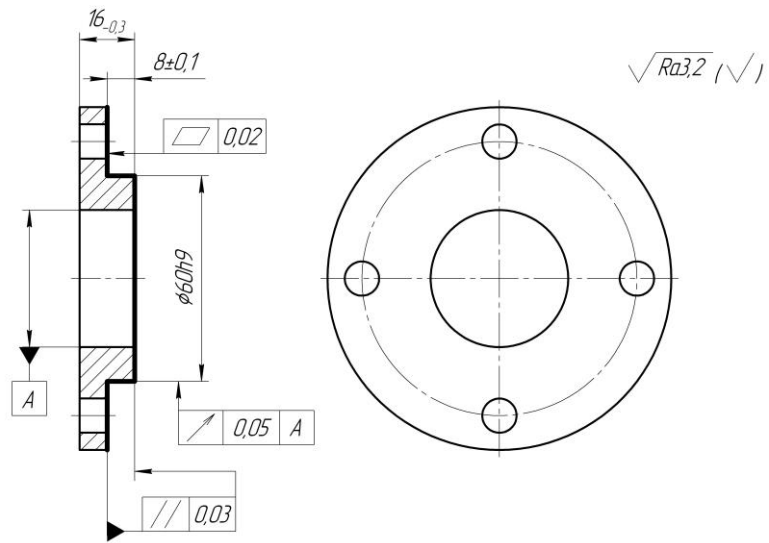
1. Забезпечення яких вимог точності не залежить від схеми базування?
2. Яку поверхню заготовки можна вибрати за технологічну установну базу?
3. Яку поверхню заготовки можна вибрати за технологічну напрямну базу?
4. Яку поверхню заготовки можна вибрати за технологічну подвійну напрямну базу?
5. Яку поверхню заготовки можна вибрати за технологічну подвійну опорну базу?
6. Яку поверхню заготовки можна вибрати за технологічну опорну базу?

5.6 Варіанти задач для індивідуальних завдань

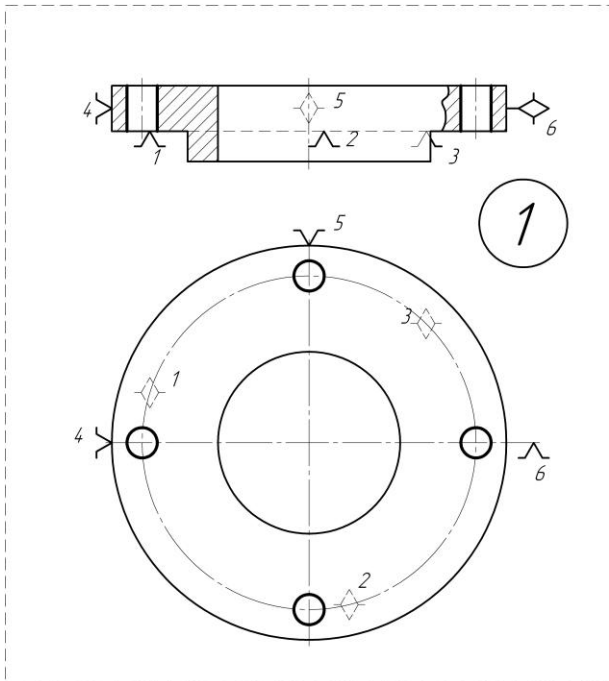
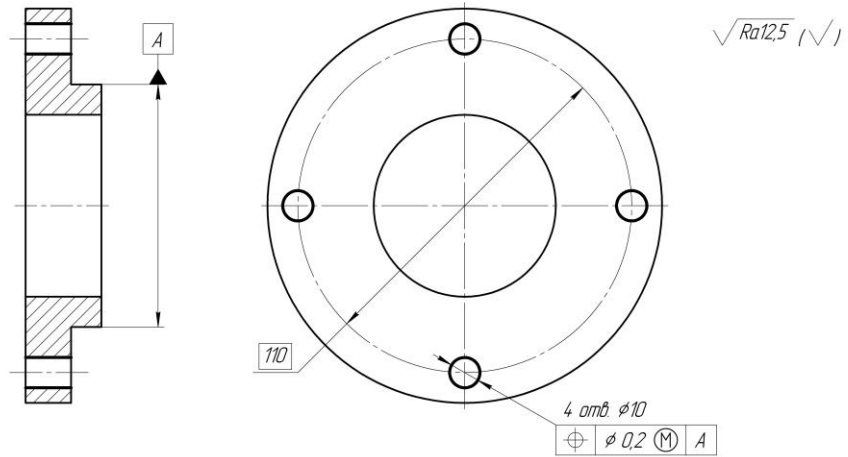
Варіант 1



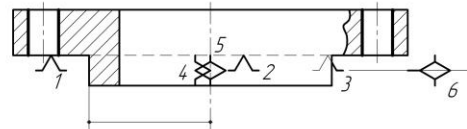
Вариант 2



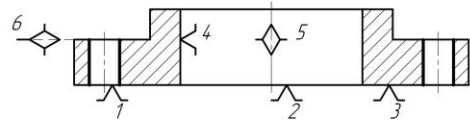
Вариант 3



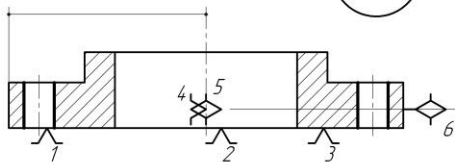
4



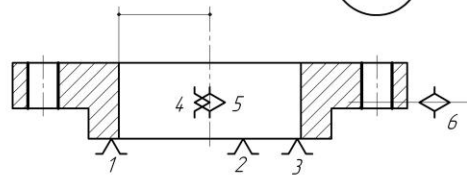
5



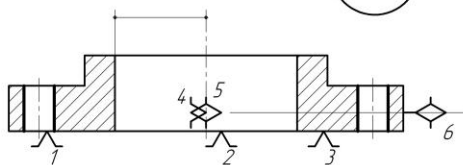
2



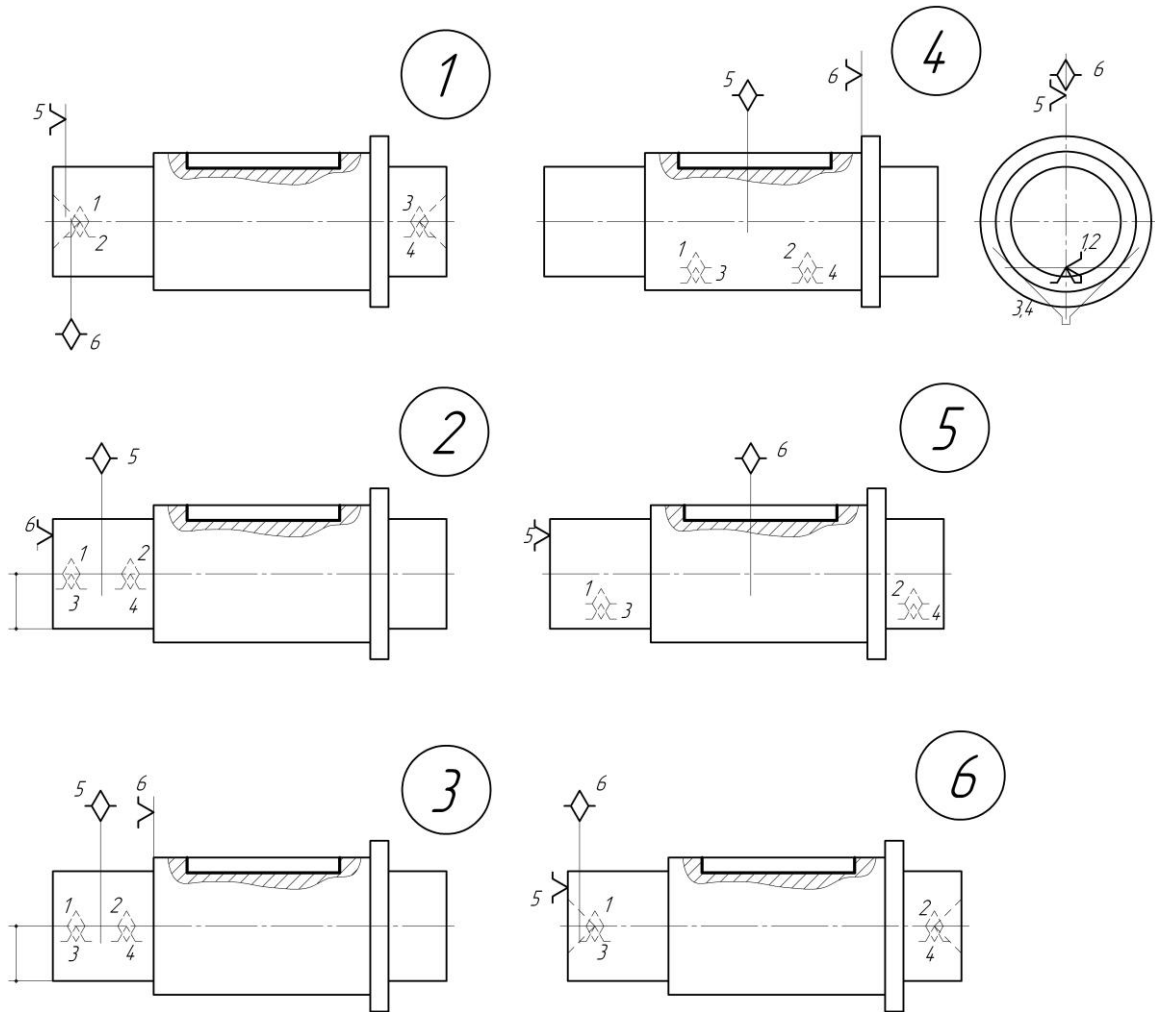
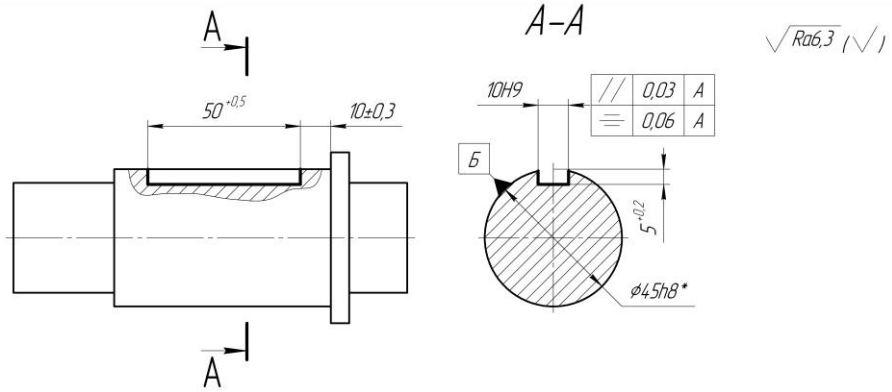
6



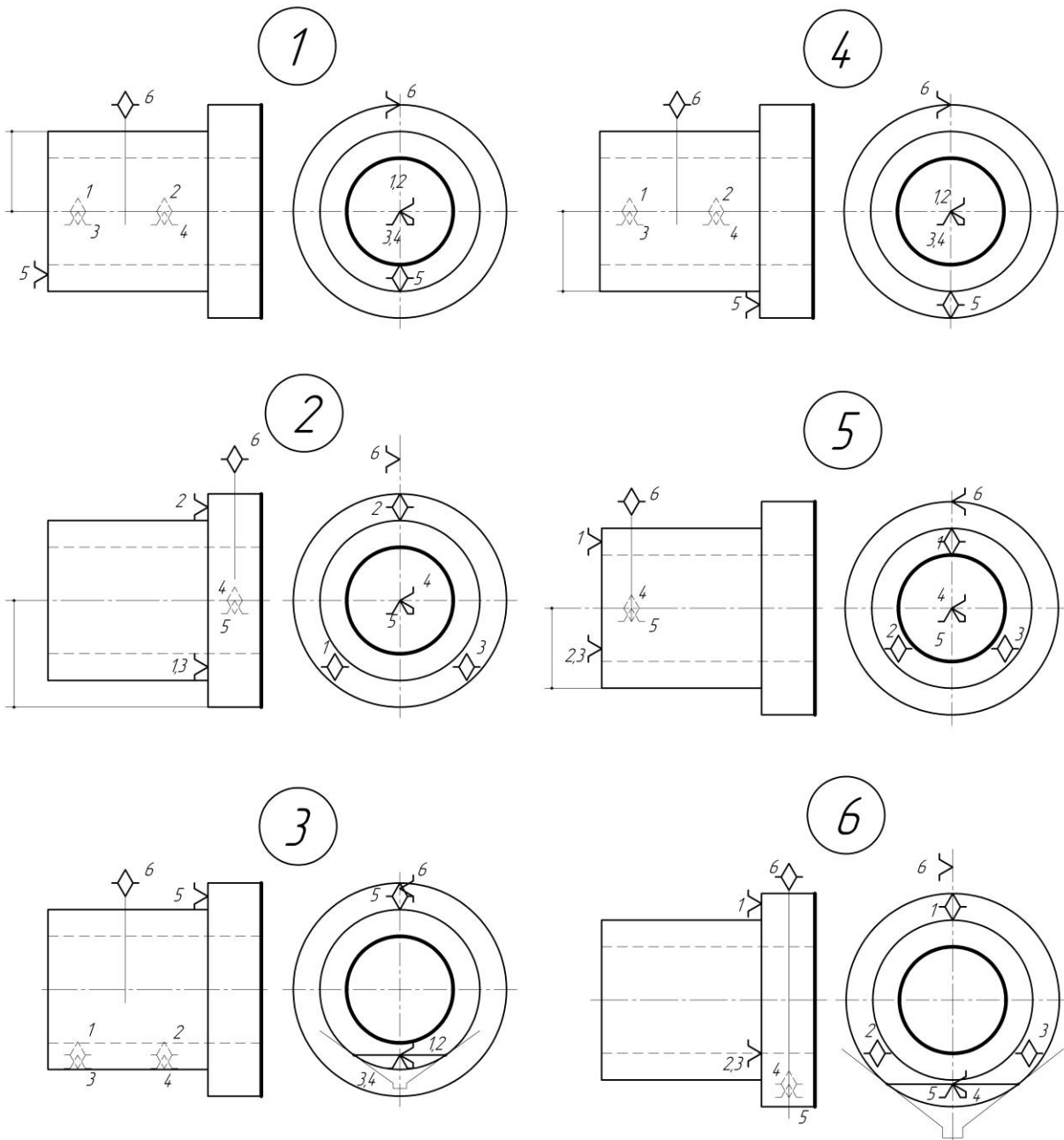
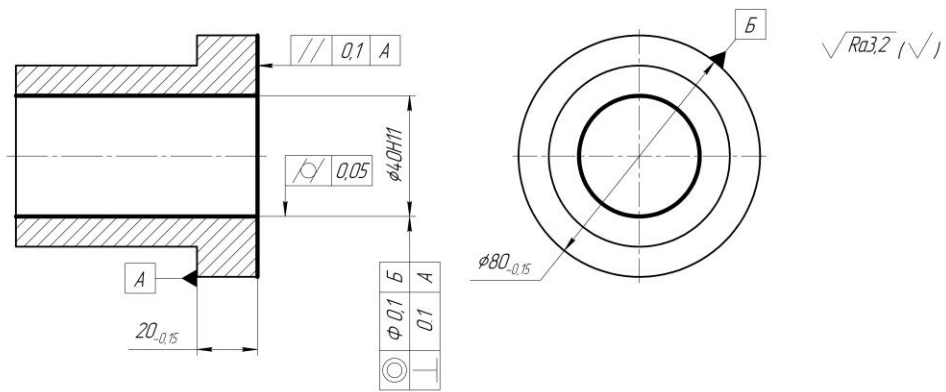
3



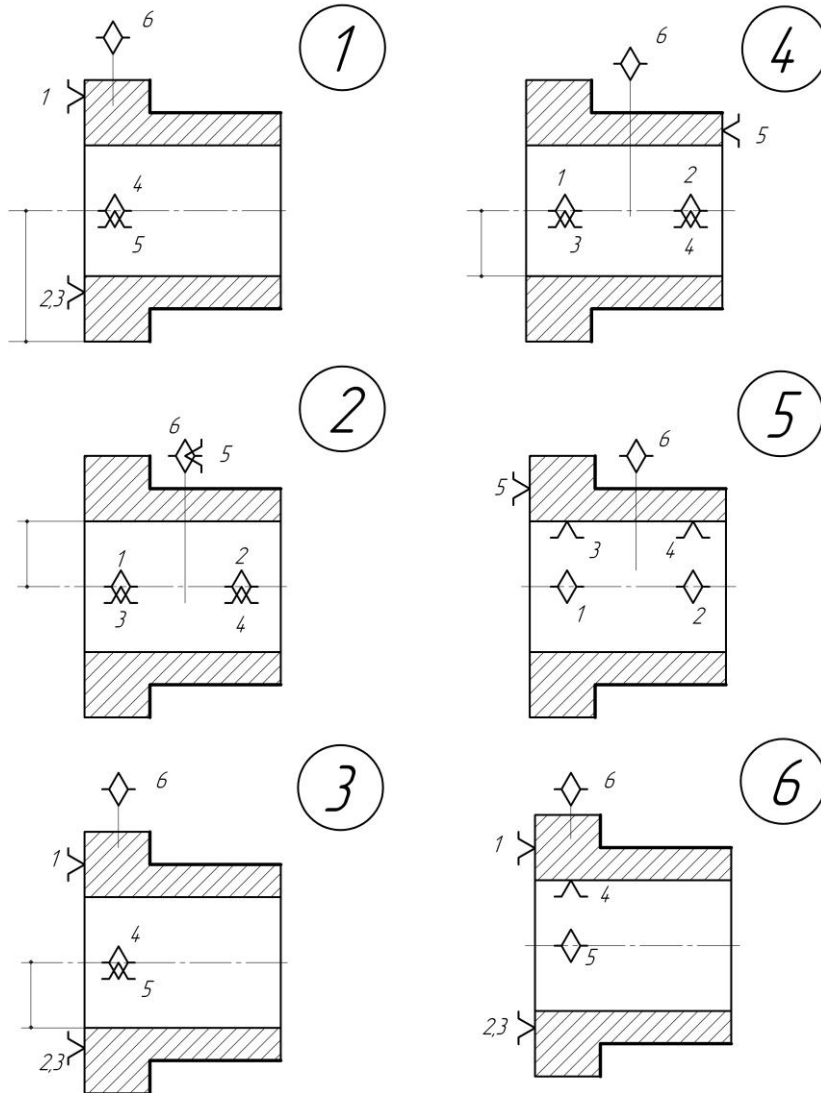
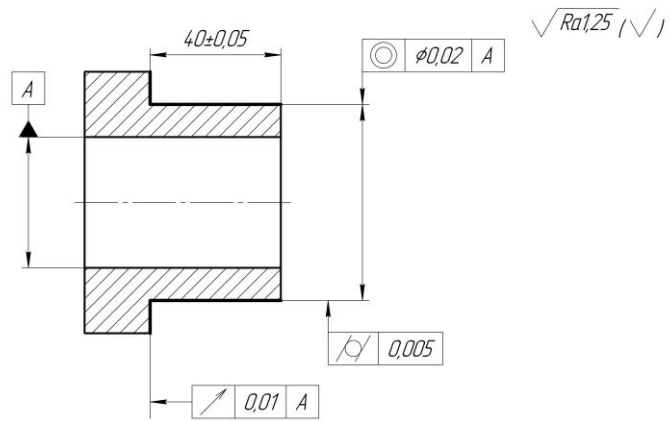
Вариант 4



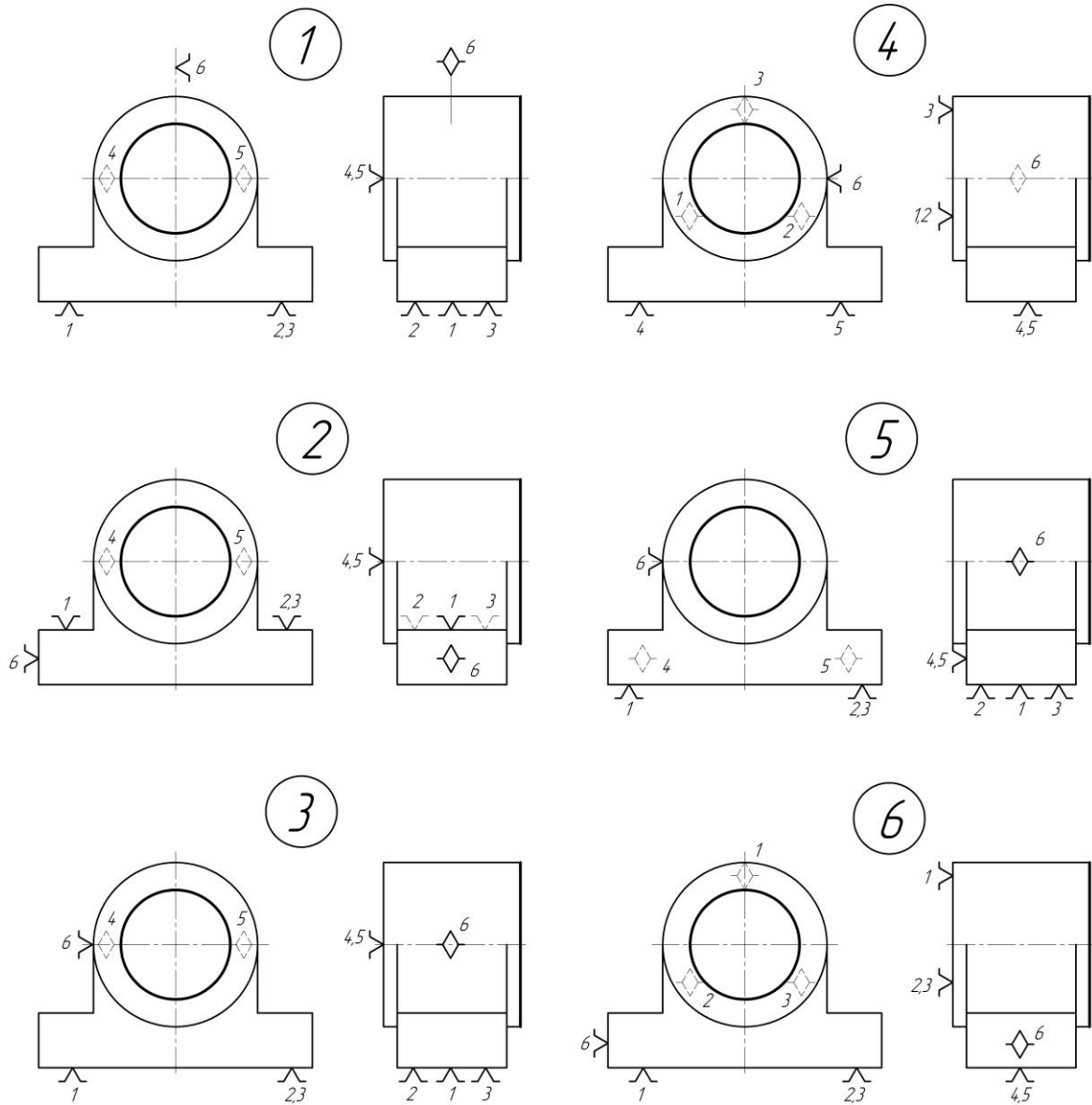
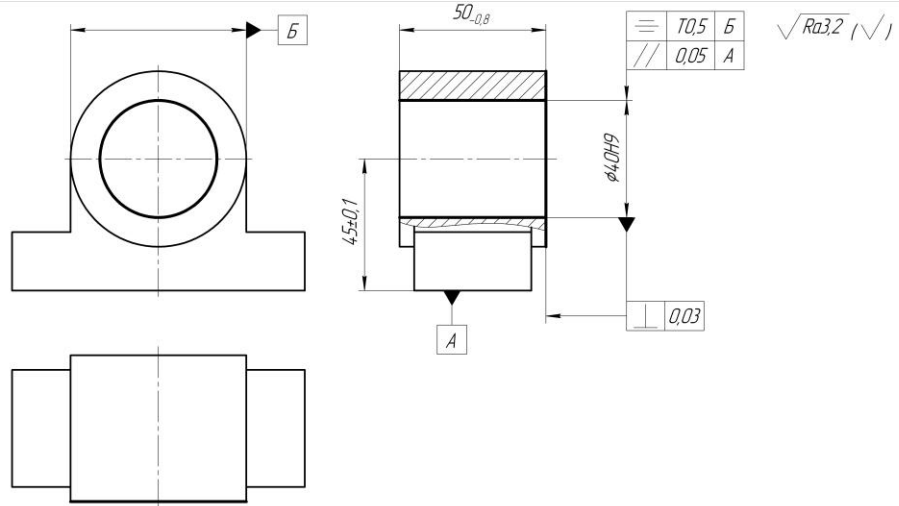
Вариант 5



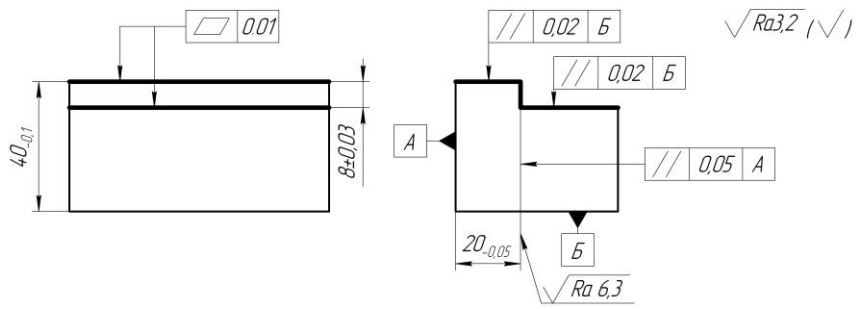
Вариант 6



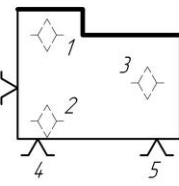
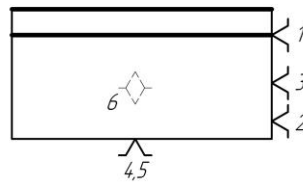
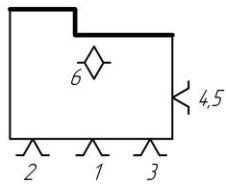
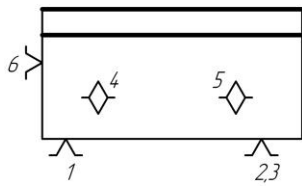
Вариант 7



Вариант 8

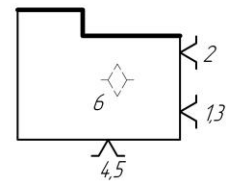
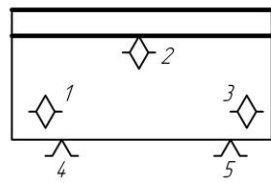
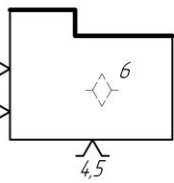
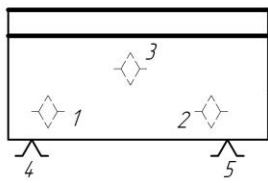


1



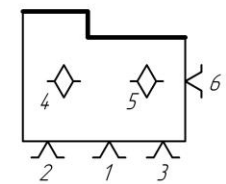
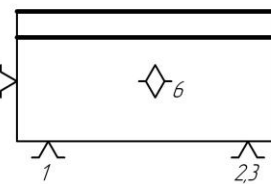
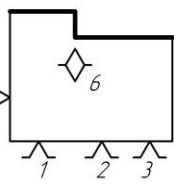
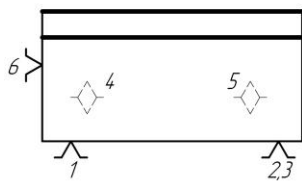
4

2



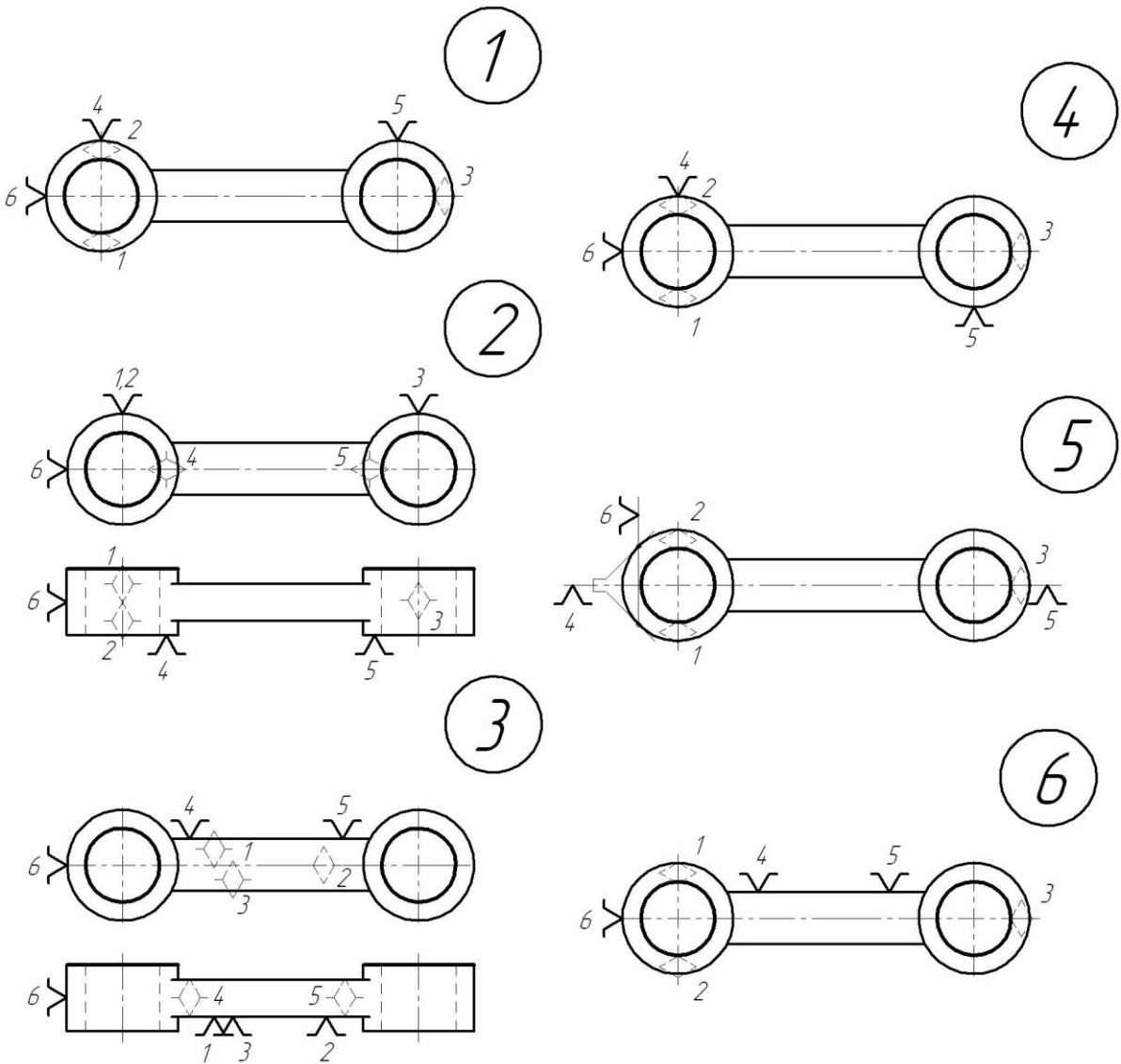
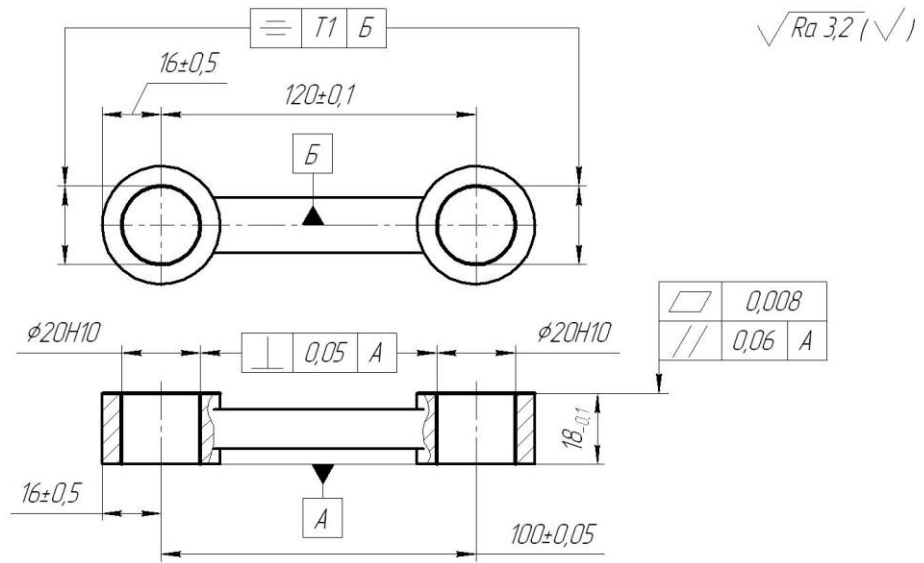
5

3



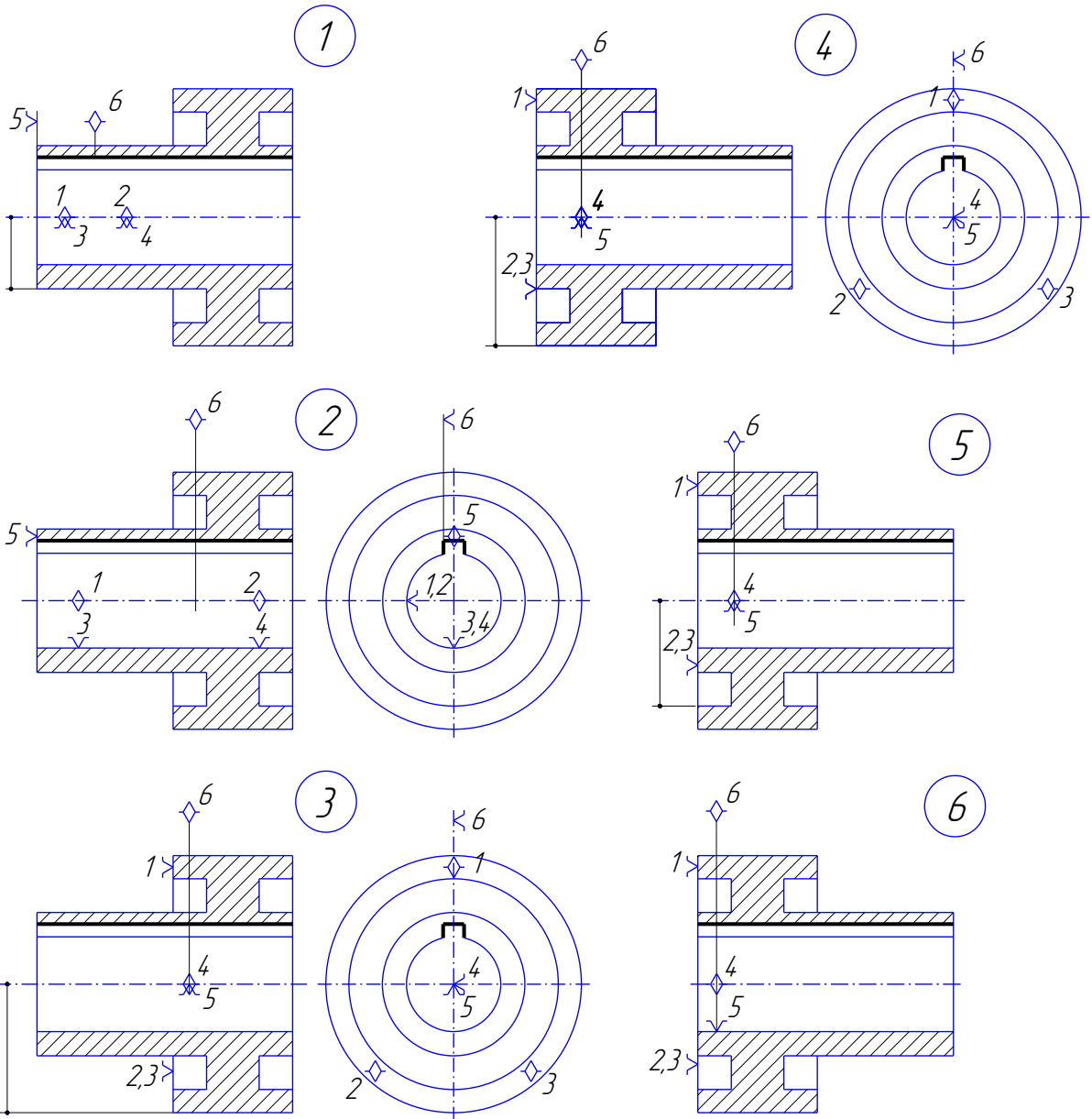
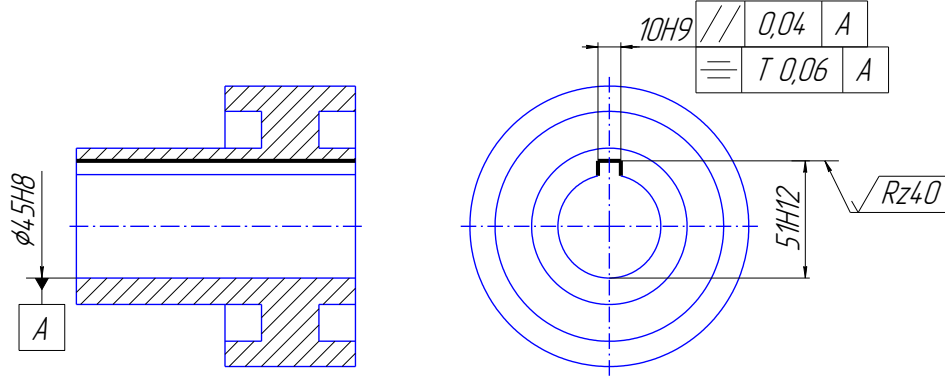
6

Вариант 9



Вариант 10

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



ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6

РОЗРАХУНОК СУМАРНОЇ ПОХИБКИ ОБРОБКИ

Мета заняття – набуття практичних навиків визначення сумарних похибок механічної обробки, які виникають під час точіння циліндричних поверхонь і фрезерування площин.

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 установлення заготовок у верстатний пристрій (далі – похибка установлення (**setting error**) ε_y ;

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

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

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

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

Оскільки на точність діаметральних розмірів похибка установлення не впливає, то сумарна похибка на такі розміри становитиме

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

У формулах (6.1) і (6.2) $1/K$ – коефіцієнт, який залежить від бажаної ймовірності роботи без браку.

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

Виконавши розрахунок точності механічної обробки можна:

- оцінити можливе поле розсіювання певного розміру (розрахувати сумарну похибку обробки);

- установити 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.

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

$$\varepsilon_{\Sigma} \leq T_d, \quad (6.3)$$

де T_d – допуск забезпечуваного технологічного розміру.

Якщо умова (6.3) не виконується, то необхідно проаналізувати, які зі складових сумарної похибки найбільше впливають на неї й запропонувати конкретні заходи зменшення цього впливу.

Під час практичних занять передбачається визначити сумарну похибку для умов токарної обробки та для фрезерування.

6.2 Визначення сумарної похибки токарної обробки

6.2.1 Зміст індивідуального завдання

Початкові дані

1. Обробка здійснюється чистовим точінням у центрах на токарному верстаті (рис. 6.1).

2. Умови обробки:

- різальний інструмент – різець з пластиною з твердого сплаву Т30К4;

- мінімальний припуск на сторону $z_{\min} = 0,6$ мм;

- подача $s = 0,15$ мм/об;

- швидкість різання $v = 150$ м/хв;

3. Допуск отриманого діаметрального розміру – ІТ10.

4. На попередній операції поверхня оброблена напівчистовим точінням з допуском за ІТ13.

5. Матеріал заготовки – Сталь 45. Межа міцності $\sigma_B = 600$ МПа.

6. Решта початкових даних наведена в табл. 6.1. Інші показники і передумови, необхідні для виконання розрахунків, потрібно вибрати, виходячи із заданих технологічних умов самостійно або після консультації викладача.

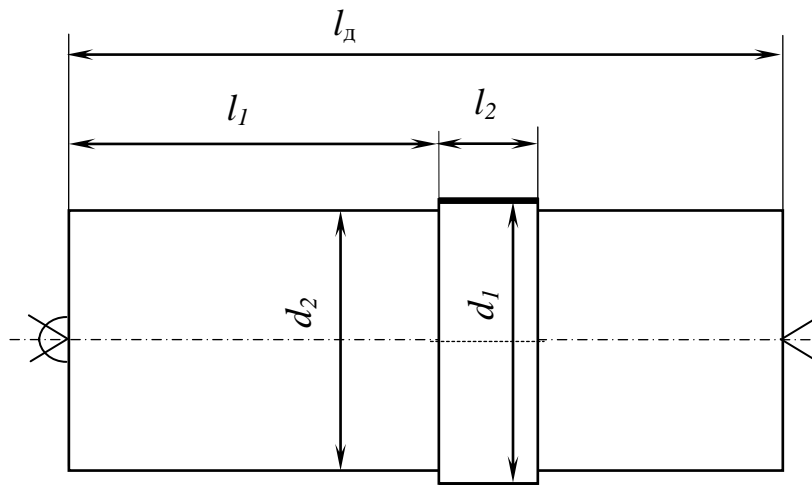


Рисунок 6.1 – Операційний ескіз до визначення сумарної похибки токарної обробки

6.2.2 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 відповідно до заданого варіанта завдання (згідно з табл. 6.1).

2. Вважаючи, що чистове точіння циліндричної поверхні до діаметра d_1 партії валиків кількістю n штук здійснюється на попередньо настроєному верстаті, знайти елементарні похибки механічної обробки.

3. За формулою (6.2) визначити сумарну похибку діаметра d_1 . Перевірити виконання умови (6.3) і зробити висновок щодо можливості забезпечення заданої точності обробки.

4. Якщо умова (6.3) не виконується, то потрібно виявити домінуючі похибки і запропонувати заходи щодо їхнього зменшення.

6.2.3 Приклади виконання індивідуального завдання

Приклад № 1

Початкові дані такі:

- розміри заготовки: $d_1 = 35$ мм, $d_2 = 30$ мм, $l_d = 320$ мм, $l_2 = 30$ мм.
- головний кут різця в плані $\varphi = 45 \dots^\circ$;
- верстат – токарний з ручним керуванням моделі 16К20;
- кількість заготовок партії $N = 100$ шт;
- метод настроювання різця на розмір обробки – за пробними заготовками.

1. Операційний ескіз матиме такий вигляд (рис. 6.2).

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

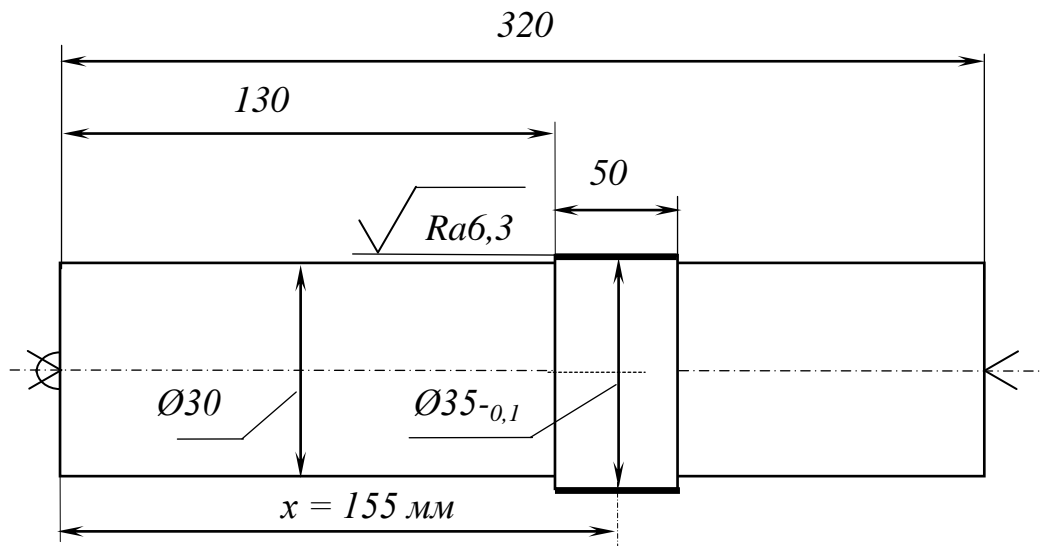


Рисунок 6.2 – Операційний ескіз до прикладу № 1 виконання індивідуального завдання

Визначимо похибку, що спричиняється пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання. Цю похибку можна знайти за формулою [11, с. 27]

$$\varepsilon_{\text{пд}} = y_{\text{max}} - y_{\text{min}}, \quad (6.3)$$

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

Пружне зміщення вершини різця відносно осі обертання заготовки становить

$$y = P_y \omega_{\Sigma}, \quad (6.4)$$

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 [13]

$$\omega_{\Sigma} = \frac{x^2 (l_d - x)^2}{3EI l_d} + \left(1 - \frac{x}{l_d}\right)^2 \omega_{\text{п.б}} + \left(\frac{x}{l_d}\right)^2 \omega_{\text{з.б}} + \omega_{\text{суп}}, \quad (6.5)$$

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, мм^4 (для круглого перерізу $I = \frac{\pi}{64} d_2^4 \approx 0,05 d_2^4$).

Згідно з [11, с. 29] податливості передньої бабки, задньої бабки й супорта токарних і токарно-гвинторізних верстатів з ручним керуванням і найбільшим діаметром оброблюваної заготовки 400 мм становлять: $\omega_{п.б} = 0,036 \cdot 10^{-3}$ мм/Н; $\omega_{з.б} = 0,049 \cdot 10^{-3}$ мм/Н; $\omega_{суп} = 0,036 \cdot 10^{-3}$ мм/Н.

Згідно з рис. 6.2, для прикладу, що розглядається, координату x знайдемо за формулою

$$x = l_1 + \frac{l_2}{2} = 140 + 15 = 155 \text{ мм.}$$

Таким чином,

$$\omega_{\Sigma} = \frac{155^2 (320 - 155)^2}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,05 \cdot 30^4 \cdot 320} + 10^{-3} \left[\left(1 - \frac{155}{320} \right)^2 0,036 + \left(\frac{155}{320} \right)^2 0,049 + 0,036 \right] = 0,140 \cdot 10^{-3} \text{ мм/Н.}$$

Радіальну складову сили різання (в Н) можна знайти за формулою [12]

$$P_y = 10 C_{P_y} t^{x_{P_y}} s^{y_{P_y}} v^{n_{P_y}} k_{P_y}. \quad (6.6)$$

де C_{P_y} , k_{P_y} , x , y , n – коефіцієнти та показники степеня, які знаходяться за таблицями [12];

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 становитиме $0,4/2 = 0,2$ мм, а коливання глибини різання $t_{\min} = z_{\min} = 0,6$ мм, $t_{\max} = 0,8$ мм.

Таким чином,

$$P_{y_{\max}} = 10 \cdot 2,43 \cdot 0,8^{0,9} \cdot 0,15^{0,6} \cdot 150^{-0,3} \cdot 1,0 = 154 \text{ Н;}$$

$$P_{y_{\min}} = 10 \cdot 2,43 \cdot 0,6^{0,9} \cdot 0,15^{0,6} \cdot 150^{-0,3} \cdot 1,0 = 101 \text{ Н.}$$

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

$$\varepsilon_{\text{пд}} = \omega_{\Sigma} (P_{y_{\text{max}}} - P_{y_{\text{min}}}). \quad (6.7)$$

Отже,

$$\varepsilon_{\text{пд}} = 0,140 \cdot 10^{-3} (154 - 101) = 7 \cdot 10^{-3} \text{ мм} = 7 \text{ мкм.}$$

Знайдемо похибку настроення верстата. Припустимо, що верстат настроюється на розмір обробки за допомогою способу пробних заготовок. У цьому випадку похибка настроення верстата на обробку циліндричних поверхонь визначається за формулою [10]

$$\varepsilon_{\text{н}} = K \sqrt{\varepsilon_{\text{р}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{вм}}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{\text{зм}}^2}, \quad (6.8)$$

де $\varepsilon_{\text{р}}$ – похибка регулювання положення різця;

$\varepsilon_{\text{вм}}$ – похибка вимірювання розміру деталі;

$\varepsilon_{\text{зм}}$ – похибка від зміщення центра групування розмірів пробних заготовок відносно середини поля розсіювання;

$K = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує відхилення законів розподілу похибок $\varepsilon_{\text{р}}$, $\varepsilon_{\text{вм}}$ і $\varepsilon_{\text{зм}}$ від нормального закону розподілу.

Прийmemo, що похибка регулювання $\varepsilon_{\text{р}}$ дорівнює ціні поділки лімба маховичка переміщення поперечного супорта $\Delta_{\text{л}}$. У верстата 16К20 ця величина становить 0,05 мм на діаметр. Оскільки всі елементарні похибки, які входять до формули (6.2), визначаються на радіус, то вважатимемо, що $\varepsilon_{\text{р}} = \Delta_{\text{л}} = 0,025 \text{ мм} = 25 \text{ мкм}$.

Прийmemo також, що вимірювання пробних заготовок здійснюється за допомогою мікрометра (ціна поділки 0,01 мм). Похибка вимірювання, таким чином, становитиме $\varepsilon_{\text{вм}} = 10 \text{ мкм}$.

Згідно з [8, с.117], $\varepsilon_{\text{зм}} = \frac{\varepsilon_{\text{пд}}}{\sqrt{m}}$, де m – кількість пробних заготовок.

Прийmemo $m = 5$ шт. Тоді $\varepsilon_{\text{зм}} = \frac{7}{\sqrt{5}} = 3 \text{ мкм}$.

Похибка настроення

$$\varepsilon_{\text{н}} = 1,2 \sqrt{25^2 + \left(\frac{10}{2}\right)^2 + 3^2} = 31 \text{ мкм.}$$

Визначимо похибку, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента (різця).

Згідно з [11, С. 73–74]

$$\varepsilon_i = \frac{L_N + L_{\text{поч}}}{1000} u_o,$$

де L_N – довжина шляху різання, який відповідає обробці без піднастроювання всіх N деталей партії;

$L_{\text{поч}} = 1000$ м – умовне збільшення довжини шляху різання для урахування початкового зносу різця;

$u_o = 6$ мкм/км – відносний знос різця, оснащеного пластинкою з твердого сплаву Т15К6 (додаток Б).

Визначимо величину L_N . Для випадку, що розглядається, вона становитиме

$$L_N = \frac{\pi d_1 l_2 N}{1000 s} = \frac{3,14 \cdot 35 \cdot 50 \cdot 100}{1000 \cdot 0,15} = 3663 \text{ м.}$$

Таким чином, $\varepsilon_i = \frac{3663 + 1000}{1000} \cdot 6 = 28$ мкм.

Визначимо похибку, що спричиняється геометричною неточністю верстата (ε_B). Згідно з [11, С. 53–55],

$$\varepsilon_B = \frac{C l_2}{L_6}, \quad (6.9)$$

де C – допустиме відхилення від паралельності між напрямом руху супорта і віссю обертання заготовки на базовій довжині L_6 . Відповідно до ГОСТ 18097–93 для токарних верстатів класу точності Н на базовій довжині 250 мм величина C становить 10 мкм.

Таким чином,

$$\varepsilon_B = \frac{10 \cdot 30}{250} = 1,2 \text{ мкм.}$$

Визначимо похибку, яка спричиняється температурними деформаціями технологічної системи, вважаючи, що згідно з [11, с. 76] вона становить приблизно 15% від суми інших похибок

$$\varepsilon_T = 0,15(7 + 31 + 28 + 1) = 10 \text{ мкм.}$$

Знайдемо сумарну похибку обробки за допомогою рівняння (6.2). Вважатимемо, що бажана ймовірність роботи без браку становить 0,9973.

Згідно з [11, с. 24], величина $\frac{1}{K}$ при цьому дорівнюватиме 1. Таким чином,

$$\varepsilon_{\Sigma} = 2\sqrt{7^2 + 31^2 + (1,73 \cdot 28)^2 + (1,73 \cdot 1)^2 + (1,73 \cdot 10)^2} = 121 \text{ мкм.}$$

Умова (6.3) не виконується, оскільки ε_{Σ} перевищує величину допуску на розмір 35 ($T(d_1) = 100 \text{ мкм}$).

Аналіз кількісних значень елементарних похибок показує, що найефективнішим заходом, у такому випадку, є зменшення похибки, яка спричиняється розмірним зносом різця (ε_i). Цього можна досягнути зменшивши кількість заготовок, які обробляються без піднастроювання різця, наприклад, до 50 шт. Визначимо похибку ε_i за таких умов:

$$L_{\text{п}} = \frac{3,14 \cdot 35 \cdot 50 \cdot 50}{1000 \cdot 0,15} = 1831 \text{ м;} \quad \varepsilon_i = \frac{1831 + 1000}{1000} \cdot 6 = 17 \text{ мкм.}$$

Сумарна похибка обробки становитиме

$$\varepsilon_{\Sigma} = 2\sqrt{7^2 + 31^2 + (1,73 \cdot 17)^2 + (1,73 \cdot 1)^2 + (1,73 \cdot 10)^2} = 92 \text{ мкм.}$$

Таким чином, умова (6.3) виконується.

Приклад № 2

Розглянемо розрахунок точності токарної обробки з початковими даними, аналогічними прикладу № 1, але за умови її виконання на токарному верстаті з числовим програмним керуванням (ЧПК) моделі 16K20T1.

Визначимо похибку, що спричиняється пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання ($\varepsilon_{\text{пд}}$). Для визначення цієї похибки для токарної обробки на верстаті з ЧПК використаємо ті ж самі залежності, що й для обробки на верстаті з ручним керуванням з урахуванням того, що згідно з [1] вузли верстатів з ЧПК мають у 2–4 рази меншу податливість, ніж вузли верстатів з ручним керуванням аналогічних типорозмірів. З урахуванням цього для верстата 16K20T1 приймаємо $\omega_{\text{п.б}} = 0,018 \cdot 10^{-3} \text{ мм/Н}$, $\omega_{\text{з.б}} = 0,024 \cdot 10^{-3} \text{ мм/Н}$, $\omega_{\text{суп}} = 0,018 \cdot 10^{-3} \text{ мм/Н}$. Підставивши ці значення податливостей у формулу (7.5), отримаємо $\omega_{\Sigma} = 0,11 \cdot 10^{-3} \text{ мм/Н}$.

Уважаючи, що максимальне й мінімальне значення радіальної складової сили різання залишаються такими ж, як і для випадку обробки на верстаті з ЧПК, за формулою (7.7) знайдемо:

$$\varepsilon_{\text{пд}} = 0,11 \cdot 10^{-3} (154 - 101) = 5 \cdot 10^{-3} \text{ мм} = 5 \text{ мкм.}$$

Знайдемо похибку настроєння верстата. Як і в прикладі № 1, припустимо, що верстат настроюється на розмір обробки за допомогою способу пробних заготовок. Визначимо похибку настроєння верстата за формулою (7.8).

Згідно з [8], прийемо, що для токарного верстата з ЧПК ε_p дорівнює двом дискретам. У верстата 16К20Т1 дискрета (найменше можливе переміщення) у радіальному напрямі становить 5 мкм і, відповідно, $\varepsilon_p = 10$ мкм. Похибка вимірювання $\varepsilon_{\text{вм}} = 10$ мкм (вимірювання пробних заготовок здійснюється за допомогою мікрометра з ціною поділки 0,01 мм).

$$\text{Похибка } \varepsilon_{\text{зм}} = \frac{\varepsilon_{\text{пд}}}{\sqrt{m}} = \frac{5}{\sqrt{5}} = 2 \text{ мкм.}$$

Тоді похибка настроєння становитиме

$$\varepsilon_{\text{н}} = 1,2 \sqrt{10^2 + \left(\frac{10}{2}\right)^2 + 2^2} = 11 \text{ мкм.}$$

Похибка, що спричиняється розмірним зносом різця ε_i , у процесі обробки заготовок партії на настроєному верстаті з ЧПК може майже повністю компенсуватися введенням корекції, тобто регламентованим програмованим зміщенням вершини різця. Згідно з [8], уважатимемо, що похибка корекції ε_k дорівнює двом дискретам, тобто 10 мкм. І, відповідно, прийемо $\varepsilon_i = \varepsilon_k = 10$ мкм.

Під час обробки на токарних верстатах з ЧПК після завершення повороту револьверної головки для установлення різця в робочу позицію виникає похибка позиціонування $\varepsilon_{\text{п.р.г}}$. Згідно з [8] становить 6–8 мкм. Прийемо $\varepsilon_{\text{п.р.г}} = 7$ мкм.

Похибку, що спричиняється геометричною неточністю верстата (ε_b) визначимо за формулою (6.9). Відповідно до ГОСТ 18097–93 для токарних верстатів класу точності II на базовій довжині 250 мм величина C становить 5 мкм.

Таким чином,

$$\varepsilon_b = \frac{5 \cdot 30}{250} = 0,5 \text{ мкм.}$$

Визначимо похибку, яка спричиняється температурними деформаціями технологічної системи, вважаючи, що як і для випадку обробки на верстаті з ручним керуванням вона становить приблизно 15% від суми інших похибок

$$\varepsilon_{\text{т}} = 0,15(5 + 11 + 10 + 7 + 0,5) = 5 \text{ мкм.}$$

Знайдемо сумарну похибку обробки за допомогою рівняння (6.2).
Отже,

$$\varepsilon_{\Sigma} = 2\sqrt{5^2 + 11^2 + 7^2 + (1,73 \cdot 10)^2 + (1,73 \cdot 0,5)^2 + (1,73 \cdot 5)^2} = 48 \text{ мкм.}$$

Таким чином, значення сумарної похибки ε_{Σ} , яка виникає під час обробки на токарному верстаті з ЧПК, у два рази менша, ніж у випадку обробки на верстаті з ручним керуванням. Це пояснюється суттєвим зменшенням похибки настроєння й похибки, що зумовлена розмірним зносом різця.

6.2.4 Варіанти початкових даних для індивідуального завдання (токарна обробка)

Таблиця 6.1 – Початкові дані для визначення сумарної похибки токарної обробки

№ варіанта	Розміри заготовки, мм					Головний кут в плані, ...°	Модель верстата	Розмір партії (n), шт.	Метод настроювання різця
	d_1	d_2	l_d	l_1	l_2				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	60	55	450	220	35	45	16K20T1	250	ПЗ
2	80	75	400	180	40	90	16K20T1	200	ПЗ
3	55	50	350	160	50	90	МК6801Ф3	150	ПЗ
4	50	45	300	120	35	90	16K20	150	Е
5	40	37	280	100	20	45	16K20T1	250	ПЗ
6	80	75	450	200	30	90	16K20T1	250	ПЗ
7	30	28	250	100	30	45	16K20	150	ПЗ
8	50	47	350	140	26	90	16K20T1	200	ПЗ
10	80	75	420	180	25	90	16K20T1	200	ПЗ
11	55	50	380	145	40	45	16K20	150	Е
9	40	35	300	170	30	90	МК6801Ф3	100	ПЗ

Продовження таблиці 6.1

№ варіанта	Розміри заготовки, мм					Головний кут в плані, ...°	Модель верстата	Розмір партії (n), шт.	Метод настроювання різця
	d_1	d_2	l_d	l_1	l_2				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	30	28	180	80	20	90	16K20	180	Е
13	40	35	300	150	15	45	16K20T1	250	ПЗ
14	80	76	380	150	30	90	16K20	200	Е
15	60	56	350	120	25	90	МК6801Ф3	150	ПЗ
16	50	47	350	170	20	90	16K20T1	250	ПЗ
17	40	37	320	140	22	45	16K20	150	Е
18	80	78	470	200	40	90	16K20T1	200	ПЗ
19	45	58	370	150	20	45	16K20T1	350	ПЗ
20	25	23	200	80	25	90	16K20T1	230	ПЗ
21	40	37	300	140	20	45	16K20T1	250	ПЗ
22	80	76	500	220	50	90	16K20	180	ПЗ
23	30	28	245	120	30	45	16K20	150	Е
24	38	36	280	130	26	90	16K20	160	ПЗ
25	70	66	400	180	40	45	16K20T1	200	ПЗ
26	80	70	400	200	40	45	16K20	300	Е
27	60	55	450	220	35	90	16K20T1	200	ПЗ
28	50	45	400	200	25	90	МК6801Ф3	150	ПЗ
29	100	85	500	250	50	90	МК6801Ф3	300	ПЗ
30	80	75	450	220	40	45	16K20T1	200	ПЗ

Примітки:

1. 16K20 – токарно-гвинторізний верстат з ручним керуванням з ціною поділки лімба механізму переміщення поперечного супорта в радіальному напрямі 0,025 мм (на радіус).

2. 16K20T1 – токарний верстат з ЧПК з величиною найменшого можливого переміщення поперечного супорта (дискретною) у радіальному напрямі 0,005 мм.

3. МК6801Ф3 – токарний верстат з ЧПК високої точності з величиною найменшого можливого переміщення поперечного супорта (дискретною) у радіальному напрямі 0,001 мм.

4. Методи настроювання різця на розмір обробки: Е – настроювання за еталоном; ПЗ – настроювання за пробними заготовками.

6.3 Визначення сумарної похибки фрезерної обробки

6.3.1 Зміст індивідуального завдання.

Початкові дані

1. Обробка здійснюється чистовим фрезеруванням торцевою фрезою на вертикально-фрезерному верстаті (рис. 6.3).

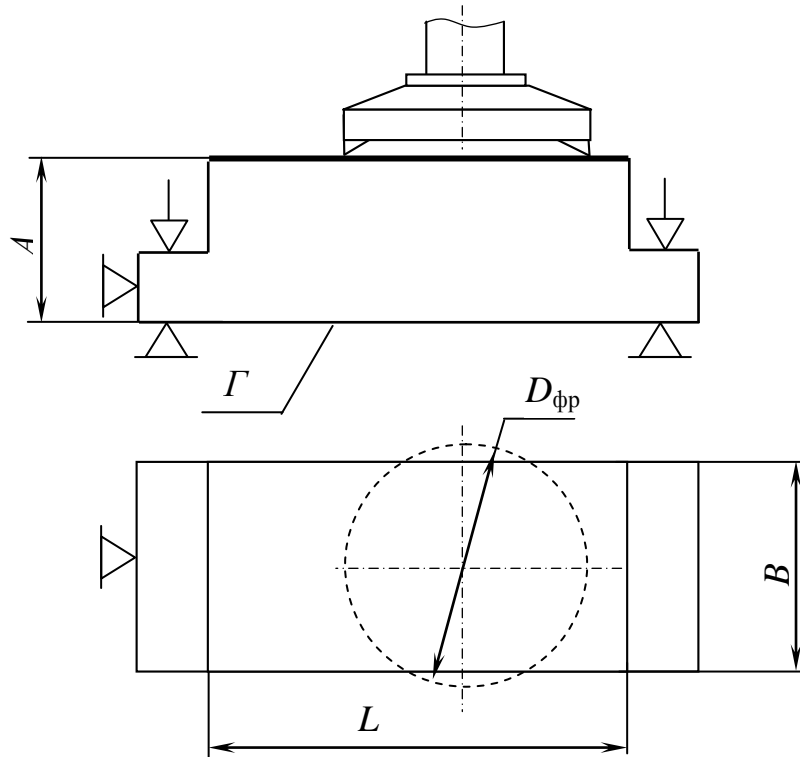


Рисунок 6.3 – Операційний ескіз до визначення сумарної похибки фрезерної обробки

2. Умови обробки:

- різальний інструмент – торцева фреза (ГОСТ 26595–85), оснащена тригранними пластинами з твердого сплаву з головним кутом в плані $\varphi = 90^\circ$;
- мінімальний припуск $z_{\min} = 0,8$ мм;
- подача $s = 0,04$ мм/зуб;
- швидкість різання $v = 120$ м/хв;
- фреза розташована симетрично відносно заготовки.

3. На попередній операції поверхня оброблена чорним торцевим фрезеруванням з допуском за IT13.

4. Заготовка встановлюється на опорні пластини верстатного пристрою за допомогою гвинтових затискачів (прихватів). Технологічна база (площина Γ) – чисто оброблена на одній з попередніх операцій.

5. Решта початкових даних міститься у табл. 6.2. Інші показники й передумови, необхідні для виконання розрахунків, потрібно вибрати виходячи із заданих технологічних умов самостійно або після консультації з викладачем.

6.3.2 Порядок виконання завдання

1. Накреслити операційний ескіз і вказати на ньому розмір (з граничними відхиленнями), який має бути забезпечений у результаті чистового фрезерування та інші розміри заготовки відповідно до заданого варіанта завдання (згідно з табл. 6.2).

2. Вважаючи, що чистове фрезерування площини до розміру A партії заготовок розміром N штук здійснюється на попередньо настроєному верстаті, знайти всі елементарні похибки механічної обробки.

3. За формулою (6.1) визначити сумарну похибку розміру A . Перевірити виконання умови (6.3) і зробити висновок щодо можливості забезпечення заданої точності обробки.

4. Якщо умова (6.3) не виконується, то потрібно виявити домінуючі похибки і запропонувати заходи для їхнього зменшення.

6.3.3 Приклади виконання індивідуального завдання

Приклад № 1

Початкові дані такі:

- розміри заготовки: $L = 320$ мм; $B = 110$ мм; $A = 45h11(-0,16)$ мм;
- діаметр фрези: $D_{\text{фр}} = 160$ мм;
- кількість зубів фрези: $Z = 12$;
- матеріал заготовки: ковкий чавун КЧ 45–7 (твердість НВ 200);
- матеріал різальної частини фрези: твердий сплав ВКЗМ;
- верстат: консольний вертикально-фрезерний з ручним керуванням 6Р13.

- розмір партії: $N = 100$ шт;

- метод настроювання фрези на розмір обробки: за еталоном.

1. Операційний ескіз показаний на рис. 6.4.

2. Визначимо елементарні похибки механічної обробки, які входять до формули (6.1).

Похибка установаження визначається за формулою

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{п}}^2},$$

де ε_6 – похибка базування;

ε_3 – похибка закріплення;

$\varepsilon_{\text{п}}$ – похибка положення заготовки, яка спричиняється неточністю верстатного пристрою.

Похибка базування за такої схеми базування відсутня, оскільки виконується принцип суміщення баз. Вплив похибок ε_3 і $\varepsilon_{\text{п}}$ на похибку установаження можна наближено знайти для заданих умов за [11, с. 43]. Таким чином, $\varepsilon_y = 60$ мкм.

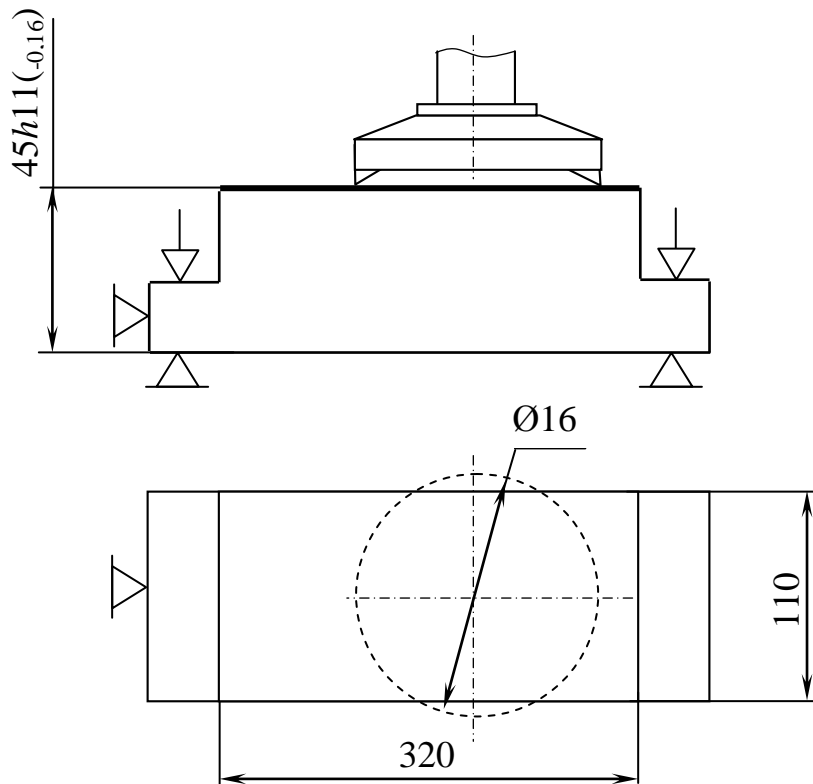


Рисунок 6.4 – Операційний ескіз до прикладу № 1 визначення сумарної похибки фрезерної обробки

Похибка, що спричиняються пружними деформаціями технологічної системи під дією сил різання знайдемо за формулою:

$$\varepsilon_{\text{пд}} = \omega_{\Sigma} (P_{x_{\text{max}}} - P_{x_{\text{min}}}), \quad (6.10)$$

де ω_{Σ} – податливість технологічної системи;

$P_{x_{\text{max}}}$ і $P_{x_{\text{min}}}$ – відповідно максимальна й мінімальна величини складової сили різання, яка діє перпендикулярно до оброблюваної поверхні.

Під час визначення величини ω_{Σ} вважатимемо, що податливості верстатного пристрою, фрези й заготовки суттєво менші за податливість верстата. Тому вважатимемо, податливість технологічної системи дорівнює податливості верстата $\omega_{\text{в}}$. Згідно з [11, с. 32] для верстата 6Р13 з шириною стола 400 мм

$$\omega_{\text{в}} = \frac{y}{P_x} = \frac{630}{19,6 \cdot 10^3} = 0,032 \text{ мкм/Н.}$$

Прийнявши, згідно з [12, с. 292], що $P_x = 0,5 P_z$, визначимо

$$P_x = 0,5P_z = 0,5 \frac{10C_p t^x s_z^y B^m Z}{D_{\text{фр}}^q n^w} K_{\text{мр}} \quad (6.11)$$

Частота обертання шпинделя $n = \frac{1000v}{\pi D_{\text{фр}}} = \frac{1000 \cdot 120}{3,14 \cdot 160} = 240$ об/хв.

Згідно з [12, с. 292], коефіцієнт, який враховує твердість матеріалу заготовки $K_{\text{мр}} = \left(\frac{HB}{150}\right)^k$. Для розглядуваного випадку $HB = 200$, $k = 1$. Таким чином, $K_{\text{мр}} = 1,33$.

Вибравши коефіцієнти і показники степеня за [12, с. 292]: $C_p = 491$; $x = 1$; $y = 0,75$; $m = 1,1$; $q = 1,3$; $w = 0,2$ і прийнявши $t_{\text{min}} = z_{\text{min}} = 0,8$ мм, отримаємо мінімальне значення складової P_x сили різання

$$P_{x_{\text{min}}} = 0,5 \frac{10 \cdot 491 \cdot 0,8 \cdot 0,04^{0,75} \cdot 110^{1,1} \cdot 12}{160 \cdot 240^{0,2}} \cdot 1,33 = 464 \text{ Н.}$$

Вважаючи, що $t_{\text{max}} = z_{\text{max}} = z_{\text{min}} + T(IT13) = 0,8 + 0,39 = 1,19$ мм, Максимальне значення складової P_x сили різання складатиме

$$P_{x_{\text{max}}} = 0,5 \frac{10 \cdot 491 \cdot 1,19 \cdot 0,04^{0,75} \cdot 110^{1,1} \cdot 12}{160 \cdot 240^{0,2}} \cdot 1,33 = 690 \text{ Н.}$$

За формулою (6.10) знайдемо

$$\varepsilon_{\text{нд}} = 0,032(690 - 464) = 7 \text{ мкм.}$$

Похибку настроєння (за умови настроювання за еталонном) знайдемо за формулою [11]

$$\varepsilon_{\text{н}} = \sqrt{(K_p \varepsilon_p)^2 + (K_{\text{вм}} \varepsilon_{\text{вм}})^2}$$

Прийmemo $K_p = 1,73$ і $K_{\text{вм}} = 1$.

Похибка регулювання

$$\varepsilon_p = 1,2 \sqrt{\varepsilon_{\text{в.е}}^2 + \varepsilon_{\text{у.і}}^2},$$

де $\varepsilon_{\text{в.е}}$ – похибка виготовлення еталона;

$\varepsilon_{\text{у.і}}$ – похибка установлення інструмента на еталон.

Похибки $\varepsilon_{\text{в.е}}$ та $\varepsilon_{\text{у.і}}$ згідно з [11, с. 71] становлять по 10 мкм кожна. Таким чином, $\varepsilon_{\text{р}} = 17$ мкм. Похибку вимірювання $\varepsilon_{\text{ВМ}}$ прийемо рівної ціні поділки мікрометричного вимірювального інструмента, тобто $\varepsilon_{\text{ВМ}} = 10$ мкм.

$$\text{Похибка настроєння } \varepsilon_{\text{н}} = \sqrt{(1,73 \cdot 17)^2 + (1 \cdot 10)^2} = 31 \text{ мкм}$$

Похибку, що спричиняється розмірним зносом зубів фрези знайдемо за формулою

$$\varepsilon_{\text{і}} = \frac{u_{0_{\text{фр}}} L_{\text{п}}}{1000}, \quad (6.12)$$

де $u_{0_{\text{фр}}}$ – відносний знос зуба фрези, мкм/км;

$L_{\text{п}}$ – шлях, який проходить зуб фрези між її піднастроюваннями, м.

Вважається, що фреза працює у важчих умовах, ніж різець, і тому відносний знос зуба фрези більший. Величину $u_{0_{\text{фр}}}$ знайдемо за формулою [9]

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

де $u_{0_{\text{т}}}$ – відносний знос токарного різця.

Згідно з додатком Б, прийемо $u_{0_{\text{т}}} = 8$ мкм/км. Тоді $u_{0_{\text{фр}}} = \left(1 + \frac{100}{110}\right) 8 = 15$ мкм/км.

Величину $L_{\text{п}}$ знайдемо за формулою

$$L_{\text{п}} = \frac{LBN_{\text{п}}}{1000Zs_z},$$

де $N_{\text{п}}$ – кількість заготовок, яка обробляється між піднастроюваннями фрези. Припустимо, що $N_{\text{п}} = N = 100$ шт. Тоді $L_{\text{п}} = \frac{320 \cdot 110 \cdot 100}{1000 \cdot 12 \cdot 0,04} = 7333$ м.

За формулою (6.12) знайдемо $\varepsilon_{\text{і}}$

$$\varepsilon_{\text{і}} = \frac{15 \cdot 7333}{1000} = 110 \text{ мкм.}$$

Визначимо похибку, що спричиняється геометричною неточністю верстата ($\varepsilon_{\text{в}}$). Для консольних фрезерних верстатів класу точності H похибка $\varepsilon_{\text{в}}$ визначається як відхилення від паралельності обробленої площини до основи (технологічної бази). Згідно з [11, с. 59], на довжині $L = 320$ мм $\varepsilon_{\text{в}} = 25$ мкм.

Визначимо похибку, яка спричиняється температурними деформаціями технологічної системи, вважаючи, що згідно з [11, с. 76] вона становить приблизно 10% від суми інших похибок

$$\varepsilon_T = 0,10(60 + 7 + 31 + 110 + 25) = 23 \text{ мкм.}$$

Знайдемо сумарну похибку обробки за допомогою рівняння (6.1). Вважатимемо, що бажана ймовірність роботи без браку становить 0,9973. Згідно з [11, с. 24], величина $\frac{1}{K}$ при цьому дорівнюватиме 1. Таким чином,

$$\varepsilon_\Sigma = \sqrt{60^2 + 7^2 + 31^2 + (1,73 \cdot 110)^2 + (1,73 \cdot 25)^2 + (1,73 \cdot 23)^2} = 218 \text{ мкм.}$$

Умова (6.3) не виконується, оскільки ε_Σ перевищує величину допуску на розмір 45 ($T(A) = 160 \text{ мкм}$).

Порівняння кількісних значень елементарних похибок показує, що найефективнішим заходом, у такому випадку, є зменшення похибки, яка спричиняється розмірним зносом зубів фрези (ε_i). Цього можна досягнути зменшивши кількість заготовок, які обробляються без під настроювання фрези, наприклад, до 50 шт. Визначимо похибку ε_i за таких умов

$$L_n = \frac{320 \cdot 110 \cdot 50}{1000 \cdot 12 \cdot 0,04} = 3667 \text{ м.}$$

Похибка ε_i

$$\varepsilon_i = \frac{15 \cdot 3667}{1000} = 55 \text{ мкм.}$$

Сумарна похибка обробки становитиме

$$\varepsilon_\Sigma = \sqrt{60^2 + 7^2 + 31^2 + (1,73 \cdot 55)^2 + (1,73 \cdot 25)^2 + (1,73 \cdot 23)^2} = 143 \text{ мкм.}$$

Таким чином, умова (6.3) виконується.

Приклад № 2

Розглянемо розрахунок точності фрезерної обробки з початковими даними, аналогічними до прикладу № 1, але за умови її виконання на фрезерному безконсольному (з хрестовим столом) верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФ3 з настроюванням фрези на розмір обробки за методом пробних заготовок.

Як і в попередньому прикладі, наближену величину похибки установлення знайдемо за [11, с. 43]. Таким чином, $\varepsilon_y = 60 \text{ мкм}$.

Визначимо похибку $\varepsilon_{\text{пд}}$. Згідно з [11, с. 32], для верстата ЛТ260МФ3 з шириною стола 320 мм

$$\omega_B = \frac{y}{P_x} = \frac{360}{8 \cdot 10^3} = 0,045 \text{ мкм/Н.}$$

Уважаючи, що величини $P_{x_{\min}}$ і $P_{x_{\max}}$ залишились такими ж, як і в прикладі № 1, отримуємо

$$\varepsilon_{\text{пд}} = 0,045(690 - 464) = 10 \text{ мкм.}$$

Знайдемо похибку настроєння верстата. Якщо верстат настроюється на розмір обробки з використанням методу пробних заготовок, то

$$\varepsilon_H = 1,2\sqrt{\varepsilon_p^2 + \varepsilon_{\text{вм}}^2 + \varepsilon_{\text{зм}}^2}, \quad (6.8)$$

Згідно з паспортом верстата ЛТ260МФ3 похибка позиціонування по усім трьом координатам становить 40 мкм. Відповідно приймаємо, що $\varepsilon_p = 40$ мкм. Похибка вимірювання $\varepsilon_{\text{вм}} = 10$ мкм (вимірювання пробних заготовок здійснюється за допомогою мікрометра з ціною поділки 0,01 мм).

$$\text{Похибка } \varepsilon_{\text{зм}} = \frac{\varepsilon_{\text{пд}}}{\sqrt{m}} = \frac{10}{\sqrt{5}} = 4 \text{ мкм.}$$

Похибка настроєння становитиме

$$\varepsilon_H = 1,2\sqrt{40^2 + 10^2 + 4^2} = 50 \text{ мкм.}$$

Верстат ЛТ260МФ3 має можливість введення корекції розмірного зносу різального інструменту. Тому величину похибки ε_i приймаємо рівною похибці позиціонування, тобто $\varepsilon_i = 40$ мкм.

Знайдемо похибку, що спричиняється геометричною неточністю верстата (ε_B). Як для консольних фрезерних верстатів, так і для верстатів з хрестовим столом похибка ε_B визначається як відхилення від паралельності обробленої площини до основи (технологічної бази). Згідно з [11, с. 59], для верстата класу точності Н і шириною стола 320 мм на довжині $L = 320$ мм $\varepsilon_B = 20$ мкм.

Визначимо похибку, яка спричиняється температурними деформаціями технологічної системи

$$\varepsilon_T = 0,10(60 + 10 + 50 + 40 + 20) = 20 \text{ мкм.}$$

Сумарна похибка обробки становитиме

$$\varepsilon_{\Sigma} = \sqrt{60^2 + 10^2 + 50^2 + (1,73 \cdot 40)^2 + (1,73 \cdot 20)^2 + (1,73 \cdot 20)^2} = 114 \text{ мкм.}$$

Таким чином, умова (6.3) виконується.

6.3.4 Варіанти початкових даних для індивідуального завдання (фрезерування)

Таблиця 6.2 – Початкові дані для визначення сумарної похибки фрезерної обробки

№ варіанта	Розміри заготовки, мм			$D_{\text{фр}}$, мм	Матеріал заготовки	Кількість зубів фрези	Розмір партії, шт.	Модель верстата	Ширина столу верстата, мм	Метод налаштування фрези
	L	B	A							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	250	100	82h10	125	Сталь 45	12	300	VMC 650	540	ПЗ
2	500	120	100h11	160	Чавун СЧ18	14	180	6P13	400	Е
3	300	100	60 h11	100	Чавун КЧ 45–7	10	100	ЛТ260МФ3	320	ПЗ
4	350	150	70h10	200	Чавун СЧ18	12	400	VMC 650	540	ПЗ
5	400	170	80h11	200	Чавун СЧ18	16	150	6P13	400	ПЗ
6	240	80	35h11	100	Чавун КЧ 45–7	8	250	ЛТ260МФ3	320	ПЗ
7	450	150	70h10	200	Сталь 45	12	500	VMC 650	540	ПЗ
8	400	120	55h11	160	Чавун КЧ 45–7	14	200	6P13	400	Е
9	250	100	45h10	160	Чавун СЧ18	10	400	VMC 650	540	ПЗ
10	250	80	30h11	100	Чавун КЧ 45–7	10	120	6P13	400	Е
11	500	170	70h9	200	Сталь 45	16	400	VMC 650	540	ПЗ
12	300	120	55h10	160	Чавун КЧ 45–7	14	200	ЛТ260МФ3	320	ПЗ
13	340	100	45h9	125	Чавун СЧ18	8	350	VMC 650	540	ПЗ
14	300	80	40h11	100	Сталь 45	10	80	6P13	400	ПЗ
15	450	150	70h10	200	Чавун КЧ 45–7	12	350	VMC 650	540	ПЗ
16	400	170	65h11	200	Чавун СЧ18	16	250	ЛТ260МФ3	320	ПЗ
17	270	90	40h11	125	Чавун КЧ 45–7	12	100	6P13	400	Е
18	320	100	55h10	200	Чавун СЧ18	16	400	VMC 650	540	ПЗ

Продовження таблиці 6.1

№ варіанта	Розміри заготовки, мм			$D_{фр.}$ мм	Матеріал заготовки	Кількість зубів фрези	Розмір партії, шт.	Модель верстата	Ширина столу верстата, мм	Метод настроювання фрези
	L	B	A							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
19	270	90	40h11	100	Чавун КЧ 45–7	8	350	ЛТ260МФ3	320	ПЗ
20	350	150	85h11	200	Сталь 45	16	200	ЛТ260МФ3	320	ПЗ
21	380	170	80h11	200	Чавун КЧ 45–7	12	150	6P13	400	Е
22	320	100	40h10	160	Чавун СЧ18	10	400	VMC 650	540	ПЗ
23	300	90	55h10	125	Чавун КЧ 45–7	12	450	VMC 650	540	ПЗ
24	420	150	80h11	200	Сталь 45	16	200	6P13	400	Е
25	500	175	90h10	200	Чавун КЧ 45–7	12	550	VMC 650	540	ПЗ
26	400	100	40h10	125	Чавун КЧ 45–7	8	350	VMC 650	540	ПЗ
27	450	170	60h11	200	Сталь 45	12	250	ЛТ260МФ3	320	ПЗ
28	500	150	75h10	200	Чавун КЧ 45–7	16	450	VMC 650	540	ПЗ
29	300	120	50h11	160	Чавун СЧ18	10	150	6P13	400	Е
30	450	150	75h11	200	Сталь 45	12	200	ЛТ260МФ3	320	ПЗ

Примітки:

1. 6P13 – консольний вертикально-фрезерний верстат з ручним керуванням з ціною поділки лімба механізму переміщення гільзи шпинделя 0,05 мм. Клас точності – Н.

2. ЛТ260МФ3 – багатоінструментальний безконсольний з хрестовим столом вертикально-фрезерний верстат з ЧПК з точністю позиціонування 0,04 мм (по трьом координатам). Клас точності – Н.

3. VMC 650 – вертикальний багатоцільовий свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат з ЧПК з точністю позиціонування 0,005 мм (по трьом координатам). Виробляється фірмою «AVIA» (Польща). Клас точності – В.

4. Методи настроювання фрези: Е – настроювання за еталоном; ПЗ – настроювання за пробними заготовками.

6.5 Зміст звіту

1. Найменування та мета роботи.

2. Початкові дані та операційний ескіз із вказаними на ньому розмірами з граничними відхиленнями, що мають бути досягнуті в результаті обробки, та іншими розмірами заготовки згідно із заданим варіантом завдання.

3. Визначення всіх елементарних похибок і сумарної похибки механічної обробки.

4. Висновки щодо можливості забезпечення заданої точності обробки і (за необхідності) зміст запропонованих заходів з її підвищення.

6.6 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 обробки в умовах аналізованих технологічних переходів?

5. За рахунок чого можна зменшити похибку, яка спричиняється розмірним зносом різального інструмента?

6. Проаналізуйте 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.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7

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 в конкретних технологічних умовах.

7.1 Основні положення

Перед тим, як розраховувати кількісне значення певної елементарної похибки, потрібно спочатку переконатись, що ця похибка за заданих 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, потрібно враховувати таке.

1. Похибка установа і, відповідно, усі 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 установа.

2. Виконання принципу суміщення баз (технологічної з вимірювальною) запобігає появі лише похибки базування. На інші складові похибки установа 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, 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).

6. Похибка настроєння впливає на точність певного розміру 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 потрібно врахувати, яким саме різальним інструментом цей отвір обробляється: якщо нерегульованим (свердлом, зенкером, розверткою тощо), то похибка настроєння не виникатиме, бо відсутній процес настроювання; якщо ж регульованим (настроюваним), наприклад, розточувальною головкою або оправкою, то похибка настроєння впливатиме на точність діаметрального розміру. Таким чином, похибка настроєння не впливає на забезпечення вимог відносного розташування (співвісності, паралельності, перпендикулярності) і на показники точності форми поверхонь (площинності, прямолінійності, циліндричності, круглості тощо).

7. У випадках використання мірних різальних інструментів (свердел, зенкерів, розверток, протяжок, пазових і фасонних фрез тощо) дійсні розміри оброблених поверхонь залежать від відповідних розмірів інструментів. Коливання розмірів цих інструментів під час кожної їхньої зміни впливають на точність обробки аналогічно похибці настроєння.

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

9. Оскільки механічна обробка супроводжується змінними в часі та 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 відповідно до [11, с. 76] величину ε_T можна наближено знайти за такими формулами:

- для обробки лезовим інструментом

$$\varepsilon_T = (0,1 \div 0,15)\Delta_\Sigma, \quad (7.1)$$

- для шліфування

$$\varepsilon_T = (0,3 \div 0,4)\Delta_\Sigma. \quad (7.2)$$

У формулах (7.1) і (7.2) Δ_Σ – сумарна похибка механічної обробки без урахування похибки базування й самої похибки, що спричиняється температурними деформаціями.

7.2 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 потрібно 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 заданих технологічних умов.

7.3 Приклади виконання індивідуального завдання

Приклад № 1

Умова задачі

Для операції фрезерування (рис. 7.1) 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;
- фреза настроюється на розмір обробки за еталоном.

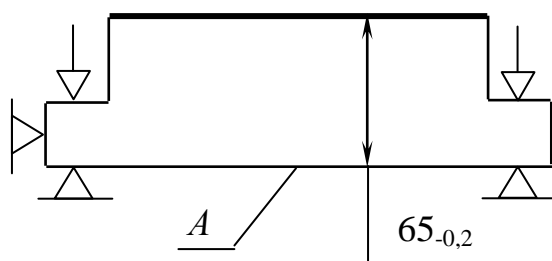


Рисунок 7.1 – Операційний ескіз до прикладу № 1

Розв'язання задачі

1. Похибка базування на точність розміру $65_{-0,2}$ мм не впливатиме, оскільки виконується принцип суміщення баз – технологічна база збігається з вимірювальною (площиною A).

2. Похибка настроення впливатиме на точність розміру $65_{-0,2}$ мм, оскільки перед обробкою партії заготовок на цій операції робітник має настроїти фрезу на розмір обробки. Якщо настроювання інструмента відбувається за еталоном, то похибка настроення визначається за формулою

$$\varepsilon_{\text{н}} = \sqrt{(K_{\text{р}}\varepsilon_{\text{р}})^2 + (K_{\text{в}}\varepsilon_{\text{вм}})^2},$$

де $\varepsilon_{\text{р}}$ – похибка регулювання;

$\varepsilon_{\text{вм}}$ – похибка вимірювання;

$K_{\text{р}} = 1,73$ і $K_{\text{в}} = 1,0$ – коефіцієнти, що враховують відхилення законів розподілу похибок $\varepsilon_{\text{р}}$ і $\varepsilon_{\text{вм}}$ від закону нормального розподілу.

Похибка настроення є випадковою похибкою.

3. Оскільки сили закріплення направлені паралельно до розміру $65_{-0,2}$ мм, то похибка закріплення впливатиме на його точність. Величину похибки закріплення можна знайти з використанням співвідношення

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

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. 7.2) партії заготовок проаналізувати можливість впливу на точність обробки циліндричної поверхні щодо вимоги співвісності таких елементарних похибок:

- похибки базування;
- похибки настроення;
- похибки, що спричиняються неточністю виготовлення і складання установних елементів пристрою.

Умови обробки:

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

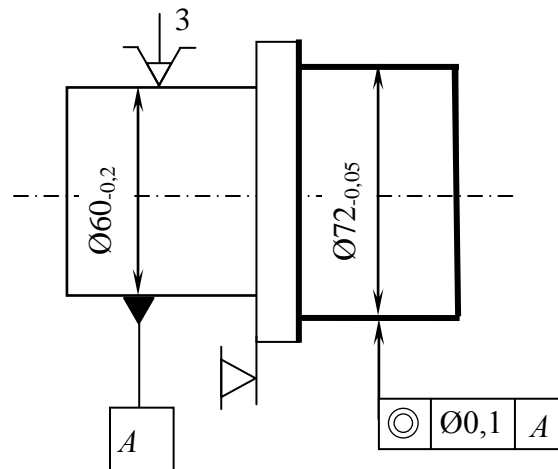


Рисунок 7.2 – Операційний ескіз до прикладу № 2

Розв'язання задачі

1. Похибка базування на вимогу співвісності у випадку, що розглядається, не впливатиме, оскільки виконується принцип суміщення баз – вимірjuвальна база (вісь поверхні $\varnothing 60_{-0,2}$ мм) використовується і як технологічна база завдяки встановленню заготовки саме на цю поверхню в трикулачковому самоцентрувальному патроні.

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

3. Похибка, що спричиняється неточністю виготовлення й складання установних елементів пристрою (трикулачкового самоцентрувального патрона) безпосередньо впливатиме на 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 й складання установних елементів пристрою буде систематичною постійною похибкою.

7.5 Питання для самоконтролю

1. У яких випадках похибка установлення 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. Чи впливає похибка настроєння на показники точності форми поверхні?

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

11. Чи впливає похибка, що спричиняється температурними деформаціями технологічної системи, на показники точності форми поверхонь?

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

13. Які елементарні похибки можуть впливати на показники точності форми поверхонь? Наведіть приклади.

7.6 Варіанти задач для індивідуальних завдань

Задача 1

Для заданих умов токарної обробки партії заготовок проаналізувати можливість впливу на точність розміру $\text{Ø}60_{-0,2}$ мм таких похибок:

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

Умови обробки:

- обладнання – токарний верстат з ручним керуванням;
- різальний інструмент – прохідний різець.
- різець настроюється на розмір обробки за еталоном.

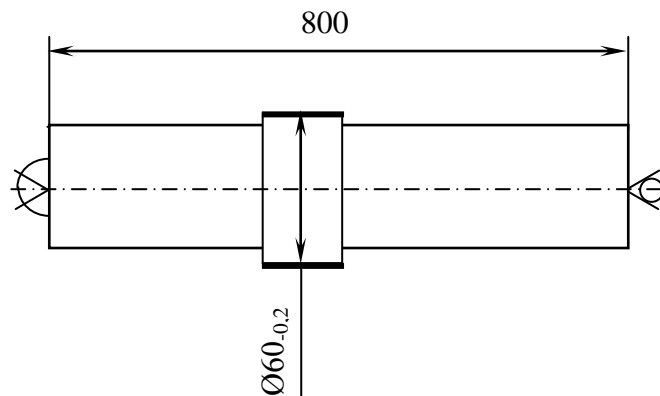


Рисунок 7.3 – Ескіз до задачі 1

Задача 2

Для заданих умов фрезерної обробки партії заготовок проаналізувати можливість впливу на сумарну похибку обробки щодо вимоги паралельності таких похибок:

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

Умови обробки:

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

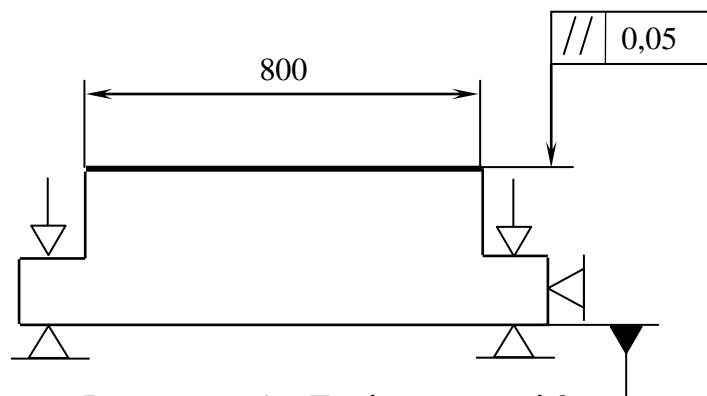


Рисунок 7.4 – Ескіз до задачі 2

Варіант 3

Для заданих умов токарної обробки партії заготовок проаналізувати можливість впливу на відхилення від циліндричності оброблюваної поверхні таких похибок:

- похибки базування;
- похибки настроєння;
- похибки, що спричиняються геометричною неточністю верстака.

Умови обробки:

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

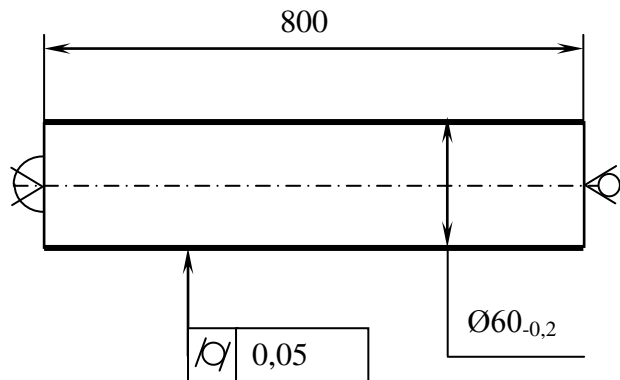


Рисунок 7.5 – Ескіз до задачі 3

Варіант 4

Для заданих умов токарної обробки партії заготовок проаналізувати можливість впливу на точність розміру $\text{Ø}65_{-0,2}$ мм таких похибок:

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

Умови обробки:

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

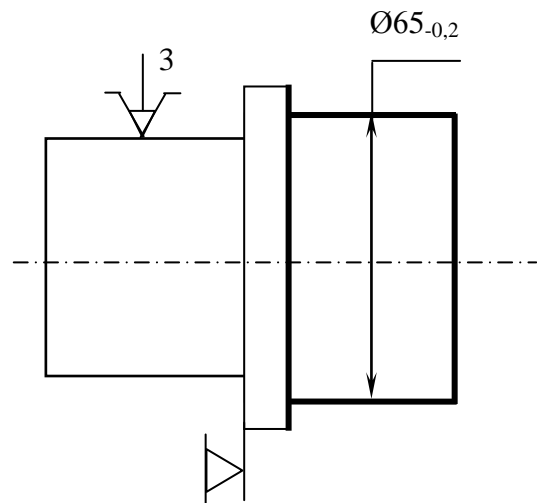


Рисунок 7.6 – Ескіз до задачі 4

Варіант 5

Для заданих умов обробки отворів з одного установка в партії заготовок проаналізувати можливість впливу на точність розміру $160 \pm 0,05$ мм таких похибок:

- похибки базування;
- похибки настроєння;
- похибки, що спричиняються температурними деформаціями технологічної системи.

Умови обробки:

- обладнання – свердлильно-фре-зерно-розточувальний верстат;
- різальний інструмент – розточувальна оправка.

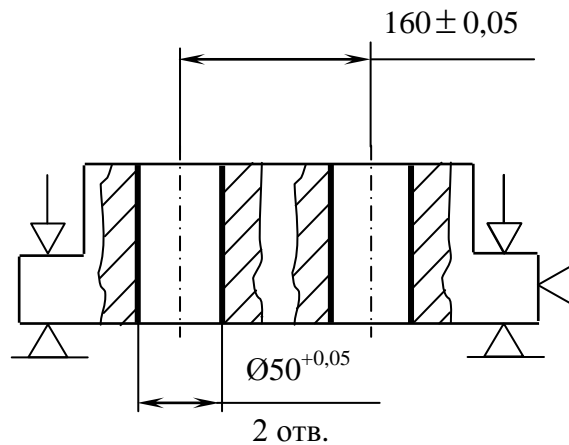


Рисунок 7.7 – Ескіз до задачі 5

Варіант 6

Для заданих умов токарної обробки партії заготовок проаналізувати можливість впливу на відхилення від співвісності оброблюваного отвору таких похибок:

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

Умови обробки:

- обладнання – токарно-револь-верний верстат;
- різальний інструмент – розточувальний різець.

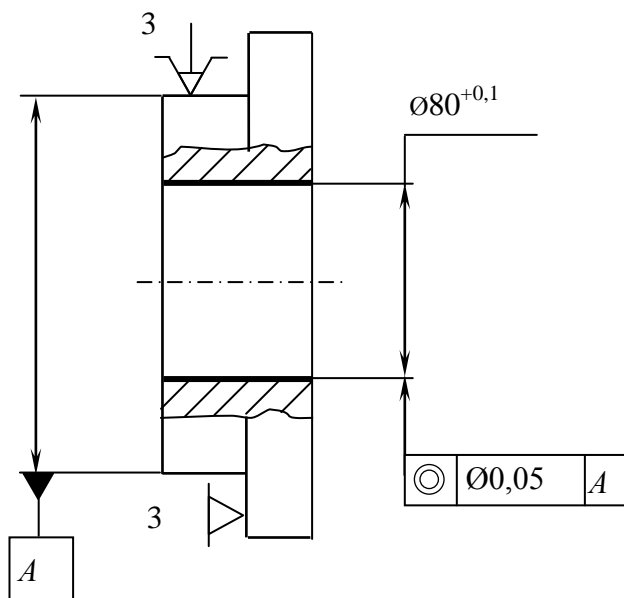


Рисунок 7.8 – Ескіз до задачі 6

Варіант 7

Для заданих умов фрезерної обробки партії заготовок проаналізувати можливість впливу на відхилення від паралельності площин таких похибок:

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

Умови обробки:

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

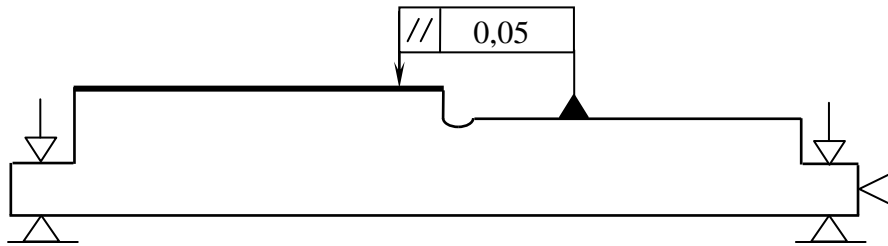


Рисунок 7.9 – Ескіз до задачі 7

Варіант 8

Для заданих умов обробки партії заготовок проаналізувати можливість впливу на відхилення від перпендикулярності осі отвору відносно площини таких похибок:

- похибки базування;
- похибки настроєння;
- похибки, що спричиняються геометричною неточністю верста-та.

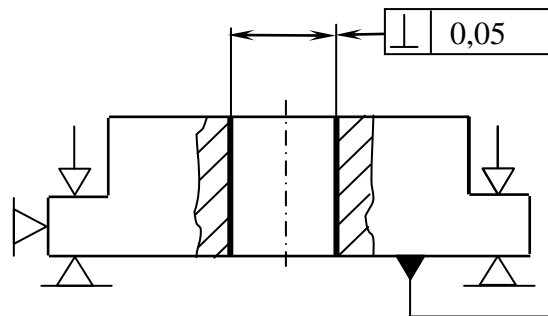


Рисунок 7.10 – Ескіз до задачі 8

Умови обробки:

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

Варіант 9

Для заданих умов обробки партії заготовок проаналізувати можливість впливу на відхилення від перпендикулярності осі отвору таких похибок:

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

Умови обробки:

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

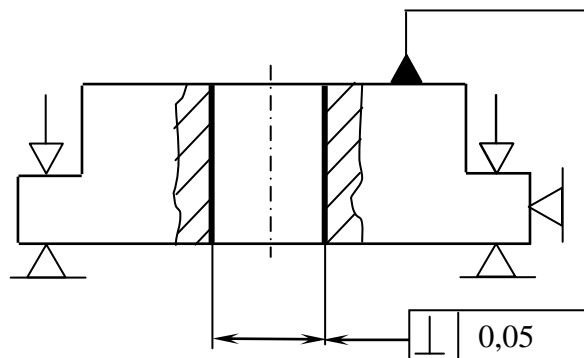


Рисунок 7.11 – Ескіз до задачі 9

Варіант 10

Для заданих умов обробки партії заготовок проаналізувати можливість впливу на точність розміру $\text{Ø}40^{+0,3}$ мм таких похибок:

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

Умови обробки:

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

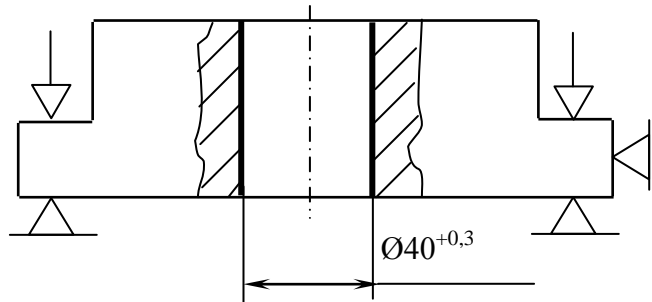


Рисунок 7.12 – Ескіз до задачі 10

Варіант 11

Для заданих умов токарної обробки партії заготовок проаналізувати можливість впливу на відхилення від площинності таких похибок:

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

Умови обробки:

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

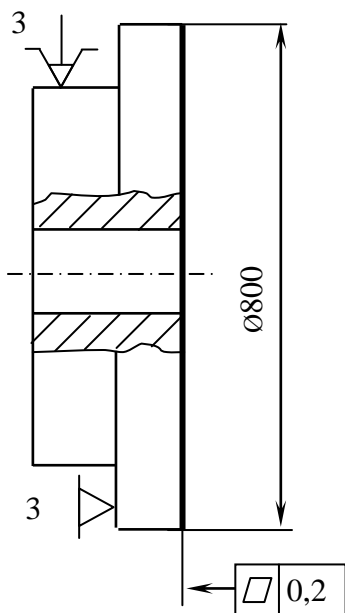


Рисунок 7.13 –
Ескіз до задачі 11

Варіант 12

Для операції фрезерування двох площин з одного установка заготовок партії проаналізувати можливість впливу на точність розміру $30 \pm 0,1$ мм таких похибок:

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

Умови обробки:

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

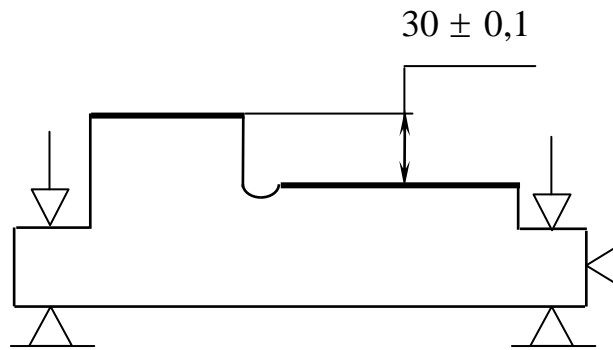


Рисунок 7.14 – Ескіз до задачі 12

СЛОВНИК НАЙУЖИВАНІШИХ ТЕРМІНІВ

- База – base
- Базування – locating
- Виконавчі поверхні машини – executive surfaces of a machine
- Вимірювальна база – measuring base
- Вихідна ланка – initial link
- Вільна поверхня – free surface
- Гістограма розподілу – distribution barchart
- Дискрета – discrete step
- Допуск – tolerance
- Допоміжна база – auxiliary base
- Закріплення – clamping
- Замикальна ланка – closing link
- Коефіцієнт точності виконання – execution precision factor
- 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
- Подвійна напрямна база – double guiding base
- Подвійна опорна база – double resting base
- Похибка базування – error of locating
- Похибка установлення – 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 спричиняється тепловими деформаціями технологічної системи – error caused by thermal deformation of a technological system

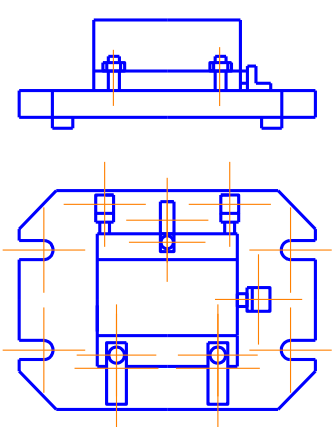
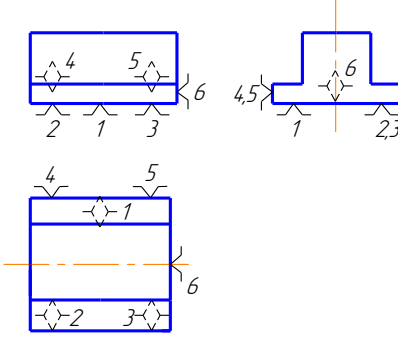
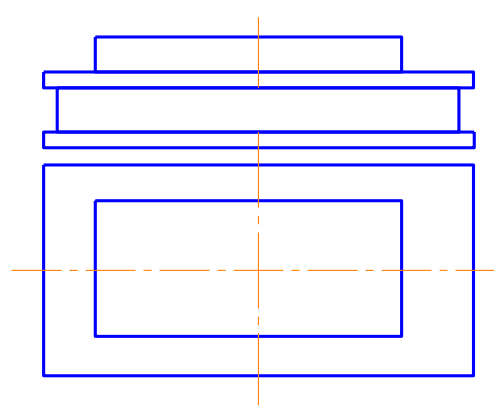
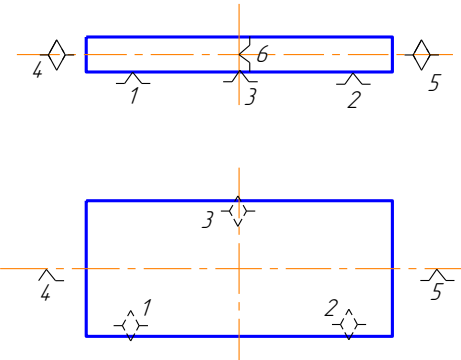
Прихована база – latent base
Розмір настроєння – tuning size
Розмірний ланцюг – dimension chain
Складова ланка – component link
Службове призначення машини – functional purpose of a machine
Сумарна похибка механічної обробки – total machining error
Схема базування – locating chart
Технологічна база – technological base
Технологічний розмірний ланцюг – technological dimension chain
Установлення – setting up
Установна база – setting base
Явна база – rial base

ЛІТЕРАТУРА

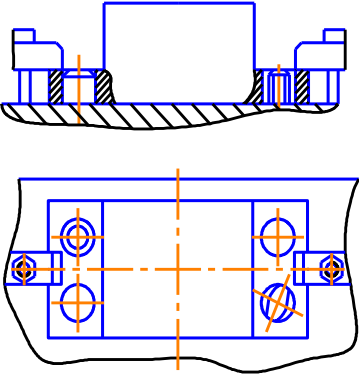
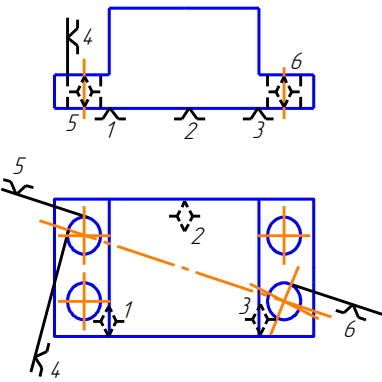
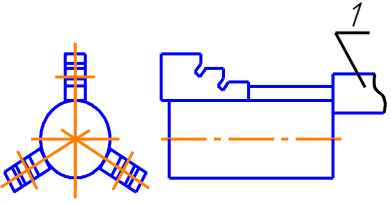
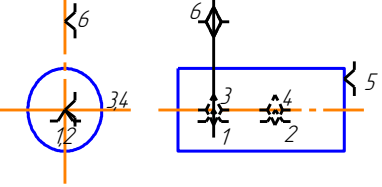
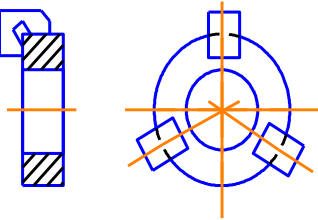
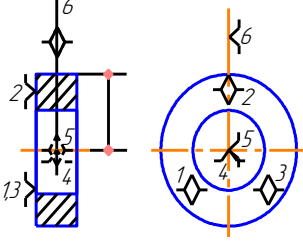
1. Аверченков В. І. Збірник задач і вправ з технології машинобудування: навч. посіб. / В. І. Аверченков, О. О. Горленко, В. Б. Ільцький – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 314 с.
2. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения. Учебник для машиностроительных специальностей вузов / Б. С. Балакшин – М. : Машиностроение, 1969. – 358 с.
3. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения : ГОСТ 21495–76. – [Действующий от 1977-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 35 с.
4. Дерібо О. В. Основы технології машинобудування. Частина 1 : навч. посіб. / О. В. Дерібо – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 125 с
5. Допуски и посадки : справ. в 2-х ч. / [В. Д. Мягков, М. А. Палей, А. Б. Романов и др.]. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, Ч. 1. – 1983. – 543 с.
6. Допуски и посадки : справ. в 2-х ч. / [В. Д. Мягков, М. А. Палей, А. Б. Романов и др.]. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, Ч. 2. – 1983. – 448 с.
7. Колесов И. М. Основы технологии машиностроения. Учебник для машиностроительных специальностей вузов / И. М. Колесов – М. : Высшая школа, 2001. – 591 с.
8. Комиссаров В. И. Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов / В. И. Комиссаров, В. И. Леонтьев. – М. : Машиностроение, 1985. – 224 с.
9. Маталин А. А. Технология машиностроения. Учебник для машиностроительных специальностей вузов / А. А. Маталин – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
10. Солонин И. С. Математическая статистика в технологии машиностроения / И. С. Солонин – М. : Машиностроение, 1972. – 216 с.
11. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х томах. Т. 1 / [В. Б. Борисов, Е. И. Борисов, В. Н. Васильев и др.] ; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.
12. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х тлмах. Т. 2 / [Ю. А. Абрамов, В. Н. Андреев, Б. И. Горбунов и др.] ; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
13. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин : лабораторний практикум / [О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, О. М. Мироненко та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 119 с.
14. Ящерицын П. И. Основы технологии механической обработки и сборки в машиностроении / П. И. Ящерицын – Минск : Высшейшая школа, 1974. – 607 с.

Додаток А

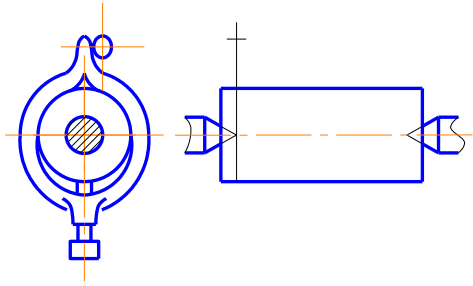
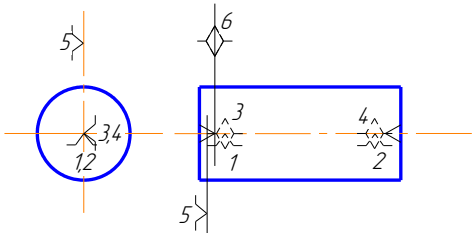
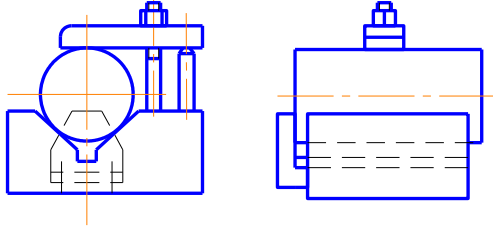
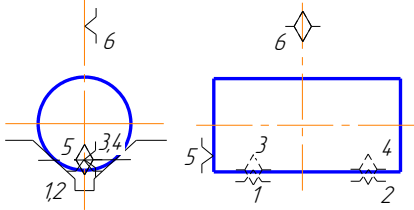
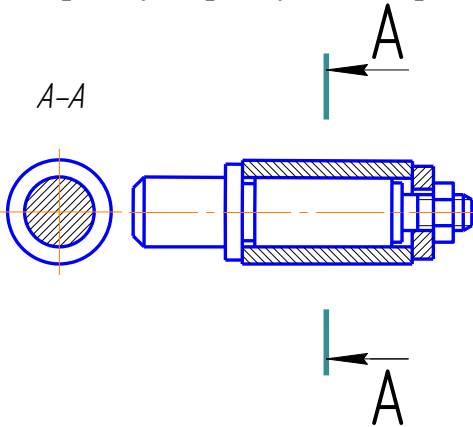
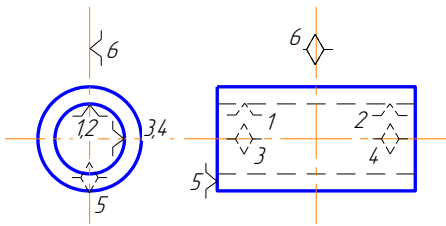
Таблиця А.1 – Схеми базування, що найчастіше використовуються у машинобудуванні

Схема встановлення	Теоретична схема базування
<p style="text-align: center;">Встановлення заготовки на площину основи і дві бокові сторони</p> 	
<p style="text-align: center;">Встановлення заготовки на площину (на магнітній плиті)</p> 	

Продовження таблиці А.1

Схема встановлення	Теоретична схема базування
<p data-bbox="228 342 662 461">Встановлення заготовки на площину і два пальці (круглий і зрізаний)</p> 	
<p data-bbox="228 1010 662 1128">Встановлення вала в трикутчастковому самоцентрувальному патроні</p>  <p data-bbox="411 1391 662 1429">1 - штангенциркуль</p>	
<p data-bbox="228 1514 662 1632">Встановлення диска в трикутчастковому самоцентрувальному патроні</p> 	

Продовження таблиці А.1

Схема встановлення	Теоретична схема базування
<p data-bbox="268 376 735 421">Встановлення вала в центрах</p> 	
<p data-bbox="268 927 735 972">Встановлення вала на призмі</p> 	
<p data-bbox="229 1424 767 1503">Встановлення втулки на циліндричну оправку (із зазором)</p> 	

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Відносний знос різців і режими чистового точіння та розточування з глибиною різання 0,1–0,3 мм для досягнення шорсткості $Ra = 3,2$ мм [9, 14]

Матеріал заготовки	Матеріал різальної частини інструмента	Режими різання		Стійкість за шорсткістю в метрах шляху різання	Відносний знос, мкм/км
		швидкість різання, м/хв	подача, мм/об		
Сталі вуглецеві конструкційні якісні ($\sigma_B = 500 \dots 600$ МПа)	Т30К4	100...180	0,04...0,08	12500	6,5
	Ельбор	550...600	0,04...0,06	25000	3,0
Сталі конструкційні леговані	Т30К4	120...180	0,02...0,08	20000	4,7
	Ельбор	450...500	0,04...0,06		
Сталі вуглецеві конструкційні після поліпшення (28...31,5 HRC ₃)	Т30К4	120...180	0,04...0,08	8000	8,5
	Ельбор	350...400	0,04...0,06	15000	4,5
Сталі вуглецеві конструкційні після гартування (41,5...46,5 HRC ₃)	Т30К4	70...150	0,02...0,05	7000	10,0
	Ельбор	60...120	0,05...0,08	21000	5,0
Чавун сірий СЧ15, СЧ18	ВК3М	100...160	0,04...0,08	21000	6,0
	ЦМ-332	220...300	0,03...0,06	22000	3,5
	Ельбор	500...550	0,04...0,06	30000	2,5
Чавун сірий СЧ15, СЧ18	ВК3М	120...160	0,04...0,08	23000	6,5
	ЦМ-332	300...350	0,03...0,06	22000	4,3
	Ельбор	500...550	0,04...0,06	40000	3,0
Чавун ковкий КЧ 30–6, КЧ 37–12	ВК3М	80...140	0,03...0,06	19000	6,0
	ЦМ-332	200...250	0,03...0,05	18000	3,5
	Ельбор	300...350	0,03...0,06	22000	3,0
Чавун ковкий КЧ 45–6, КЧ 63–2	ВК3М	120...160	0,03...0,06	17000	8,0
	ЦМ-332	200...250	0,03...0,05	15000	5,5
	Ельбор	500...550	0,03...0,06	24000	4,0
Кольорові сплави: - на основі алюмінію - на основі міді - різні сплави	ВК8	180...200	0,03...0,06	-	2
	ВК8	150	0,03...0,06	-	4
	Штучний алмаз (АСВ, АСПК та ін.)	До 1000	0,03...0,06	-	0,001

Навчальне видання

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

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

Частина 1

Практикум

Редактор О. Ткачук

Оригінал-макет підготовлено О. Дерібо

Підписано до друку 26.06.2017 р.
Формат 29,7×42 ¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 6,12.
Наклад 50 (1-й запуск 1–20) пр. Зам. № 2017-241.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
інформаційний редакційно-видавничий центр.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 59-85-32, 59-87-38.
press.vntu.edu.ua;
Email: kivc.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.