О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк,
С. І. Сухоруков

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

Частина 2

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. І. Сухоруков

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

Частина 2

Практикум

Вінниця
ВНТУ
2015

УДК 621.01(075)
ББК 34.5я73
Д36

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 6 від 29 січня 2015 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 2 : практикум / Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Сухоруков С. І. — Вінниця : ВНТУ, 2015. — 116 с.

Практикум відповідає програмі другої частини дисципліни «Основи технології машинобудування». Розглядаються практичні питання застосування математичної статистики для аналізу точності механічної обробки, а також рекомендації до розв'язання основних задач, які виникають під час проектування технологічних процесів виготовлення деталей машин. Практикум містить також приклади розв'язання цих задач.

Призначений для студентів денної та заочної форм навчання напрямів підготовки «Інженерна механіка» та «Машинобудування».

УДК 621.01(075)
ББК 34.5я73

© О. Дерібо, Ж. Дусанюк, С. Сухоруков, 2015

ЗМІСТ

Вступ..... 4

Практичне заняття № 1 Статистичний аналіз точності механічної обробки за допомогою кривих розподілу…….. 5

Практичне заняття № 2 Аналіз технологічності конструкції деталі….. 25

Практичне заняття № 3 Визначення кількості ступенів (переходів) обробки поверхонь і вибір способів обробки..... 30

Практичне заняття № 4 Вибір чистових технологічних баз..... 36

Практичне заняття № 5 Вибір чорнових технологічних баз..... 49

Практичне заняття № 6 Розробка маршруту механічної обробки заготовки деталі..……..... 53

Практичне заняття № 7 Визначення припусків на механічну обробку циліндричних поверхонь за допомогою розрахунково-аналітичного методу…… 57

Практичне заняття № 8 Визначення технологічних розмірів обробки циліндричних поверхонь і розмірів вихідної заготовки……..... 70

Практичне заняття № 9 Розмірний аналіз технологічних процесів механічної обробки…….. 81

Література..... 99

Українсько-англійський словник найуживаніших термінів……. 101

Додаток А Таблиці для статистичного аналізу точності механічної обробки за допомогою кривих розподілу…….. 103

Додаток Б Поширені схеми установів заготовок (згідно з ГОСТ 3.1107—81)……... 104

Додаток В Мінімальні проміжні припуски на механічну обробку…… 109

ВСТУП

У другій частині дисципліни «Основи технології машинобудування» (ОТМ), розглядаються:

- застосування методів математичної статистики в технології машинобудування;
- вплив сил затискання, залишкових напружень в заготовках, вібрацій в системі ВПІД на якість деталей;
- вплив технологічних факторів на показники якості поверхневого шару деталей;
- основи проектування технологічних процесів механічної обробки заготовок деталей та складання машин.

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 теоретичного матеріалу. Більшість практичних занять містить приклади розв’язання індивідуальних завдань.

Практикум призначений для використання під час практичних занять, виконання індивідуальних домашніх завдань (денна форма навчання), контрольних робіт (заочна форма навчання), а також для самопідготовки студентів. Крім того, він може бути корисним для курсового і дипломного проектування.

Призначений для студентів денної та заочної форм навчання напрямів підготовки «Інженерна механіка» та «Машинобудування».

Практичне заняття № 1

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗА ДОПОМОГОЮ КРИВИХ РОЗПОДІЛУ

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

1.1 Загальні положення та методика виконання роботи

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

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

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

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

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

Якщо в результаті кожного випробування неодмінно відбувається певна подія *A*, то таку подію називають достовірною. Якщо в умовах даного випробування деяка подія *B* ніколи не може відбутись, то її називають *неможливою* (**improbable event**).

Якщо ж під час випробування подія *C* може відбутися, а може і не відбутися, то таку подію називають *можливою* (**random event**).

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

Розрізняють дискретні і безперервні випадкові величини.

Дискретна випадкова величина (**discrete random quantity**) може при-

ймати лише певні, найчастіше цілочислові, значення. Наприклад, кількість бракованих деталей в партії може бути тільки цілим додатним числом.

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

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

Таким чином,

$$m_A = \frac{f}{N} \ . \tag{1.1}$$

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

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

Однією з основних задач математичної статистики є розробка методів вивчення масових явищ або процесів на основі порівняно невеликої кількості випробувань. Ці методи мають своє наукове обґрунтування, яке називають теорією вибірок. У відповідності з цією теорією групу предметів, об'єднаних деякою спільною ознакою або властивістю кількісного чи якісного характеру, називають *статистичною сукупністю* (**statistical universe**). Наприклад, партію деталей, оброблену в сталих технологічних умовах на певній операції, можна розглядати як статистичну сукупність. Спільною ознакою може бути, наприклад, досліджуваний розмір поверхні або розмір між поверхнями.

Для обстеження великих сукупностей використовують вибірки з них. Таким чином, *вибіркою* (**sample**) називають частину членів сукупності, відібраних із неї для отримання інформації про всю сукупність. У цьому випадку сукупність, частиною якої є вибірка, називають *генеральною сукупністю* (**general totality**).

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

Для того, щоб за даними аналізу вибірки можна було робити висновки про певну ознаку генеральної сукупності, необхідно, щоб члени вибірки правильно її відтворювали, тобто вибірка має бути *репрезентативною.*

Для забезпечення репрезентативності вибірки оброблених заготовок повинні виконуватись такі умови:

- всі заготовки мають оброблятися безперервно, на одному верстаті, одним інструментом, з однаковими режимами різання;

- верстат має працювати без тривалих перерв з приблизно однаковими зупинками для встановлення й знімання заготовок;

- всі заготовки мають бути виготовлені з одного й того ж матеріалу;

- під час обробки заготовок вибірки різальний інструмент не повинен зніматися, переточуватися, правитися або піднастроюватися.

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

$$\Delta \le T/10, \tag{1.2}$$

де T – допуск вимірюваного розміру.

Розглянемо методику виконання статистичного аналізу точності механічної обробки за допомогою кривих розподілу на прикладі переходу розточування отвору в розмір $Ø40H9(^{+0,062})$ мм на токарному напівавтоматі.

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

Для аналізу відібрана вибірка послідовно оброблених деталей об'ємом 50 штук. Дійсні діаметральні розміри отворів записані в таблицю 1.1 у послідовності вимірювання деталей.

Таблиця 1.1 — Дійсні розміри отворів

40,037	40,000	40,035	40,029	40,041
40,023	40,012	40,036	40,028	40,042
40,030	40,032	40,036	40,030	40,043
40,024	40,014	40,027	40,037	40,018
40,052	40,046	40,022	40,033	40,045
40,025	40,017	40,063	40,031	40,015
40,026	40,044	40,048	40,032	40,047
40,036	40,019	40,039	40,013	40,038
40,028	40,039	40,020	40,031	40,024
40,036	40,024	40,038	40,034	40,031

В результаті аналізу отриманої сукупності дійсних розмірів має бути побудована крива їх розподілу. Цю криву будують у такій послідовності.

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

$$\delta_e = x_{max} - x_{min}. \tag{1.3}$$

У прикладі, що розглядається, δ_e = 40,063 – 40,000 = 0,063 мм.

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

$$\Delta = \frac{\delta}{k} \ . \tag{1.4}$$

Прийнявши k = 7, отримаємо Δ = 0,063/7 = 0,009 мм.

Результат обчислення Δ допускається дещо округляти в більшу сторону. Подальші результати аналізу сукупності дійсних розмірів можна оформити у вигляді таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 — Результати аналізу дійсних розмірів

№ інтервалу	Границі інтервалу, мм	Підрахунок частот	Частота, f	Частість, m	Емпірична щільність розподілу, y_e
1	від 40,000 до 40,009	//	2	0,04	4,4
2	понад 40,009 до 40,018	/////	5	0,10	11,1
3	понад 40,018 до 40,027	///// ////	9	0,18	20,0
4	понад 40,027 до 40,036	///// ///// ///// ////	19	0,38	42,2
5	понад 40,036 до 40,045	///// /////	10	0,20	22,0
6	понад 40,045 до 40,054	////	4	0,08	8,9
7	понад 40,054 до 40,063	/	1	0,02	2,2

Емпіричний розподіл випадкової величини можна показати графічно (рис. 1.1) у вигляді *полігону розподілу* (**distribution polygon**) або *гістограми розподілу* (**distribution barchart)**.

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

$$y_{e_i} = \frac{m_i}{\Delta_i}, \tag{1.5}$$

де i — порядковий номер інтервалу.

У цьому випадку вид графіка не залежить від величини інтервалу Δ. Цей інтервал навіть можна вибирати різним на різних ділянках графіка. Зі збільшенням кількості деталей в партії, підвищенням точності їх вимірювання і наближенням Δ до нуля графік емпіричної щільності розподілу на-

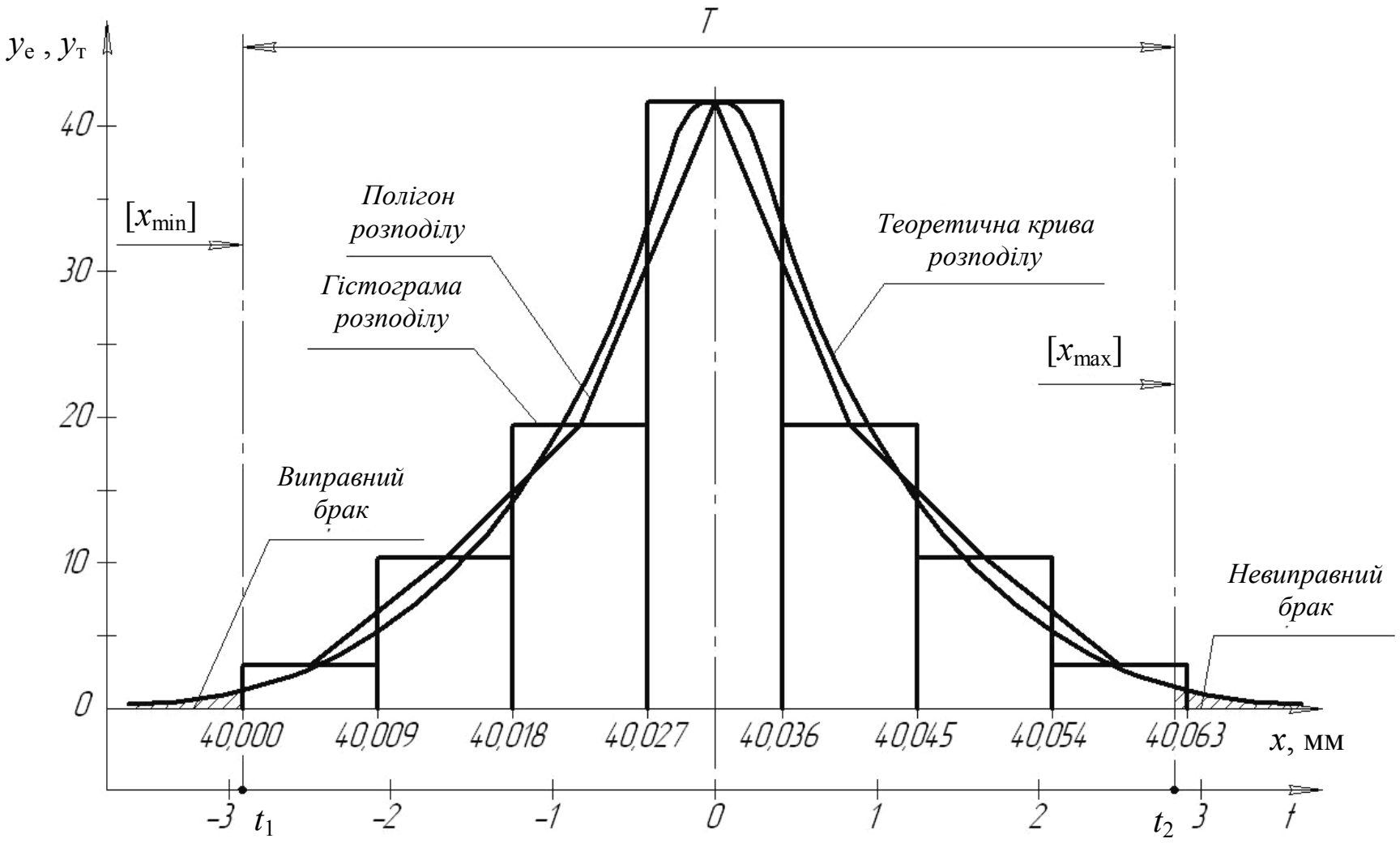


Рисунок 1.1 — Графіки емпіричної та теоретичної характеристик розподілу безперервної випадкової величини (розміру *x*)

ближається до гладкої кривої, яку називають *емпіричною диференціальною кривою розподілу* або розподілом випадкової величини.

Для того, щоб за знайденим розподілом розмірів вибірки спрогнозувати результати обробки заготовок, які складають генеральну сукупність, потрібно знайдений (емпіричний) закон розподілу замінити теоретичним законом, який за формою був би близьким до емпіричного.

Встановлено, що емпіричний розподіл розмірів заготовок, оброблених на настроєному верстаті, найчастіше близький до *закону нормального розподілу*.

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

$$y\,(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\, e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}\ , \qquad (1.6)$$

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

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

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k} x_i f_i\ ; \qquad (1.7)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k} (\bar{x}_i - \bar{x})^2 f_i}\ , \qquad (1.8)$$

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

Для прикладу, що розглядається,

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

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

Подальший аналіз результатів вимірювань здійснюється за допомогою таблиць унормованих законів розподілу. Для можливості використання таких таблиць розмірну незалежну змінну x замінюють безрозмірною незалежною змінною t, яка пов'язана з x таким співвідношенням

$$t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \ . \tag{1.9}$$

З урахуванням (1.9) рівняння (1.5) можна записати у вигляді

$$y(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}t^2} \ . \tag{1.10}$$

Важливою особливістю виразу (1.6) є те, що в інтервалі $\pm 3\sigma$ із серединою в точці, що відповідає значенню $\bar{x}$, знаходиться 99,7% усієї площі під кривою розподілу, тобто теоретичне поле розсіювання складає приблизно 6σ. Крім того, крива нормального розподілу є симетричною відносно середнього розміру $\bar{x}$ і тому

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

Далі, показавши на осі x (див. рис. 1.1) поле допуску досліджуваного технологічного розміру, можна визначити відсоток імовірного браку (виправного та невиправного).

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

$$m_{\text{бр}}^{\text{в}} = [0{,}5 - \Phi(t_1)]100\% \ , \tag{1.11}$$

де $t_1 = \frac{[x_{\min}] - \bar{x}}{\sigma}$ — координата по осі t нижньої границі поля допуску (див. рис. 1.1), $[x_{\min}]$ — найменше допустиме значення технологічного розміру.

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

$$m_{\text{бр}}^{\text{нв}} = [0{,}5 - \Phi(t_2)]100\ \% \ , \tag{1.12}$$

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

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

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

Коефіцієнт точності виконання (**execution precision factor)**

$$K_{\text{т}} = \frac{6\sigma}{T} \ , \tag{1.13}$$

де T — допуск досліджуваного технологічного розміру.

Коефіцієнт зміщення настроєння (**tuning shift coefficient**)

$$E = \frac{\left|\bar{x} - [\bar{x}]\right|}{T} \ , \tag{1.14}$$

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

Визначений за формулою (1.14) фактичний коефіцієнт зміщення настроєння порівнюється з допустимим

$$E_{\text{доп}} = \frac{T - 6\sigma}{2T} \ . \tag{1.15}$$

Слід зазначити, що регламентоване зміщення середини кривої розподілу відносно середини поля допуску може передбачатись для компенсації систематичних похибок, що закономірно змінюються (наприклад, похибки, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента), тільки за умови, якщо $T > 6\sigma$. Якщо ж $T \le 6\sigma$, то таке зміщення призводить до збільшення браку і тому є недоцільним.

Таким чином, робота без браку забезпечується, якщо виконуються умови

$$K_{\text{т}} \le 1 \ ; \tag{1.16}$$

$$E \le E_{\text{доп}} \ . \tag{1.17}$$

1.2 Зміст і послідовність виконання завдання

На настроєному верстаті оброблена вибірка заготовок об’ємом 50 штук. Всі умови репрезентативності вибірки виконані. Вимірюванням встановлені дійсні значення аналізованого технологічного розміру всіх заготовок вибірки. Технологічні умови обробки і характеристика вимірювального інструмента наведені в таблиці 1.3. Дійсні значення розмірів оброблених заготовок вибірки для запропонованих варіантів показані в таблиці 1.4.

Таблиця 1.3 — Технологічні умови механічної обробки і характеристика вимірювального інструмента

№ варіанта	Найменування оброблюваної деталі	Тип верстата, на якому виконана обробка	Вид оброблюваної поверхні	Аналізований технологічний розмір, мм	Вимірювальний інструмент (ціна поділки, мм)
1	2	3	4	5	6
1	Вал	Токарний гідрокопіювальний напівавтомат	Зовнішня циліндрична поверхня	Ø40h10 $(_{-0,1})$	Мікрометр (0,01)
2	Втулка	Алмазно-розточувальний	Отвір	Ø65H7 $(^{+0,03})$	Індикаторний нутромір (0,001)
3	Корпус	Вертикально-фрезерний з ЧПК	Паз	Ширина паза $(20^{+0,21})$	Штангенциркуль з цифровою індикацією (0,01)
4	Вал	Токарний з ЧПК	Зовнішня циліндрична поверхня	Ø80h12 $(_{-0,3})$	Штангенциркуль з цифровою індикацією (0,01)
5	Планка	Вертикально-фрезерний з ЧПК	Площина	Розмір між площинами (50±0,31)	Штангенциркуль з цифровою індикацією (0,01)
6	Фланець	Токарно-револьверний	Отвір	Ø40H10 $(^{+0,1})$	Індикаторний нутромір (0,01)
7	Кришка	Токарно-револьверний з ЧПК	Отвір	Ø80H12 $(^{+0,3})$	Мікрометричний нутромір (0,01)
8	Плита	Вертикально-фрезерний з ЧПК	Площина	Розмір між площинами (60±0,37)	Мікрометр (0,05)
9	Шатун	Плоскошліфувальний	Площина	Розмір між площинами (36±0,08)	Штангенциркуль з цифровою індикацією(0,01)
10	Кришка	Токарний з ЧПК	Зовнішня циліндрична поверхня	Ø120h12$_{(-0,35)}$	Мікрометр (0,01)

Продовження таблиці 1.3

№ варіанта	Найменування оброблюваної деталі	Тип верстата, на якому виконана обробка	Вид оброблюваної поверхні	Аналізований технологічний розмір, мм	Вимірювальний інструмент (ціна поділки, мм)
1	2	3	4	5	6
11	Корпус	Оброблювальний центр	Отвір	Ø75H10 $(^{+0,12})$	Мікрометричний нутромір (0,01)
12	Вал	Токарний з ЧПК	Зовнішня цилінд-рична поверхня	Ø50h9 $(_{-0,062})$	Оптико-механічний довжиномір (0,001)
13	Фланець	Токарно-револьверний з ЧПК	Терець	Розмір між торцями (45±0,31)	Штангенциркуль з глибино-міром і цифровою індикацією (0,01)
14	Кронштейн	Оброблювальний центр	Отвір	Ø55H10 $(^{+0,12})$	Індикаторний нутромір (0,01)
15	Плита	Вертикально-фрезерний з ЧПК	Площина	Розмір між площинами $(18_{-0,18})$	Штангенциркуль з цифровою індикацією (0,01)
16	Ступиця	Токарний з ЧПК	Зовнішня цилінд-рична поверхня	Ø100h10 $(_{-0,14})$	Мікрометр (0,01)
17	Кришка	Карусельно-фрезерний	Площина	Розмір між площинами (20±0,18)	Штангенциркуль з цифровою індикацією (0,01)
18	Вал	Токарний ЧПК	Зовнішня цилінд-рична поверхня	Ø90h12 $(_{-0,35})$	Мікрометр (0,01)

Продовження таблиці 1.3

№ варіанта	Найменування оброблюваної деталі	Тип верстата, на якому виконана обробка	Вид оброблюваної поверхні	Аналізований технологічний розмір, мм	Вимірювальний інструмент (ціна поділки, мм)
1	2	3	4	5	6
19	Корпус	Вертикально-фрезерний з ЧПК	Площина	Розмір між площинами (150±0,2)	Мікрометр (0,01)
20	Втулка	Алмазно-розточувальний	Отвір	Ø90H7 $(^{+0,035})$	Індикаторний нутромір (0,001)
21	Кришка	Токарно-револьверний з ЧПК	Торець	Розмір між торцями (30±0,26)	Штангенциркуль з глибиноміром і цифровою індикацією (0,01)
22	Вал	Токарний з ЧПК	Зовнішня циліндрична поверхня	Ø45h10 $(_{-0,1})$	Мікрометр (0,01)
23	Стакан	Внутрішньошліфувальний	Отвір	Ø65H8 $(^{+0,046})$	Індикаторний нутромір (0,001)
24	Втулка	Токарно-револьверний з ЧПК	Отвір	Ø100H10 $(^{+0,14})$	Індикаторний нутромір (0,01)
25	Шатун	Вертикально-фрезерний з ЧПК	Площина	Розмір між площинами 35h11 $(_{-0,16})$	Штангенциркуль з глибиноміром і цифровою індикацією (0,01)

Таблиця 1.4 — Дійсні значення розмірів оброблених заготовок вибірки (для варіантів завдань)

Варіант 1									
39,99	39,95	39,93	39,95	39,92	39,93	39,99	39,96	39,95	39,91
40,00	39,91	39,95	40,02	40,00	39,94	39,94	39,95	39,96	39,92
39,93	39,88	39,98	39,99	39,98	39,98	39,95	40,00	39,95	39,96
39,97	39,89	39,96	39,93	39,97	39,93	39,96	39,97	39,96	39,97
39,99	39,92	39,94	39,98	39,95	39,96	39,95	39,95	39,95	39,98
Варіант 2									
65,024	65,025	64,995	65,006	65,014	65,008	65,020	65,013	65,014	65,012
65,007	65,012	65,016	65,019	65,018	65,017	65,015	65,018	65,017	65,015
65,015	65,021	65,022	65,010	65,015	65,013	65,007	65,013	65,012	65,020
65,025	65,014	65,012	65,023	65,005	65,011	65,000	65,020	65,016	65,016
65,004	65,003	65,019	65,008	65,03	65,016	65,018	65,015	65,018	65,020
Варіант 3									
20,01	20,11	20,08	20,09	20,02	20,05	20,07	20,10	20,08	20,012
20,17	20,04	19,97	20,15	20,13	20,14	20,13	20,07	20,17	20,15
20,08	20,14	20,16	20,11	20,08	20,10	20,06	20,13	20,11	20,12
20,06	20,07	20,12	20,19	20,03	20,06	20,2	20,10	20,12	20,25
20,18	20,15	20,02	20,11	20,16	20,21	20,10	20,12	20,13	20,12
Варіант 4									
79,66	79,75	79,8	79,65	79,60	79,92	79,82	79,83	79,58	79,68
79,87	79,84	79,85	79,62	79,86	79,79	79,64	79,69	79,74	79,76
79,98	80,02	79,7	79,89	79,76	79,70	79,80	79,75	79,79	79,90
79,76	79,96	79,8	79,74	79,81	79,75	79,78	79,80	79,82	79,90
79,88	79,98	79,81	80,00	79,94	79,82	79,73	79,72	79,85	79,71
Варіант 5									
49,98	49,90	49,93	49,97	50,04	50,11	49,96	49,88	49,75	50,14
50,20	50,25	50,12	50,07	49,97	49,9	49,87	50,00	49,98	49,70
49,90	50,09	50,02	49,96	49,85	49,65	50,08	49,86	50,02	50,02
49,98	49,92	50,01	50,05	50,05	50,00	50,03	50,16	49,95	50,03
50,10	50,18	49,78	50,00	50,22	50,35	49,80	50,06	50,15	50,05

Продовження таблиці 1.4

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

Продовження таблиці 1.4

Варіант 11									
75,05	75,05	74,95	75,09	75,10	75,05	75,05	75,09	74,96	75,12
75,08	75,07	75,08	75,04	75,13	75,03	75,08	75,06	75,06	75,06
75,02	75,10	75,04	74,98	74,90	75,01	75,06	75,10	75,10	75,08
74,90	75,02	75,07	75,03	75,12	75,06	75,00	75,04	75,07	75,16
75,02	75,09	75,03	75,07	75,07	75,04	75,05	75,06	75,05	75,07
Варіант 12									
49,988	49,958	49,985	49,978	49,981	49,992	49,950	49,963	49,973	49,977
49,974	49,990	49,967	49,968	49,957	49,966	49,970	49,986	49,995	49,983
49,967	49,971	49,975	49,955	49,974	49,971	49,984	50,000	49,972	49,969
49,968	49,962	49,980	49,969	49,966	49,970	49,965	49,947	49,981	49,975
49,972	49,935	49,966	49,979	49,964	49,994	49,972	49,956	50,005	49,976
Варіант 13									
45,16	45,09	45,01	44,98	44,78	45,01	44,80	44,97	44,96	44,98
44,87	44,97	44,95	45,05	44,94	44,90	44,96	44,88	45,02	45,11
44,99	45,05	45,00	44,65	45,00	45,13	45,02	44,92	44,91	45,04
45,03	44,93	45,18	45,25	45,20	44,85	45,30	45,12	44,86	45,08
44,82	44,75	44,84	45,03	44,89	45,14	45,35	45,06	45,15	45,04
Варіант 14									
55,00	55,06	55,065	55,06	55,065	55,06	55,11	55,07	55,05	55,04
55,04	55,05	55,08	55,07	55,05	55,04	55,045	55,05	55,025	55,06
55,065	55,08	55,03	55,03	55,07	55,03	55,06	55,03	55,04	55,01
55,09	55,02	55,055	55,01	55,055	55,10	55,05	55,06	55,08	55,04
55,05	55,06	55,045	54,98	55,02	55,08	55,035	55,04	55,12	55,08
Варіант 15									
17,90	17,90	17,83	17,90	17,91	17,87	17,88	17,95	17,84	17,87
17,94	17,85	17,94	17,92	17,97	17,91	17,90	17,98	17,91	18,01
17,92	17,92	17,91	17,85	17,86	17,86	17,94	17,93	17,95	17,89
17,88	17,90	17,89	17,80	17,92	17,98	17,91	17,89	17,93	17,96
17,92	17,88	17,97	17,96	17,90	17,91	17,82	17,95	17,92	17,87

Продовження таблиці 1.4

Варіант 16									
99,92	99,90	99,97	99,91	99,96	100,00	99,90	99,98	99,86	99,95
99,98	99,94	99,92	99,92	99,92	99,92	99,94	99,93	99,91	99,90
99,93	99,92	99,90	99,97	99,90	99,88	99,97	99,93	99,95	99,94
99,89	99,89	99,88	99,94	99,93	99,95	99,99	100,00	100,02	99,93
99,96	99,82	99,94	99,89	99,96	99,93	99,87	100,03	99,94	99,94
Варіант 17									
20,10	20,09	19,86	20,00	19,99	20,01	19,8	20,10	19,93	20,22
19,97	20,00	19,99	20,04	20,08	20,04	20,01	20,03	20,00	20,14
20,04	19,95	20,06	20,02	19,94	19,95	20,05	19,98	20,02	20,03
20,07	19,99	20,16	19,92	19,89	20,01	20,15	20,00	20,08	20,05
19,98	19,90	19,96	20,03	20,06	19,87	19,88	20,03	20,12	20,02
Варіант 18									
89,92	89,80	89,67	89,86	89,81	89,80	89,58	89,72	89,81	89,79
89,78	89,77	89,75	89,77	89,77	89,88	89,83	89,84	89,85	89,86
89,74	89,85	89,80	89,80	89,72	89,73	89,78	89,95	89,89	89,90
89,70	89,78	89,73	89,85	89,65	89,82	89,74	89,75	89,83	90,00
89,88	89,94	89,84	89,82	89,76	89,76	89,82	89,80	89,68	89,79
Варіант 19									
150,05	149,98	149,92	149,88	149,86	149,96	149,84	149,99	149,94	150,12
149,97	149,90	150,01	150,14	150,03	150,00	150,01	150,10	150,16	150,09
149,98	149,97	149,97	150,03	150,15	149,94	149,96	150,24	150,08	150,17
149,92	150,00	150,00	149,98	149,75	150,02	150,02	149,89	150,02	150,20
150,07	150,06	149,92	150,00	150,03	150,04	149,82	149,90	149,82	150,10
Варіант 20									
90,000	89,990	90,011	89,999	90,016	90,017	89,990	90,025	90,001	90,014
90,015	89,985	90,006	90,028	90,012	89,995	90,004	89,995	89,99	90,030
90,011	90,014	90,018	90,012	90,005	90,012	90,018	90,024	90,020	90,016
90,010	90,006	90,010	90,010	90,011	90,015	90,005	90,012	90,036	90,000
90,002	90,010	90,005	90,004	90,020	90,026	90,012	90,06	89,995	90,016

Продовження таблиці 1.4

Варіант 21									
30,05	29,84	29,93	29,83	29,80	30,01	29,85	30,06	29,85	30,02
29,95	29,98	29,97	29,65	30,00	29,94	29,98	30,15	29,92	30,12
29,86	29,97	30,00	30,00	29,94	29,82	29,95	30,28	30,08	30,03
30,00	30,01	29,78	30,18	29,75	29,90	29,88	30,01	30,04	30,07
29,96	29,98	29,90	29,95	30,16	30,09	29,70	30,10	29,96	30,10
Варіант 22									
44,93	44,94	44,98	44,97	44,94	44,93	44,90	44,91	44,94	44,94
44,95	44,95	44,95	44,91	44,96	44,98	44,95	44,97	44,96	44,90
44,96	44,96	44,97	44,88	44,95	44,96	44,99	44,95	44,93	44,93
44,97	44,98	44,96	44,96	44,98	44,93	44,96	44,99	45,01	44,95
44,92	44,92	44,95	44,98	44,96	44,95	44,94	45,00	45,02	45,00
Варіант 23									
65,021	65,018	64,990	65,006	65,018	65,030	65,03	65,022	65,053	65,024
65,028	65,024	65,036	65,022	65,024	65,016	65,022	65,030	65,028	65,020
65,024	65,020	65,014	65,040	65,022	65,012	65,014	65,012	65,022	65,010
65,026	65,026	65,026	65,002	65,035	65,004	65,020	65,000	65,008	65,017
65,020	65,016	65,035	64,995	65,028	65,044	65,038	65,030	65,017	65,035
Варіант 24									
100,02	100,11	100,08	100,06	100,12	100,09	100,00	100,07	100,14	100,19
100,10	99,98	100,09	100,15	100,09	100,10	100,16	100,09	100,09	100,11
100,08	100,15	100,05	100,07	100,13	100,05	100,06	100,12	100,04	100,09
100,09	100,13	100,12	100,10	100,08	100,12	100,08	100,08	100,10	100,13
100,10	100,11	100,08	100,04	100,05	100,03	100,10	100,18	100,07	100,09
Варіант 25									
34,92	34,91	34,88	34,90	34,84	34,80	34,90	34,93	34,89	34,85
34,87	34,88	34,92	34,94	34,90	34,85	34,86	34,91	34,82	35,01
34,96	34,94	34,95	34,92	34,88	34,95	34,90	34,89	34,93	34,87
34,90	34,97	34,98	34,90	34,94	34,87	34,88	34,83	34,90	34,91
34,92	34,91	34,91	34,97	34,96	34,91	34,95	34,95	34,89	34,92

Для заданого викладачем варіанта (див. табл. 1.3) необхідно встановити наявність імовірного браку та його характер.

Завдання пропонується виконати у такій послідовності.

1. З використанням умови (1.2) перевірити правильність вибору вимірювального інструмента.

2. Серед сукупності значень отриманих дійсних розмірів заготовок вибірки (див. табл. 1.4) вибрати мінімальний та максимальний, знайти поле розсіювання і розбити його на непарну кількість інтервалів (рекомендована кількість — 7).

3. Для кожного з інтервалів визначити частоту, частість, емпіричну щільність розподілу і записати в таблицю, яку оформити аналогічно таблиці 1.2.

4. Побудувати графіки емпіричного диференціального розподілу (див. рис. 1.1) у вигляді гістограми та полігону розподілу. На рисунку показати також поле допуску.

5. Визначити середнє значення розміру $\bar{x}$ і середнє квадратичне відхилення σ за формулами (1.7) і (1.8).

6. На графік емпіричного розподілу (див. рис. 1.1) нанести графік теоретичної кривої розподілу (кривої нормального розподілу). Точки для побудови графіка знайти за формулою

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

Значення функції $z = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}t^2}$ можна взяти з додатка А (таблиця А.2). Для даного випадку достатньо взяти точки t = 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3, а другу половину кривої побудувати симетрично.

7. Визначити відсоток виправного і невиправного браку за формулами (1.11) і (1.12).

9. Визначити коефіцієнт точності виконання і коефіцієнт зміщення настроєння за формулами (1.13) і (1.14), допустимий коефіцієнт зміщення настроєння за формулою (1.15) і перевірити виконання умов (1.16) та (1.17).

10. Зробити висновки щодо можливості забезпечення необхідної точності обробки на досліджуваному технологічному переході, та, за необхідності, запропонувати заходи зі зменшення імовірного браку.

1.3 Зміст звіту

1. Назва і мета заняття.

2. Технологічні умови обробки і характеристика вимірювального інструмента (згідно з індивідуальним завданням).

3. Результати статистичної обробки результатів вимірювання (у формі таблиці 1.2).

4. Розрахунки середнього значення розміру $\bar{x}$ і середнього квадратичного відхилення σ (за формулами (1.7) і (1.8).

5. Гістограма, полігон і теоретична крива розподілу (див. рис. 1.1).

6. Визначення імовірного браку, коефіцієнта точності виконання і коефіцієнта зміщення настроєння.

7. Висновки і пропозиції.

1.4 Питання для самоперевірки

1. Сутність методу статистичного аналізу точності механічної обробки за допомогою кривих розподілу.

2. Які вимоги мають задовольняти заготовки вибірки для забезпечення її репрезентативності?

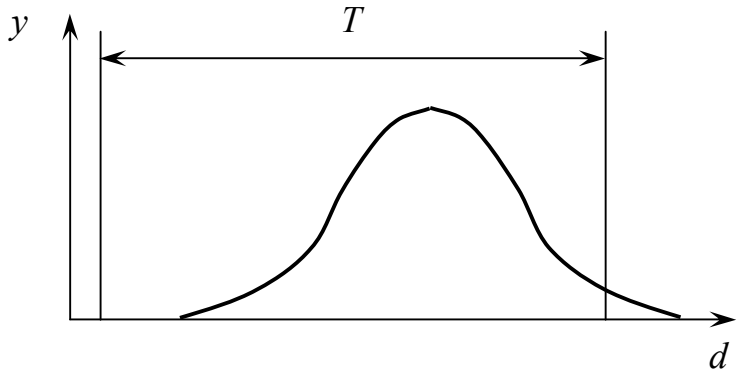
3. Основні статистичні характеристики розподілу безперервних випадкових величин.

3. Які статистичні характеристики точності технологічного переходу можна визначити за допомогою побудови і аналізу кривих розподілу?

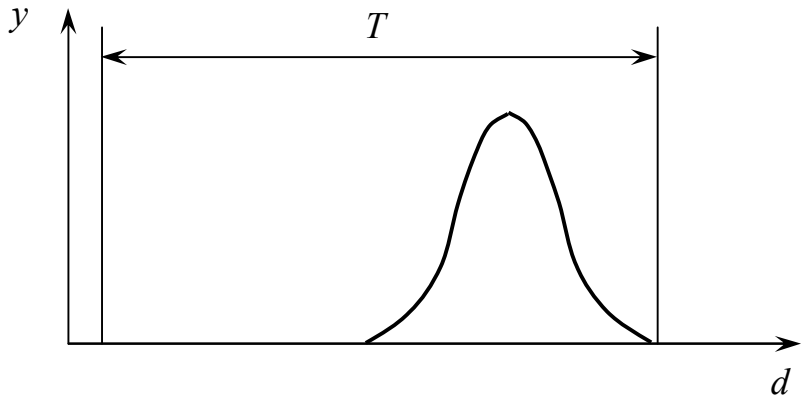
4. Як визначається імовірний відсоток браку?

5. Чи залежить імовірний відсоток браку від коефіцієнта точності виконання і коефіцієнта зміщення настроєння?

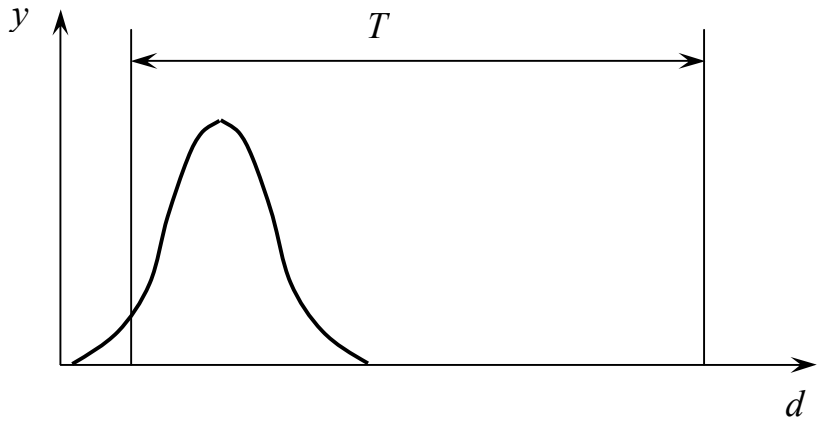
6. За результатами вимірювання валиків вибірки, оброблених прохідним різцем на токарній операції, побудована крива розподілу, що показана на рисунку. T — допуск діаметра d шийки валика. Проаналізуйте отриманий результат і, за необхідності, вкажіть шляхи зменшення імовірного браку.



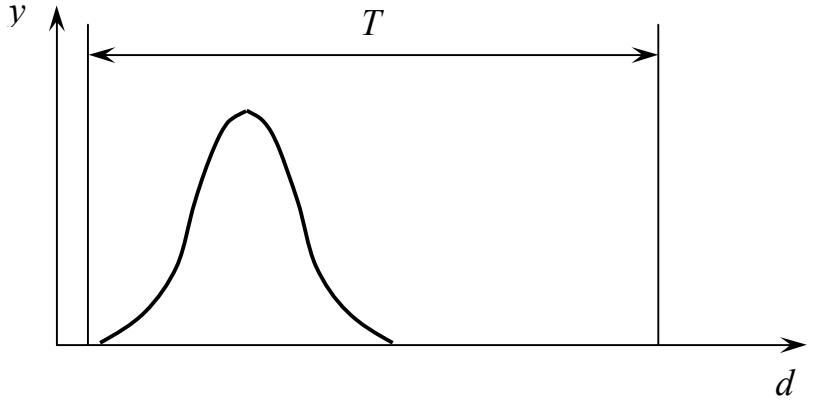
7. За результатами вимірювання отвору у заготовках вибірки, оброблених розточувальною головкою на багатоцільовому верстаті, побудована крива розподілу, що показана на рисунку. T — допуск діаметра d отвору. Проаналізуйте отриманий результат і, за необхідності, вкажіть шляхи зменшення імовірного браку.



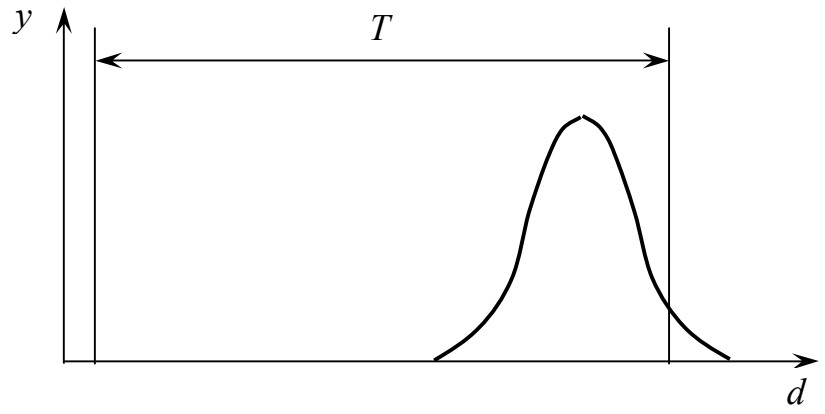
8. За результатами вимірювання отвору у заготовках вибірки, оброблених розточувальною оправкою на багатоцільовому верстаті, побудована крива розподілу, що показана на рисунку. *T* — допуск діаметра *d* отвору. Проаналізуйте отриманий результат і, за необхідності, вкажіть шляхи зменшення імовірного браку.



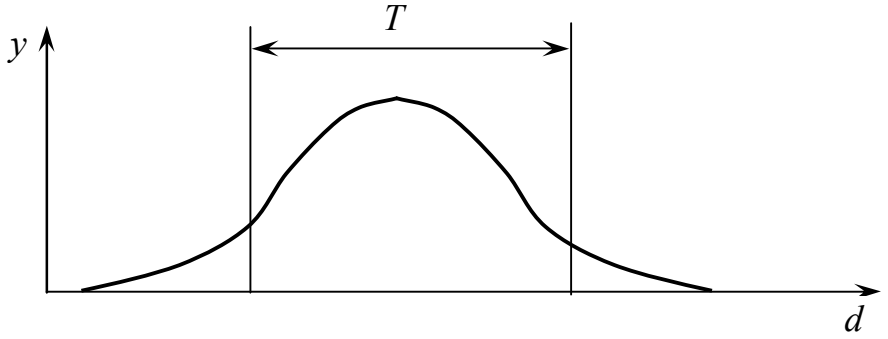
9. За результатами вимірювання валиків вибірки, оброблених прохідним різцем на токарній операції, побудована крива розподілу, що показана на рисунку. *T* — допуск діаметра *d* шийки валика. Проаналізуйте отриманий результат і, за необхідності, вкажіть шляхи зменшення імовірного браку.



10. За результатами вимірювання валиків вибірки, оброблених прохідним різцем на токарній операції, побудована крива розподілу, що показана на рисунку. T — допуск діаметра d шийки валика. Проаналізуйте отриманий результат і, за необхідності, вкажіть шляхи зменшення імовірного браку.



11. За результатами вимірювання отвору у заготовках вибірки, оброблених розточувальною головкою на багатоцільовому верстаті, побудована крива розподілу, що показана на рисунку. T — допуск діаметра d отвору. Проаналізуйте отриманий результат і, за необхідності, вкажіть шляхи зменшення імовірного браку.



Практичне заняття № 2

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ

Мета роботи — набуття практичних навиків виконання аналізу технологічності конструкції деталі.

2.1 Основні положення і рекомендації до виконання роботи

Відповідно до ГОСТ 14.301—83 технологічні процеси розробляються для виготовлення виробів, конструкція яких є технологічною.

Робота із забезпечення технологічності конструкції виробу має спрямовуватись на підвищення продуктивності праці, скорочення часу і матеріальних затрат на проектування технологічного процесу, технологічну підготовку виробництва, виготовлення, технічне обслуговування і ремонт виробу із забезпеченням необхідної його якості (ГОСТ 14.201—73).

Виріб вважається технологічним, якщо в умовах певного підприємства і прийнятого типу виробництва його конструкція забезпечує найменшу технологічну собівартість.

Технологічність машинобудівного виробу (**manufacturability of an engineering product**) має забезпечуватись під час його розробки, тобто інженерами-конструкторами.

Таким чином, розробка конструкції кожної з деталей повинна виконуватись тільки із забезпеченням їх технологічності. Для цього слід керуватись такими правилами.

1. На основі складального креслення аналізують службове призначення деталі, встановлюють функціональне призначення поверхонь, тобто виявляють конструкторські бази (основні і допоміжні), кріпильні і вільні поверхні та, згідно з цим, призначають показники точності деталі.

2. Передбачені кресленням деталі вимоги точності повинні строго узгоджуватись з її службовим призначенням. Необґрунтовано завищені вимоги точності потребують додаткових операцій, подовжують цикл обробки, збільшуючи цим самим трудомісткість і собівартість деталі.

4. Конфігурація деталі має бути якомога простішою і дозволяти застосовувати високопродуктивні способи обробки.

5. Матеріал деталі має бути, за можливістю, легкооброблюваним.

Аналіз технологічності деталі зазвичай виконується у такій послідовності.

1. Перевіряється наявність і правильність розташування всіх необхідних показників точності (лінійних і діаметральних розмірів, вимог відносного розташування.

2. Встановлюється можливість застосування високопродуктивних способів обробки.

3. Аналізуються конструктивні елементи деталі в технологічному відношенні. Виявляє важкодоступні для обробки місця.

4. Визначається можливість суміщення технологічних і конструкторських баз для забезпечення розмірів, що мають жорсткі допуски.

5. Визначається можливість безпосереднього вимірювання заданих на кресленні деталі розмірів.

6. Визначається наявність поверхонь, які можуть бути використані для базування.

7. Аналізується необхідність введення в конструкцію деталі штучних технологічних баз.

Загальний підхід під час аналізу технологічності деталі такий — конструктивні елементи, які збільшують трудомісткість обробки і знижують її надійність, слід вважати нетехнологічними.

Розглянемо рекомендації щодо забезпечення технологічності деяких поширених класів деталей.

Корпусні деталі

1. Якщо деталь має як оброблені, так і необроблені поверхні (рис. 2.1), то розміри на кресленні деталі проставляють так. Спочатку сіткою розмірів з'єднують всі необроблені поверхні, потім сіткою розмірів з'єднують всі оброблені поверхні. Потім щонайбільше трьома розмірами (відповідно у напрямі осей *X, Y* і *Z*) ці сітки розмірів з'єднують між собою.

2. Для підвищення продуктивності механічної обробки, простоти забезпечення шорсткості і точності бажано, щоб конструкція корпусної деталі дозволяла обробку напрохід всіх площин, розташованих з одного боку деталі, з вільним встановленням інструмента на рівень обробки і вільним його виходом із зони обробки.

3. Різальний інструмент повинен мати вільний доступ до всіх механічно оброблюваних поверхонь.

4. Бажано, щоб форма головних отворів дозволяла виконувати їх обробку напрохід.

5. Бажано, щоб в головних отворах не було механічно оброблюваних поверхонь з діаметром більшим, ніж сам отвір, (наприклад, канавок під стопорні кільця).

6. В конструкції деталі бажано уникати довгих отворів ($L \geq 10D$) і глухих різьбових отворів.

7. Бажано, щоб головні отвори розташовувались під прямим кутом відносно площин входу і виходу різального інструмента.

8. Жорсткість всіх елементів деталі має дозволяти використовувати високопродуктивні режими різання.

9. В деталях, виготовлюваних з литих заготовок, не повинно бути елементів, здатних гальмувати процес усадки і, відповідно, спричиняти появу залишкових напружень.

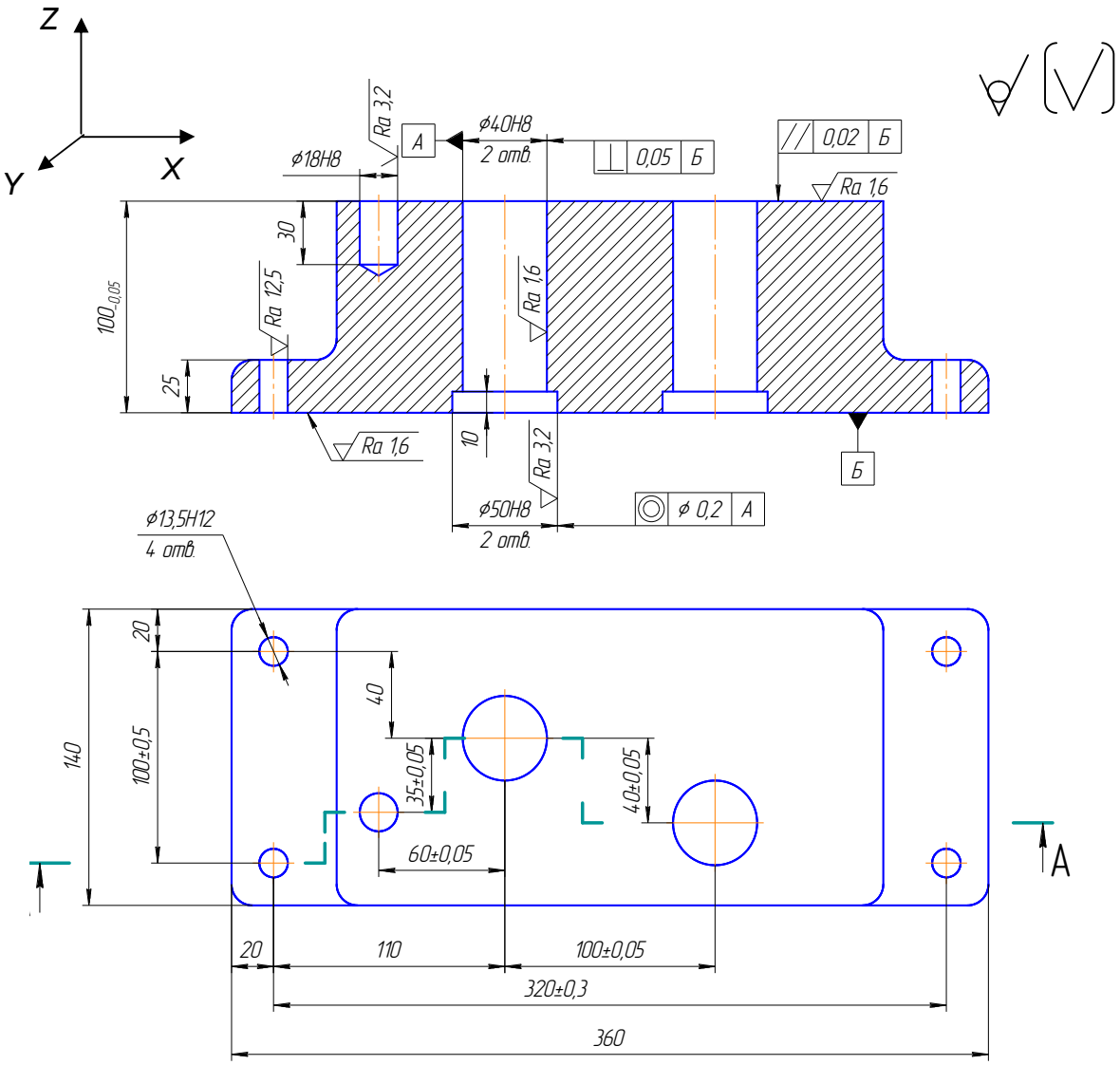


Рисунок 2.1 — Розташування розмірів на кресленні деталі, яка має оброблені та необроблені поверхні (вихідна заготовка — виливок)

10. В корпусних деталях, обробку заготовок яких передбачається здійснювати на верстатах свердлильно-фрезерно-розточувальної групи, не повинно бути точних зовнішніх циліндричних поверхонь.

11. Якщо у деталі є кріпильні отвори, наприклад для приєднання кришок чи стаканів, то має бути задано допустиме позиційне відхилення цих отворів (позиційний допуск) відносно відповідного головного отвору.

12. Бажано, щоб деталь мала поверхні, які можна було б використовувати як технологічні бази. Якщо такі поверхні відсутні, то слід в конструкції деталі передбачати штучні технологічні бази.

Вали

1. Бажано, щоб у ступінчастого вала діаметральні розміри у напрямі до кінців зменшувались.

2. Для підвищення коефіцієнта використання матеріалу в конструкціях валів, які виготовляються в умовах одиничного і серійного виробництва зі штучного сортового прокату, бажано уникати поверхонь зі значним перепадами діаметрів.

3. Якщо вал має декілька шпонкових пазів, то бажано щоб вони мали однакову ширину. Це зменшує трудомісткість їх обробки і скорочує номенклатуру різального інструменту.

4. Замість закритих шпонкових пазів, за можливості, слід використовувати відкриті. Такі пази обробляються зі значно більшою продуктивністю дисковими тристоронніми фрезами.

5. Для забезпечення достатньої жорсткості ступінчастих валів з точними шийками (*IT6 —IT8*) бажано, щоб відношення довжини до діаметра складало 10—12. Це дозволить проводити механічну обробку без застосування люнетів.

Фланці

1. Якщо деталь має як оброблені, так і необроблені поверхні, то, подібно до корпусних деталей, розміри на її кресленні проставляють так. Спочатку сіткою розмірів з'єднують всі необроблені поверхні, потім сіткою розмірів з'єднують всі оброблені поверхні. Після цього одним розміром, спрямованим паралельно осі обертання деталі, ці сітки з'єднують між собою.

2. Бажано, щоб розташування конструкторських баз (отворів, зовнішніх циліндричних поверхонь та торців) дозволяло здійснювати остаточну обробку якомога більшої кількості таких поверхонь з одного установа. Це дозволить надійно забезпечувати вимоги відносного розташування (співвісності, биття тощо) завдяки усуненню похибки встановлення.

3. Якщо деталь має кріпильні отвори (гладкі чи різьбові), то має бути задано їх допустиме позиційне відхилення (позиційний допуск) відносно відповідної конструкторської бази.

2.2 Порядок виконання завдання і зміст звіту

Кожен зі студентів виконує якісний аналіз технологічності деталі, запропонованої для виконання індивідуального домашнього завдання.

Спочатку слід розглянути і описати конструктивні елементи деталі, які є технологічними.

Якщо конструкція деталі містить елементи, які, на погляд студента, є нетехнологічними, то потрібно їх відмітити і, за узгодженням з викладачем, внести необхідні зміни. Ці зміни не повинні перешкоджати виконанню деталлю свого службового призначення.

Звіт окремо не оформляється, а захищається у складі індивідуального домашнього завдання після його виконання.

2.3. Питання для самоконтролю

1. Який виріб вважається технологічним?
2. Які фактори враховують під час аналізу технологічності конструкції деталі?
3. Шляхи підвищення технологічності корпусної деталі.
4. Шляхи підвищення технологічності валів.
5. Шляхи підвищення технологічності деталей типу «фланець».
6. Припустимо, що деталь має декілька необроблених поверхонь і декілька оброблених поверхонь. Поясніть, як мають бути пов’язані розмірами ці поверхні на кресленні деталі.
7. Наведіть приклади нетехнологічних елементів.

Практичне заняття № 3

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ СТУПЕНІВ (ПЕРЕХОДІВ) ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ І ВИБІР СПОСОБІВ ОБРОБКИ

Мета заняття — набуття практичних навиків визначення кількості ступенів і вибору способів механічної обробки поверхонь.

3.1 Основні положення і рекомендації до виконання роботи

На цьому етапі проектування технологічного процесу механічної обробки здійснюється пошук раціональних рішень щодо необхідної і достатньої кількості ступенів обробки поверхонь, а також вибір способів механічної обробки, за допомогою яких забезпечуватимуться всі вимоги точності до механічно оброблюваних поверхонь деталі.

Спочатку визначають кількість ступенів (переходів) механічної обробки найточнішої циліндричної поверхні. Для цього використовується поняття *уточнення* (**clarifscation)**. Це поняття було вперше введене професором О. П. Соколовським.

Уточнення, яке забезпечується на *i*-му технологічному переході, складає

$$\varepsilon_i = \frac{T_{i-1}}{T_i},$$

де T_{i-1} і T_i — відповідно допуски, забезпечувані на попередньому і даному переходах.

Згідно з [1] загальне уточнення ε_Σ дорівнює добутку проміжних уточнень, тобто

$$\varepsilon_\Sigma = \varepsilon_1 \varepsilon_2 ... \varepsilon_n = \prod_{i=1}^{n} \varepsilon_i .$$

Розподіляти загальне уточнення на співмножники (переходи обробки) слід з використанням таких типових рекомендацій [9]:

- для першого переходу чорнової обробки уточнення $\varepsilon \leq 6$;
- для проміжних переходів напівчистової обробки $\varepsilon = 3...4$;
- для чистової обробки з допусками точності *IT8 — IT10* $\varepsilon = 2...2{,}5$;
- для фінішної обробки з допусками точності *IT5 — IT7* $\varepsilon = 1{,}5...2$.

Після цього потрібно визначити допуски і відповідні їм квалітети точності, що мають бути забезпечені під час виконання проміжних переходів обробки циліндричної поверхні.

Потім слід вибрати способи попередньої та остаточної обробок поверхонь. Виконуючи цю роботу, перш за все потрібно уважно проаналізувати вимоги точності до кожної з поверхонь деталі. При цьому слід враховувати такі фактори:

- показники шорсткості поверхонь;

- показники відхилень від правильної форми (допустимі відхилення від: прямолінійності, площинності, круглості, циліндричності тощо);

- показники точності відносного розташування поверхонь або їх осей (допустимі відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності, перетину осей, допустиме радіальне і торцеве биття тощо);

- показники точності розмірів циліндричних поверхонь і розмірів між поверхнями або їх осями.

Вибір способу обробки суттєво залежить також від типу виробництва, габаритних розмірів і форми деталі, розмірів і форми оброблюваної поверхні, матеріалу заготовки, твердості матеріалу заготовки в зоні обробки безпосередньо перед її початком та інших факторів.

Розробляючи маршрут обробки кожної з поверхонь, виходять з того, що кожний з наступних ступенів обробки має бути точнішим за попередній.

Вибираючи способи як остаточної, так і попередньої обробки певної поверхні, слід обов'язково враховувати всі вимоги точності до цієї поверхні. Досить часто буває, що частина показників точності забезпечується на передостанньому переході, а решта — на останньому. Наприклад, точність відносного розташування головного отвору в корпусній деталі може забезпечуватись на передостанній операції — чистовому розточуванні, а точність діаметрального розміру, вимоги циліндричності і шорсткості на останній, наприклад на хонінгувальній.

3.2 Приклади виконання завдання

Приклад 1

Потрібно визначити кількість ступенів (переходів) обробки отвору $Ø52H8(^{+0,046})$ мм в заготовці деталі типу «корпус» (рис. 3.1), а також вибрати способи обробки.

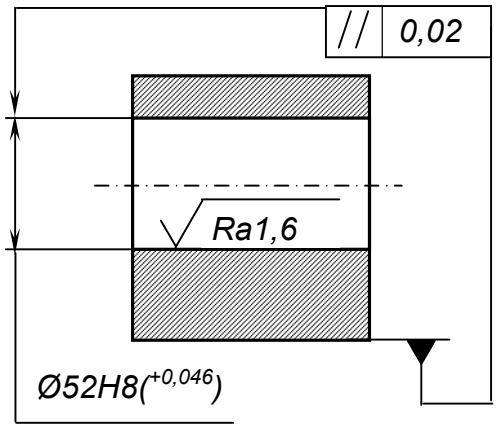


Рисунок 3.1 — Ескіз до прикладу визначення кількості ступенів обробки отвору в заготовці деталі типу «корпус»

Вихідні дані

1. Вихідна заготовка — виливок в оболонкову форму 9-го класу точності.

2. Допуск діаметрального розміру отвору у вихідній заготовці складає 2,0 мм [25].

Визначимо загальне уточнення

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}} = \frac{2000}{46} \approx 44.$$

Припустимо, що таке уточнення може бути досягнуто за три переходи механічної обробки. Приймемо: $\varepsilon_1 = 5$; $\varepsilon_2 = 4$.

Знайдемо уточнення, яке має бути забезпечене на третьому (останньому) переході,

$$\varepsilon_3 = \frac{\varepsilon_{\Sigma}}{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2} = \frac{44}{5 \cdot 4} = 2{,}2.$$

Визначимо розрахункові значення допусків технологічних розмірів

$$T_1 = \frac{T_{\text{заг}}}{\varepsilon_1} = \frac{2000}{5} = 400\,(\text{мкм});$$

$$T_2 = \frac{T_1}{\varepsilon_2} = \frac{400}{4} = 100\,(\text{мкм});$$

$$T_3 = T_{\text{дет}} = \frac{T_2}{\varepsilon_1} = \frac{100}{2{,}2} = 46\,(\text{мкм})\ (IT8).$$

Отримані розрахункові значення допусків технологічних розмірів, що мають бути забезпечені на першому і другому переходах, збільшимо до найближчих нормативних значень. Таким чином, приймемо остаточно: $T_1 = 460$ мкм (*IT13*); $T_2 = 120$ мкм (*IT10*).

Виберемо способи механічної обробки отвору. З урахуванням необхідності забезпечення жорсткої вимоги паралельності осі отвору відносно площини (0,02 мм) вибираємо як спосіб механічної обробки для усіх трьох переходів розточування (чорнове, чистове і тонке). Тонке розточування забезпечує як необхідну точність діаметрального розміру (*IT8*), так і вимоги до шорсткості поверхні (*Ra* 1,6).

Приклад 2

Потрібно визначити кількість ступенів (переходів) обробки шийки під підшипник під час виготовлення деталі типу «ступінчастий вал», а також вибрати способи обробки.

Вихідні дані

1. Деталь — вал (рис. 3.2).

2. Оброблювана поверхня — шийка $Ø45k6(^{+0,018}_{+0,002})$ мм.

3. Матеріал деталі — сталь 40Х.

4. Виробництво — середньосерійне.

5. Вихідна заготовка — відрізок сталевого гарячекатаного круглого прокату (ГОСТ 2590—88) діаметром Ø58 мм.

Вважатимемо, що перший перехід механічної обробки використовується для видалення напуску та попередньої обробки шийки і забезпечує 13-й квалітет точності [18, С. 8, табл. 4]. Таким чином, допуск діаметрального розміру після першого переходу $T_1 = 390$ мкм.

Визначимо загальне уточнення

$$\varepsilon_\Sigma = \frac{T_1}{T_{\text{дет}}} = \frac{390}{16} = 24.$$

Припустимо, що таке уточнення може бути досягнуто за три подальших переходи механічної обробки. Приймемо: $\varepsilon_1 = 4$; $\varepsilon_2 = 3$.

Знайдемо уточнення, яке має бути забезпечене на третьому (останньому) переході,

$$\varepsilon_3 = \frac{\varepsilon_\Sigma}{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2.$$

Визначимо розрахункові значення допусків технологічних розмірів

$$T_2 = \frac{T_1}{\varepsilon_1} = \frac{390}{4} = 98\,(\text{мкм});$$

$$T_3 = \frac{T_2}{\varepsilon_3} = \frac{98}{3} = 32\,(\text{мкм});$$

$$T_4 = T_{\text{дет}} = \frac{T_2}{\varepsilon_3} = \frac{32}{2} = 16\,(\text{мкм})\ (IT6).$$

Отримані розрахункові значення допусків технологічних розмірів, які мають бути забезпечені на другому і третьому переходах, збільшимо до найближчих нормативних значень. Таким чином, приймемо остаточно: $T_2 = 100$ мкм $(IT10)$; $T_3 = 39$ мкм $(IT8)$.

Згідно з [18, С. 8, табл. 4], з урахуванням необхідності забезпечення жорсткої вимоги співвісності шийки відносно спільної осі центрових отворів, вибираємо такі способи обробки шийки вала:

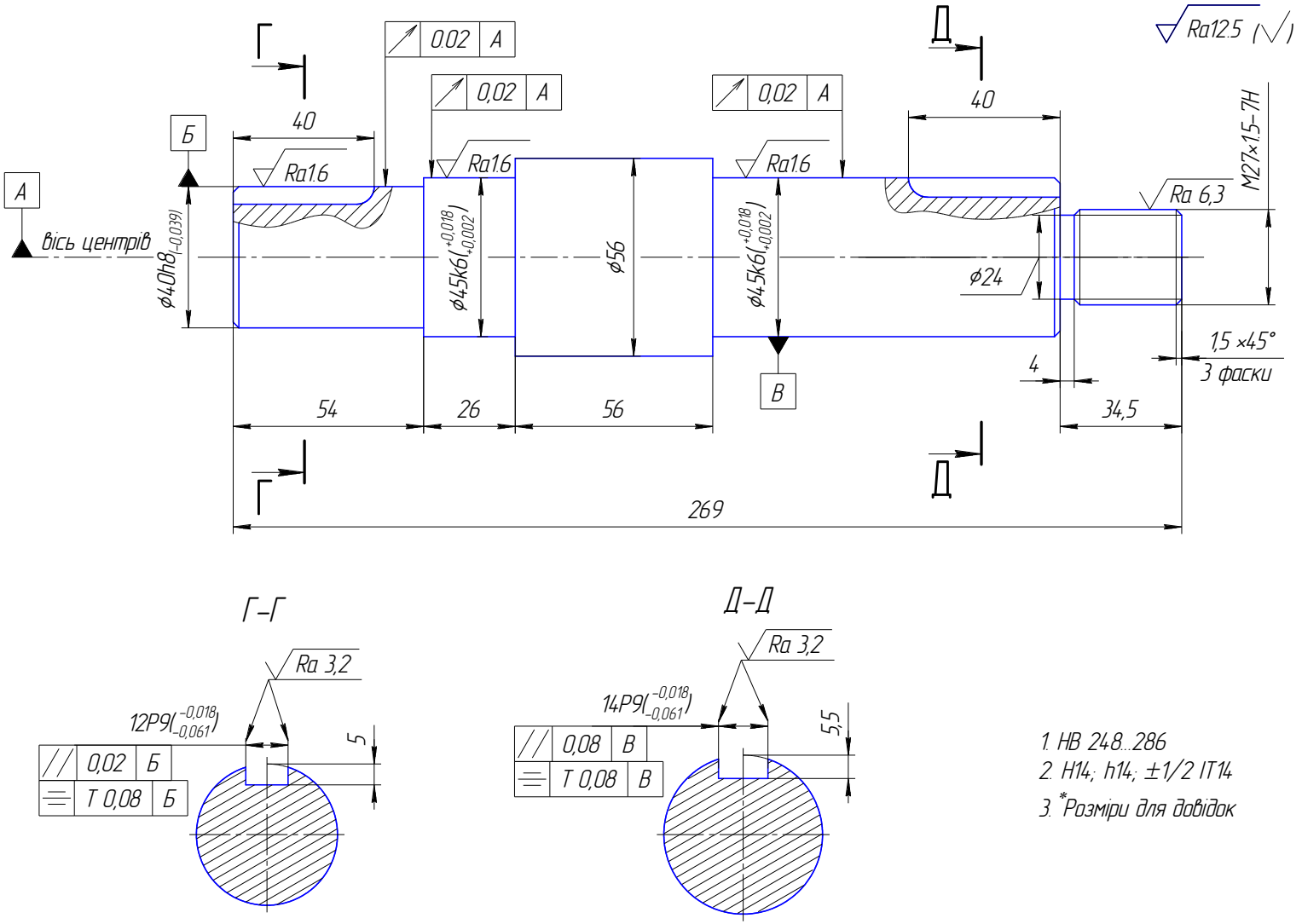


Рисунок 3.2 — Ескіз до прикладу визначення кількості ступенів обробки поверхні заготовки деталі типу «ступінчастий вал»

1-й перехід — чорнове точіння;
2-й перехід — чистове точіння;
3-й перехід — попереднє кругле шліфування;
4-й перехід — чистове кругле шліфування.

Чистове кругле шліфування забезпечує необхідну точність діаметрального розміру (*IT*6) і вимоги до шорсткості поверхні (*Ra* 1,6).

3.3 Зміст звіту

Кожний із студентів виконує визначення кількості ступенів і вибір способів механічної обробки поверхонь заготовки деталі, запропонованої для виконання в індивідуальному домашньому завданні.

Звіт повинен містити:

1. Ескіз деталі з вказаними вимогами до точності поверхні;
2. Розрахунок кількість ступенів (переходів) механічної обробки;
3. Вибір способів механічної обробки заданої поверхні (з поясненням).

3.4 Питання для самоконтролю

1. Поняття уточнення.
2. Рекомендації щодо величини уточнення для чорнових, напівчистових та чистових переходів.
3. Суть і основні етапи методики визначення кількості ступенів (переходів) механічної обробки поверхонь заготовки деталі.
4. Які фактори беруть до уваги під час вибору способів обробки поверхонь?

Практичне заняття № 4

ВИБІР ЧИСТОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ БАЗ

Мета заняття — набуття практичних навиків вибору чистових технологічних баз на операціях механічної обробки.

4.1 Основні положення і рекомендації до виконання роботи

Призначення *технологічних баз* (**processing datum surfaces)** є одним з найвідповідальніших етапів проектування технологічних процесів механічної обробки заготовок деталей. Від того, наскільки правильно вибрані бази, залежить точність виконання розмірів, заданих конструктором, правильність відносного розташування оброблюваних поверхонь, складність верстатних пристроїв, загальна продуктивність обробки заготовок.

Вихідними даними для вибору технологічних баз є креслення деталі та попередньо розроблений маршрут механічної обробки її заготовки.

Перед вибором баз для певної операції необхідно чітко сформулювати задачі, які повинні бути розв'язані в результаті виконання цієї операції.

Під час вибору технологічних баз слід враховувати, що за будь-якої схеми базування похибка базування не впливає:

- на показники точності форми поверхонь (вимоги площинності, циліндричності, круглості тощо);
- на показники шорсткості поверхні;
- на точність діаметральних розмірів;
- на точність розмірів (як лінійних, так і кутових) між поверхнями за умови, що ці поверхні обробляються з одного установа.

Вибираючи комплект баз для операцій механічної обробки, слід намагатися забезпечувати суміщення технологічних і вимірювальних баз, тобто виконувати *принцип суміщення баз* (**the principle of overlapping datum surfaces**) з ураховуванням таких рекомендацій:

- якщо вимірювальною базою є площина, довжина і ширина якої є близькими до габаритних розмірів деталі, то ця площина може використовуватись як технологічна установна база;
- якщо за вимірювальну базу вибрана довга і вузька площина, то ця площина може використовуватись як технологічна напрямна база;
- якщо за вимірювальну базу вибрана вісь довгої циліндричної поверхні *($l \geq d$)*, то ця поверхня або її вісь можуть використовуватись як технологічна подвійна напрямна база;
- якщо за вимірювальну базу вибрана вісь короткої циліндричної поверхні *($l < d$)*, то ця поверхня або її вісь можуть використовуватись як технологічна подвійна опорна база.

Зазвичай вимірювальними базами стосовно вимог відносного розташу-

вання є конструкторські бази. Якщо на першій операції ці поверхні обробити, то на подальших операціях можна суміщувати технологічні, вимірювальні і конструкторські бази. У цьому випадку забезпечується найвища точність обробки.

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

- установна — напрямна — опорна;
- установна — подвійна опорна — опорна;
- подвійна напрямна — опорна — опорна.

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

За відсутності у заготовки поверхонь, які б могли використовуватись для зручного і надійного базування, можна створювати так звані *штучні технологічні бази* (**artificial datum surfaces**). Для цього в конструкції вихідної заготовки передбачають відповідні бобишки, приливки тощо, поверхні яких чисто обробляють на першій операції. Штучними технологічними базами є також центрові отвори. Як штучні технологічні бази розглядаються й кріпильні отвори, якщо для мінімізації похибки базування спеціально підвищують точність їх діаметральних розмірів.

Чистові технологічні бази (**finishing datum surfaces**) — це оброблені поверхні, які використовуються для базування заготовки деталі на операціях, що слідують за першою операцією. Таким чином, чистові технологічні бази мають бути утворені на першій операції. Зазвичай їх обробляють з одного установа. Якщо дозволяє конфігурація заготовки, то разом з утворенням чистових технологічних баз на першій же операції може здійснюватись як попередня, так і остаточна обробки інших поверхонь.

Основною задачею вибору чистових технологічних баз є мінімізації похибки базування.

Якщо дозволяє форма деталі, то на всіх основних операціях (окрім першої) слід намагатись використовувати один і той же комплект чистових технологічних баз, тобто дотримуватись *принципу постійності баз* (**the principle of constantly datum surfaces).** Наприклад, в корпусній деталі за комплект чистових технологічних баз найчастіше використовують оброблені на першій операції площину і два отвори; заготовку деталі типу «ступінчастий вал» найчастіше обробляють з установленням на більшості операцій на центрові отвори і т. п. Дотримання принципу постійності баз забезпечує мінімальність похибки базування.

4.2 Порядок виконання завдання

1. Уважно проаналізувати заданий ескіз механічної обробки і вимоги точності до оброблюваних поверхонь.

2. Розробити найдоцільнішу, з точки зору забезпечення мінімальності або відсутності похибки базування, схему 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 вимогу точності.

4.3 Приклад виконання завдання

Розглянемо розв'язання задачі вибору чистових технологічних баз на *прикладі* (рис. 4.1).

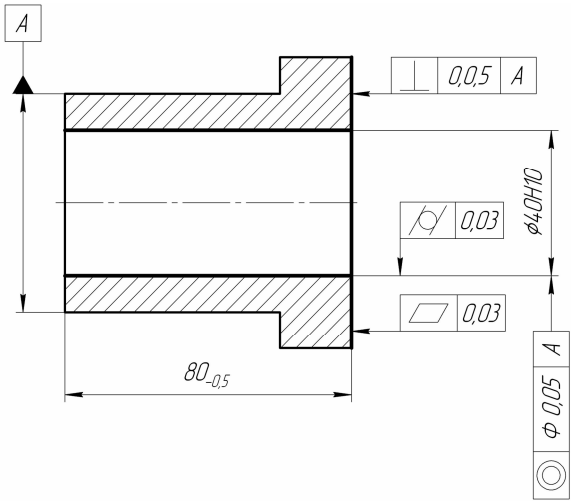


Рисунок 4.1 — Операційний ескіз до прикладу вибору чистових баз

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

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

Оскільки зовнішня циліндрична поверхня достатньо довга, а допуски перпендикулярності і 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 у заготовки може бути відібраний за рахунок сил тертя, які виникають під час її встановлення у верстатний пристрій.

Ескіз з розробленою схемою базування показаний на рис. 4.2.

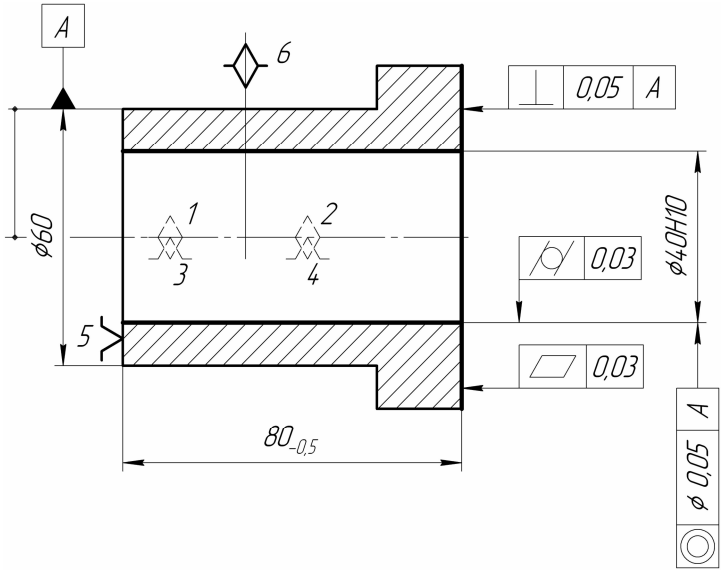


Рисунок 4.2 — Операційний ескіз із розробленою схемою базування

Для наочності обґрунтування запропонованої схеми базування щодо забезпечення мінімальності похибки базування можна показати у вигляді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Обґрунтування запропонованої схеми базування щодо забезпечення мінімальності похибки базування

Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
Розмір $80_{-0,5}$	відсутня	Виконання принципу суміщення баз
Розмір Ø40*H*10	відсутня	Діаметральний розмір
Вимога співвісності	відсутня	Виконання принципу суміщення баз
Вимога перпендикулярності	відсутня	Виконання принципу суміщення баз
Вимога площинності	відсутня	На площинність поверхні похибка базування не впливає
Вимога циліндричності	відсутня	На циліндричність поверхні похибка базування не впливає

4.4 Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Ескіз заготовки з вибраною схемою базування.
3. Стисле обґрунтування відсутності або мінімальності похибки базування на вимоги точності, що забезпечуються на операції, яка розглядається (у вигляді таблиці 4.1).

4.5 Варіанти задач для індивідуальних завдань

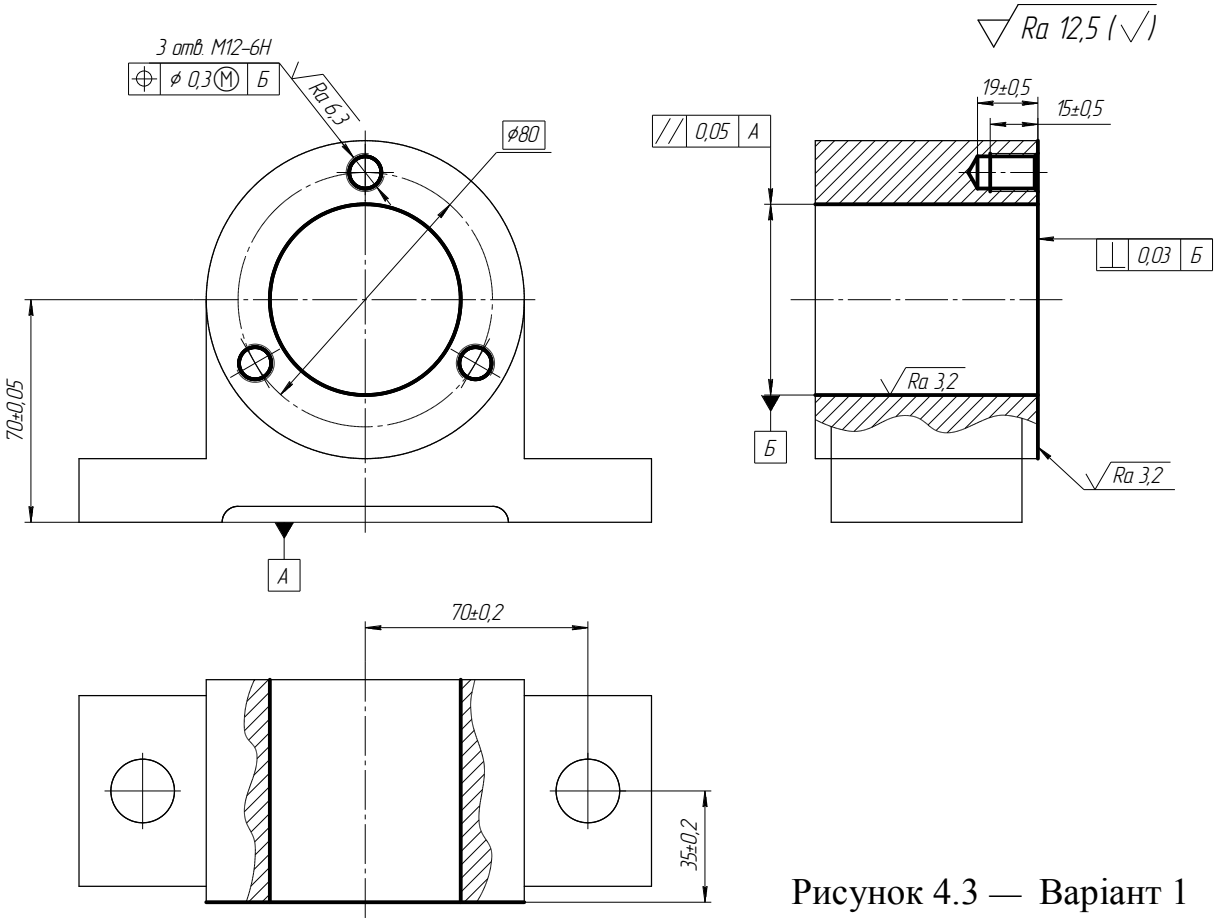
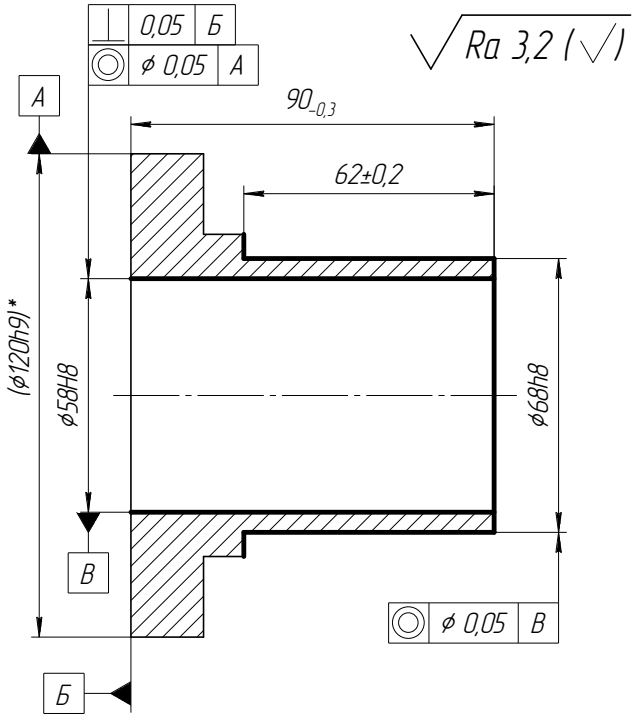


Рисунок 4.3 — Варіант 1



* Розмір для довідок

Рисунок 4.4 — Варіант 2

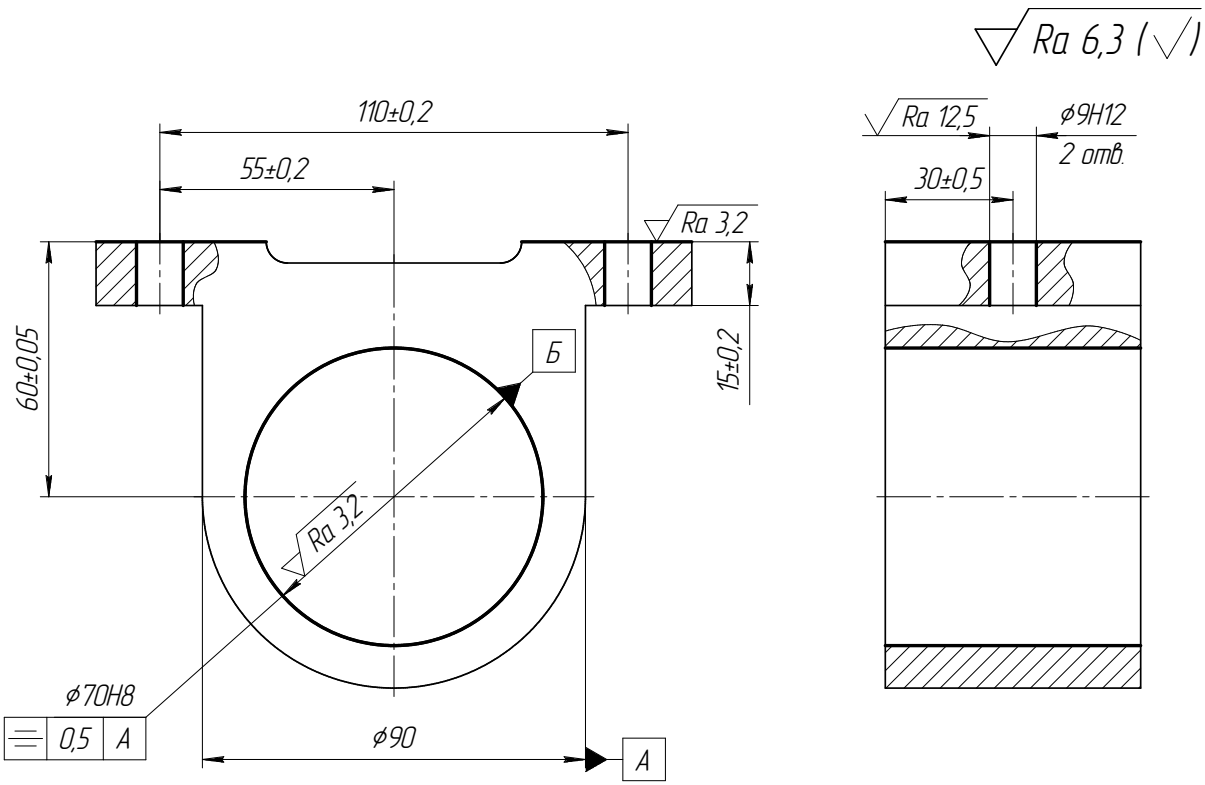


Рисунок 4.5 — Варіант 3

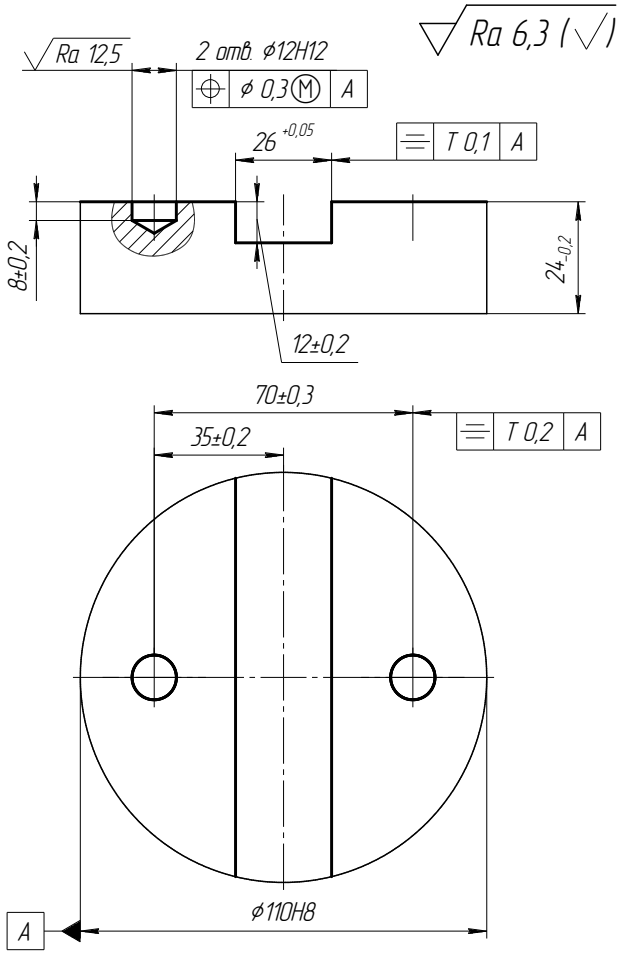


Рисунок 4.6 — Варіант 4

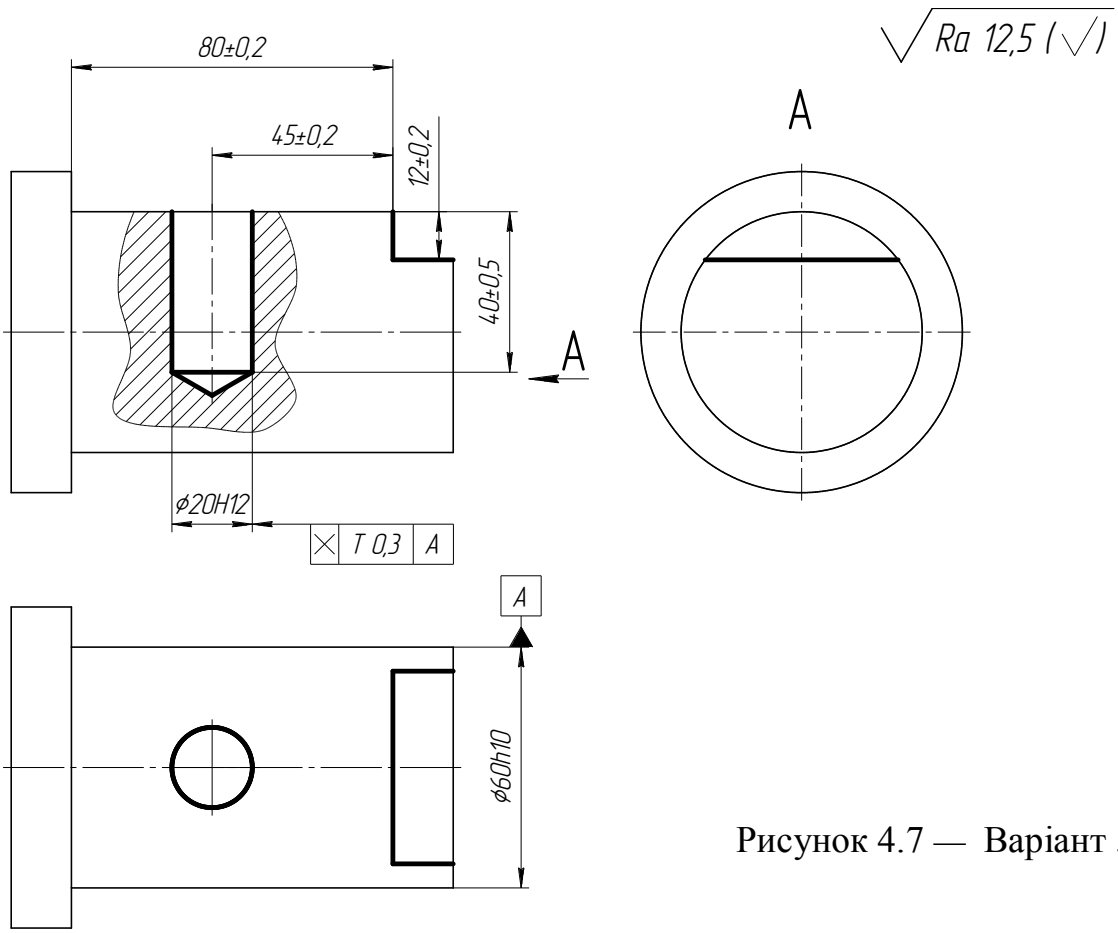


Рисунок 4.7 — Варіант 5

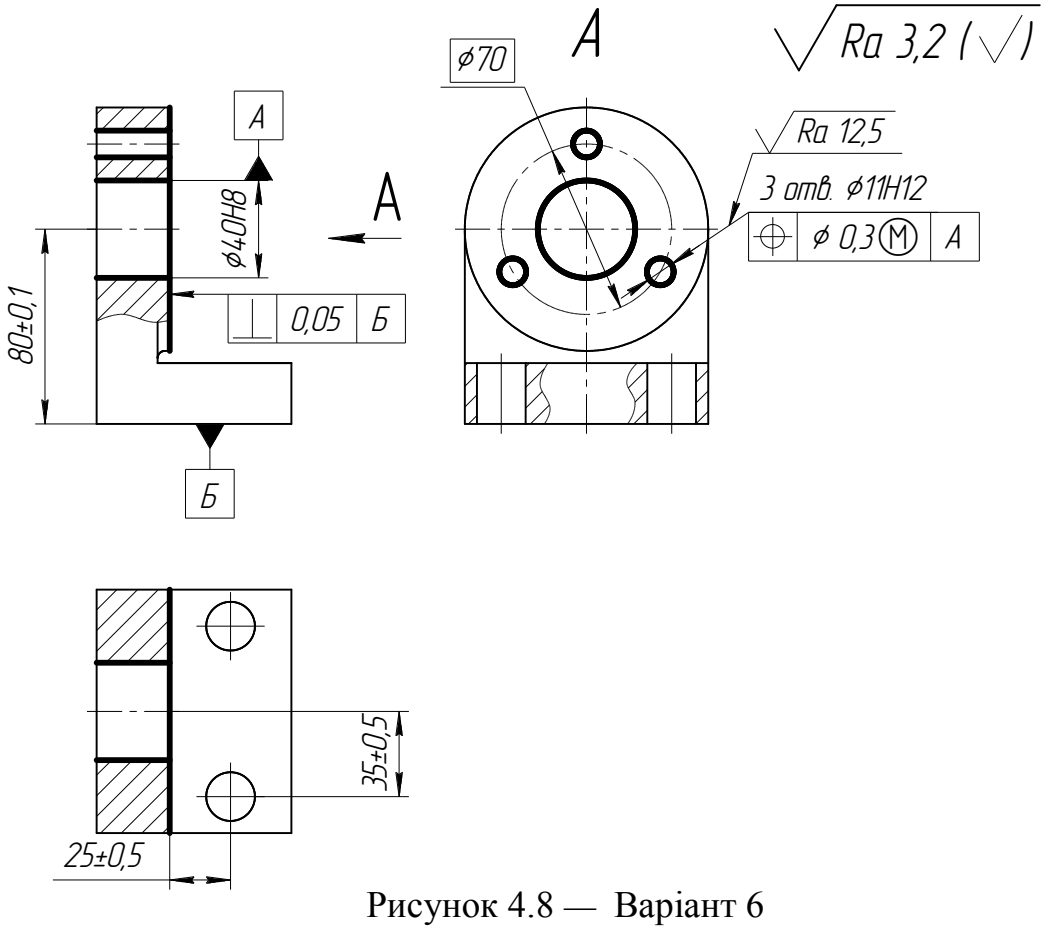


Рисунок 4.8 — Варіант 6

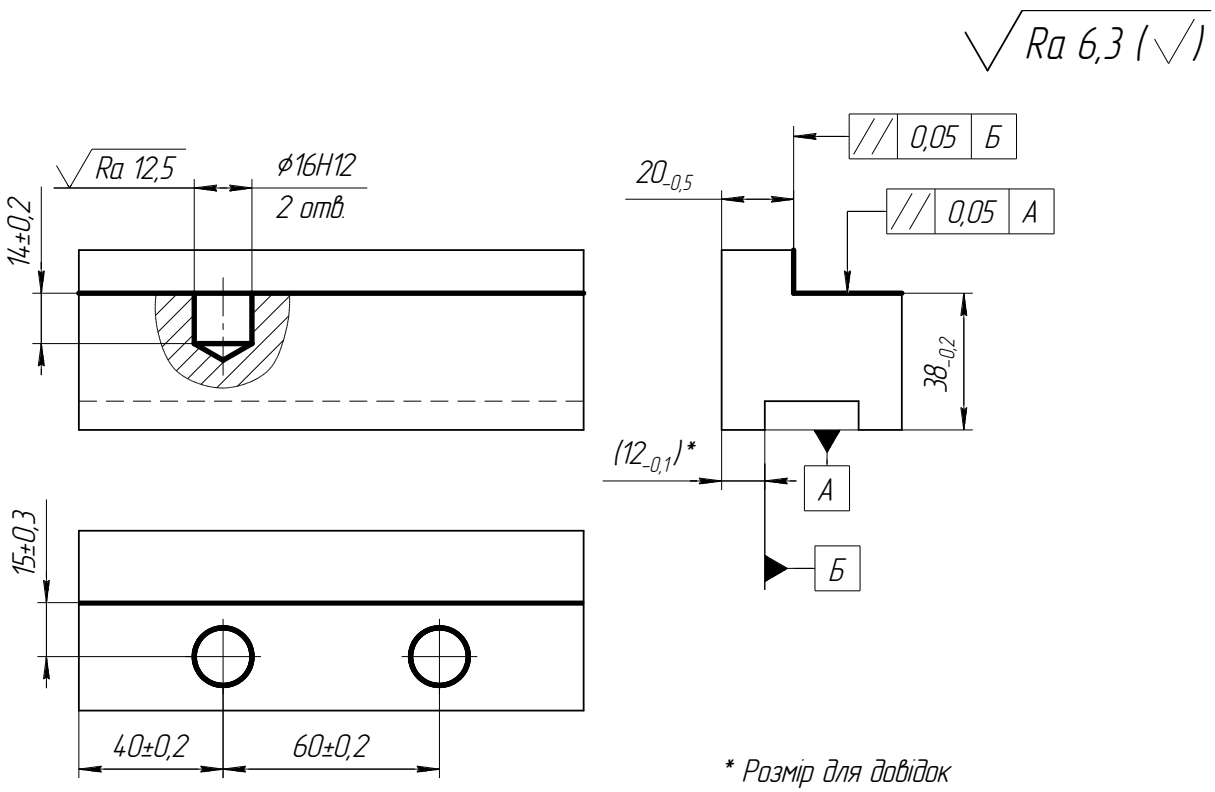


Рисунок 4.9 — Варіант 7

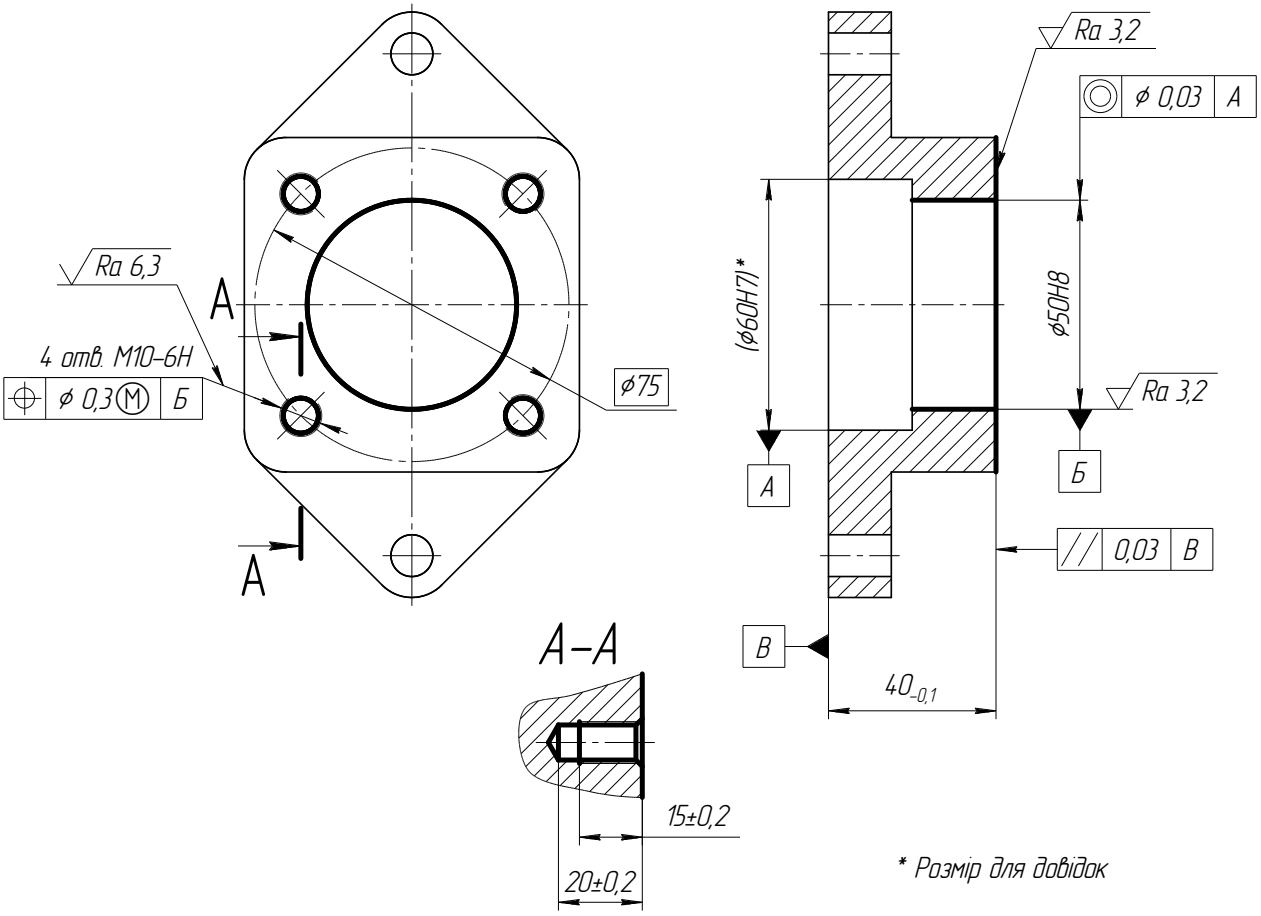


Рисунок 4.10 — Варіант 8

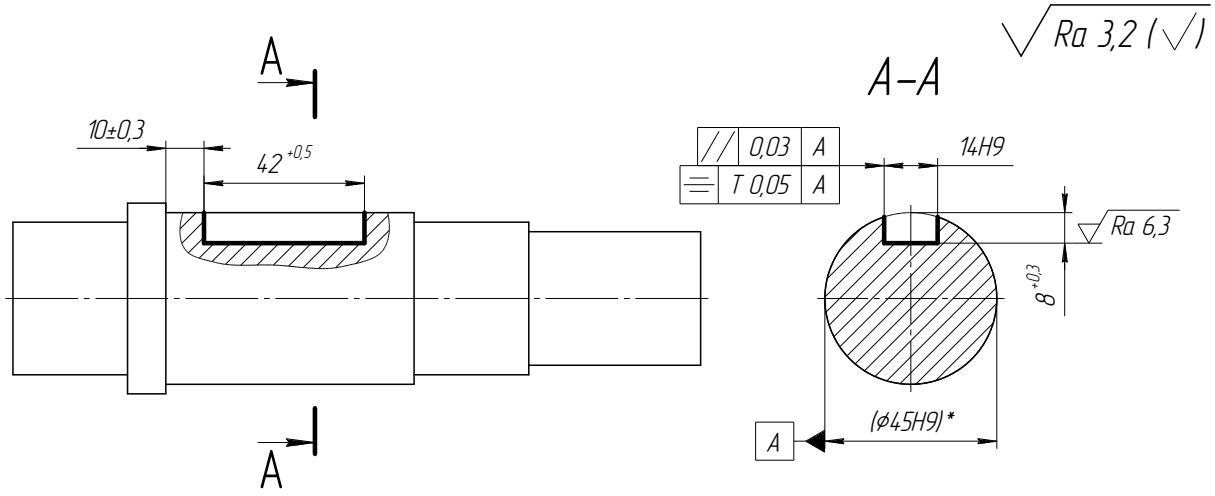


Рисунок 4.11 — Варіант 9

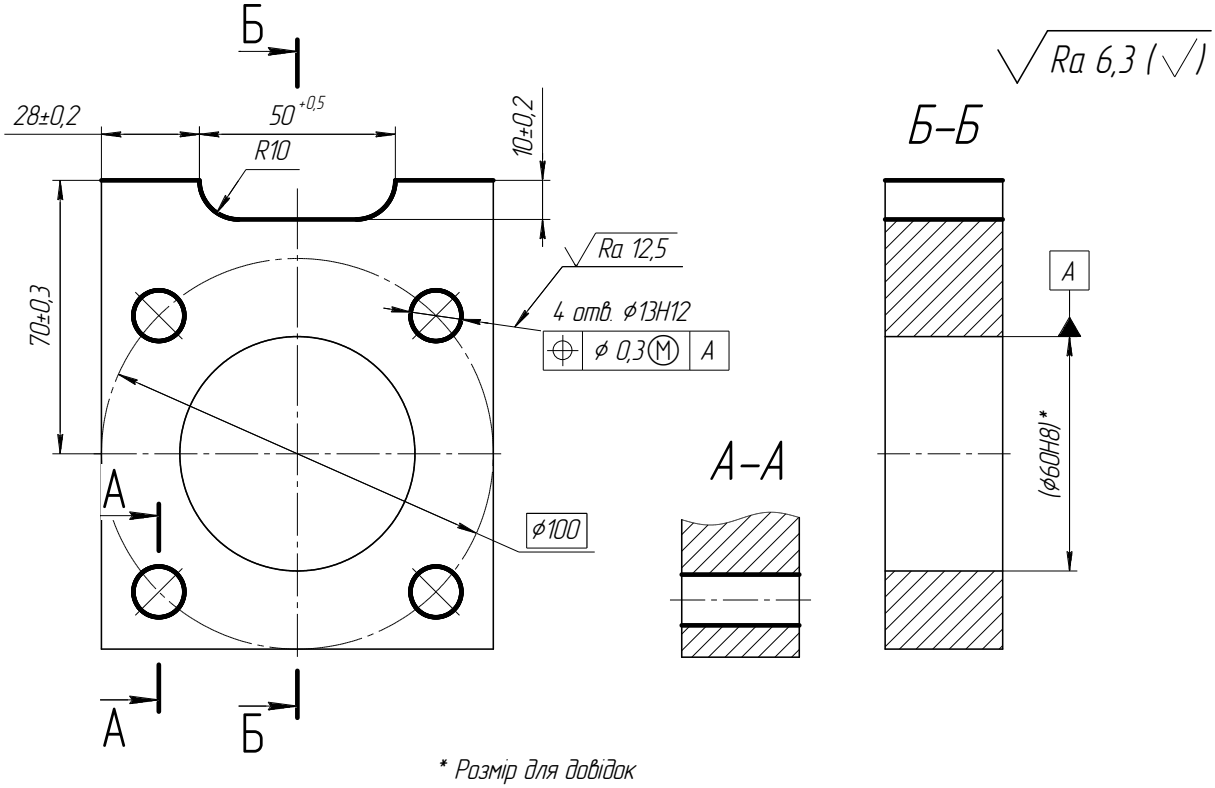


Рисунок 4.12 — Варіант 10

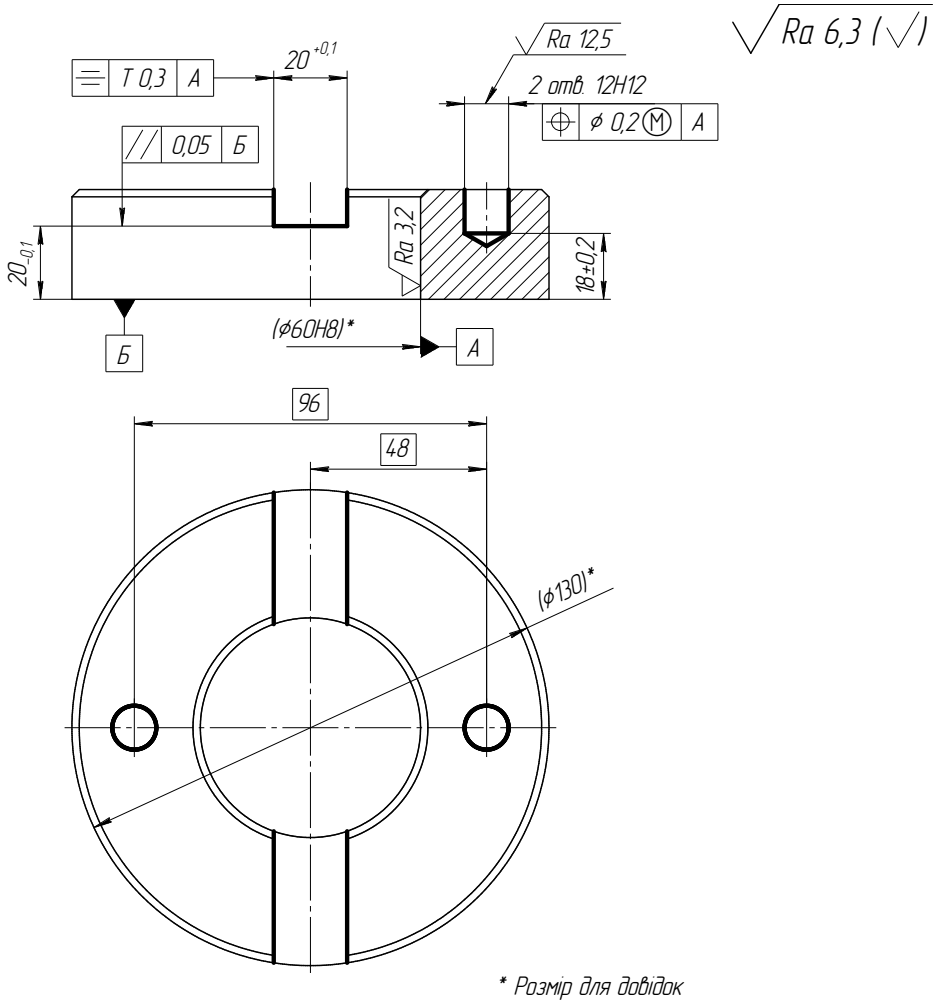


Рисунок 4.13 — Варіант 11

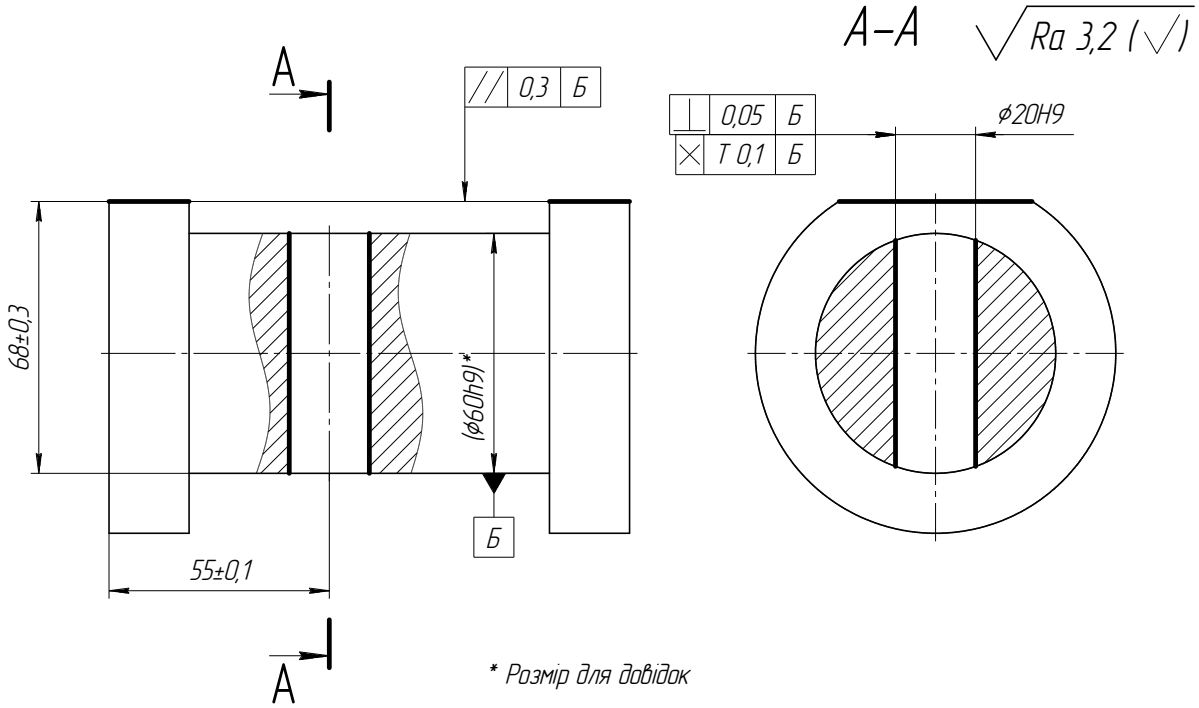


Рисунок 4.14 — Варіант 12

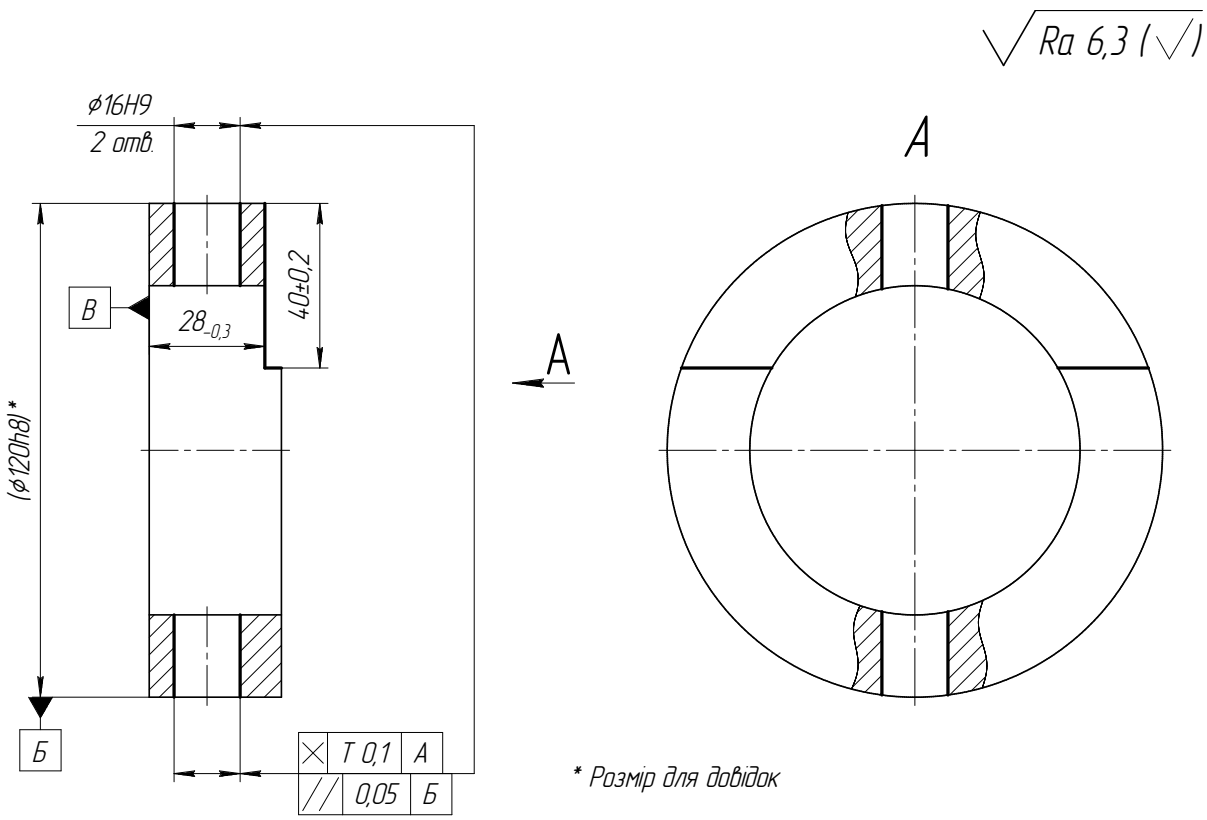


Рисунок 4.15 — Варіант 13

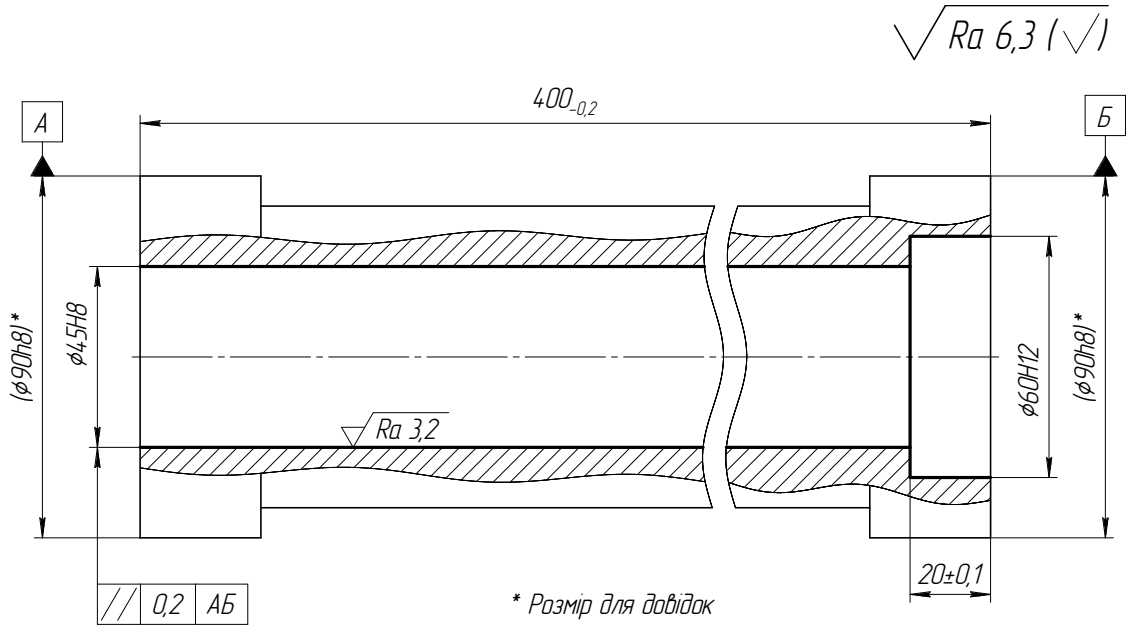


Рисунок 4.16 — Варіант 14

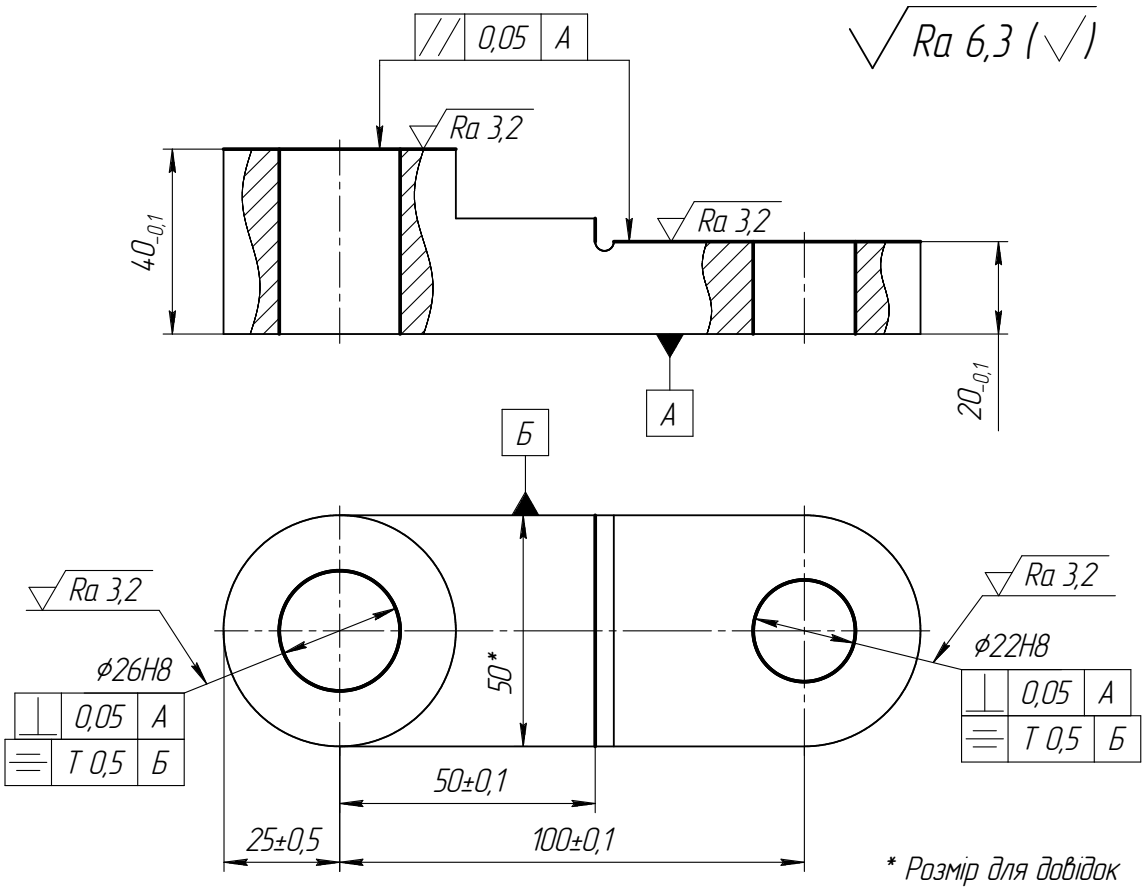


Рисунок 4.17 — Варіант 15

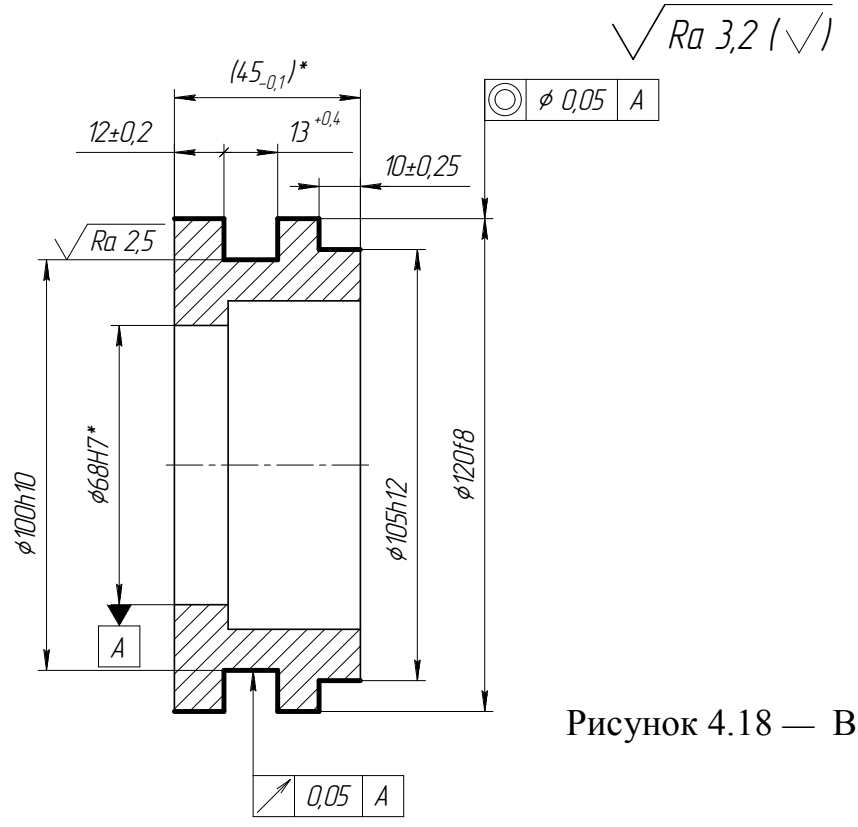


Рисунок 4.18 — Варіант 16

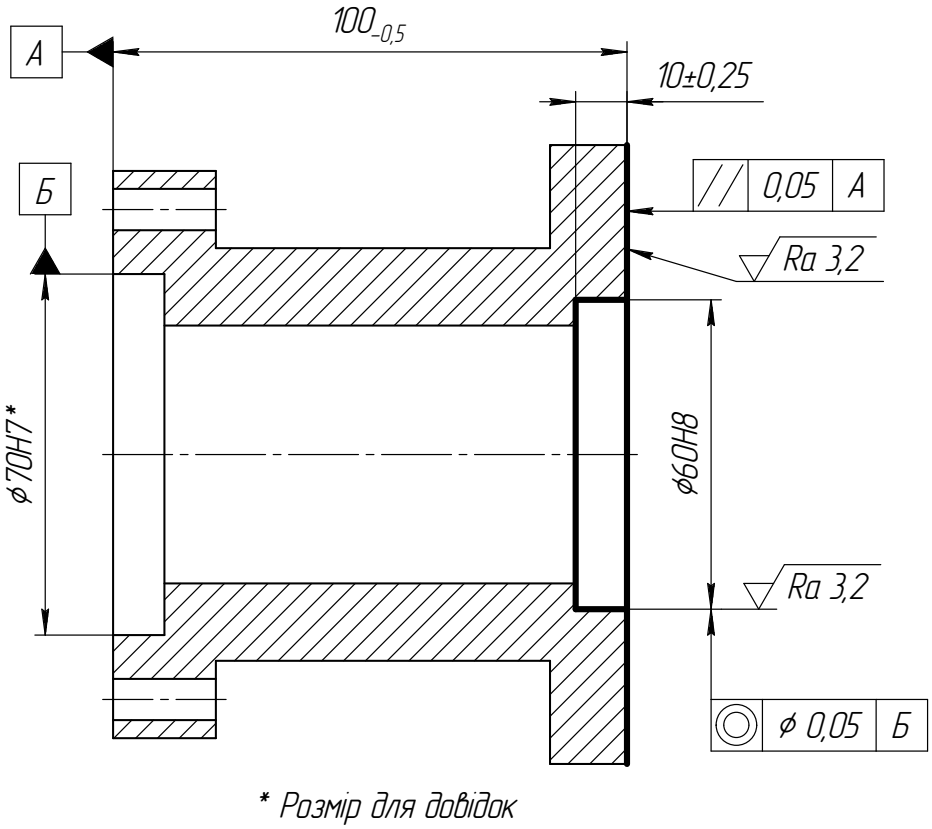


Рисунок 4.19 — Варіант 17

4.6 Питання для самоконтролю

1. На які показники точності механічної обробки не впливає похибка базування?
2. У чому полягає сутність принципу суміщення баз?
3. Яку поверхню заготовки можна вибрати за технологічну установну базу?
4. Яку поверхню заготовки можна вибрати за технологічну напрямну базу?
5. Яку поверхню заготовки можна вибрати за технологічну подвійну напрямну базу?
6. Яку поверхню заготовки можна вибрати за технологічну подвійну опорну базу?
7. Яку поверхню заготовки можна вибрати за технологічну опорну базу?
8. Які комплекти технологічних баз використовують у машинобудуванні? Наведіть приклади.

Практичне заняття № 5

ВИБІР ЧОРНОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ БАЗ

Мета заняття — набуття практичних навиків вибору чорнових технологічних баз під час проектування технологічних процесів механічної обробки.

5.1 Основні положення і рекомендації до виконання роботи

Чорновими технологічними базами (**rough datum surfaces**) називають поверхні вихідної заготовки, які використовуються для базування на першій операції (інколи — на першій і другій операціях) для обробки чистових баз.

Під час вибору чорнових технологічних баз може розв'язуватися одна з двох задач:

- забезпечення розмірного зв'язку між обробленими поверхнями деталі і необробленими її поверхнями (перша задача);
- забезпечення зняття мінімального рівномірного припуску з певної поверхні на першому переході її механічної обробки (друга задача).

Розв'язувати першу задачу доводиться, наприклад, у випадках, коли за умовами роботи у складальній одиниці, необроблені поверхні деталі повинні досить точно розташовуватись відносно її конструкторських баз.

Необхідність у розв'язанні другої задачі виникає, якщо за умовами роботи деталі в машині потрібно під час механічної обробки зберегти щільний однорідний шар металу на найвідповідальніших поверхнях деталі. Такими поверхнями є, наприклад, відповідні площини напрямних металорізальних верстатів.

Для розв'язання *першої задачі* за технологічні бази на першій операції вибирають ті необроблювані поверхні деталі, до яких лінійними розмірами або іншими вимогами відносного розташування прив'язані оброблювані поверхні. Якщо деталь правильно сконструйована, то таких розмірів має бути не більше трьох.

Для розв'язання *другої задачі* за одну з технологічних баз на першій операції вибирають ту поверхню вихідної заготовки, з якої на одній з наступних операцій має бути знятий мінімальний рівномірний припуск. Важливо зауважити, що якщо ця поверхня є:

- площиною, довжина і ширина якої зіставні із габаритними розмірами деталі, то ця площина обов'язково має бути вибрана за установну базу;
- довгою вузькою площиною — за напрямну базу;
- довгою циліндричною поверхнею — за подвійну напрямну базу;
- короткою циліндричною поверхнею — за подвійну опорну базу.

Розглянемо *приклад* розв'язання першої задачі.

Припустимо, що за комплект чистових баз для маршруту механічної обробки заготовки корпуса (рис. 5.1) вибрані площина 1 і два отвори (2 і 3). Саме ці поверхні мають бути отримані на першій операції.

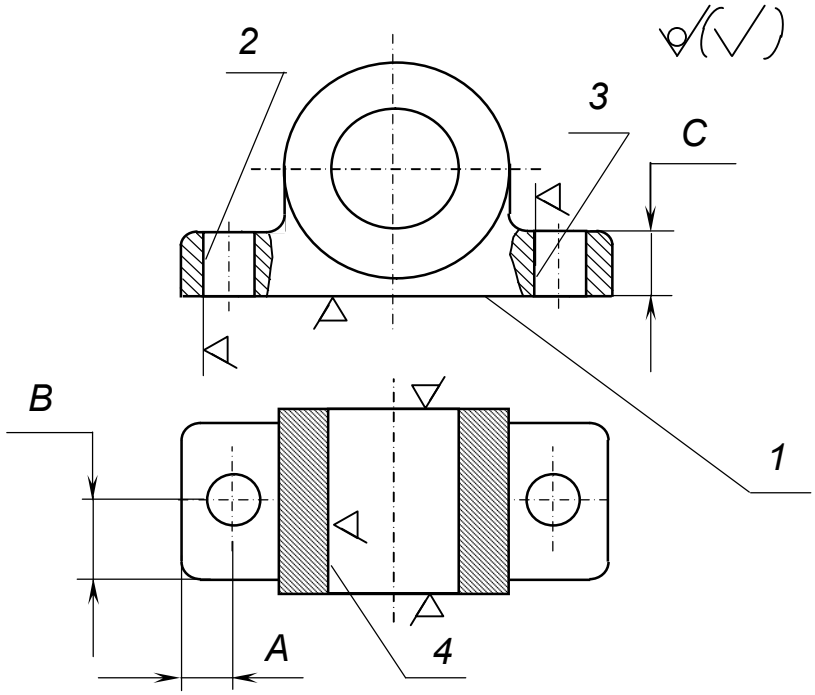


Рисунок 5.1 — Ескіз до прикладу вибору
чорнових технологічних баз

Припустимо також, що на кресленні деталі є три розміри (A, B і C), які визначають розташування оброблених поверхонь деталі відносно необроблених. Наявність таких розмірів означає, що під час вибору чорнових баз необхідно розв’язати першу з означених вище задач.

Схема базування, що забезпечує розв’язання цієї задачі, показана на рис. 5.2.

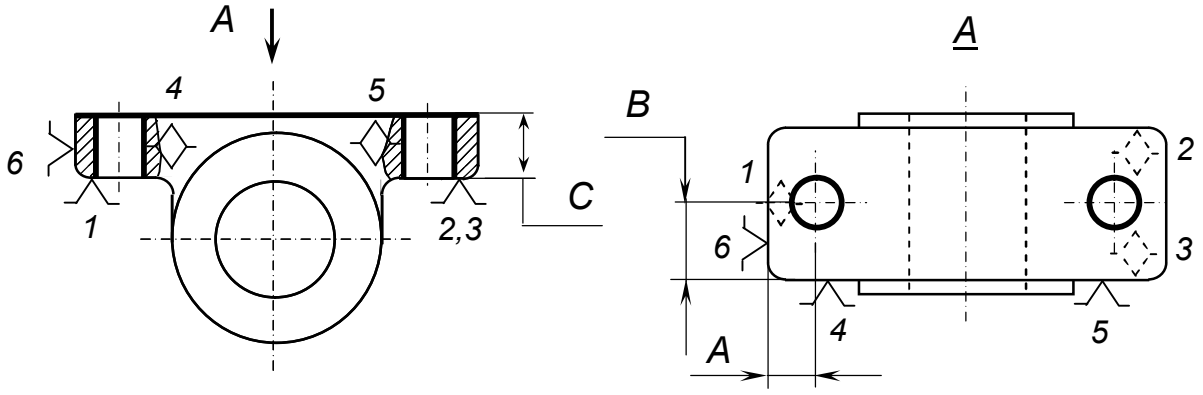


Рисунок 5.2 — Ескіз зі схемою базування, що пояснює розв’язання задачі забезпечення розмірного зв’язку між оброблюваними і необроблюваними поверхнями

Для розв’язання другої задачі за одну з технологічних баз на першій операції вибирають ту поверхню вихідної заготовки, з якої на одній з наступних операцій має бути знятий мінімальний рівномірний припуск. Важливо зауважити, що якщо ця поверхня є:

- площиною, довжина і ширина якої зіставні з габаритними розмірами деталі, то ця площина обов’язково має бути вибрана за установну базу;
- довгою вузькою площиною — за напрямну базу;
- довгою циліндричною поверхнею — за подвійну напрямну базу;
- короткою циліндричною поверхнею — за подвійну опорну базу.

Розглянемо приклад розв’язання другої задачі.

Припустимо, що у відповідності зі службовим призначенням корпусної деталі (див. рис. 5.1) найвідповідальнішою її поверхнею є отвір 4 і саме з нього потрібно зняти мінімальний рівномірний припуск. Припустимо також, що за комплект чистових баз, як і у попередньому випадку, вибрані площина 1 і два отвори 2 і 3, які мають бути оброблені на першій операції.

Виходячи з вищевикладеного, для забезпечення знімання мінімального рівномірного припуску з поверхні отвору 4, вибираємо за технологічну подвійну напрямну базу на першій операції вісь саме цього отвору (рис. 5.3). Розташування інших баз частково розв’язує першу задачу.

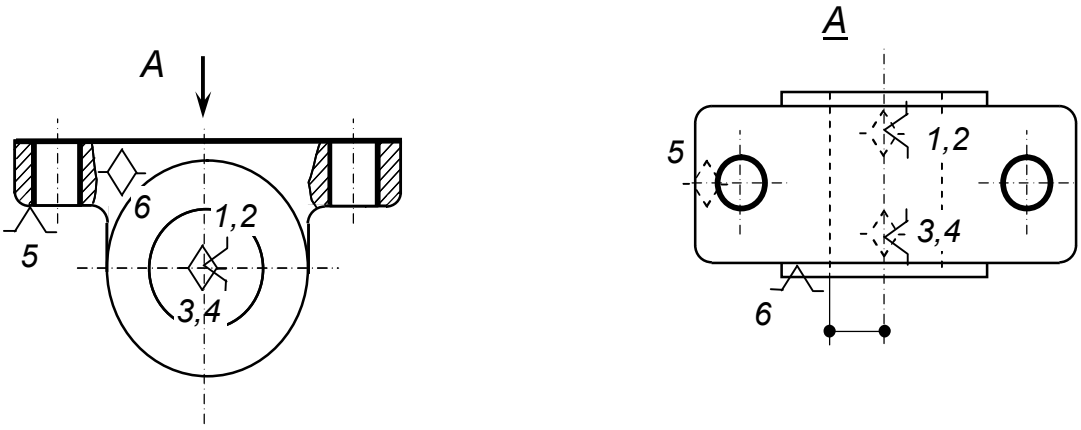


Рисунок 5.3 — Ескіз зі схемою базування, яка розв’язує задачу знімання мінімального рівномірного припуску під час чорнової обробки отвору 4 (див. рис. 5.1) на одній з подальших операцій

Якщо деталь не має необроблених поверхонь, то розв’язання першої задачі взагалі не може розглядатись. Що ж стосується другої задачі, то вона може розв’язуватись у випадках, якщо форма вихідної заготовки наближена до форми готової деталі, тобто, якщо основні поверхні деталі утворюються за рахунок знімання припусків, а не напусків. Якщо ж заготовка виготовляється із сортового прокату або вільним куванням і має значні напуски, які мають бути зняті на попередній обробці, то технологічні бази на першій операції вибираються лише з міркувань забезпечення надійності встановлення у верстатному пристрої.

5.2 Зміст звіту

Кожен зі студентів виконує вибір чорнових технологічних баз у відповідності з кресленням деталі, запропонованої для виконання індивідуального домашнього завдання.

У звіті слід показати ескіз заготовки зі схемою базування (так, наприклад, як на рис. 5.2 чи 5.3) з поясненням, яка саме задача розв'язується під час вибору чорнових баз.

Якщо розв'язується задача забезпечення розмірного зв'язку оброблюваних поверхонь деталі з необроблюваними, то потрібно вказати, які це розміри і показати їх на ескізі. Якщо ж розв'язується задача зняття мінімального рівномірного припуску з певної поверхні, то слід вказати, що це за поверхня (показати її на ескізі) і пояснити на якій саме операції з цієї поверхні буде знятий мінімальний рівномірний припуск.

5.3 Питання для самоконтролю

1. Поняття чорнових технологічних баз.

2. Якщо деталь має декілька необроблених поверхонь і декілька оброблених поверхонь, то як мають бути зв'язані розмірами ці поверхні на кресленні деталі?

3. Як розв'язується задача забезпечення розмірного зв'язку між обробленими і необробленими поверхнями під час вибору чорнових технологічних баз? Наведіть приклади.

4. Як розв'язується задача знімання мінімального рівномірного припуску з певної поверхні під час вибору чорнових технологічних баз? Наведіть приклади.

Практичне заняття № 6

РОЗРОБКА МАРШРУТУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ

Мета заняття — набуття практичних навиків розробки маршруту обробки заготовки деталі.

6.1 Основні положення і рекомендації до виконання роботи

Маршрут обробки заготовки деталі (**workpiece machining route**) — це укрупнений план виготовлення деталі, який встановлює послідовність операцій обробки різанням (механічної обробки), а також зміст і місце в плані обробки термічних, гальванічних, слюсарних і контрольних операцій.

Маршрут має обов'язково відповідати заданому типу виробництва і забезпечувати необхідну якість деталі. Таким чином, побудова маршруту обробки повинна бути підпорядкована одному з головних принципів — забезпечення виконання деталлю свого службового призначення.

Загальна послідовність обробки така:

- підготовка чистових технологічних баз;
- попередня (чорнова) обробка площин, які є конструкторськими базами деталі;
- попередня (чорнова) обробка отворів, які є конструкторськими базами деталі (головних отворів);
- попередня (напівчистова) обробка площин, які є конструкторськими базами деталі;
- попередня (напівчистова) обробка отворів, які є конструкторськими базами деталі;
- обробка місцевих елементів — кріпильних поверхонь, фасок, лисок, канавок, різьбових поверхонь, зубчастих вінців, шліцьових поверхонь, шпонкових пазів тощо;
- термічна обробка для забезпечення необхідних фізико-механічних показників матеріалу деталі у т. ч. її поверхневого шару;
- остаточна (чистова) обробка площин, які є конструкторськими базами деталі;
- остаточна (чистова) обробка головних отворів;
- остаточна (чистова) обробка різьбових поверхонь, зубчастих вінців, шліцьових поверхонь;
- контроль точності обробки.

До важливих питань побудови маршрутів механічної обробки, який значною мірою пов'язаний з типом виробництва і конкретними виробни-

чими умовами, належить питання ступеня *концентрації* і *диференціації* операцій.

Концентрацією операцій (**concentration of operations**) називають поєднання декількох простих переходів в одну складну операцію.

Таким чином, технологічний процес, побудований за принципом концентрації операцій, складається з невеликої кількості складних операцій і в сучасному машинобудуванні реалізується завдяки використанню багатоцільових верстатів, автоматичних ліній (у т. ч. гнучких), агрегатних верстатів. Це дозволяє об'єднувати в одну операцію переходи попередньої та остаточної обробок, замінювати декілька установів одним установом і простих одноінструментальних переходів складними суміщеними переходами багатоінструментальної та багатолезової обробки однієї або декількох поверхонь. Це забезпечує підвищення:

- точності відносного розташування поверхонь завдяки обробці з одного установа;

- продуктивності обробки за рахунок суміщення в часі декількох переходів і, відповідно, скорочення витрат загального основного часу;

- продуктивності обробки за рахунок скорочення витрат додаткового часу (на встановлення і знімання заготовки, на заміну інструменту, на вмикання і вимикання верстата).

Крім того, зменшується тривалість виробничого циклу завдяки скороченню міжопераційного пролежування, оскільки зменшується загальна кількість операцій та, відповідно, й обсяг незавершеного виробництва.

З побудовою операцій за принципом концентрації підвищуються вимоги до точності та технологічних можливостей верстатів, а також до кваліфікації робітників, оскільки їм доводиться виконувати як складну чистову обробку, так і попередню обробку на чорнових переходах.

Диференціацією операцій (**differentiation of operations**) називають побудову операцій з невеликої кількості простих технологічних переходів.

Технологічний процес, побудований за принципом диференціації операцій, складається зі значної кількості простих операцій.

Переваги диференціації операцій перш за все пов'язані з можливістю відокремлення складної і точної чистової обробки, яка вимагає високої кваліфікації робітників, від попередньої неточної обробки, яка може виконуватись високопродуктивними способами на відносно дешевих верстатах робітниками середньої кваліфікації.

У машинобудуванні використовуються обидва принципи побудови технологічних процесів, які вибираються технологами в залежності від конкретних умов виробництва.

У відповідності з методикою розробки й оформлення маршруту обробки, прийнятою на кафедрі ТАМ, він має бути поділений на операції, опе-

рації — на переходи. Формулювання переходів повинні відповідати ГОСТ 3.1702—79 [24].

Кожна з операцій має супроводжуватись ескізом заготовки, показаної у такому положенні, яке вона займатиме у робочій зоні верстата.

На кожному з ескізів показують схему базування і потовщеними лініями (у два рази ширшими за основні) — оброблені на цій операції поверхні. Всі конструктивні елементи, утворені на попередніх операціях, показують на ескізі даної операції основними лініями.

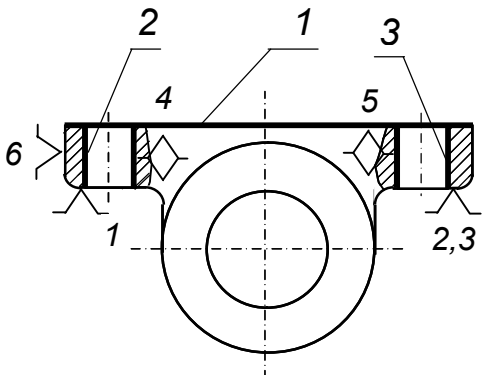
Кількісні значення розмірів, шорсткості поверхонь та інших вимог точності на ескізах схем базування та обробки показувати не потрібно. За необхідності, оброблені поверхні можуть бути пронумеровані.

В технологічній документації в картах ескізів вибрані схеми базування показують у вигляді схем установів (**catting chart**) згідно з ГОСТ 3.1107—81 [23]. На схемах установів відображають вид опор і установних елементів, форму їх опорних поверхонь, а також тип і розташування затискачів. Приклади поширених схем установів показані у додатку Б.

6.2 Приклад оформлення таблиці маршруту обробки

Приклад оформлення таблиці маршруту обробки (розглянута лише перша операція) показаний нижче.

Таблиця 6.1 — Приклад оформлення таблиці маршруту обробки

Номер, назва і зміст операції	Ескіз обробки зі схемою базування	Тип і модель верстата
005 Вертикально-фрезерна з ЧПК 1. Фрезерувати площину 1 попередньо. 2. Центрувати отвори 2 і 3. 3. Свердлити отвори 2 і 3. 4. Фрезерувати площину 1 остаточно. 5. Розвертіти отвори 2 і 3 попередньо. 6. Розвертіти отвори 2 і 3 остаточно.		Вертикально-фрезерний з ЧПК 6Р13РФЗ

6.3 Зміст звіту

Кожен зі студентів розробляє маршрут обробки згідно з індивідуальним домашнім завданням. Цей пункт передбачає розподіл маршруту на операції, розподіл операцій на переходи з формулюванням змісту кожного

з них, попередній вибір типу і моделі верстатів, зображення ескізів обробки зі схемами базування для кожної з операцій.

Звіт окремо не оформляється, а захищається у складі індивідуального домашнього завдання після його виконання.

6.4 Питання для самоконтролю

1. Загальна послідовність виконання операцій механічної обробки заготовок деталей машин.
2. Побудова технологічного процесу механічної обробки з використанням концентрації операцій. Сфера застосування, переваги і недоліки.
3. Побудова технологічного процесу механічної обробки з використанням диференціації операцій. Сфера застосування, переваги і недоліки.

Практичне заняття № 7

ВИЗНАЧЕННЯ ПРИПУСКІВ НА МЕХАНІЧНУ ОБРОБКУ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ РОЗРАХУНКОВО-АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ

Мета заняття — набуття практичних навиків визначення припусків на обробку циліндричних поверхонь партії заготовок, оброблюваних на настроєних верстатах, за допомогою розрахунково-аналітичного методу.

7.1 Основні положення і рекомендації до виконання роботи

В машинобудуванні проміжні припуски на механічну обробку циліндричних поверхонь визначаються з використанням розрахунково-аналітичного або дослідно-статистичного (нормативного) методів.

У цьому практичному занятті розглядається визначення проміжних припусків за допомогою розрахунково-аналітичного методу, запропонованого професором В. М. Кованом [7].

Вихідними даними для розрахунків є:

- маршрут механічної обробки деталі;
- спосіб виготовлення вихідної заготовки і показники її точності;
- кількість ступенів (переходів) та способи механічної обробки циліндричної поверхні, а також допуски діаметральних розмірів, які забезпечуються на кожному з переходів.
- схеми базування на першій операції і на усіх операціях обробки поверхні, на яку розраховуються припуски.

Мінімальний проміжний припуск (**minimum intermediate allowance**) на механічну обробку циліндричних поверхонь із застосуванням розрахунково-аналітичного методу визначається за формулою

$$2z_{\min_i} = 2\left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{\text{в}\,i}^2} \right), \qquad (7.1)$$

де i — порядковий номер виконуваного технологічного переходу; Rz_{i-1}, h_{i-1}, ρ_{i-1} — відповідно, висота мікронерівностей, глибина дефектного шару та просторові відхилення оброблюваної поверхні (відносно технологічних баз), які утворились на технологічному переході, що передує виконуваному; $\varepsilon_{\text{в}\,i}$ — похибка встановлення заготовки у верстатний пристрій, яка виникає на виконуваному технологічному переході.

На поверхні вихідної заготовки завжди є мікронерівності і дефектний шар незалежно від її матеріалу і способу виготовлення. Кількісні значення

величин Rz і h для різних способів виготовлення вихідних заготовок є в [14, табл. 4.25].

Величини Rz і h, що утворюються після обробки різанням, визначаються за таблицями [14, табл. 4.27].

Якщо заготовка деталі виготовлена з чавуну, то вважається, що механічна обробка не утворює дефектного шару і тому у цьому випадку після першого переходу обробки різанням величина h вилучається з розрахунків.

Величина ρ залежить від способу виготовлення вихідної заготовки та її форми, виду поверхні (отвір чи зовнішня циліндрична поверхня), схем базування як на першій, так і на наступних операціях.

Кількісні значення ρ знаходять з використанням формул і числових даних, які містяться, наприклад, в [14, С. 98, 99].

Додаткового роз'яснення потребує досить поширений випадок обробки отворів в литих чи штампованих заготовках, форма яких не передбачає встановлення їх в самоцентрувальні патрони (заготовки корпусних деталей, вилок, важелів тощо). У цьому випадку величину ρ для отвору у вихідній заготовці можна знайти за формулою [14, С. 100]

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{жол}}^2 + \rho_{\text{зм}}^2}\,, \qquad (7.2)$$

де $\rho_{\text{жол}}$ – відхилення поверхні вихідної заготовки від правильної геометричної форми (циліндричності), спричинені жолобленням; $\rho_{\text{зм}}$ – зміщення осі отвору поверхні вихідної заготовки відносно технологічних баз.

Величина $\rho_{\text{жол}}$ знаходиться за рекомендаціями і формулою [14, С. 102, 115]. Що ж стосується величини $\rho_{\text{зм}}$, то під час її визначення мають бути враховані неточності виготовлення вихідної заготовки, схема базування на першій операції, а також ті похибки механічної обробки, які впливають на величину $\rho_{\text{зм}}$.

Детальніше методика визначення $\rho_{\text{зм}}$ розглянута у наведеному нижче прикладі визначення мінімальних проміжних припусків на переходи механічної обробки отвору у деталі типу «корпус підшипника».

Якщо зовнішня циліндрична поверхня заготовки (наприклад, шийка ступінчастого вала, кінцевий діаметр якої значно менший за діаметр вихідної заготовки, виготовленої із сортового круглого прокату) утворюється в процесі точіння за рахунок знімання напуску, то вважається, що під час визначення припусків на всі переходи механічної обробки цієї поверхні $\rho = 0$.

Заготовки деталей стрижневої форми (вали, осі, напрямні, ходові гвинти тощо) в процесі термообробки можуть зазнавати помітного жолоблення у вигляді зігнутості. Такий вид просторових відхилень виникає як під час термічної обробки вихідних заготовок, так і тоді, коли термообробка вико-

нується після попередньої механічної обробки. Згідно з [7], з достатньою для практичних цілей точністю, зігнутість заготовки, спричинену термічною обробкою, можна визначити з подібності трикутників (рис. 7.1).

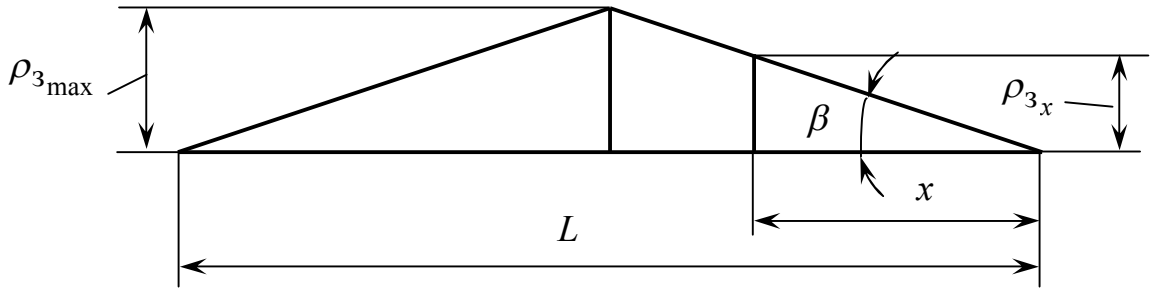


Рисунок 7.1 — Схема, що пояснює визначення зігнутості заготовки в результаті термічної обробки [7]

Вважаючи за питому зігнутість

$$\Delta_з = \rho_{з\max} \Big/ 0{,}5L = \operatorname{tg}\beta,$$

де $\rho_{з\max}$ — максимальна зігнутість; L — довжина вала.

Зігнутість $\rho_{зx}$ для перерізу, який знаходиться на відстані x до найближчого торця складає

$$\rho_{зx} = \Delta_з x. \qquad (7.3)$$

Питому зігнутість заготовок валів після термообробки і рихтування згідно з [7] можна визначити за таблицею 7.1.

Таблиця 7.1 — Питома зігнутість заготовок валів після термообробки і рихтування

Діаметр вала, мм	Питома зігнутість, мкм/мм
До 80	0,8
Більше 80 до 120	0,6
Більше 120 до 180	0,5

Залишкові просторові відхилення оброблених поверхонь є наслідком копіювання похибок вихідної заготовки під час її обробки. Значення цих похибок залежать від режимів різання, жорсткості технологічної системи і фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу. Під час визначення припусків можна із забезпеченням достатньої точності скористатися емпіричною формулою

$$\rho_i = 0{,}05 \cdot \rho_{i-1}. \qquad (7.4)$$

Вплив *похибки встановлення* $\varepsilon_{\text{в}}$ на величину мінімального припуску пояснюється тим, що поверхня, з якої в процесі механічної обробки зрізатиметься припуск (далі — оброблювана поверхня), може займати різне положення після встановлення кожної із заготовок партії у верстатний пристрій. Ця нестабільність положення оброблюваної поверхні повинна бути компенсована відповідною складовою проміжного припуску. Слід особливо підкреслити, що $\varepsilon_{\text{в}}$ виникає саме на тому переході, для якого розраховується проміжний припуск, в той час як просторові відхилення ρ з'являються під час виготовлення вихідної заготовки або на одній з попередніх операцій механічної обробки.

Таким чином, під час розрахунку мінімального проміжного припуску *похибка встановлення визначається як поле розсіювання розміру між оброблюваною поверхнею заготовки і настроєним на розмір інструментом.*

Для визначення $\varepsilon_{\text{в}}$ потрібно побудувати відповідний технологічний розмірний ланцюг і розв'язати обернену задачу його розрахунку. Ланкою замикання в цьому ланцюзі є розмір між оброблюваною поверхнею заготовки і настроєним на розмір інструментом. Це показано в прикладі, що розглядається нижче.

Під час визначення проміжних припусків на обробку зовнішніх циліндричних поверхонь, за умови встановлення заготовок на центрові отвори, вважається, що $\varepsilon_{\text{в}}$ незначна і нею можна знехтувати.

Похибка встановлення не виникає також, коли циліндрична поверхня утворюється за рахунок видалення напуску.

Величина $\varepsilon_{\text{в}}$ визначається для кожного з установів, незалежно від того, здійснюються вони на одній операції чи на різних.

Ефект копіювання похибок поширюється і на похибку встановлення. Тому якщо циліндрична поверхня обробляється на певній операції декілька раз з одного установа, то залишкове зміщення її осі після виконання певного технологічного переходу можна знайти за емпіричною формулою

$$\varepsilon_{\text{в}_i} = 0{,}05 \cdot \varepsilon_{\text{в}_{i-1}} \quad . \tag{7.5}$$

Важливим є те, що в будь-якому випадку призначений мінімальний припуск не повинен бути меншим за мінімальну товщину стружки, яку може зрізати лезо інструмента. Відповідно до [11, С. 258] для точіння ця товщина складає 20...50 мкм, а для інших видів обробки вона може бути більшою (фрезерування) або меншою (абразивна обробка). Через це у сумнівних випадках, якщо розрахований за формулою (7.1) мінімальний припуск на остаточну обробку менший або приблизно дорівнює значенню мінімальної товщини стружки, то цей припуск слід визначати (з урахуванням вибраного способу обробки) за допомогою дослідно-статистичного (нормативного) методу, тобто за таблицями, які є у додатку В.

7.2 Приклади виконання завдання

Приклад 1

Потрібно визначити мінімальні проміжні припуски на механічну обробку отвору в заготовці деталі типу «корпус».

Вихідні дані

1. Отвір $Ø52H8(^{+0,046})$ мм обробляється на одній операції з одного установа. Ескіз зі схемою базування показаний на рис. 7.2. Встановлення заготовки — на опорні пластини і два пальці (круглий і зрізаний). Діаметр виконавчих (установних) поверхонь пальців — $Ø11e8(^{-0,032}_{-0,059})$. Закріплення заготовки — за допомогою гвинтових затискачів.

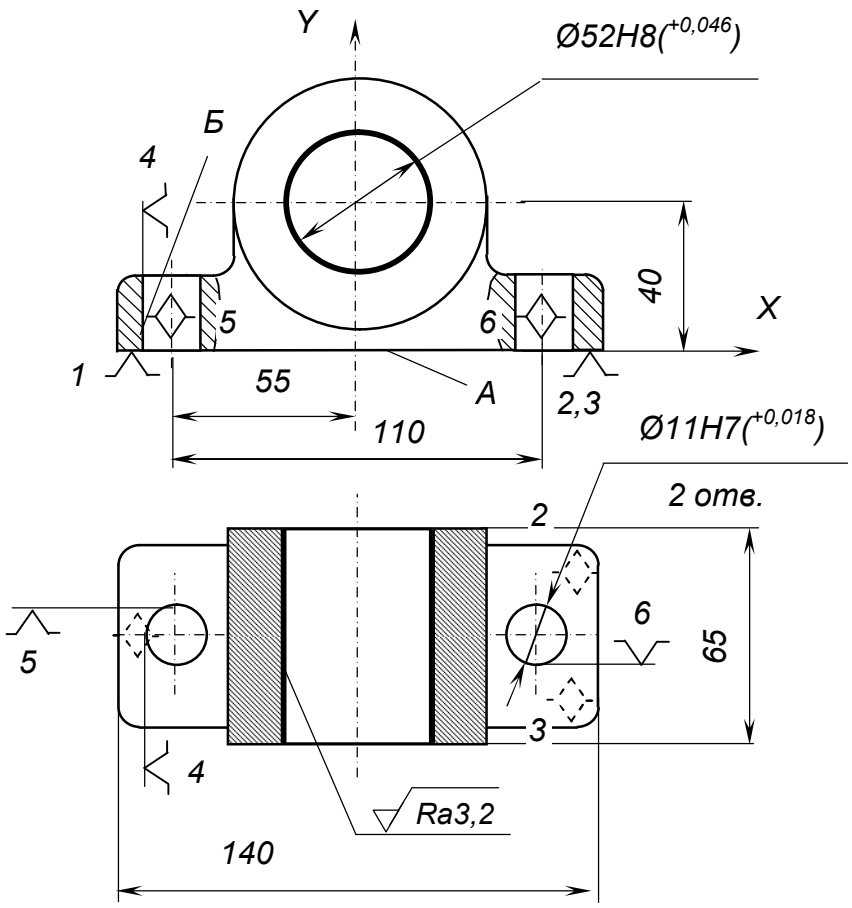


Рисунок 7.2 — Ескіз зі схемою базування на операції обробки отвору в деталі типу «корпус»

2. Заготовка — виливок в оболонкову форму (9-й клас точності відповідно до ГОСТ 26645—85). Допуск діаметрального розміру отвору у вихідній заготовці складає 2,0 мм.

3. Технологічний маршрут обробки отвору $Ø52H8$ складається з трьох

переходів — чорнового, чистового і тонкого розточування на свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті ИР320ПМФ4. Всі переходи здійснюються на одному установі заготовки.

4. Чистові технологічні бази (площина і два отвори Ø11*H*8) утворюються на першій операції механічної обробки.

Визначимо елементи мінімального припуску для всіх переходів обробки отвору.

Для поверхні отвору у вихідній заготовці величини *Rz* і *h* складають відповідно 40 мкм і 260 мкм [14, табл. 4.25].

Значення *Rz* і *h* після чорнового розточування складають відповідно 50 мкм [14, табл. 4.27] і 0 мкм (оскільки матеріал заготовки — чавун).

Після чистового розточування величина *Rz* складає 25 мкм [14, табл. 4.27].

Величину просторових відхилень отвору оброблюваної поверхні визначимо за формулою (7.2).

Жолоблення отвору має бути враховане як у діаметральному, так і в осьовому напрямі, тому

$$\rho_{\text{жол}} = \sqrt{(\Delta_{\text{ж}} d)^2 + (\Delta_{\text{ж}} l)^2}\ , \qquad (7.6)$$

де $\Delta_{\text{ж}}$ — питоме жолоблення; *d* і *l* — відповідно, діаметр і довжина отвору в готовій деталі.

Величина $\Delta_{\text{ж}}$ для прикладу, що розглядається, складає 0,7 мкм/мм [14, табл. 4.29].

Таким чином,

$$\rho_{\text{жол}} = \sqrt{(0{,}7 \cdot 52)^2 + (0{,}7 \cdot 65)^2} = 47 \text{ мкм}.$$

Для визначення величини $\rho_{\text{зм}}$ розглянемо операційний ескіз механічної обробки заготовки на першій операції. Припустимо, що схема базування на першій операції відповідає розв'язанню задачі забезпечення розмірного зв'язку оброблених поверхонь з необробленими (рис. 7.3).

Вісь отвору у вихідній заготовці пов'язана з чистовими технологічними базами (площиною *А* і отвором *Б*) розмірами відповідно A_{55} і A_{40}. Тому знайдемо $\rho_{\text{зм}}$ як середньоквадратичне значення сумарних похибок механічної обробки цих розмірів, тобто

$$\rho_{\text{зм}} = \sqrt{\left(\varepsilon_{\Sigma_{55}}\right)^2 + \left(\varepsilon_{\Sigma_{40}}\right)^2}\ . \qquad (7.7)$$

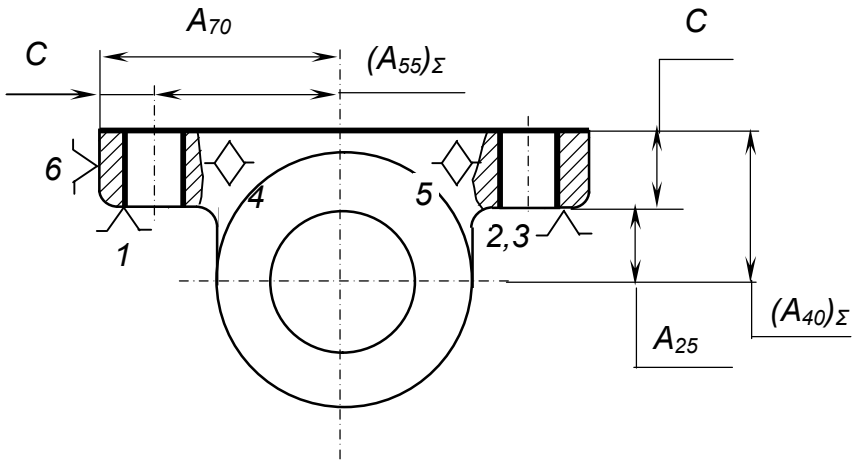


Рисунок 7.3 — Ескіз зі схемою базування на операції обробки чистових баз (перша операція)

Визначимо величини $\varepsilon_{\Sigma_{55}}$ та $\varepsilon_{\Sigma_{40}}$ за спрощеною формулою визначення сумарної похибки механічної обробки

$$\varepsilon_{\Sigma} = \sqrt{\varepsilon_{б}^2 + \omega^2} \tag{7.8}$$

де $\varepsilon_{б}$ — похибка базування; ω — середньостатистична точність способу механічної обробки.

Знайдемо похибки базування на розміри A_{55} і A_{40}, побудувавши відповідні розмірні ланцюги (рис. 7.3). З рис. 7.3 випливає, що

$$\varepsilon_{б\,55} = T(A_{70}) + T(C).$$

Оскільки величина $T(C)$ є фактично похибкою настроєння і враховується в ω, то можна прийняти $T(C) = 0$. Розмір A_{70} з'єднує необроблені поверхні і тому величину допуску цього розміру визначаємо за ГОСТ 26645 – 87 [25]. Для заготовки 9 ступеня точності $T(A_{70})$=2200 мкм. Таким чином, $\varepsilon_{б55} = T(A_{70}) = 2200$ мкм.

Аналогічно знаходимо $\varepsilon_{б_{40}}$

$$\varepsilon_{б\,40} = T(A_{25}) + T(C),$$

і, відповідно, $\varepsilon_{б\,40} = T(A_{25}) = 1600$ мкм.

Значення ω_{55} (зміщення осі отвору після свердління відносно технологічних баз) згідно з [14, табл. 7, С. 16] складає 180 мкм.

Вважаючи, що двократне фрезерування площини (рис. 7.3) забезпечує 12 квалітет точності, приймемо $\omega_{40} = 250$ мкм.

Підставивши відповідні кількісні значення $\varepsilon_{б}$ і ω в (7.8), отримаємо

$$\varepsilon_{\Sigma_{55}} = \sqrt{(2200)^2 + (180)^2} = 2208 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_{\Sigma_{40}} = \sqrt{(1600)^2 + (250)^2} = 1620 \text{ мкм}.$$

За формулами (7.6) і (7.2) знайдемо кількісні значення $\rho_{зм}$ і $\rho_{заг}$

$$\rho_{зм} = \sqrt{(2208)^2 + (1620)^2} = 2738 \text{ мкм};$$

$$\rho_{заг} = \sqrt{(47)^2 + (2738)^2} = 2740 \text{ мкм}.$$

Залишкове значення просторового відхилення після чорнового розточування складе $\rho_1 = 0{,}05 \cdot 2740 = 136$ мкм, а після чистового — $\rho_2 = 0{,}05 \cdot 136 = 7$ мкм.

Згідно з [18, С. 40] похибка встановлення під час розрахунків припусків знаходиться як різниця між граничними положеннями оброблюваної поверхні заготовки.

Похибку встановлення на попередньому розточуванні визначимо як середньоквадратичне значення цих похибок у напрямах осей X і Y (див. рис. 7.2)

$$\varepsilon_в = \sqrt{\varepsilon^2_{в_x} + \varepsilon^2_{в_y}} \quad . \tag{7.9}$$

Похибка встановлення у напрямі кожної з осей може бути визначена за формулою

$$\varepsilon_в = \sqrt{\varepsilon^2_б + \varepsilon^2_з + \varepsilon^2_{пр}} \ , \tag{7.10}$$

де $\varepsilon_б$, $\varepsilon_з$ і $\varepsilon_{пр}$ — відповідно похибка базування, похибка закріплення і похибка пристрою.

Похибки $\varepsilon_з$ та $\varepsilon_{пр}$ на етапі визначення припусків зазвичай не розраховують, а користуються таблицями [3, С. 75—82], у яких наведені середньостатистичні кількісні значення суми цих похибок (в таблицях ця сума означена як похибка закріплення). Аналогічні таблиці є і в [14, С. 109—113]. З урахуванням цього, формулу (7.10) можна записати у вигляді

$$\varepsilon_в = \sqrt{\varepsilon^2_б + \varepsilon^2_з} \ . \tag{7.11}$$

Визначимо похибку базування $\varepsilon_{б_x}$ у напрямі осі X як поле розсіювання розміру A_{Δ_x} (рис. 7.4), який з'єднує в горизонтальній площині вісь отвору вихідної заготовки з віссю обертання розточувальної оправки.

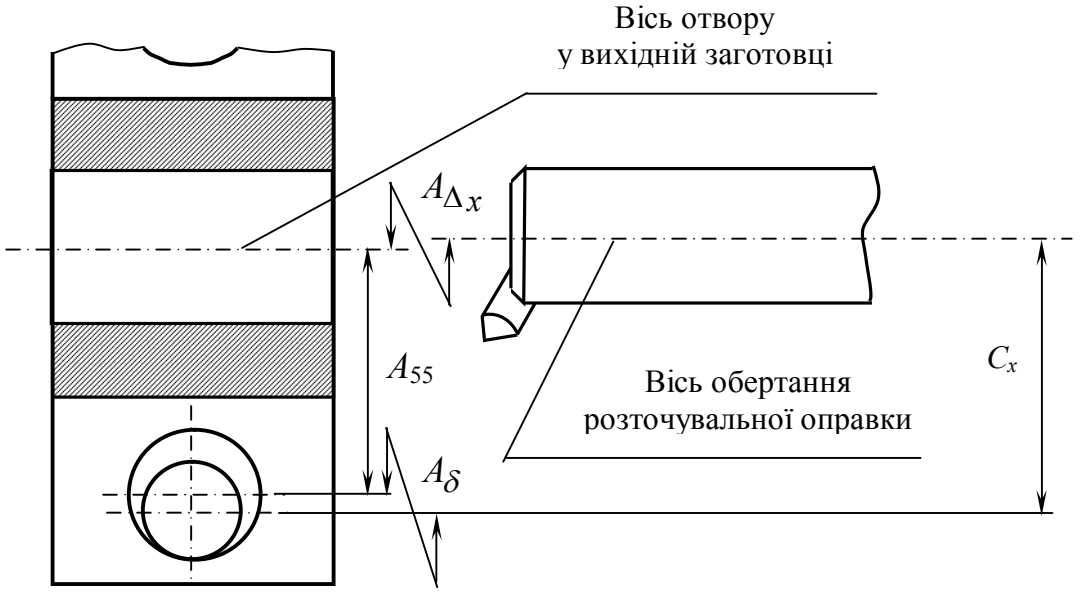


Рисунок 7.4 — Схема розмірного ланцюга для визначення похибки базування у напрямі осі X

Розв'язуючи обернену задачу розрахунку розмірних ланцюгів, отримаємо

$$\varepsilon_{б_x} = \delta(A_{\Delta x}) = T(A_{55}) + T(A_\delta) + T(C_x).$$

Величина $T(A_{55})$ фактично є сумарною похибкою обробки розміру 55 мм і повністю врахована в $\rho_{зм}$.

Величина $T(C_x)$ є похибкою настроєння інструмента. Кількісне значення цієї похибки, у порівнянні з іншими складовими припуску, є незначним і ним можна знехтувати.

Величина $T(A_\delta)$ дорівнює величині максимально можливого зміщення осі отвору у вихідній заготовці через зазор між отвором Ø11*H7* і круглим пальцем Ø11*g6*, тобто максимальному зазору. Таким чином,

$$\varepsilon_{б_x} = T(A_\delta) = D_{\max} - d_{\min}, \qquad (7.12)$$

де $D_{\max}$ і $d_{\min}$ — відповідно, максимальний діаметр отвору і мінімальний діаметр пальця.

Підставивши відповідні значення в (7.12), отримаємо

$$\varepsilon_{б_x} = 11{,}027 - 10{,}941 = 0{,}086 \text{ мм} = 86 \text{ мкм}.$$

Оскільки за прийнятої схеми встановлення затискні сили спрямовані у напрямі осі *Y*, то похибка закріплення у напрямі осі *X* відсутня і, таким чином, $\varepsilon_{в_x}=\varepsilon_{б_x}=$ 86 мкм.

Знайдемо похибку встановлення у напрямі осі *Y* ($\varepsilon_{в_y}$).

Похибку $\varepsilon_{б_y}$ визначимо як поле розсіювання розміру A_{Δ_y} (рис. 7.5). Цей розмір з'єднує у напрямі осі *Y* вісь отвору вихідної заготовки з віссю обертання розточувальної оправки. Складемо відповідний технологічний розмірний ланцюг. Розмір A_Δ у цьому ланцюзі є ланкою замикання.

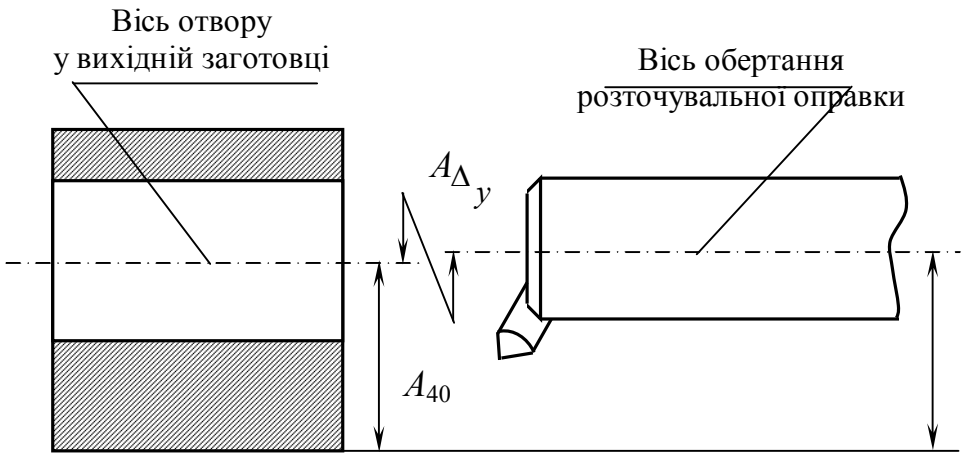


Рисунок 7.5 — Схема розмірного ланцюга для визначення похибки базування у напрямі осі *Y*

Таким чином,

$$\varepsilon_{б_y}=\delta\left(A_{\Delta_y}\right)=T\left(A_{40}\right)+T\left(C_y\right).$$

Величина $T\left(A_{40}\right)$ визначена раніше як сумарна похибка механічної обробки розміру 40 мм і повністю врахована у $\rho_{зм}$. Величиною $T\left(C_y\right)$ нехтуємо як і у випадку розрахунку $\varepsilon_{б_x}$. Отже, $\varepsilon_{б_y}=0$.

Оскільки сили закріплення направлені паралельно осі *Y*, то згідно з [14, табл. 4.37] похибка закріплення у напрямі цієї осі складе 90 мкм. Таким чином, $\varepsilon_{в_y}=\varepsilon_{з_y}=90$ мкм.

За формулою (7.11) визначимо похибку встановлення на попередньому розточуванні

$$\varepsilon_{в_1}=\sqrt{86^2+90^2}=127 \text{ мкм}.$$

Залишкова похибка встановлення на чистовому розточуванні згідно з (7.5) складе

$$\varepsilon_{в_2} = 0{,}05 \cdot 127 = 6 \text{ мкм},$$

а на тонкому розточуванні

$$\varepsilon_{в_3} = 0{,}05 \cdot 6 = 0{,}3 \text{ мкм} \approx 0.$$

За формулою (7.1) визначимо розрахункові мінімальні проміжні припуски для розточування:

чорнового

$$2z_{\min_1} = 2\left(40+260+\sqrt{2740^2+127^2}\right) = 2\cdot 3042 \text{ мкм};$$

чистового

$$2z_{\min_2} = 2\left(50+\sqrt{136^2+6^2}\right) = 2\cdot 186 \text{ мкм}.$$

тонкого

$$2z_{\min_3} = 2\left(25+\sqrt{7^2}\right) = 2\cdot 32 \text{ мкм}.$$

Оскільки отриманий мінімальний припуск на тонке розточування може бути меншим за мінімальну товщину стружки, яку здатний зняти різець, виберемо мінімальний припуск за таблицею В.4 (додаток В). Таким чином, остаточно приймемо $2z_{\min_3} = 2\cdot 50$ мкм.

Отже, в результаті розрахунків визначені величини всіх мінімальних проміжних припусків для трьох переходів — чорнового, чистового і тонкого розточування.

Приклад 2

Потрібно визначити мінімальні проміжні припуски на механічну обробку шийки під підшипник в заготовці деталі типу «ступінчастий вал».

Вихідні дані

1. Деталь — вал (див. рис. 3.2).
2. Оброблювана поверхня — шийка $Ø45k6(^{+0{,}018}_{+0{,}002})$ мм.
3. Матеріал деталі — сталь 40Х.
4. Виробництво — середньосерійне.

5. Вихідна заготовка — відрізок сталевого гарячекатаного круглого прокату (ГОСТ 2590—88) діаметром Ø58 мм.

6. Термічна обробка — поліпшення (гартування з подальшим високим відпуском) перед круглим шліфуванням.

7. Маршрут обробки:

- чорнове і чистове точіння на токарному верстаті з ЧПК 16К20Т1;
- попереднє кругле шліфування на верстаті 3М151;
- остаточне кругле шліфування на верстаті 3М151В.

8. Токарна і шліфувальні операції виконуються з встановленням на центрові отвори.

9. Точність обробки:

- чорнове точіння — *IT*13 (T_1 = 390 мкм);
- чистове точіння — *IT*10 (T_2 = 100 мкм);
- попереднє шліфування *IT*8 (T_3 = 39 мкм);
- остаточне шліфування *IT*6 ($T_4 = T_{\text{дет}}$ = 16 мкм)

Визначимо елементи мінімального припуску для всіх переходів обробки отвору.

Висота мікронерівностей Rz і глибина дефектного шару h після чорнового точіння складають, відповідно, 100 мкм і 100 мкм [14, табл. 4.27].

Значення Rz і h після чистового точіння складають, відповідно, 30 мкм і 30 мкм [14, табл. 4.27].

Згідно з [7], вважатимемо, що термічна обробка не змінює параметрів Rz і h, які були отримані після чистового точіння.

Значення Rz і h після попереднього шліфування складають, відповідно, 10 мкм і 20 мкм [14, табл. 4.27].

Оскільки діаметр шийки значно менший за діаметр вихідної заготовки, (шийка утворюється в процесі чорнового точіння за рахунок знімання напуску), то величина просторових відхилень ρ на всі переходи токарної обробки відсутня.

Величина просторового відхилення через жолоблення (зігнутість) вала після термообробки як складова припуску на попереднє кругле шліфування визначимо за формулою (7.3) з урахуванням того, що відстань від правого торця вала до кінця шийки Ø45$k6(^{+0,018}_{+0,002})$ мм складає 133 мм (див. рис. 3.2).

$$\rho_{з_1} = \Delta_з x = 0{,}8 \cdot 133 = 106 \text{ мкм}.$$

Залишкова зігнутість після попереднього круглого шліфування складе

$$\rho_{з_2} = 0{,}05\rho_{з_1} = 0{,}05 \cdot 106 = 5 \text{ мкм}.$$

Похибка встановлення на токарній і шліфувальних операціях відсутня, оскільки заготовка встановлюється на центрові отвори.

Визначимо розрахункові мінімальні проміжні припуски для:
чистового точіння

$$2z_{\min 2} = 2(100+100) = 2\cdot 200 \text{ мкм};$$

попереднього шліфування

$$2z_{\min 3} = 2(30+30+106) = 2\cdot 166 \text{ мкм};$$

остаточного шліфування

$$2z_{\min 4} = 2(10+20+5) = 2\cdot 35 \text{ мкм}.$$

Отже, в результаті розрахунків визначені величини всіх мінімальних проміжних припусків для чотирьох переходів — попереднього та чистового точіння і попереднього та чистового круглого шліфування.

7.3 Зміст звіту

Кожен зі студентів виконує розрахунок проміжних мінімальних припусків на механічну обробку циліндричної поверхні згідно з індивідуальним домашнім завданням.

Звіт окремо не оформляється, а захищається у складі індивідуального домашнього завдання після його виконання.

7.4 Питання для самоконтролю

1 Поняття припуску на механічну обробку. Поняття напуску. Способи визначення припусків.

2. Складові мінімального припуску на механічну обробку. Як вони визначаються?

3. Як визначаються просторові відхилення поверхні заготовки відносно технологічних баз під час розрахунку мінімального припуску на механічну обробку?

4. Визначення похибки встановлення як складової мінімального припуску на механічну обробку.

5. Особливості знаходження похибки базування під час визначення мінімального припуску з використанням розрахунково-аналітичного методу.

Практичне заняття № 8

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗМІРІВ ОБРОБКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ І РОЗМІРІВ ВИХІДНОЇ ЗАГОТОВКИ

Мета заняття — набуття практичних навиків визначення технологічних розмірів обробки циліндричних поверхонь.

8.1 Основні положення і рекомендації до виконання роботи

Припуски на механічну обробку не є остаточним результатом проектування технологічного процесу, оскільки в технологічних документах вказують не величини припусків, а *технологічні розміри* (**technological saiz**), які повинні забезпечуватись в результаті механічної обробки. Тому наступним етапом проектування, після визначення проміжних мінімальних припусків, є розрахунок технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки. Таким чином, задача полягає у тому, що, знаючи мінімальні проміжні припуски на всі переходи обробки певної циліндричної поверхні, необхідно розрахувати технологічні розміри і розміри вихідної заготовки.

Послідовність розрахунку технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки, відповідно до [14, С. 95], показана у таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 — Послідовність розрахунку технологічних розмірів обробки зовнішніх циліндричних поверхонь і отворів

Для зовнішніх циліндричних поверхонь	Для отворів
1	2
1. Записати визначені попередньо значення Rz; h; ρ; ε і T	
2. Визначити розрахункові мінімальні припуски для всіх технологічних переходів	
3. Записати для останнього переходу в графу «Розрахунковий розмір» найменший граничний розмір поверхні відповідно до креслення деталі.	3. Записати для останнього переходу в графу «Розрахунковий розмір» найбільший граничний розмір поверхні відповідно до креслення деталі.
4. Для передостаннього переходу визначити розрахунковий розмір додаванням до найменшого граничного розміру за кресленням розрахункового припуску $2z_{\min}$ останнього переходу.	4. Для передостаннього переходу визначити розрахунковий розмір відніманням від найбільшого граничного розміру за кресленням розрахункового припуску $2z_{\min}$ останнього переходу.
5. Послідовно визначити розрахункові розміри для кожного з попередніх переходів додаванням до розрахункового розміру цього переходу розрахункового припуску $2z_{\min}$ наступного переходу.	5. Послідовно визначити розрахункові розміри для кожного з попередніх переходів відніманням від розрахункового розміру цього переходу розрахункового припуску $2z_{\min}$ наступного переходу.

Продовження таблиці 8.1

Для зовнішніх циліндричних поверхонь	Для отворів
1	2
6. Записати найменші граничні розміри для всіх технологічних переходів, заокруглюючи їх в сторону збільшення розрахункових розмірів; заокруглювати слід до того знака десяткового дробу, з яким дано допуск на розмір для кожного переходу.	6. Записати найбільші граничні розміри для всіх технологічних переходів, заокруглюючи їх в сторону зменшення розрахункових розмірів; заокруглювати слід до того знака десяткового дробу, з яким дано допуск на розмір для кожного переходу.
7. Розрахувати найбільші граничні розміри додаванням допуску до заокругленого найменшого граничного розміру.	7. Розрахувати найменші граничні розміри відніманням допуску від заокругленого найбільшого граничного розміру.
8. Визначити і записати значення максимальних припусків $2z_{\max}$ як різницю найбільших граничних розмірів і $2z_{\min}$ як різницю найменших граничних розмірів попереднього і виконуваного переходів.	8. Визначити і записати значення максимальних припусків $2z_{\max}$ як різницю найменших граничних розмірів і $2z_{\min}$ як різницю найбільших граничних розмірів виконуваного і попереднього переходів.
9. Знайти загальні припуски $2z_{з_{\max}}$ і $2z_{з_{\min}}$, підсумовуючи проміжні припуски.	
10. Перевірити правильність розрахунків за формулою $2z_{з_{\max}} - 2z_{з_{\min}} = T_{заг} - T_{дет}$, де $T_{заг}$, $T_{дет}$ — відповідно, допуски вихідної заготовки і деталі.	

8.2 Приклади виконання завдання

Приклад № 1

Визначимо технологічні розміри на всі переходи обробки, розміри вихідної заготовки, максимальні і загальні припуски для обробки отвору $Ø52H8(^{+0,046})$ мм, використовуючи значення мінімальних проміжних припусків, розрахованих у прикладі № 1 практичного заняття № 7. Результати розрахунків будемо записувати у таблицю 8.2.

У стовпець 1 запишемо переходи обробки отвору у послідовності їх виконання починаючи з отвору у вихідній заготовці (виливку).

У стовпці 2, 3, 4, 5 «Елементи припуску» запишемо по переходах знайдені раніше елементи мінімальних припусків і розраховані мінімальні припуски (стовпець 6).

У стовпець 7 «Розрахунковий розмір» для останнього переходу (тонке розточування) запишемо найбільший граничний розмір поверхні відповідно до креслення деталі, а саме: $d_{р_4} = 52{,}046$ мм. Далі послідовно визначаємо розрахункові розміри для кожного з попередніх переходів відніманням

від розрахункового розміру цього переходу розрахункового припуску наступного переходу. Таким чином, отримаємо:
для чистового розточування

$$d_{р_3} = 52{,}046 - 2 \cdot 0{,}050 = 51{,}946 \text{ мм};$$

для чорнового розточування

$$d_{р_2} = 51{,}946 - 2 \cdot 0{,}186 = 51{,}574 \text{ мм};$$

для вихідної заготовки

$$d_{заг} = 51{,}574 - 2 \cdot 3{,}042 = 45{,}490 \text{ мм}.$$

Далі у стовпець 10 записуємо найбільші граничні розміри для всіх технологічних переходів, заокруглюючи їх в сторону зменшення розрахункових розмірів; заокруглювати слід до того знака десяткового дробу, з яким дано допуск на розмір для кожного переходу.

У стовпець 9 записуємо найменші граничні розміри, отримані відніманням допуску від заокругленого найбільшого граничного розміру.

Далі визначимо і запишемо в стовпець 11 значення прийнятих мінімальних припусків $2z_{\min}$ як різницю найбільших технологічних розмірів виконуваного і попереднього переходів.

Таким чином, для чорнового розточування

$$2z_{\min_1} = 51{,}57 - 45{,}4 = 2 \cdot 3{,}085 \text{ мм} = 2 \cdot 3085 \text{ мкм};$$

для чистового розточування

$$2z_{\min_2} = 51{,}94 - 51{,}57 = 2 \cdot 0{,}185 \text{ мм} = 2 \cdot 185 \text{ мкм};$$

для тонкого розточування

$$2z_{\min_3} = 52{,}046 - 51{,}94 = 2 \cdot 0{,}053 \text{ мм} = 2 \cdot 53 \text{ мкм}.$$

Після цього визначимо і запишемо у стовпець 12 значення прийнятих максимальних припусків $2z_{\max}$ як різницю найменших технологічних розмірів виконуваного і попереднього переходів.

Таким чином, для чорнового розточування

$$2z_{\max_1} = 51{,}11 - 43{,}4 = 2 \cdot 3{,}885 \text{ мм} = 2 \cdot 3885 \text{ мкм};$$

для чистового розточування

$$2z_{\max_2} = 51{,}82 - 51{,}11 = 2 \cdot 0{,}355 \text{ мм} = 2 \cdot 355 \text{ мкм};$$

для тонкого розточування

$$2z_{\max_3} = 52{,}000 - 51{,}82 = 2\cdot 0{,}090 \text{ мм} = 2\cdot 90 \text{ мкм}.$$

Визначимо загальні припуски як суму проміжних пропусків.

Мінімальний загальний припуск

$$2z_{\Sigma_{\min}} = 2\cdot 3085 + 2\cdot 185 + 2\cdot 53 = 2\cdot 3323 \text{ мкм}.$$

Максимальний загальний припуск

$$2z_{\Sigma_{\max}} = 2\cdot 3855 + 2\cdot 355 + 2\cdot 90 = 2\cdot 4300 \text{ мкм}.$$

Перевіримо правильність розрахунків за формулою

$$2z_{\Sigma_{\max}} - 2z_{\Sigma_{\min}} = T_{\text{заг}} - T_{\text{дет}}.$$

$$2z_{\Sigma_{\max}} - 2z_{\Sigma_{\min}} = 8{,}6 - 6{,}646 = 1{,}954 \text{ мм}.$$

$$T_{\text{заг}} - T_{\text{дет}} = 2 - 0{,}046 = 1{,}954 \text{ мм}.$$

Таким чином, перевірка підтвердила правильність розрахунків.

Згідно з [25], для виливків рекомендовано симетричне розташування граничних відхилень відносно номінального розміру. Тому номінальний діаметр отвору у вихідній заготовці складе

$$d_{\text{заг}_{\text{ном}}} = \frac{d_{\text{заг}_{\max}} + d_{\text{заг}_{\min}}}{2} = \frac{45{,}4 + 43{,}4}{2} = 44{,}4 \text{ мм}.$$

На кресленні вихідної заготовки має бути проставлений розмір отвору Ø44,4 ±1 мм.

У технологічній документації мають бути вказані такі технологічні розміри:

- після чорнового розточування $Ø51{,}11^{+0{,}46}$ мм;
- після чистового розточування $Ø51{,}82^{+0{,}12}$ мм;
- після тонкого розточування $Ø52^{+0{,}046}$ мм.

Після закінчення усіх розрахунків розробляють схему розташування розмірів, припусків і допусків. Для прикладу, що розглядається, така схема показана на рис. 8.1.

Таблиця 8.2 — Розрахунок припусків і технологічних розмірів на механічну обробку отвору $Ø52H8(^{+0,046})$ мм

Технологічні переходи обробки отвору $Ø52H8(^{+0,046})$	Елементи припуску, мкм				Розрахований мінімальний припуск $2z_{min}$, мкм	Розрахунковий розмір $d_р$, мм	Допуск T, мкм	Граничні значення технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	h	ρ	$\varepsilon_в$				d_{min}	d_{max}	$2z_{min}$	$2z_{max}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вихідна заготовка (виливок)	40	260	2740	—	—	45,490	2000	43,4	45,4	—	—
Розточування чорнове	50	—	136	127	2·3042	51,574	460	51,11	51,57	2·3085	2·3855
Розточування чистове	25	—	7	6	2·186	51,946	120	51,82	51,94	2·185	2·355
Розточування тонке				—	(2·50)*	52,046	46	52,000	52,046	2·53	2·90
Загальний припуск										2·3323	2·4300

*Мінімальний припуск вибраний за додатком В, таблиця В.4.

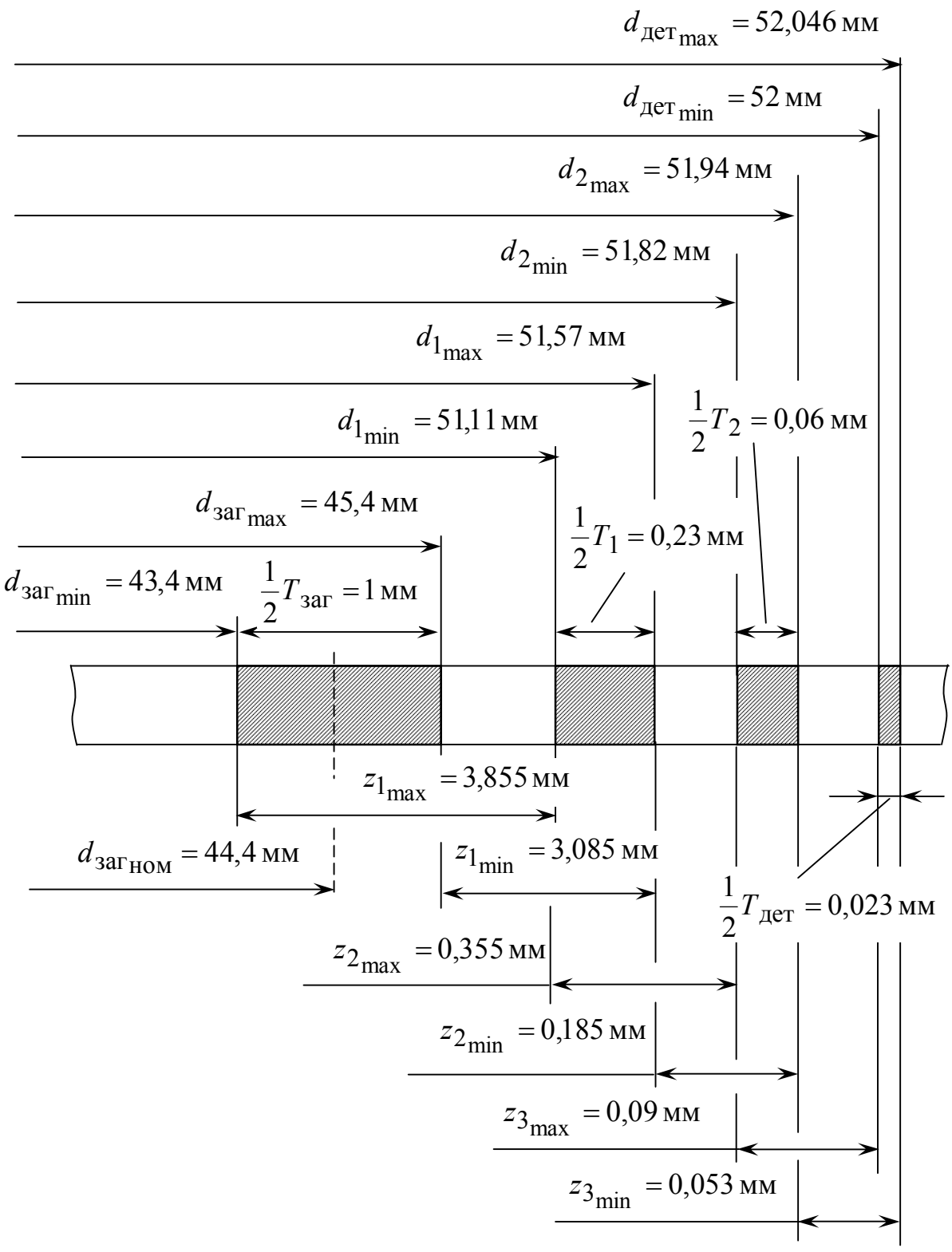


Рисунок 8.1 — Схема розташування розмірів, припусків і допусків на обробку отвору $Ø52H8(^{+0,046})$ мм в корпусі підшипника

Приклад № 2

Визначимо технологічні розміри на всі переходи обробки, розміри вихідної заготовки, максимальні і загальні припуски для обробки шийки вала $Ø45k6(^{+0,018}_{+0,002})$ мм, використовуючи значення мінімальних проміжних припусків, розрахованих у прикладі № 2 практичного заняття № 7. Результати розрахунків записуватимемо у таблицю 8.3.

У стовпець 1 запишемо переходи обробки шийки вала у послідовності їх виконання. У стовпці 2, 3, 4, 5 «Елементи припуску» запишемо по переходах знайдені раніше елементи мінімальних припусків і розраховані мінімальні припуски (стовпець 6).

У стовпець 7 «Розрахунковий розмір» для останнього переходу (остаточне шліфування) запишемо найменший граничний розмір поверхні відповідно до креслення вала, а саме: $d_{\text{р}_4} = 45{,}002$ мм. Далі послідовно визначаємо розрахункові розміри для кожного з попередніх переходів додаванням до розрахункового розміру цього переходу розрахункового припуску наступного переходу. Таким чином, отримаємо:

для попереднього шліфування

$$d_{\text{р}_3} = 45{,}002 + 2\cdot 0{,}035 = 45{,}072 \text{ мм};$$

для чистового точіння

$$d_{\text{р}_2} = 45{,}072 + 2\cdot 0{,}166 = 45{,}404 \text{ мм};$$

для чорнового точіння

$$d_{\text{заг}} = 45{,}404 + 2\cdot 0{,}2 = 45{,}804 \text{ мм}.$$

Далі у стовпець 9 записуємо найменші граничні розміри для всіх технологічних переходів, заокруглюючи їх в сторону збільшення розрахункових розмірів; заокруглювати слід до того знака десяткового дробу, з яким дано допуск на розмір для кожного переходу.

У стовпець 10 записуємо найбільші граничні розміри, отримані додаванням допуску до заокругленого найменшого граничного розміру.

Далі визначимо і запишемо в стовпець 11 значення прийнятих мінімальних припусків $2z_{\min}$ як різницю найменших технологічних розмірів попереднього і виконуваного переходів.

Таким чином, для чистового точіння

$$2z_{\min_1} = 45{,}81 - 45{,}41 = 2\cdot 0{,}2 \text{ мм} = 2\cdot 200 \text{ мкм};$$

для попереднього шліфування

$$2z_{\min_2} = 45{,}41 - 45{,}072 = 2\cdot 0{,}169 \text{ мм} = 2\cdot 169 \text{ мкм};$$

для остаточного шліфування

$$2z_{\min 3} = 45{,}072 - 45{,}002 = 2\cdot 0{,}035 \text{ мм} = 2\cdot 35 \text{ мкм}.$$

Після цього визначимо і запишемо у стовпець 12 значення прийнятих максимальних припусків $2z_{\max}$ як різницю найбільших технологічних розмірів виконуваного і попереднього переходів.

Таким чином, для чистового точіння

$$2z_{\max 1} = 46{,}20 - 45{,}51 = 2\cdot 0{,}345 \text{ мм} = 2\cdot 345 \text{ мкм};$$

для попереднього шліфування

$$2z_{\max 2} = 45{,}51 - 45{,}111 = 2\cdot 0{,}2 \text{ мм} = 2\cdot 200 \text{ мкм};$$

для остаточного шліфування

$$2z_{\max 3} = 45{,}111 - 45{,}018 = 2\cdot 0{,}046 \text{ мм} = 2\cdot 46 \text{ мкм}.$$

Визначимо загальні припуски як суму проміжних пропусків.

Мінімальний загальний припуск

$$2z_{\Sigma\min} = 2\cdot 200 + 2\cdot 169 + 2\cdot 35 = 2\cdot 404 \text{ мкм}.$$

Максимальний загальний припуск

$$2z_{\Sigma\max} = 2\cdot 345 + 2\cdot 200 + 2\cdot 46 = 2\cdot 591 \text{ мкм}.$$

Перевіримо правильність розрахунків за формулою

$$2z_{\Sigma\max} - 2z_{\Sigma\min} = T_{\text{заг}} - T_{\text{дет}}.$$

$$2z_{\Sigma\max} - 2z_{\Sigma\min} = 2\cdot 0{,}591 - 2\cdot 0{,}404 = 0{,}374 \text{ мм}.$$

$$T_{\text{заг}} - T_{\text{дет}} = 0{,}390 - 0{,}016 = 0{,}374 \text{ мм}.$$

У технологічній документації мають бути вказані такі технологічні розміри:

- після чорнового точіння $Ø46{,}2_{-0{,}39}$ мм;
- після чистового точіння $Ø45{,}51_{-0{,}1}$ мм;
- після на попереднього шліфування $Ø45{,}111_{-0{,}039}$ мм;
- після на остаточного шліфування $Ø45^{+0{,}018}_{+0{,}002}$ мм.

Для прикладу, що розглядається, схема розташування розмірів, припусків і допусків показана на рис. 8.2.

Таблиця 8.3 — Розрахунок припусків і технологічних розмірів на механічну обробку шийки вала $Ø45k6(^{+0,018}_{+0,002})$ мм

Технологічні переходи обробки шийки вала $Ø45k6(^{+0,018}_{+0,002})$ мм	Елементи припуску, мкм				Розрахований мінімальний припуск $2z_{min}$, мкм	Розрахунковий розмір d_p, мм	Допуск T, мкм	Граничні значення технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	h	ρ	$\varepsilon_в$				d_{min}	d_{max}	$2z_{min}$	$2z_{max}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Точіння чорнове	100	100	—	—	—	45,804	390	45,81	46,20	—	—
Точіння чистове	30	30	—	—	2·200	45,404	100	45,41	45,51	2·200	2·345
Термічна обробка	30	30	106	—	—						
Шліфування попереднє	10	20	5	—	2·166	45,072	39	45,072	45,111	2·169	2·200
Шліфування остаточне	—	—	—	—	2·35	45,002	16	45,002	45,018	2·35	2·46
Загальний припуск										2·404	2·591

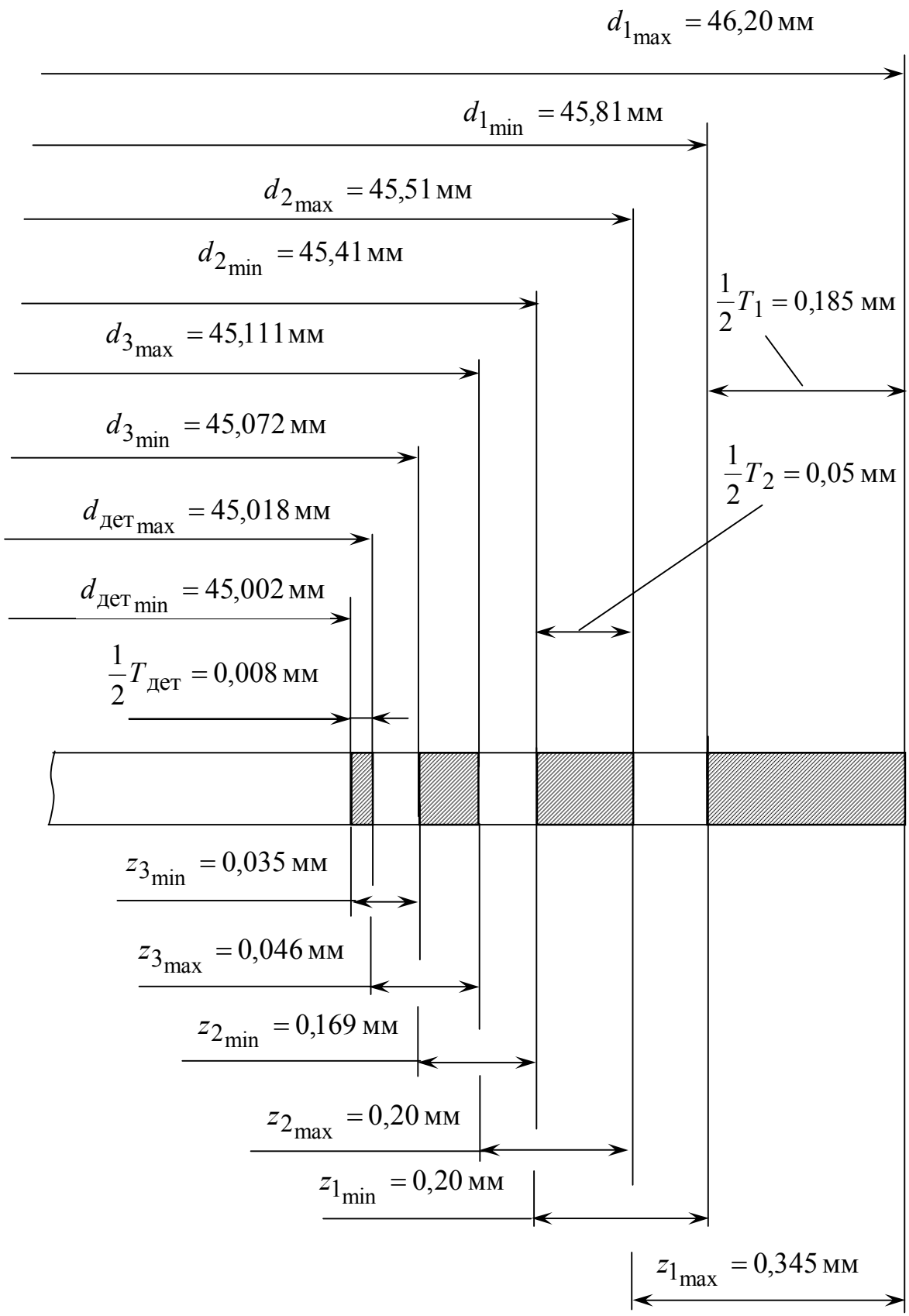


Рисунок 8.2 — Схема розташування розмірів, припусків і допусків на обробку шийки вала $Ø45k6(^{+0{,}018}_{+0{,}002})$ мм

8.3 Зміст звіту

Кожен зі студентів виконує розрахунок технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки згідно з індивідуальним домашнім завданням.

Звіт окремо не оформляється, а захищається в складі індивідуального домашнього завдання після його виконання.

8.4 Питання для самоконтролю

Методика визначення проміжних технологічних розмірів обробки циліндричних поверхонь і розмірів вихідної заготовки.

Практичне заняття № 9

РОЗМІРНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Мета заняття — набуття практичних навиків виконання розмірного аналізу технологічних процесів механічної обробки.

9.1 Основні положення і рекомендації до виконання роботи

Задачами *розмірного аналізу технологічного процесу механічної обробки* (**dimensional analysis of a manufacturing process of tooling**) (далі — розмірного аналізу) є:

- визначення технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки, які з'єднують між собою плоскі поверхні, плоскі поверхні з осями отворів і осі отворів між собою;
- перевірка правильності побудови маршруту механічної обробки і правильності призначення допусків технологічних розмірів;
- визначення максимальних припусків на обробку плоских поверхонь.

Під час проектування технологічного процесу механічної обробки розмірний аналіз виконується після розробки альтернативних варіантів маршруту обробки і вибору найраціональнішого за мінімумом зведених витрат. Крім того, до початку виконання розмірного аналізу мають бути призначені мінімальні проміжні припуски на обробку плоских поверхонь.

Для деталей, які мають форму тіла обертання (вали, фланці, осі тощо), розмірний аналіз виконується у напрямі осі обертання. Для деталей складнішої просторової форми може знадобитися виконання розмірного аналізу у напрямі двох або навіть трьох осей.

Таким чином, початковими даними для виконання розмірного аналізу технологічного процесу є:

- креслення деталі;
- ескіз вихідної заготовки;
- кількісні значення мінімальних проміжних припусків на обробку плоских поверхонь.

Розглянемо зміст основних етапів виконання розмірного аналізу.

9.1.1 Вибір розташування технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки

Цей етап розмірного аналізу передбачає вибір розташування технологічних розмірів, які з'єднують між собою плоскі поверхні, або плоскі поверхні з осями отворів, а також відповідних розмірів вихідної заготовки.

Розташування технологічних розмірів для всіх переходів можна показувати на ескізах маршруту обробки. Технологічні розміри позначають

будь-якою літерою (наприклад, B) з індексами, які відповідають послідовності виконання переходів.

Розташування технологічних розмірів на ескізах вибирається таким чином, щоб забезпечувалась відсутність або мінімальність похибки базування, тобто, щоб виконувався принцип суміщення баз або здійснювалась обробка з одного установа тих поверхонь, які координуються відповідним технологічним розміром.

Якщо під час вибору чорнових технологічних баз розв'язується задача забезпечення розмірного зв'язку між обробленими і необробленими поверхнями, то на першій операції відповідні розміри мають бути використані як технологічні розміри.

Кількість технологічних розмірів та їх розташування мають забезпечувати можливість виконання всіх переходів і, відповідно, операцій механічної обробки.

Розташування розмірів вихідної заготовки (далі — заготовки) вибирається згідно з рекомендаціями [16]. У розмірному аналізі використовуються тільки ті розміри заготовки, які відповідають розмірам деталі, що з'єднують між собою оброблені поверхні або оброблені поверхні з необробленими. Розміри між поверхнями заготовки, які механічно не обробляються, в розмірному аналізі не розглядаються.

9.1.2 Визначення допусків розмірів вихідної заготовки і допусків технологічних розмірів

Допуски розмірів заготовки визначають за відповідними стандартами на заготовки під час її проектування, наприклад на виливки за [25], на штамповані поковки — за [26].

Допуски технологічних розмірів призначаються, виходячи з очікуваної точності обробки на відповідних переходах попередньо розробленого маршруту механічної обробки. Під час виконання розмірного аналізу технологічних процесів допуски технологічних розмірів можна наближено визначати за формулою

$$T(B_i) = \varepsilon_\Sigma(B_i) = \sqrt{\left[\omega(B_i)\right]^2 + \left[\varepsilon_б\left(B_i\right)\right]^2},$$

де $\varepsilon_\Sigma(B_i)$ — сумарна похибка механічної обробки на технологічний розмір B_i; $\omega(B_i)$ — середньостатистична точність способу механічної обробки; $\varepsilon_б\left(B_i\right)$ — похибка базування, що виникає під час забезпечення розміру B_i.

Якщо похибка базування відсутня або мінімальна і нею можна знехтувати, то допуски технологічних розмірів можна визначати за формулою

$$T(B_i) = \varepsilon_\Sigma(B_i) = \omega(B_i),$$

Величину $\omega(B_i)$ можна знайти в навчальній і довідковій літературі, наприклад в [3, С. 150—153], [14, С. 222—224] або [18, С. 86—88] та ін.

Форма таблиці для запису допусків вихідної заготовки і допусків технологічних розмірів є у прикладі виконання розмірного аналізу (таблиця 9.2).

Зміст і послідовність виконання подальших етапів розмірного аналізу для більшої наочності розглянемо на прикладі обробки деталі типу «фланець» (рис. 9.1,а).

Приклад виконання розмірного аналізу

Початкові дані

1. Тип виробництва — середньосерійний.

2. Вихідна заготовка — виливок в оболонкову форму з сірого чавуну (рис. 9.1,б). Клас розмірної заготовки — 9-й відповідно до [25].

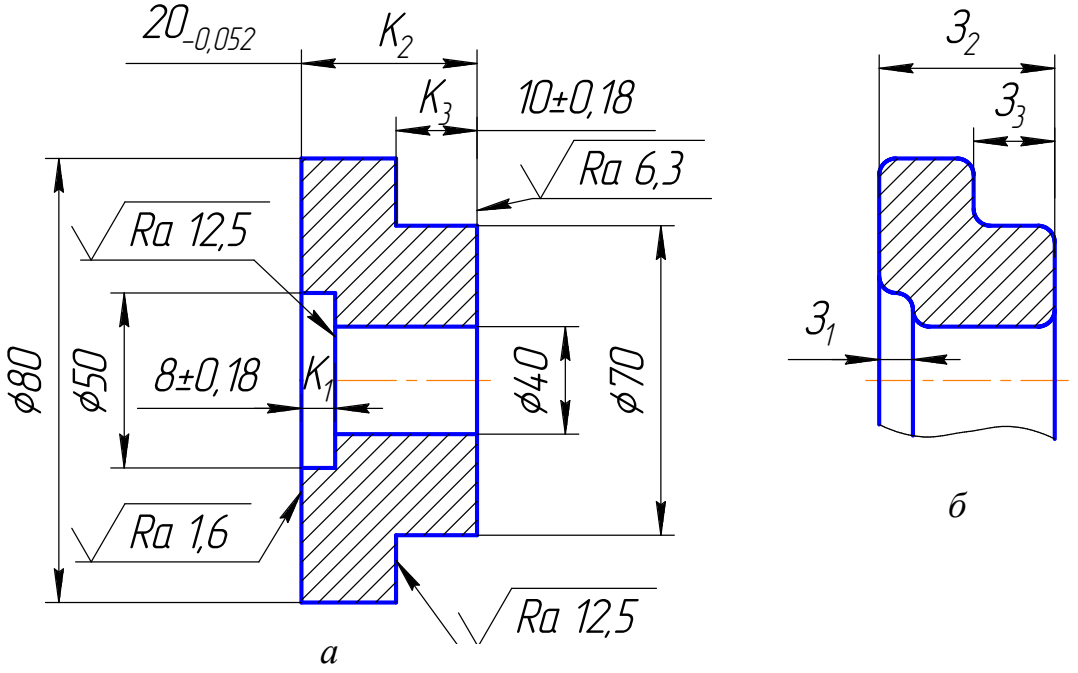


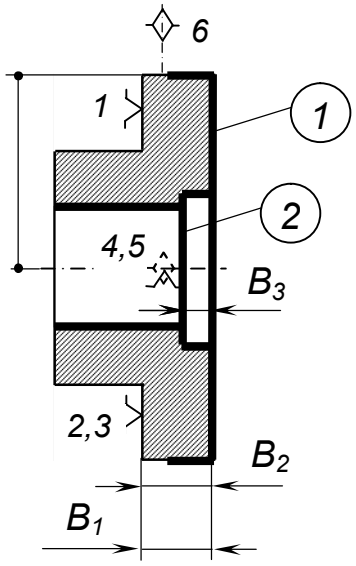
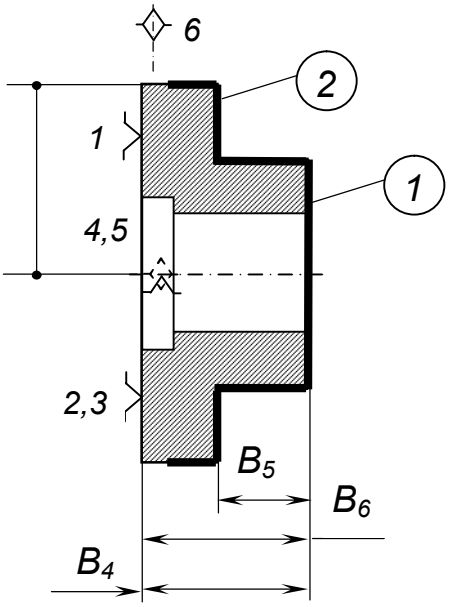
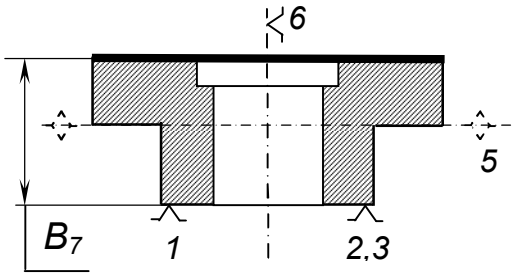
Рисунок 9.1 — Ескізи деталі (*а*) і заготовки (*б*)

Маршрут механічної обробки заготовки показаний у таблиці 9.1. У зміст переходів операцій маршруту умовно не розглядається обробка циліндричних поверхонь, оскільки їх розміри не впливають на результати розмірного аналізу.

Вибрані згідно з рекомендаціями п. 9.1.2 значення допусків розмірів вихідної заготовки і допуски технологічних розмірів запишемо у таблицю 9.2.

Допуски деяких технологічних розмірів можуть бути в подальшому уточнені. Остаточні значення допусків всіх технологічних розмірів слід показати у підсумковій таблиці (таблиця 9.6).

Таблиця 9.1 — Маршрут механічної обробки (до прикладу виконання розмірного аналізу)

Номер, назва та зміст операції	Схема базування і обробки	Обладнання
005 Токарно-револьверна з ЧПК 1. Точити поверхню ***1*** попередньо в розмір B_1. 2. Точити поверхню ***1*** остаточно в розмір B_2. 3. Точити поверхню ***2*** однократно в розмір B_3.		Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30
010 Токарно-револьверна з ЧПК 1. Точити поверхню ***1*** попередньо в розмір B_4, поверхню ***2*** однократно в розмір B_5. 2. Точити поверхню ***1*** остаточно в розмір B_6.		Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30
015 Плоскошліфувальна 1. Шліфувати площину в розмір B_7.		Плоскошліфувальний 3701

Таблиця 9.2 — Допуски розмірів вихідної заготовки і допуски технологічних розмірів

Вихідна заготовка			
Розмір	Спосіб виготовлення	Клас розмірної точності	Допуск, мм
$З_1$	Лиття в оболонкові форми	9	1,2
$З_2$			1,8
$З_3$			1,2
Механічна обробка			
Технологічний розмір	Спосіб обробки	Квалітет точності	Допуск, мм
B_1	Попереднє точіння	12	0,15
B_2	Чистове точіння	11	0,09
B_3	Однократне точіння	11	0,09
B_4	Попереднє точіння	12	0,21
B_5	Однократне точіння	11	0,09
B_6	Чистове точіння	10	0,084
B_7	Плоске шліфування	9	0,052

9.1.3 Побудова розмірної схеми технологічного процесу

Розмірна схема технологічного процесу (рис. 9.2) будується так. У верхній частині схеми показують ескіз деталі таким чином, щоб вісь, у напрямі якої здійснюється розмірний аналіз, розташовувалась горизонтально. Біля ескізу деталі у напрямі вибраної для аналізу осі показують розташування тих конструкторських розмірів, які визначають відстані між плоскими поверхнями, плоскими поверхнями і осями отворів і між осями отворів.

Конструкторські розміри позначають як K_i, де i — порядковий номер розміру. Порядок нумерації конструкторських розмірів — довільний. На ескізі деталі умовно показують також припуски як z_j, де j — номер поверхні, яка з'являється після знімання відповідного припуску. Всі поверхні нумерують зліва направо.

Через нумеровані поверхні проводять вертикальні прямі. Між цими прямими знизу вгору вказують розміри вихідної заготовки $З_m$, де m — порядковий номер розміру вихідної заготовки (порядок нумерації розмірів вихідної заготовки — довільний), а також усі технологічні розміри B_k, де k — порядковий номер розміру. Для наочності технологічні розміри нумеруються у черговості їх отримання.

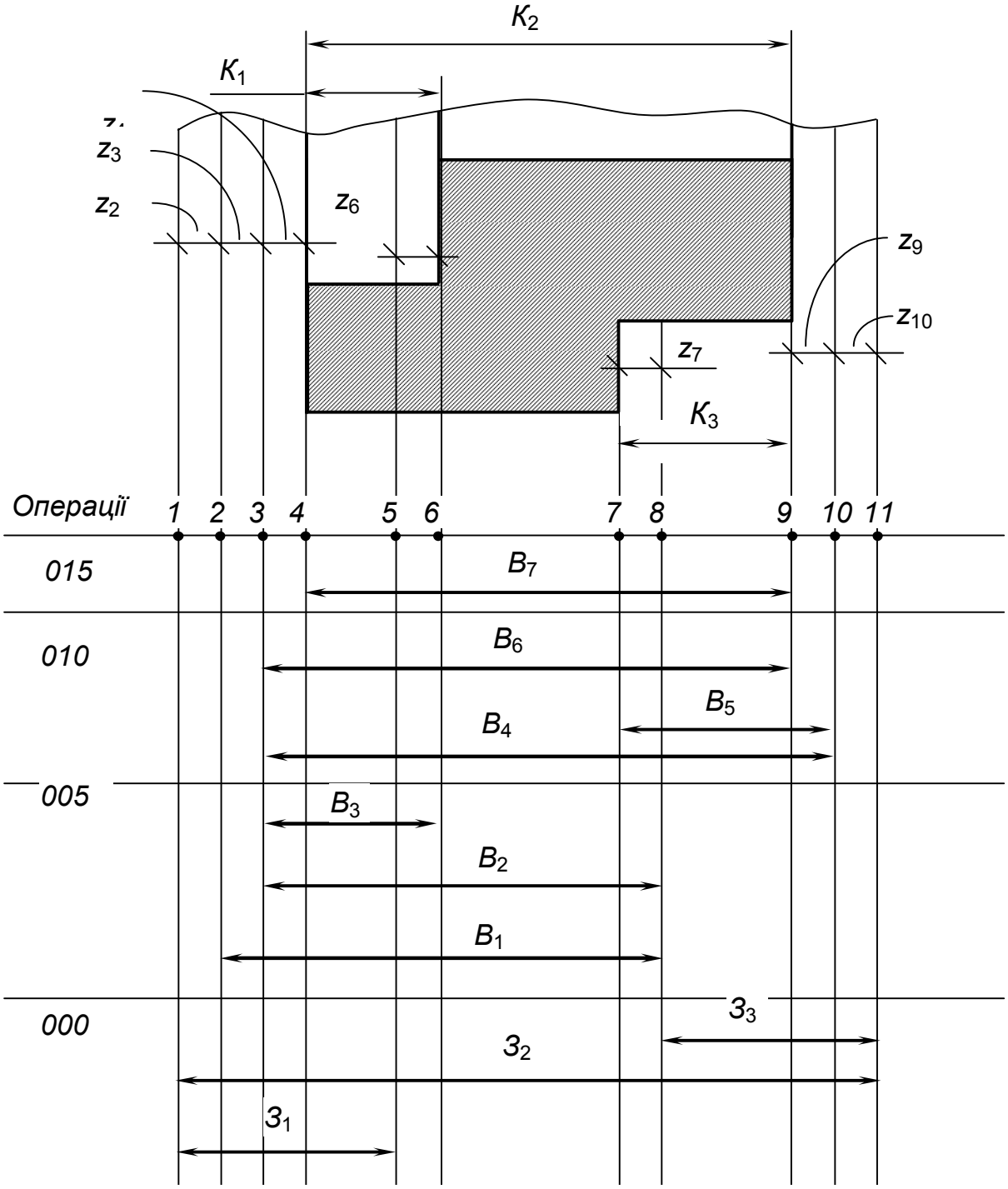


Рисунок 9.2 — Розмірна схема технологічного процесу

9.1.4 Побудова похідного і вихідного графів-дерев та суміщеного графа

Виявлення технологічних розмірних ланцюгів з використанням лише розмірної схеми технологічного процесу можливе, але є ненаочним і дуже трудомістким.

В [17] показано, як з використанням теорії графів можна значно полегшити знаходження потрібних технологічних розмірних ланцюгів. Для цього спочатку, виходячи з розмірної схеми технологічного процесу будують похідний граф-дерево. Вершинами похідного графа-дерева є геометричні еле-

менти (площини або осі циліндричних поверхонь) вихідної заготовки, геометричні елементи, які з'являються після виконання кожного з переходів механічної обробки і геометричні елементи готової деталі. Ребрами цього графа є технологічні розміри і розміри вихідної заготовки, тобто ті розміри, значення яких визначаються в результаті виконання розмірного аналізу. Ребра похідного графа-дерева показують двосторонніми стрілками. Для прикладу, що розглядається, похідний граф-дерево показаний на рис. 9.3.

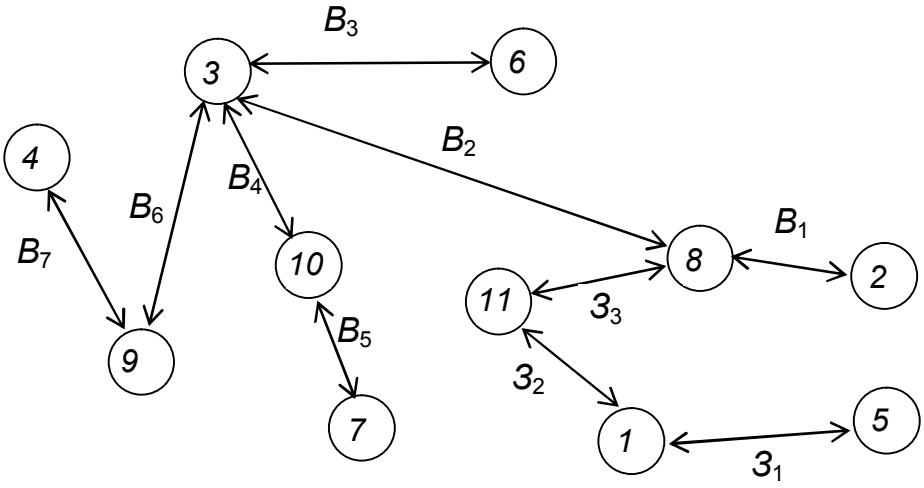


Рисунок 9.3 — Похідний граф-дерево

Далі будують вихідний граф-дерево. Вершинами вихідного графа-дерева є ті ж самі геометричні елементи, що у похідного графа-дерева. Ребрами вихідного графа-дерева є конструкторські розміри і припуски. Конструкторські розміри показують дугами (без стрілок), а розміри припусків — хвилястими лініями.

Під час геометричної побудови обох графів-дерев слід розміщувати їх вершини в одних і тих же місцях.

Вихідний граф-дерево для прикладу, що розглядається, показаний на рис. 9.4.

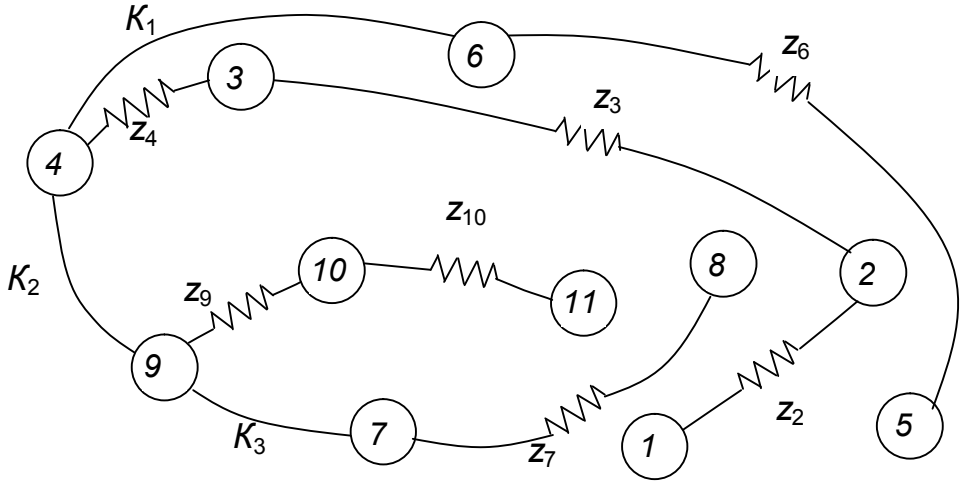


Рисунок 9.4 — Вихідний граф-дерево

Після побудови графів-дерев перевіряють їх правильність за нижчена-веденими ознаками.

1. Кількість ребер у похідного і вихідного графів-дерев повинна бути однаковою і дорівнювати кількості вершин, зменшеній на одиницю.

2. Похідний граф-дерево не повинен мати замкнених контурів (циклів). Якщо такі контури є, то це означає, що в технологічному процесі або в ескізі заготовки використані зайві розміри. Вихідний граф-дерево також не повинен мати замкнених контурів. Наявність таких контурів є свідченням того, що в конструкції деталі присутні зайві розміри.

4. Кожна з вершин похідного і вихідного графів-дерев має бути зв'язана хоча б одним ребром (розміром) з іншої вершиною. Невиконання цієї вимоги означає, що не вистачає технологічних розмірів чи розмірів заготовки (похідний граф-дерево), або ж конструкторських розмірів (вихідний граф-дерево).

Якщо обидва графи-дерева сумістити так, щоб вершини з однаковими порядковими номерами збігалися, то отримаємо суміщений граф або граф технологічних розмірних ланцюгів (рис. 9.5).

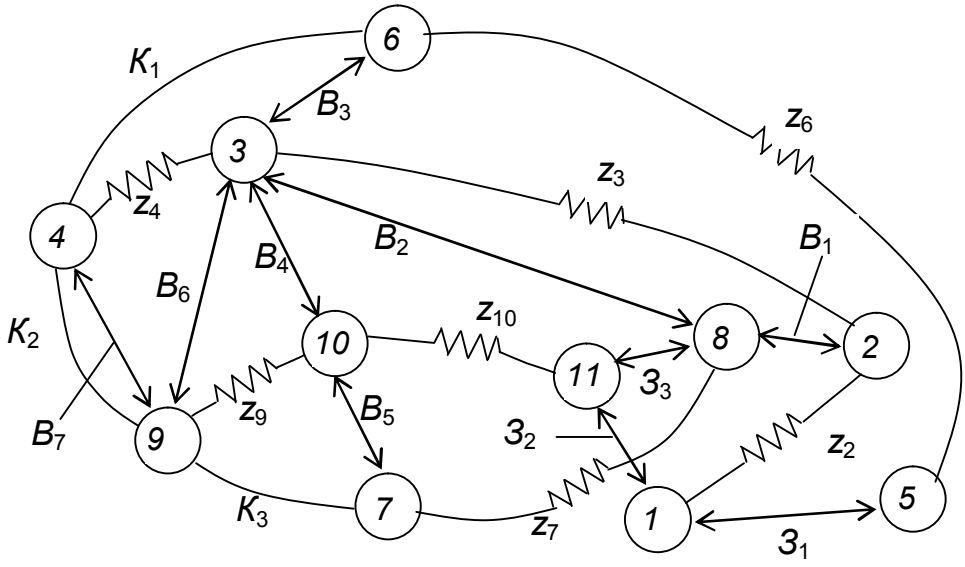


Рисунок 9.5 — Суміщений граф (граф технологічних розмірних ланцюгів)

Таким чином, похідний і вихідний графи-дерева потрібні для побудови суміщеного графа, а на основі його розгляду знаходять рівняння технологічних розмірних ланцюгів.

9.1.5 Знаходження рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

Будь-який замкнений контур суміщеного графа створює розмірний ланцюг. Але під час виконання розмірного аналізу вибирають тільки такі ланцюги, у яких наявним є тільки одне ребро вихідного графа-дерева (зами-

кальна ланка), а решта ланок є ребрами похідного графа-дерева (складові ланки).

Рівняння технологічного розмірного ланцюга може бути розв'язаним, якщо в ньому є лише одна невідома ланка (одно з ребер похідного графа-дерева). Тому спочатку записують і розв'язують рівняння дволанкових розмірних ланцюгів. Для прикладу, що розглядається, таким ланцюгом є контур, який складається з ланок K_2 і B_7. Далі складається відповідне рівняння і знаходиться технологічний розмір B_7. Після цього знову слід знайти ланцюг, який містить лише одну невідому складову ланку. Такий ланцюг утворюється контуром, що складається з замикальної ланки z_4 і складових ланок B_7 і B_6. Розв'язанням рівняння цього ланцюга визначається технологічний розмір B_6. З використанням такої методики далі послідовно знаходимо всі технологічні розміри (B_5 — B_1) і розміри вихідної заготовки ($З_1$ — $З_3$).

Таким чином, складаючи рівняння технологічних розмірних ланцюгів, слід враховувати, що у кожному з цих рівнянь має бути лише *одна* замикальна ланка. Такими ланками можуть бути конструкторські розміри або припуски, тобто розміри, кількісні значення яких є відомими ще перед початком розв'язання рівнянь технологічних розмірних ланцюгів. Першими мають бути записані рівняння дволанкових розмірних ланцюгів. Такі рівняння відповідають переходам, на яких технологічний розмір дорівнює конструкторському.

Далі, за допомогою суміщеного графа складають рівняння технологічних розмірних ланцюгів у такій послідовності, щоб у кожному з ланцюгів була лише одна невідома за величиною ланка, а величини інших ланок були б визначені розв'язанням попередніх рівнянь. Кількість рівнянь має дорівнювати кількості розмірів, що мають бути визначені в результаті розмірного аналізу.

Для правильного запису рівнянь потрібно за суміщеним графом визначити знаки складових ланок за таким правилом. Замикальній ланці завжди присвоюють знак « – » і, починаючи з цієї ланки, обходять замкнений контур. Оскільки ребро замикальної ланки зв'язує дві вершини, одна з яких має менший порядковий номер, а інша — більший, то обхід ланцюга починають із вершини з меншим номером. Якщо в напрямі обходу наступне ребро ланцюга буде з'єднувати вершину меншого порядкового номера з вершиною більшого порядкового номера, то ребру присвоюють знак « + », якщо ж ребро ланцюга буде з'єднувати вершину більшого порядкового номера з вершиною меншого порядкового номера, то ребру присвоюють знак « – ». Одночасно з визначенням знаків ланок розмірного ланцюга складають розрахункові рівняння, виходячи з умови, що алгебраїчна сума всіх складових і замикальної ланок розмірного ланцюга дорівнює нулю. Потім ці рівняння перетворюють у вихідні, тобто складені відносно замикальної ланки. У правій частині вихідного рівняння, ланки, що мають знак « + », є збільшувальними, а ті, що мають знак « – », — зменшувальними.

Рівняння технологічних розмірних ланцюгів, складені за описаною вище методикою, записані у таблицю 9.3.

Таблиця 9.3 — Рівняння технологічних розмірних ланцюгів

№ рівняння	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Розмір, що визначається
1	$-K_2 + B_7 = 0$	$K_2 = B_7$	B_7
2	$-z_4 + B_6 - B_7 = 0$	$z_4 = B_6 - B_7$	B_6
3	$-z_9 - B_6 + B_4 = 0$	$z_9 = B_4 - B_6$	B_4
4	$-K_3 + B_5 - B_4 + B_6 = 0$	$K_3 = B_5 - B_4 + B_6$	B_5
5	$-K_1 + B_7 - B_6 + B_3 = 0$	$K_1 = B_7 - B_6 + B_3$	B_3
6	$-z_7 + B_5 - B_4 + B_2 = 0$	$z_7 = B_5 - B_4 + B_2$	B_2
7	$-z_{10} - B_4 + B_2 + З_3 = 0$	$z_{10} = З_3 - B_4 + B_2$	$З_3$
8	$-z_3 + B_1 - B_2 = 0$	$z_3 = B_1 - B_2$	B_1
9	$-z_2 + З_2 - З_3 - B_1 = 0$	$z_2 = З_2 - З_3 - B_1$	$З_2$
10	$-z_6 - З_1 + З_2 - З_3 - B_2 + B_3 = 0$	$z_6 = B_3 - З_1 + З_2 - З_3 - B_2$	$З_1$

Елементи теорії графів стосовно їх використання в розмірному аналізі технологічних процесів механічної обробки детально розглянуті у посібнику [16, С. 117—120] і монографії [17].

9.1.6 Визначення проміжних мінімальних припусків для обробки плоских поверхонь

Для розв’язання рівнянь розмірних ланцюгів (табл. 9.3) необхідно знати величини проміжних припусків на механічну обробку плоских поверхонь. Під час виконання розмірного аналізу технологічного процесу припуски можуть визначатися як розрахунково-аналітичним методом, так і за допомогою нормативних таблиць. Для скорочення часу під час виконання домашнього індивідуального завдання можна визначати припуски за таблицями, які є, наприклад, в додатку В.

Для прикладу, що розглядається, значення мінімальних припусків наведені у таблиці 9.4.

Таблиця 9.4 — Мінімальні проміжні припуски на обробку плоских поверхонь

Позначення припуску	Спосіб обробки, в ході виконання якої знімається припуск	Кількісне значення мінімального припуску, мм
z_2	Попереднє точіння	1,1
z_3	Чистове точіння	0,6
z_6	Однократне точіння	1,1
z_{10}	Попереднє точіння	1,1
z_7	Однократне точіння	1,1
z_9	Чистове точіння	0,6
z_4	Плоске шліфування	0,2

9.1.7 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків, корекція допусків технологічних розмірів

Послідовно, починаючи з рівняння 1 (див. табл. 9.3), з використанням методу максимуму-мінімуму розв'язуємо пряму задачу розрахунку розмірних ланцюгів, а саме: виходячи з відомих значень вихідних ланок, мінімальних припусків і конструкторських розмірів, знаходимо значення складових ланок — технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки.

Рівняння 1

$$B_7 = K_2 = 20_{-0,052} \text{ мм}.$$

Рівняння 2

Мінімальне значення ланки замикання можна знайти з вихідного рівняння розмірного ланцюга, підставивши в це рівняння мінімальні значення збільшувальних ланок і максимальні — зменшувальних. З урахуванням цього, запишемо рівняння 2 (див. табл. 9.3) у вигляді

$$z_{4\min} = B_{6\min} - B_{7\max}.$$

Оскільки невідомою у цьому рівнянні є ланка B_6, то запишемо його відносно цієї ланки

$$B_{6\min} = z_{4\min} + B_{7\max}.$$

Підставивши кількісні значення відомих ланок, отримаємо

$$B_{6\min} = 0,2 + 20 = 20,2 \text{ мм}.$$

Очевидно, що

$$B_{6\max} = B_{6\min} + T(B_6) = 20,2 + 0,084 = 20,284 \text{ мм}.$$

Призначаючи номінальні значення технологічних розмірів, слід дотримуватись такого правила: якщо поверхня є охоплювальною (наприклад, канавкою чи пазом), то зазвичай за номінальний береться найменший допустимий розмір; якщо поверхня є охоплюваною (наприклад, валом), то зазвичай за номінальний береться найбільший допустимий розмір; в інших випадках (уступи, розмір між отвором і площиною тощо) за номінальний береться середній розмір.

Значення номінальних розмірів вихідної заготовки призначаються за рекомендаціями відповідних стандартів: для виливків [25], для штампованих поковок [26].

Оскільки розмір B_6 є розміром охоплюваної поверхні, то за номінальний приймемо розмір $B_{6_{\max}}$.Таким чином, в технологічному документі має бути вказаний розмір $B_{6_{\max}-T(B_6)}$, тобто $20{,}284_{-0{,}084}$ мм.

Рівняння 3

$$z_{9_{\min}} = B_{4_{\min}} - B_{6_{\max}} .$$

$$B_{4_{\min}} = z_{9_{\min}} + B_{6_{\max}} = 0{,}6 + 20{,}284 = 20{,}884 \text{ мм}.$$

$$B_{4_{\max}} = B_{4_{\min}} + T(B_4) = 20{,}884 + 0{,}21 = 21{,}094 \text{ мм}.$$

Розмір B_4 є розміром охоплюваної поверхні, тому за номінальний приймемо розмір $B_{4_{\max}}$. В технологічному документі має бути вказаний розмір $B_{4_{\max}-T(B_4)}$, тобто $21{,}094_{-0{,}186}$ мм.

Рівняння 4

$$K_{3_{\min}} = B_{5_{\min}} - B_{4_{\max}} + B_{6_{\min}} . \qquad (9.1)$$

$$B_{5_{\min}} = K_{3_{\min}} + B_{4_{\max}} - B_{6_{\min}} .$$

$$B_{5_{\min}} = 9{,}82 + 21{,}094 - 20{,}2 = 10{,}714 \text{ мм}.$$

$$B_{5_{\max}} = B_{5_{\min}} + T(B_5) = 10{,}714 + 0{,}09 = 10{,}804 \text{ мм}.$$

Розмір B_5 є розміром уступу, тому за номінальний приймемо середній розмір, тобто вважатимемо, що $B_{5_{\text{ном}}} = B_{5_{\text{сер}}} = \frac{B_{5_{\max}} + B_{5_{\min}}}{2} =$

$= \frac{10{,}814 + 10{,}714}{2} = 10{,}759$ мм. В технологічному документі слід вказати розмір $B_{5_{\text{сер}}} \pm \frac{1}{2} T(B_5)$, тобто $10{,}759 \pm 0{,}045$ мм.

Оскільки конструкторський розмір K_3 отримується не безпосередньо як технологічний розмір, а є результатом виконання технологічних розмірів B_4, B_5 і B_6, то для перевірки можливості забезпечення необхідної точності розміру K_3 визначимо його фактичне максимальне значення.

$$(K_{3\max})_{\text{факт}} = B_{5_{\max}} - B_{4_{\min}} + B_{6_{\max}} = 10{,}804 - 20{,}884 + 20{,}284 = 10{,}204 \text{ мм}.$$

Поле розсіювання розміру K_3 складатиме

$$\delta(K_3) = (K_{3\max})_{\text{факт}} - K_{3_{\min}} = 10{,}204 - 9{,}820 = 0{,}384 \text{ мм}.$$

Оскільки $\delta(K_3) > T(K_3) = 0{,}36$ мм, то можна зробити висновок, що точність розміру K_3 не забезпечуватиметься.

Спробуємо зменшити допуск розміру B_4, тобто знайдемо $T(B_4)$, значення якого задовольнить вимоги точності до розміру K_3.

З рівняння (9.1) випливає, що

$$K_{3_{\max}} = B_{5\max} - B_{4_{\min}} + B_{6_{\max}}. \qquad (9.2)$$

Запишемо рівняння (9.2) відносно $B_{4_{\min}}$ у вигляді

$$B_{4_{\min}} = B_{5\max} - [K_{3_{\max}}] + B_{6_{\max}}. \qquad (9.3)$$

де $[K_{3_{\max}}] = 10{,}180$ мм — бажане значення розміру K_3, яке визначається за кресленням деталі.

Підставивши значення відомих розмірів у формулу (9.3), отримаємо

$$B_{4_{\min}} = 10{,}804 - 10{,}180 + 20{,}284 = 20{,}908 \text{ мм}.$$

Таким чином, уточнене значення допуску на розмір B_4 складе

$$T(B_4) = B_{4_{\max}} - B_{4_{\min}} = 21{,}094 - 20{,}908 = 0{,}186 \text{ мм}.$$

Рівняння 5

$$K_{1_{\min}} = B_{7_{\min}} - B_{6_{\max}} + B_{3_{\min}}.$$

$$B_{3_{\min}} = K_{1_{\min}} + B_{6_{\max}} - B_{7_{\min}}.$$

$$B_{3_{\min}} = 7{,}82+20{,}282 - 19{,}948=8{,}154 \text{ мм}.$$

$$B_{3_{\max}} = B_{3_{\min}} + T(B_3) = 8{,}154 + 0{,}09=8{,}244 \text{ мм}.$$

Перевіримо можливість забезпечення необхідної точності розміру K_1.

$$(K_{1\max})_{\text{факт}} = B_{7_{\max}} - B_{6_{\min}} + B_{3_{\max}} = 20 - 20{,}2 + 8{,}244=8{,}044 \text{ мм}.$$

Поле розсіювання розміру K_1 складає

$$\delta(K_1) = (K_{1\max})_{\text{факт}} - K_{1\min} = 8{,}044 - 7{,}820 = 0{,}224 \text{ мм}.$$

Оскільки $\delta(K_1) < T(K_1) = 0{,}36$ мм, то точність розміру K_1 забезпечується.

Розмір B_3 є розміром уступу, тому за номінальний приймемо середній розмір, тобто вважатимемо, що $B_{3_{\text{ном}}} = B_{3_{\text{сер}}} = \dfrac{B_{3_{\max}} + B_{3_{\min}}}{2} =$

$= \dfrac{8{,}244 + 8{,}154}{2} = 8{,}199$ мм. В технологічному документі слід вказати розмір $B_{3_{\text{сер}}} \pm \dfrac{1}{2}T(B_3)$, тобто $8{,}199 \pm 0{,}045$ мм.

Рівняння 6

$$z_{7_{\min}} = B_{5\min} - B_{4\max} + B_{2\min}.$$

$$B_{2\min} = z_{7_{\min}} - B_{5\min} + B_{4\max} = 1{,}1 - 10{,}714 + 21{,}884 = 12{,}270 \text{ мм}.$$

$$B_{2_{\max}} = B_{2_{\min}} + T(B_2) = 12{,}270 + 0{,}090 = 12{,}360 \text{ мм}.$$

Розмір B_2 є розміром охоплюваної поверхні, тому за номінальний приймемо розмір $B_{2_{\max}}$. В технологічному документі має бути вказаний розмір $B_{2_{\max} - T(B_2)}$, тобто $12{,}36_{-0{,}09}$ мм.

Рівняння 7

$$z_{10_{\min}} = З_{3\min} - B_{4\max} + B_{2\min}.$$

$$З_{3\min} = z_{10_{\min}} + B_{4\max} - B_{2\min} = 1{,}1 + 21{,}094 - 12{,}270 = 9{,}924 \text{ мм}.$$

$$З_{3_{\max}} = З_{3_{\min}} + T(З_3) = 9{,}924+1{,}2 = 11{,}124 \text{ мм.}$$

Відповідно до [25], за номінальне значення розміру $З_3$ беремо середнє його значення

$$З_{3_{\text{ном}}} = З_{3_{\text{сер}}} = \frac{З_{3_{\max}} + З_{3_{\min}}}{2} = \frac{11{,}124 + 9{,}924}{2} = 10{,}524 \text{ мм.}$$

Отримане значення $З_3$ округлимо в сторону збільшення до кількості значущих цифр після коми, яке відповідає значенню $T(З_3)$. Приймемо $З_{3_{\text{сер}}}$ =10,6 мм. На кресленні заготовки має бути вказаний розмір

$$З_3 = З_{3_{\text{сер}}} \pm \frac{T(З_3)}{2} = 10{,}6 \pm 0{,}6 \text{ мм.}$$

Рівняння 8

$$z_{3_{\min}} = B_{1\min} - B_{2\max}.$$

$$B_{1\min} = B_{2\max} + z_{3_{\min}} = 12{,}36 + 0{,}6 = 13{,}5 \text{ мм.}$$

$$B_{1_{\max}} = B_{1_{\min}} + T(B_1) = 12{,}96=0{,}15 = 13{,}05 \text{ мм.}$$

Розмір B_1 є розміром охоплюваної поверхні, тому за номінальний приймемо розмір $B_{1_{\max}}$. В технологічному документі має бути вказаний розмір $B_{1_{\max} - T(B_1)}$, тобто $13{,}05_{-0{,}15}$ мм.

Рівняння 9

$$z_{2_{\min}} = З_{2\min} - З_{3\max} - B_{1\max}.$$

$$З_{2\min} = z_{2_{\min}} + З_{3\max} + B_{1\max} = 1{,}1 + 11{,}124 + 13{,}05 = 25{,}274 \text{ мм.}$$

$$З_{2_{\max}} = З_{2_{\min}} + T(З_2).$$

$$З_{2_{\text{ном}}} = З_{2_{\text{сер}}} = \frac{З_{2_{\max}} + З_{3_{\min}}}{2} = \frac{27{,}074 + 25{,}274}{2} = 26{,}176 \text{ мм.}$$

Округлене значення номінального розміру $З_2$ складе 26,2 мм і, відповідно, на кресленні заготовки має бути вказаний розмір 26,2 ± 0,9 мм.

Рівняння 10

$$z_{6\min} = B_{3\min} - З_{1\max} + З_{2\min} - З_{3\max} - B_{2\max}.$$

$$З_{1\max} = B_{3\min} + З_{2\min} - z_{6\min} - З_{3\max} - B_{2\max} = 8{,}154 + 25{,}274 -$$

$$- 11{,}124 - 12{,}36 = 8{,}844 \text{ мм}.$$

$$З_{1\min} = З_{1\max} - T(З_1) = 8{,}844 - 1{,}2 = 7{,}644 \text{ мм}.$$

$$З_{1\text{ном}} = З_{1\text{сер}} = \frac{З_{1\max} + З_{1\min}}{2} = \frac{8{,}844 + 7{,}644}{2} = 8{,}244 \text{ мм}.$$

Округлене значення номінального розміру $З_1$ складе 8,3 мм і, відповідно, на кресленні заготовки має бути вказаний розмір 8,3 ± 0,6 мм.

З використанням отриманих вище граничних значень технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки, виходячи з рівнянь 2, 3, 6, 7, 8, 9 і 10 (див. табл. 9.4), визначимо максимальні припуски.

$$z_{4\max} = B_{6\max} - B_{7\min} = 20{,}284 - 19{,}948 = 0{,}336 \text{ мм}.$$

$$z_{9\max} = B_{4\max} - B_{6\min} = 21{,}094 - 20{,}2 = 0{,}894 \text{ мм}.$$

$$z_{7\max} = B_{5\max} - B_{4\min} + B_{2\max} = 10{,}804 - 20{,}908 + 12{,}360 = 2{,}256 \text{ мм}.$$

$$z_{10\max} = З_{3\max} - B_{4\min} + B_{2\max} = 10{,}824 - 20{,}908 + 12{,}360 = 2{,}276 \text{ мм}$$

$$z_{3\max} = B_{1\max} - B_{2\min} = 13{,}050 - 12{,}270 = 0{,}78 \text{ мм}.$$

$$z_{2\max} = З_{2\max} - З_{3\min} - B_{1\min} = 26{,}174 - 9{,}924 - 12{,}960 = 3{,}29 \text{ мм}.$$

$$z_{6\max} = B_{3\max} - З_{1\min} + З_{2\max} - З_{3\min} - B_{2\min} = 8{,}244 - 7{,}944 +$$

$$+ 26{,}174 - 9{,}944 - 12{,}240 = 6{,}586 \text{ мм}.$$

Отримані значення максимальних припусків зведемо в таблицю 9.5.

Таблиця 9.5 — Максимальні припуски, мм

$z_{2\max}$	$z_{3\max}$	$z_{4\max}$	$z_{6\max}$	$z_{7\max}$	$z_{9\max}$	$z_{10\max}$
3,29	0,780	0,336	6,586	2,256	0,894	2,276

Остаточні значення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки та допуски цих розмірів показані у таблиці 9.6.

Таблиця 9.6 — Значення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки та допуски цих розмірів, мм

Позначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номінальний розмір	Значення розміру у технологічному документі	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
	мінімальний розмір	максимальний розмір				
B_1	12,960	13,050	0,15	13,050	$13{,}05_{-0{,}15}$	—
B_2	12,270	12,360	0,09	12,360	$12{,}36_{-0{,}09}$	—
B_3	8,154	8,244	0,09	8,199	$8{,}199 \pm 0{,}045$	—
B_4	20,908	21,094	0,186	21,094	$21{,}094_{-0{,}186}$	—
B_5	10,714	10,804	0,09	10,759	$10{,}759 \pm 0{,}045$	—
B_6	20,200	20,284	0,084	20,284	$20{,}284_{-0{,}084}$	—
B_7	19.948	20,000	0,052	20,000	$20_{-0{,}052}$	—
$З_1$	7,944	8,844	1,2	8,3	—	$8{,}3 \pm 0{,}6$
$З_2$	24,974	26,174	1,8	26,2	—	$26{,}2 \pm 09$
$З_3$	9,924	10,824	1,2	10,6	—	$10{,}6 \pm 0{,}6$

Приклад виконання розмірного аналізу технологічного процесу виготовлення корпусної деталі є в [5, С. 41—48].

9.2 Зміст звіту

Кожен зі студентів виконує розрахунок технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки згідно з індивідуальним домашнім завданням.

Звіт окремо не оформляється, а захищається в складі індивідуального домашнього завдання після його виконання.

9.3 Питання для самоконтролю

1. З якою метою виконується розмірний аналіз технологічного процесу?
2. Що входить до вихідних даних для виконання розмірного аналізу технологічного процесу?
3. Основні етапи та їхня послідовність під час виконання розмірного аналізу технологічного процесу.
4. Як вибирається розташування технологічних розмірів на операціях механічної обробки?
5. Як визначається попереднє значення допуску технологічного розміру?
6. Що таке розмірна схема технологічного процесу і для чого вона будується?
7. Які розміри можуть бути ланками похідного графа-дерева?
8. Які розміри можуть бути ланками вихідного графа-дерева?
9. Назвіть ознаки правильності побудови графів-дерев.
10. Що таке суміщений граф і для чого він будується під час виконання розмірного аналізу технологічних процесів?
11. Як визначається знак складової ланки технологічного розмірного ланцюга?
12. Скільки рівнянь розмірних ланцюгів має бути розв’язано для виконання розмірного аналізу технологічного процесу?

ЛІТЕРАТУРА

1. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения / Б. С. Балакшин. — М. : Машиностроение, 1969. — 558 с.

2. Балабанов А. Н. Технологичность конструкций машин / А. Н. Балабанов. — М. : Машиностроение, 1987. — 336 с.

3. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. — Минск : Вышэйшая школа, 1983.— 256 с.

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

5. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. П. Пурдик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 123 с.

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

7. Кован В. М. Расчет припусков на обработку в машиностроении / В. М. Кован — М. : Машгиз, 1953. — 208 с.

8. Колесов И. М. Основы технологии машиностроения : учебник для машиностроительных специальностей вузов / Колесов И. М. — М. : Высшая школа, 2001. — 591 с.

9. Комиссаров В. И. Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов / В. И. Комиссаров, В. И. Леонтьев. — М. : Машиностроение, 1985. — 224 с.

10. Косилова А. Г. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении / Косилова А. Г., Мещеряков Р. К., Калинин М. А. — М. : Машиностроение, 1976. — 288 с.

11. Маталин А. А. Технология машиностроения : учебник для машиностроительных специальностей вузов / Маталин А. А. — Л. : Машиностроение, 1985. — 496 с.

12. Орлов П. И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие в 3-х книгах. Кн. 2. / Орлов П. И. — М. : Машиностроение, 1977. — 574 с.

13. Основы технологии машиностроения / [Кован В. М., Корсаков В. С., Косилова А. Г. и др.] ; под ред. В. С. Корсакова. — М. : Машиностроение, 1977. — 416 с.

14. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении / [Бабук В. В., Шкред В. А., Кривко Г. П., Медведев А. И.] ; под ред. В. В. Бабука. — Минск : Вышэйшая школа, 1987. — 255 с.

15. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні / П. О. Руденко. — К. : Вища школа, 1993. — 414 с.

16. Руденко П. О. Вибір, проектування і виробництво заготовок деталей машин / Руденко П. О., Харламов Ю. О., Шустик О. Г. — К. : ІСДО, 1993. — 304 с

17. Солонин И. С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И. С. Солонин, С. И. Солонин. — М. : Машиностроение, 1980. — 110 с.

18. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / [Борисов В. Б., Борисов Е. И., Васильєв В. Н. и др.] ; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — 656 с.

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

20. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин : лабораторний практикум / [Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Мироненко О. М. та ін.]. — Вінниця : ВНТУ, 2006. — 119 с.

21. Харламов Г. А. Припуски на механическую обработку : Справочник / Харламов Г. А., Тарапанов А. С. — М. : Машиностроение, 2006. — 256 с.

22. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения : ГОСТ 21495—76. — [Чинний від 1977-01-01] — М. : Изд-во стандартов, 1987. — 35 с.

23. Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения : ГОСТ 3.1107—81 — [Чинний від 1982-07-01] — М. : Изд-во стандартов, 2003. — 10 с.

24. Единая система технологической документации. Правила записи операций и переходов. Обработка резанием : ГОСТ 3.1702—79— [Чинний від 1981-01-01] — М. : Изд-во стандартов, 2003. — 21 с.

25. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку : ГОСТ 26645—85. — [Чинний від 1987-07-01]. — М. : Изд-во стандартов, 1987. — 53 с.

26. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и размерные напуски : ГОСТ 7505—89. — [Чинний від 1990-07-06]. — М. : Изд-во стандартов, 1990. — 86 с.

УКРАЇНСЬКО-АНГЛІЙСЬКИЙ СЛОВНИК НАЙУЖИВАНІШИХ ТЕРМІНІВ

Безперервна випадкова величина — continuous random quantity

Вибірка — sample

Випадкова похибка — accidental error

Випробування — test

Випадкова подія — random event

Вихідна ланка — initial link

Вихідна заготовка — initial workpiece

Генеральна сукупність — general totality

Гістограма розподілу — distribution barchart

Дискретна випадкова величина — discrete random quantity

Диференціація операцій — differentiation of operations

Емпірична диференціальна крива розподілу — empiric differential distribution curve

Загальний припуск — total allowance

Закон нормального розподілу — the law of normal distribution

Замикальна ланка — closing link

Коефіцієнт точності виконання — execution precision factor

Коефіцієнт зміщення настроєння — tuning shift coefficient

Концентрація операцій — concentration of operations

Маршрут обробки заготовки деталі — workpiece machining route

Математична статистика — mathematical statistics

Можлива подія — probable event

Механічна обробка — machining

Напуск — overlap

Об’єм вибірки — sample size

Партія виробів — production lot

Події масові — mass events

Подія — event

Подія неможлива — improbable event

Похибка базування — error of locating

Похибка установлення — setting error

Припуск — allowance

Принцип постійності баз — the principle of constantly datum surfaces.

Принцип суміщення баз — the principle of overlapping datum surfaces

Проміжний припуск — intermediate allowance

Репрезентативність вибірки — representativeness of a sample

Розмірний аналіз технологічного процесу — dimensional analysis of a manufacturing process

Розмірний ланцюг — dimension chain

Розподіл випадкової величини — distribution of a random quantity

Складова ланка — component link

Статистична сукупність — statistical universe

Схема базування — locating chart

Технологічна база — technological base

Технологічний процес механічної обробки — machining process

Технологічний розмірний ланцюг — technological dimension chain

Технологічність машинобудівного виробу — manufacturability of an engineering product

Установ — setting

Частота події — frequency of event

Частість події — frequency ratio of event

Чистові технологічні бази — finishing datum surfaces

Чорнові технологічні бази — rough datum surfaces

Штучні технологічні бази — artificial datum surfaces

Додаток А

Таблиці для статистичного аналізу точності механічної обробки за допомогою кривих розподілу

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

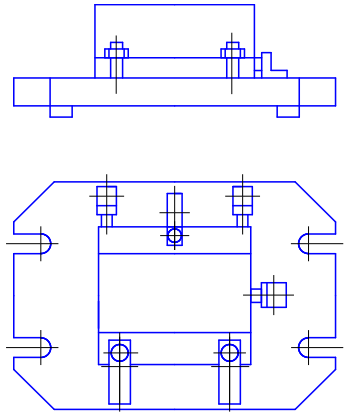
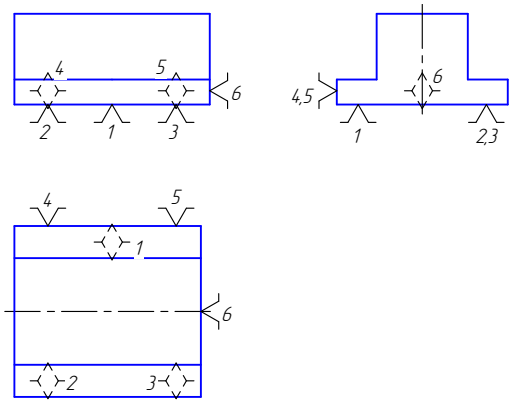
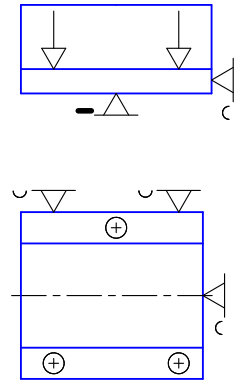
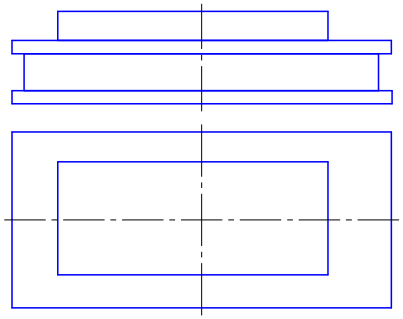
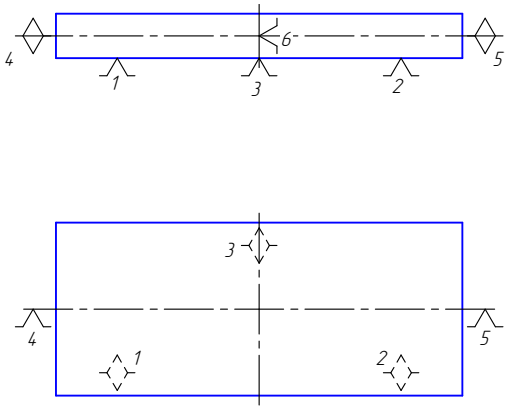
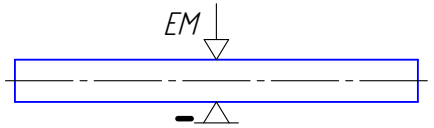
t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$
0,00	0,000	1,00	0,3415	2,00	0,4775
0,05	0,020	1,05	0,3530	2,05	0,4800
0,10	0,040	1,10	0,3645	2,10	0,4820
0,15	0,0595	1,15	0,3740	2,15	0,4840
0,20	0,0795	1,20	0,3850	2,20	0,4860
0,25	0,0985	1,25	0,3945	2,25	0,4880
0,30	0,1180	1,30	0,4030	2,30	0,4895
0,35	0,1370	1,35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

Таблиця А.2 — Таблиця значень функції $z=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}t^2}$

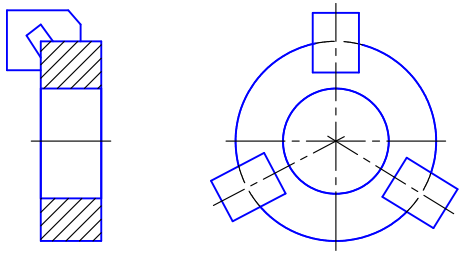
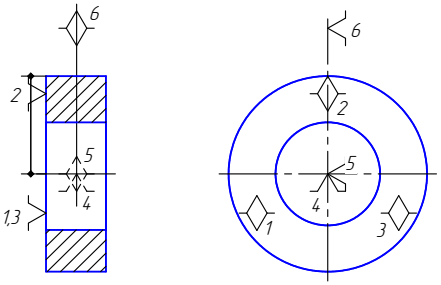
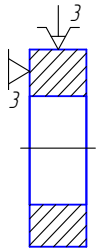
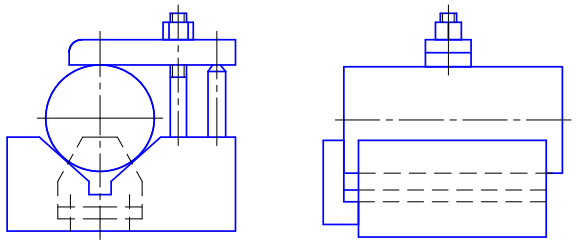
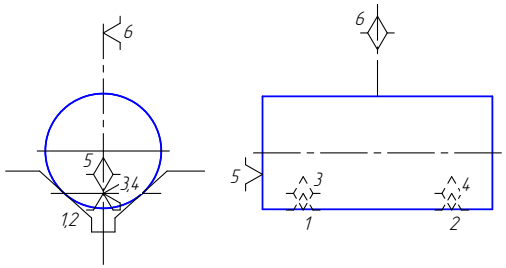
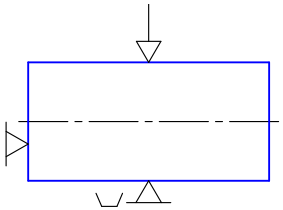
t	$z(t)$	t	$z(t)$	t	$z(t)$	t	$z(t)$	t	$z(t)$
0,0	0,3989	0,6	0,3832	1,2	0,1942	1 8	0,0790	2,4	0,0224
0,1	0,3980	0,7	0,3123	1,3	0,1714	1,9	0,0656	2,5	0,0175
0,2	0,3910	0,8	0,2897	1,4	0,1497	2,0	0,0540	2,6	0,0136
0,3	0,3814	0,9	0,2661	1,5	0,1295	2,1	0,0440	2,7	0,01,4
0,4	0,3683	1,0	0,2420	1,6	0,1109	2,2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

Додаток Б

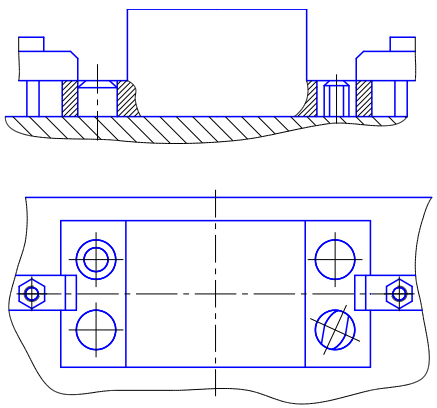
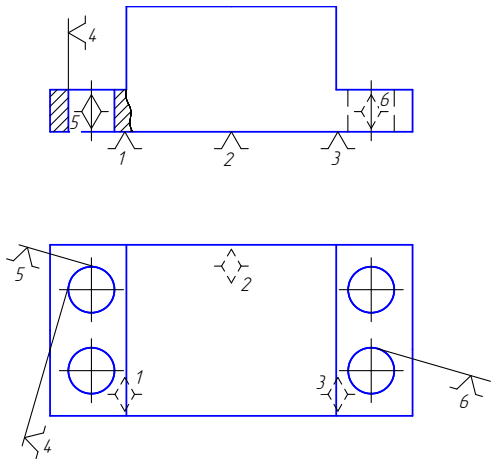
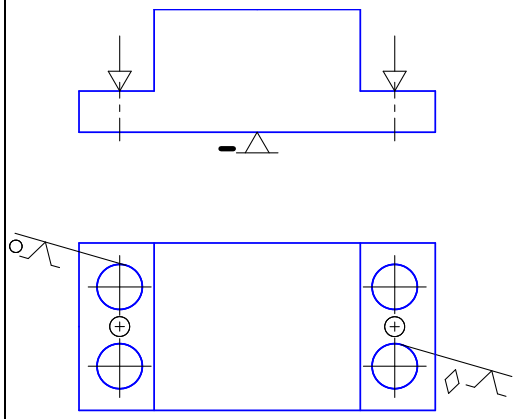
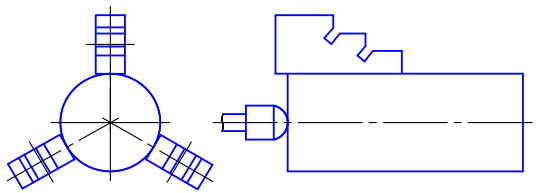
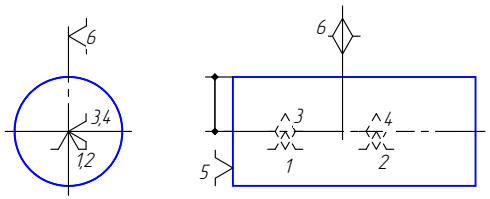
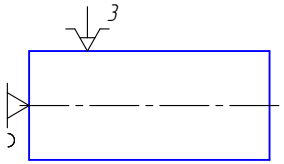
Таблиця Б.1 — Приклади схем установів заготовок (згідно з ГОСТ 3.1107—81 [18])

Спосіб встановлення	Спрощена схема способу встановлення	Теоретична схема базування	Схема установа
Встановлення заготовки на площину і дві бокові сторони			
Встановлення заготовки на площину (на магнітній плиті)			

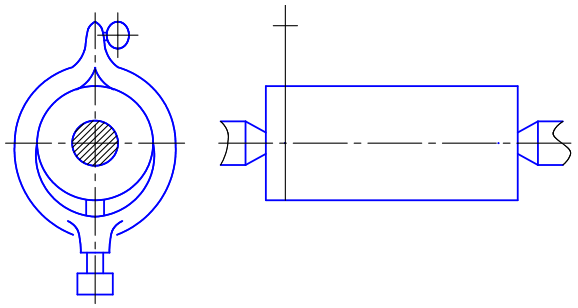
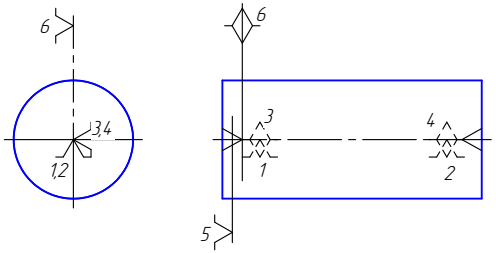
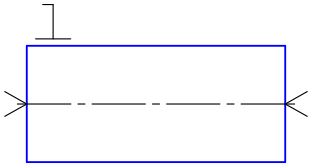
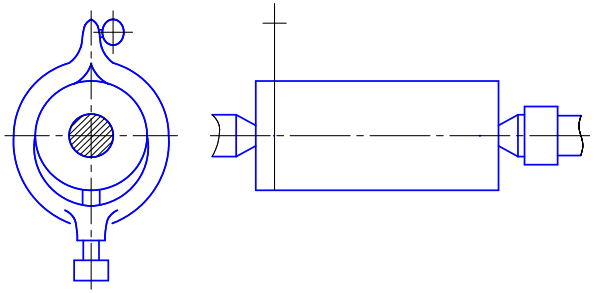
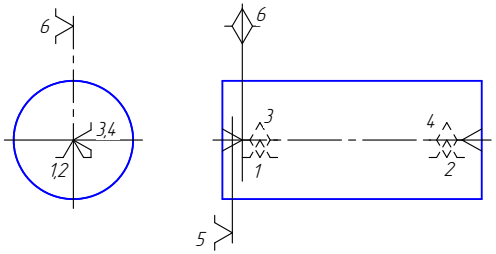
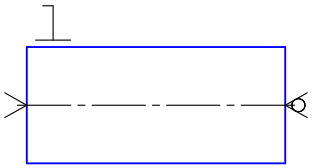
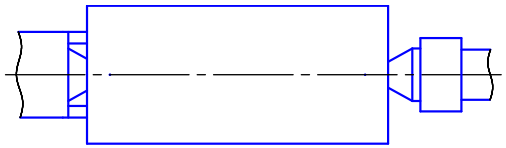
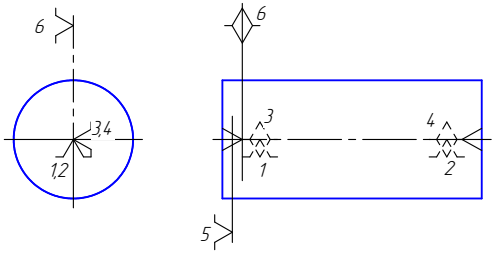
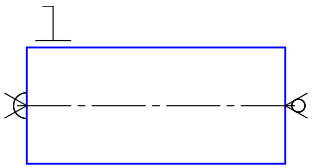
Продовження таблиці Б.1

Спосіб встановлення	Спрощена схема способу встановлення	Теоретична схема базування	Схема установа
Встановлення заготовки типу «диск» в трикулачковому самоцентрувальному патроні			
Встановлення заготовки на призмі			

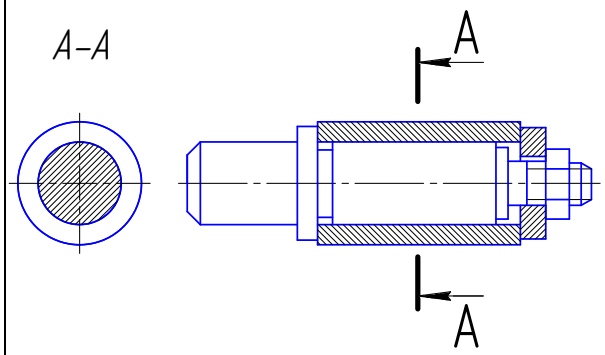
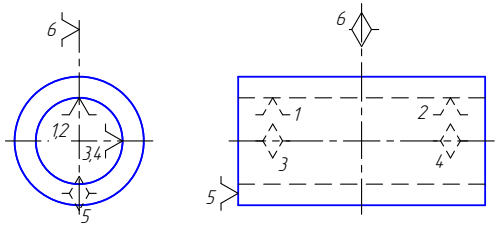
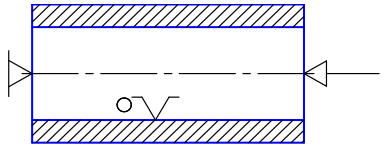
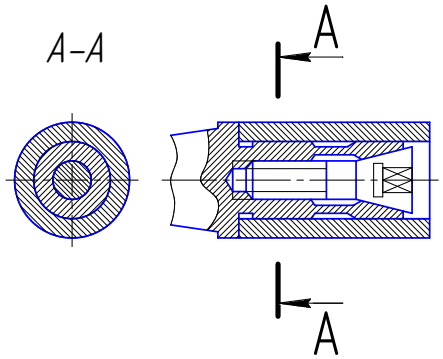
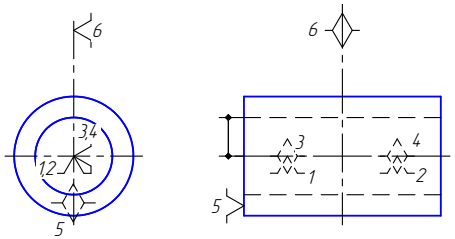
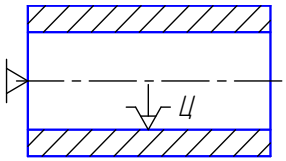
Продовження таблиці Б.1

Спосіб встановлення	Спрощена схема способу встановлення	Теоретична схема базування	Схема установа
Встановлення заготовки на площину і два пальці (круглий і зрізаний)			
Встановлення циліндричної заготовки в трикулачковому самоцентрувальному патроні			

Продовження таблиці Б.1

Спосіб встановлення	Спрощена схема способу встановлення	Теоретична схема базування	Схема установа
Встановлення заготовки деталі типу «вал» в центрах (передній і задній центри — жорсткі)			
Встановлення заготовки деталі типу «вал» в центрах (передній центр — жорсткий, задній центр — обертний)			
Встановлення заготовки деталі типу «вал» в центрах (передній центр — плаваючий, задній центр — обертний)			

Продовження таблиці Б.1

Спосіб встановлення	Спрощена схема способу встановлення	Теоретична схема базування	Схема установа
Встановлення заготовки деталі типу «втулка» на циліндричну оправку із зазо-ром			
Встановлення заготовки деталі типу «втулка» на цангову оправку (без зазора)			

Додаток В

МІНІМАЛЬНІ ПРОМІЖНІ ПРИПУСКИ НА МЕХАНІЧНУ ОБРОБКУ

Таблиця В.1 — Припуски на токарну обробку зовнішніх циліндричних поверхонь [21]

Діаметр поверхні, мм	Спосіб обробки	Припуск (на діаметр) за довжини заготовки, мм				
		до 120	більше 120 до 260	більше 260 до 500	більше 500 до 800	більше 800 до 1250
Точіння заготовок зі штучного сортового прокату						
До 30	Чорнове і однократне	1,3/1,1	1,7/-	-		
	Напівчистове	0,45/0,45	0,5/-			
	Чистове	0,25/0,20	0,25/-			
	Тонке	0,13/0,12	0,15/-			
Більше 30 до 50	Чорнове і однократне	1,3/1,1	1,6/1,4	2,2/-	-	
	Напівчистове	0,45/0,45	0,45/0,45	0,50/-		
	Чистове	0,25/0,20	0,25/0,25	0,30/-		
	Тонке	0,13/0,12	0,14/0,13	0,16/-		
Більше 50 до 80	Чорнове і однократне	1,5/1,1	1,7/1,5	2,3/2,1	3,1/-	-
	Напівчистове	0,45/0,45	0,50/0,45	0,50/0,50	0,55/-	
	Чистове	0,25/0,20	0,30/0,25	0,30/0,30	0,35/-	
	Тонке	0,13/0,12	0,14/013	0,18/0,16	0,21/-	
Більше 80 до 120	Чорнове і однократне	1,8/1,2	1,9/1,5	20,1/1,7	2,6/2,3	3,4/-
	Напівчистове	0,50/0,45	0,50/0,45	0,50/0,50	0,50/0,50	0,55/-
	Чистове	0,25/0,25	0,25/0,25	0,30/0,25	0,30/0,30	0,35/0
	Тонке	0,15/0,12	0,15/0,13	0,16/0,14	0,18/0,17	0,20/-
Більше 120 до 180	Чорнове і однократне	2,0/1,3	2,1/1,4	2,3/1,8	2,7/2,3	3,5/3,2
	Напівчистове	0,50/0,45	0,50/0,45	0,50/0,50	0,50/0,50	0,60/0,55
	Чистове	0,3/0,25	0,3/0,25	0,30/0,25	0,30/0,30	0,35/0,30
	Тонке	0,16/0,13	0,16/0,13	0,17/0,15	0,18/0,17	0,21/0,20

Продовження таблиці В.1

Діаметр поверхні, мм	Спосіб обробки	Припуск (на діаметр) за довжини заготовки, мм				
		до 120	більше 120 до 260	більше 260 до 500	більше 500 до 800	більше 800 до 1250
Точіння штампованих поковок						
До 18	Чорнове і однократне	1,5/1,4	1,9/-	-		
	Чистове	0,25/0,25	0,30/-			
	Тонке	0,17/0,13	0,15/-			
Більше 18 до 30	Чорнове і однократне	1,6/1,5	2,0/1,8	2,3/-	-	
	Чистове	0,25/0,25	0,3/0,25	0,3/-		
	Тонке	0,14/0,14	0,15/0,15	0,16/-		
Більше 30 до 50	Чорнове і однократне	1,8/1,7	2,3/2,0	3,0/2,7	3,5/-	-
	Чистове	0,3/0,25	0,30/0,30	0,30/0,30	0,35/-	
	Тонке	0,15/0,15	0,16/0,15	0,19/0,17	0,21/-	
Більше 50 до 80	Чорнове і однократне	2,2/2,0	2,9/2,6	3,4/2,9	4,2/3,6	5,0/-
	Чистове	0,30/0,30	0,30/0,30	0,35/0,30	0,40/0,35	0,45/-
	Тонке	0,16/0,16	0,18/0,17	0,20/0,18	0,22/0,20	0,26/-
Більше 80 до 120	Чорнове і однократне	2,6/2,3	3,3/3,0	4,3/3,8	5,2/4,5	6,3/5,2
	Чистове	0,30/0,30	0,30/0,30	0,4/0,35	0,45/0,40	0,50/0,45
	Тонке	0,17/0,17	0,19/0,18	0,23/0,21	0,26/0,24	0,3/0,26
Більше 120 до 180	Чорнове і однократне	3,2/2,8	4,6/4,2	5,0/4,5	6,2/5,6	7,5/6,3
	Чистове	0,35/0,30	0,40/0,30	0,45/0,40	0,50/0,45	0,60/0,55
	Тонке	0,20/0,20	0,24/0,22	0,25/0,23	00,3/0,27	0,35/0,32

Примітка.
В чисельнику вказані значення припусків для встановлення заготовки в центрах, в знаменнику — в патроні.

Таблиця В.2 — Припуски на шліфування заготовок на круглошліфувальних верстатах [21]

Діаметр поверхні, (більше — до), мм	Вид шліфування	Припуск (на діаметр) за довжини заготовки (більше — до), мм				
		до 120	120 — 260	260 — 500	500 — 800	800 — 1250
до 30	Попереднє (однократне) після термообробки	0,30	0,60	-		
	Попереднє (однократне) після чистового точіння	0,1				
	Чистове після попереднього шліфування	0,06				
30 — 50	Попереднє (однократне) після термообробки	0,25	0,50	0,85	-	
	Попереднє (однократне) після чистового точіння	0,10				
	Чистове після попереднього шліфування	0,06				
50 — 80	Попереднє (однократне) після термообробки	0,25	0,40	0,75	1,2	-
	Попереднє (однократне) після чистового точіння	0,1				
	Чистове після попереднього шліфування	0,06				
80 — 120	Попереднє (однократне) після термообробки	0,20	0,35	0,65	1,00	1,55
	Попереднє (однократне) після чистового точіння	0,1				
	Чистове після попереднього шліфування	0,06				
120 — 180	Попереднє (однократне) після термообробки	0,17	0,30	0,55	0,85	1,3
	Попереднє (однократне) після чистового точіння	0,1				
	Чистове після попереднього шліфування	0,06				

Таблиця В.3 — Припуски на безцентрове зовнішнє шліфування заготовок [21]

Діаметр поверхні (більше — до), мм	Припуск (на діаметр) за довжини заготовки (більше — до), мм			
	до 100	100 — 250	250 — 500	500 — 1000
до 10	0,2/0,3	0,3/0,3	-/0,4	-
10 — 18	0,3/0,3	0,3/0,4	0,3/0,4	-/0,5
18 — 30	0,3/0,4	0,4/0,4	0,4/0,4	-/0,5
30 — 50	0,3/0,4	0,4/0,5	0,5/0,6	0,5/0,6
50 — 80	0,4/0,5	0,4/0,5	0,5/0,6	0,5/0,6
80 — 120	0,5/0,5	0,5/0,6	0,6/0,7	0,6/0,7
120 — 180	0,5/0,6	0,5/0,6	0,6/0,7	0,6/0,8

Примітки:

1. Допуск на обробку перед шліфуванням — по *h11*.
2. В чисельнику вказані припуски на обробку заготовок без термічної обробки, в знаменнику — після термічної обробки.
3. Якщо обробка виконується на двох операціях (попереднє і остаточне шліфування), то на першій операції знімається ≈ 70% припуску.

Таблиця В.4 — Припуски на обробку отворів лезовим інструментом [27]

Спосіб обробки	Припуск (на діаметр) за діаметра отвору (більше — до), мм							
	3 — 5	5 — 10	10 — 18	18 — 30	30 — 50	50 — 80	80 — 120	120 — 180
Після свердління:								
зенкерування	-	-	0,8	1,2	1,5	-	-	-
попереднє (однократне) розточування	-	-	0,8	1,2	1,5	2	2	2
чистове розточування	-	-	0,5	0,8	1	1	1,3	1,5
розвірчування	0,15	0,2	0,3	0,3	0,5	-	-	-
Після зенкерування або розточування:								
однократне розвірчування	-	0,2	0,2	0,3	0,3	0,35	0,4	0,5
чорнове розвірчування	0,15	0,2	0,2	0,2	-	-	-	-
чистове розвірчування після чорнового	0,05	0,08	0,09	0,1	0,12	0,14	0,17	-
Тонке розточування:								
алюмінієвих сплавів								
попереднє	-	-	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5
остаточне	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
бронзи і чавуну								
попереднє	-	-	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4
остаточне	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
сталі								
попереднє	-	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
остаточне	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Таблиця В.5 — Припуски на шліфування отворів [27]

Варіанти	Зміст переходу	Припуск (на діаметр) за діаметра отвору (більше — до), мм						
		6 — 10	10 — 18	18 — 30	30 — 50	50 — 80	80 — 120	120 — 180
1	Однократне шліфування отворів після термічної обробки і без неї	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5
2	Шліфування отворів після термічної обробки							
	чорнове	-	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
	чистове	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
3	Чорнове шліфування отворів до термічної обробки.	-	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
	Чистове шліфування отворів після термічної обробки	-	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5

Таблиця В.6 — Припуски (на діаметр), мм, на хонінгування отворів [21]

Діаметр отвору (більше — до), мм	Хонінгування після:		
	тонкого розточування	чистового розвірчування	внутрішнього шліфування
до 50	0,09/0,06	0,09/0,07	0,08/0,05
50 — 80	0,1/0,07	0,1/0,08	0,09/0,06
80 — 120	0,12/0,09	0,11/0,09	0,10/0,06
120 — 180	0,12/0,09	0,12/-	0,11/0,07
180 — 250		-	0,12/0,08

Примітка.
В чисельнику вказані припуски на обробку заготовок з чавуну, в знаменнику — зі сталі.

Таблиця В.7— Припуски (на діаметр) на протягування отворів [21]

Розміри отвору, що протягується, мм		Припуск, мм
Довжина	Діаметр	
6 — 50	10 — 18	0,2 — 0,5
6 — 120	19 — 30	0,3 — 0,6
11 — 180	31 — 50	0,4 — 0,7
30 — 180	51 — 80	0,6 — 0,8

Таблиця В.8 — Припуски на обробку площин [21]

Спосіб обробки поверхні	Припуск на сторону, мм, за найбільшого розміру оброблюваної площини (більше — до)						
	до 50	50 — 120	120 — 260	260 — 500	500 — 800	800— 1250	1250 — 2000
Чорнова і однократна обробка лезовим інструментом поверхні виливка:							
в піщано-глинисту форму (машинне формування з використанням металевих моделей)	0,9	1,1	1,5	2,2	3,1	4,5	7,0
в піщано-глинисту форму (машинне формування з використанням дерев'яних моделей)	1,0	1,2	1,6	2,3	3,2	4,6	7,1
в кокіль	0,7	0,8	1,0	1,6	2,2	3,1	4,6
в оболонкову форму	0,5	0,6	0,8	1,4	2,0	2,9	-
за виплавними моделями	0,3	0,4	0,5	0,8	-	-	-
Напівчистова обробка лезовим інструментом після чорнової	0,25		0,3		0,35	0,40	0,50
Чистова обробка лезовим інструментом після напівчистової	0,16						0,20
Тонке фрезерування інструментом із надтвердих матеріалів	0,1						-
Попереднє і однократне шліфування після чистової обробки лезовим інструментом	0,05						0,08
Чистове шліфування після попереднього	0,03						0,05

Таблиця В.9 — Припуски (на сторону) на чорнову обробку торців, мм [21]

Діаметр оброблюваної поверхні, мм	Припуск, мм	Діаметр оброблюваної поверхні, мм	Припуск, мм
До 20	1,0	Більше 75 до 125	2,0
Більше 20 до 30	1,5	Більше 125 до 150	
Більше 30 до 45		Більше 150	2,5
Більше 45 до 75			

Таблиця В.10 — Припуски (на сторону) на чистову обробку торців, мм [21]

<table>
<tr><td rowspan="2">Діаметр оброблюваної заготовки (більше — до), мм</td><td colspan="6">Припуск за довжини деталі (більше — до), мм</td></tr>
<tr><td>до 30</td><td>30 — 50</td><td>50 — 120</td><td>120 — 260</td><td>260 — 500</td><td>Більше 500</td></tr>
<tr><td colspan="7">Чистове підрізання</td></tr>
<tr><td>6 — 18</td><td rowspan="2">0,6</td><td>0,6</td><td>0,8</td><td>0,9</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>18 — 30</td><td>0,7</td><td rowspan="2">0,9</td><td>1,0</td><td>1,2</td><td>1,5</td></tr>
<tr><td>30 — 50</td><td>0,7</td><td rowspan="2">0,8</td><td>1,1</td><td>1,3</td><td rowspan="2">1,6</td></tr>
<tr><td>50 — 80</td><td rowspan="2">0,8</td><td>1,0</td><td>1,2</td><td>1,4</td></tr>
<tr><td>80 — 120</td><td>0,9</td><td>1,1</td><td>1,3</td><td>1,5</td><td>1,7</td></tr>
<tr><td>120 — 180</td><td>0,9</td><td>1,0</td><td>1,2</td><td>1,4</td><td>1,6</td><td>1,8</td></tr>
<tr><td>180 — 200</td><td>1,0</td><td>1,1</td><td>1,3</td><td>1,5</td><td>1,7</td><td>1,9</td></tr>
<tr><td colspan="7">Шліфування</td></tr>
<tr><td>6 — 18</td><td rowspan="4">0,3</td><td rowspan="3">0,3</td><td>0,3</td><td rowspan="2">0,4</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>18 — 30</td><td rowspan="3">0,4</td><td rowspan="2">0,5</td><td rowspan="3">0,6</td></tr>
<tr><td>30 — 50</td></tr>
<tr><td>50 — 80</td><td rowspan="3">0,4</td><td rowspan="3">0,5</td></tr>
<tr><td>80 — 120</td><td rowspan="2">0,6</td></tr>
<tr><td>120 — 180</td><td>0,4</td><td rowspan="2">0,5</td><td>0,7</td></tr>
<tr><td>180 — 200</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,6</td><td>0,6</td><td>0,8</td></tr>
</table>

Навчальне видання

Дерібо Олександр Володимирович,
Дусанюк Жанна Павлівна,
Сухоруков Сергій Іванович

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

Практикум
Частина 2

Навчальний посібник

Редактор В. Дружиніна

Оригінал-макет підготовлено О. Дерібо

Підписано до друку
Формат 29,7×42 ¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різографічний. Ум. друк. арк.
Наклад пр. Зам. № 2015-

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.
ВНТУ, к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.