Міністерство освіти та науки України
Луцький національний технічний університет

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МАШИНОБУДУВАННЯ

Методичні вказівки до практичних занять
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньої програми «Прикладна механіка»,
галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво
спеціальності G9 Прикладна механіка
усіх форм навчання

Луцьк 2026

УДК 621.(07)
Т38

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій Луцького НТУ

Директор бібліотеки _____ Н.П. Поліщук

Рекомендовано до видання вченою радою факультету робототехніки та штучного інтелекту ЛНТУ, протокол № від « ___ » _____ 2026 року.
Голова вченої ради факультету робототехніки та штучного інтелекту _____ А.А. Ткачук

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри прикладної механіки та мехатроніки ЛНТУ, протокол № від «____» _____ 2026 року.

Завідувач кафедри прикладної механіки та мехатроніки _____ О.Ю. Повстяной

Укладач: _____ Т.Н. Гальчук, кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної механіки та мехатроніки ЛНТУ

Рецензент: _____ Л.О. Гуменюк, кандидат технічних наук, доцент, кафедри автоматизації та безпілотних систем Луцького НТУ

Відповідальний за випуск: _____ О.Ю. Повстяной, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної механіки та мехатроніки ЛНТУ

Т38 **Технологічні основи машинобудування** [Текст]: Методичні вказівки до практичних занять для здобувачів першого рівня вищої освіти освітньої програми «Прикладна механіка» галузь знань галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності G9 Прикладна механіка усіх форм навчання / уклад. Т.Н. Гальчук. – Луцьк: ЛНТУ, 2026. – 48 с.

Методичне видання до практичних занять з дисципліни «Технологічні основи машинобудування» містять теоретичні відомості, приклади виконання, варіанти завдань, довідникові матеріали.

Призначене для здобувачів вищої освіти спеціальності G9 Прикладна механіка освітньої програми «Прикладна механіка».

© Т. Н. Гальчук, 2026

ЗМІСТ

Практичне заняття № 1. Продукція машинобудування	4
Практичне заняття № 2. Тема: Виготовлення виробів різанням	10
Практичне заняття № 3. Тема: Виробничий і технологічний процес. Структура технологічної операції	18
Практичне заняття № 4. Тема: Типи виробництва в машинобудуванні	21
Практичне заняття № 5. Тема: Базування в машинобудуванні	28
Практичне заняття № 6. Тема: Точність обробки	30
Практичне заняття № 7. Тема: Вплив технологічної системи на точність обробки	34
Практичне заняття № 8. Тема: Технологія складання машин	40
Додаток 1	46
Додаток 2	47

Практичне заняття №1

ТЕМА:ПРОДУКЦІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Мета – набути практичних навиків із формулювання службового призначення і характеристики об'єкту виробництва; аналізу технічних умов та технологічності деталі.

1. Службове призначення і характеристика об'єкту виробництва, аналіз технічних умов на деталь

На основі вивчення креслення деталі, умов її роботи у вузлі необхідно дати опис призначення деталі в механізмі, класифікувати її поверхні, визначити вплив точності виготовлення деталі та її шорсткості на роботу машини. Якщо конкретне призначення деталі невідомо, то необхідно зробити класифікацію її поверхонь, описати призначення кожної з них.

Виходячи з вищевказаного, потрібно встановити доцільність наведених вимог для деталі за точнсітю та якістю. У разі відсутності окремих даних на робочому кресленні деталі, наприклад, маси, розмірів, допусків, їх необхідно визначити самостійно. Також, якщо відсутні на кресленні деталі технічні вимоги, вони розробляються з урахуванням службового призначення деталей і умов їх виготовлення.

Аналіз технологічних вимог ддя деталі рекомендується проводити у такій послідовності:

- ✓ формулюються технічні вимоги, вказуються цифрові дані допустимих відхилень;
- ✓ вказуються можливі наслідки невиконання сформульованих технічних вимог;
- ✓ виконується ескізна схема контролю сформульованої технічної вимоги за допомогою універсальних чи спеціальних засобів контролю, наводиться схема і методика контролю;
- ✓ даються рекомендації щодо методу отримання заготовки із вказаного у завданні матеріалу.

Приклад виконання

Заготовка деталі "корпус підшипника" (рис.1.1) виготовляється з матеріалу Ст 35Л ДСТУ 8781:2018 литвом, тому конфігурація зовнішнього і внутрішнього контуру поверхонь, не викликає значних труднощів при отриманні заготовки, хоча при цьому застосовуються стержні, які будуть формувати, як внутрішні поверхні, так і кишені. Хімічний склад Ст 35Л представлено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад Сталі 35Л ДСТУ 8781:2018

C, %	Mn, %	Si, %	S, %
0,15 … 0,55	0,3 … 0,9	0,2 … 0,4	0,045 …0,6

Обробка внутрішніх отворів ∅ $90^{+0,8}$ повинна бути виконана в границях заданого відхилення з точністю до 0,8мм. Єдиним способом отримання вказаної точності є кінцеве розточування отворів. В подальшому одна із цих поверхонь буде базовою.

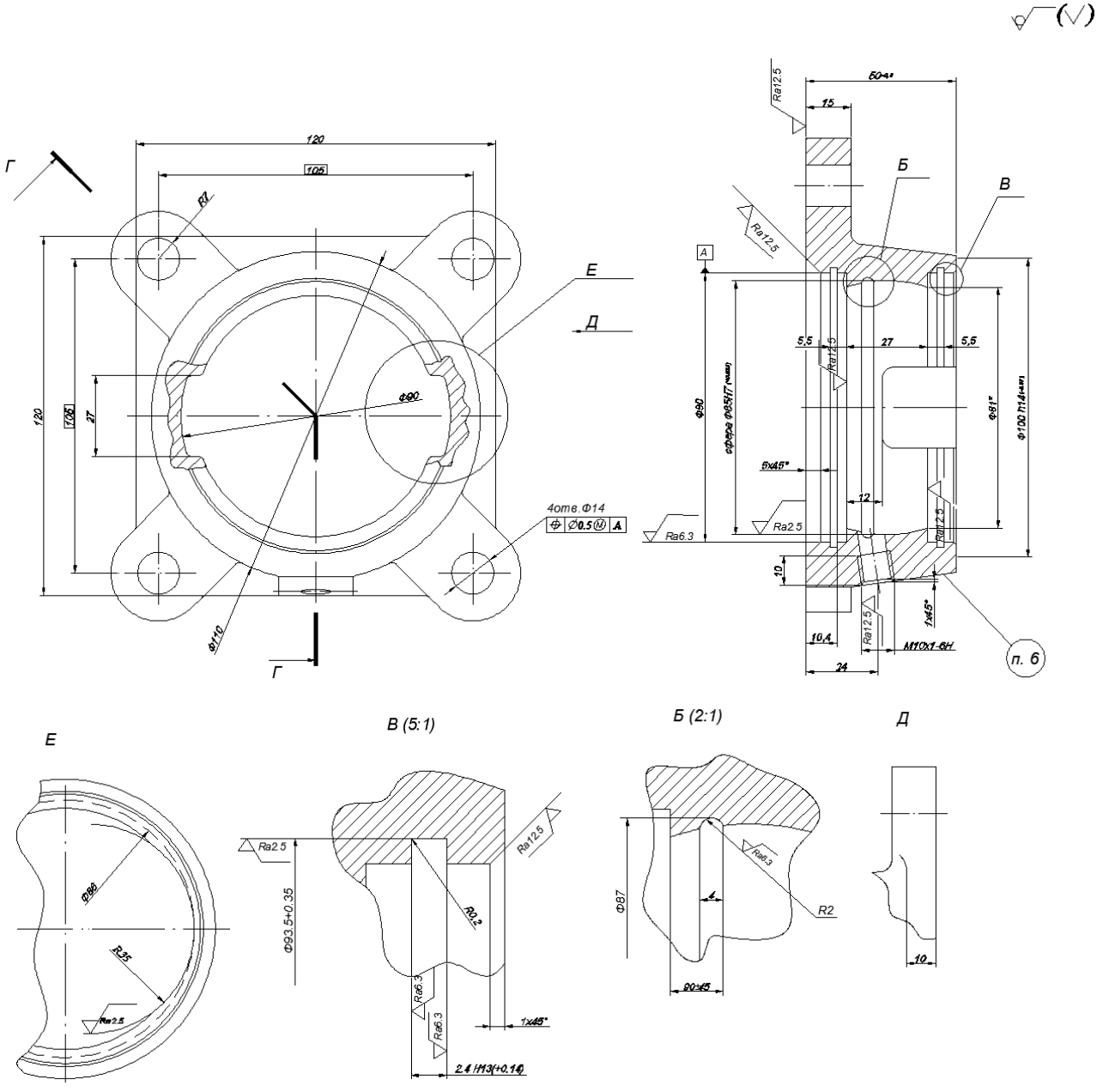


Рис.1.1 – Корпус підшипника

Деталь – ‘‘корпус підшипника’’ служить для монтажу тіл обертання типу валів і має форму ступінчатого тіла обертання з такими розмірами:

- максимальна довжина (L) = 50 мм;
- максимальна ширина (H) = 136 мм;
- максимальний зовнішній діаметр ($D_{зов}$) = 110 мм;
- максимальний внутрішній діаметр ($D_{вн}$) = 90 мм.

Деталь складається з торцевих, циліндричних і сферичних поверхонь, а також містить отвори, як гладкі, так і з нарізаною в них різзю. В цілому деталь не дуже складної форми, має достатньою кількість базових поверхонь, що дозволяє закріплювати її в патроні, оправці та в інших спеціальних пристроях. Аналіз технічних умов представлено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Аналіз технічних умов

Технічна умова, або вимога	Методи виконання	Метод контролю
Отвір $\varnothing 90^{(+0,11)}$, R_a 6,3	Розточування чистове	Штангенциркуль 8700-4025-03
Зовнішня поверхня $\varnothing 100\ h14^{(-0,87)}$, R_a 12,5	Точіння напівчистове	Шаблон 8153-4142-06
Сфера $\varnothing 85^{(+0,035)}$,R_a 6,3	Розточування чистове	Шаблон 8153-4142-06
Канавка $\varnothing 93,5^{(+0,36)}$, R_a 12,5	Розточування чистове	Штангенциркуль 8700-4025-03
Канавки R $35^{(+0,35)}$, R_a 12,5	Фрезерування чистове	Шаблон (R 35) 8381-4218
4 отвори $\varnothing 14^{(+0,4)}$, R_a 12,5	Свердління	Калібр 8150-5078
Канавка R 2, R_a 6,3	Розточування чистове	Шаблон 8153-4142-07
Довжина $15^{(\pm 0,2)}$, R_a 12,5	Точіння напівчистове	Штангенциркуль 8700-4025-03

2. Аналіз технологічності конструкції деталі

Якісну оцінку технологічності деталей проводять за: матеріалом, геометричною формою, якістю поверхонь, за проставленими розмірами, можливими способами виготовлення заготовки.

Під час аналізу технологічності необхідно зазначити:

- ✓ можливість обробки площин та отворів на прохід;
- ✓ можливість використання для обробки отворів револьверних головок, агрегатних верстатів;

–необхідність підрізування торців з внутрішньої сторони;

- ✓ жорсткість деталі;
- ✓ наявність зручних базових поверхонь;
- ✓ можливість багато різцевої обробки деталі і т.д.

Кількісну оцінку проводять за основними та допоміжними коефіцієнтами технологічності**:**

- коефіцієнт уніфікації: $K_{ун.ел} = \frac{Q_{ун.ел}}{Q_{заг.ел}} > 0{,}6$,

де $Q_{ун.ел}$ – кількість уніфікованих елементів деталі;

$Q_{заг.ел}$ –загальна кількість елементів деталі.

- коефіцієнт точності обробки: $K_{тч} = \left(1 - \frac{1}{A_{сер}}\right) > 0{,}8$,

де $A_{сер} = \frac{n_1 + 2n_2 + ... + 19n_{19}}{\sum_{1}^{19} n_i}$ - середня точність обробки.

- коефіцієнт якості обробки: $K_{ш} = \frac{1}{Б_{сер}} < 0{,}32$,

де $Б_{сер} = \frac{0{,}01n_1 + ... + 80n_{14}}{\sum_{1}^{14} n_i}$ - середня шорсткість поверхонь по ряду Ra, мкм.

- коефіцієнт використання матеріалу: $K_{в.м} = \frac{m_д}{m_{заг}}$,

де $m_д$ – маса деталі;

$m_з$ – маса заготовки.

Таблиця 1.3 − Рекомендовані такі значення $К_{в.м}$

Метод отримання заготовки	$К_{в.м}$
Прокат	0,2 … 0,5
Лиття	0,5…,65
Пластичне деформування	0,5…0,75
Точні методи лиття	0,6…0,85
Порошкова металургія	0,8…0,99

Приклад виконання

Заготовкою для деталі корпус підшипника (рис.1.1) є відливка і тому її одержання не викликає значних труднощів. Корпус має циліндричну форму. Відливка середньої складності за конфігурацією, що вимагає застосування стержневого формування підчас одержаня внутрішніх поверхонь.

Нетехнологічною в даній деталі є сферична внутрішня поверхня з розмірами ∅ 85 $H7^{(+0,035)}$, тому, що для обробки цієї поверхні немає вільного доступу для інструменту. Також нетехнологічним є отвір для кріпильного болта з розмірами М10×1-6Н, тому, що вісь цього отвору розміщена асиметрично по відношенню до інших осей даної деталі, що обумовлює використання спеціального пристрою для його обробки, призводить до додаткових затрат і збільшує трудомісткість виготовлення. З точки зору економічності нетехнологічним є обробка внутрішньої сферичної поверхні деталі, вона вимагає застосування верстату з числовим програмним керуванням. В іншому деталь достатньо технологічна, допускає застосування високопродуктивних режимів обробки, має хороші базові поверхні для попередніх операцій і досить проста по конструкції. Розміщення кріпильних отворів, як різьбових, так і гладких допускає багато інструментальну обробку. Поверхні обертання можуть бути оброблені на багатошпиндельних верстатах. Також конструкція деталі дозволяє обробку усіх поверхонь на прохід. До всіх поверхонь корпусу, що обробляються, є достатньо вільний доступ інструменту, отже в цілому деталь є достатньо технологічною.

Визначимо критерії технологічності конструкції деталі.

1. Рівень технологічності конструкції за точністю характеризується коефіцієнтом точності, що визначається за формулою: $K_{тч} = \left(1 - \frac{1}{A_{сер}}\right)$,

де $A_{ср}$ – середній квалітет точності обробки виробу:

$$A_{сер} = \frac{n_1 + 2n_2 + ... + 19n_{19}}{\sum_{1}^{19} n_i}$$

де n – число розмірів відповідного квалітету точності;

n – квалітет точності обробки.

$$A_{ср} = \frac{7 \cdot 4 + 12 \cdot 5 + 18 \cdot 8 + 13 \cdot 1 + 6 \cdot 1 + 14 \cdot 1}{4 + 5 + 8 + 1 + 1 + 1} = 10{,}05,$$

$$K_{тч} = \left(1 - \frac{1}{10{,}05}\right) = 0{,}9 > 0{,}8 \text{ - технологічна}$$

2. Рівень технологічності за шорсткістю поверхні оцінюється коефіцієнтом шорсткості, що визначається, за формулою: $K_ш = \frac{1}{Б_{сер}}$,

де $Б_{ср}$ – середній шорсткість по ряду R_a: $Б_{ср} = \frac{0.01n_1 + \cdots + 80n_i}{n_1 + n_2 + \cdots + n_i}$,

де n – число поверхонь з відносним числовим значенням параметра шорсткості;

$$Б_{ср} = \frac{8 \times 12{,}5 + 1 \cdot 12{,}5 + 4 \cdot 6{,}9 + 1 \cdot 2{,}5}{8 + 1 + 4 + 1} = 10{,}907,$$

$$K_ш = \frac{1}{10{,}907} = 0{,}09 < 0{,}32 - \text{технологічна}$$

3. Коефіцієнт використання матеріалу: $К_{вм} = \frac{М_д}{М_з}$,

де $М_д$ = 1,97 кг – вага деталі по креслені;

$М_з$ = 2,2 кг – вага заготовки.

$$К_{вм} = \frac{1{,}97}{2{,}2} = 0{,}895 > 0{,}65 - \text{технологічна}$$

Рекомендовані значення $К_{в.м}$ для литва 0,5…0,65.

4. Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів: $K_{у.е} = \frac{Q_{у.е}}{Q_е}$,

де $Q_{у.е}$ – кількість уніфікованих конструктивних елементів;

$Q_е$ – загальна кількість конструктивних елементів.

$$K_{у.е} = \frac{Q_{у.е}}{Q_е} = \frac{13}{25} = 0{,}52 < 0{,}6 - \text{ не технологічна}$$

На цій підставі робимо висновок, що така деталь в основному є технологічною у виготовленні.

Зміст виконання завдання:

У відповідності з одержаним завданням:

1) сформулювати службове призначення машини;
2) дати характеристику об’єкту виробництва;
3) проаналізувати технічні умови до деталі;
4) провести якісний аналіз технологічності конструкції деталі;
5) визначити критерії технологічності конструкції деталі.

Практичне заняття №2

ТЕМА: ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ РІЗАННЯМ

Мета – набути практичних навиків із визначення режимів різання, технічної норми часу для механічної обробки на металорізальних верстатах.

1. Розрахунок режимів різання для токарної обробки

Режими різання під час точіння складаються з окремих елементів – глибини різання, подачі та швидкості різання.

Глибина різання визначається, мм: $t = \frac{D - d}{2}$, (1)

де D – діаметр оброблювальної поверхні, мм;

d – діаметр обробленої поверхні, мм.

Вид обробки та выдповыдна шорсткість поверхні встановлюється за табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Глибина різання

Вид обробки точіння	Шорсткість поверхні Ra,мкм	Глибина різання t, мм
Чорнове	63; 50; 40; 32; 25; 20; 16; 12,5	2...5 і більше
Напівчисте	10; 8; 6,3; 5; 4; 3,2	0,5...2,0
Чистове	2,5; 2,0; 1,6; 1,25; 1,0; 0,8	0,1...0,4

Примітка: чорновий припуск знімається за 2 і більше ходи.

Подача вибирається відповідно до шорсткості обробленої поверхні, матеріалу заготовки тощо за табл. 2.2 для чорнової обробки та табл. 2.3 для напівчистової і чистової обробки.

Таблиця 2.2 – Подача для чорнового точіння

Діаметр оброблювальної поверхні, мм	Сталь			Чавун		
	Подача S в мм/об при глибині різання t, мм					
	до 3	3…5	5…8	до 3	3…5	5…8
До 20	0,3...0,4	-	-	-	-	-
Від 20 до 40	0,4...0,5	0,3...0,4	-	0,4...0,5	-	-
Від 40 до 60	0,5...0,9	0,4...0,8	0,3...0,7	0,6...0,9	0,5...0,8	0,4...0,7
Від 60 до 100	0,6...1,2	0,5...1,1	0,5...0,9	0,8...1,4	0,7...1,2	0,6...1,0

Таблиця 2.3 – Подача для напівчистового і чистового точіння

Шорсткість Ra, мкм	Оброблювальний матеріал	Радіус r при вершині різця, мм		
		1	2,0	3,0
		Подача S, мм/об		
10; 8; 6,3	сталь	0,30...0,50	0,45...0,60	0,55...0,70
	чавун	0,25...0,40	0,40...0,50	0,50...0,60
5; 4; 3,2	сталь	0,18...0,25	0,25...0,30	0,30...0,40
	чавун	0,15...0,25	0,25...0,40	0,40...0,60
2,5 ; 2,0; 1,6	сталь	0,10...0,11	0,11...0,16	0,15...0,25
	чавун	0,15...0,25	0,15...0,20	0,20...0,35

Швидкість різання, м/хв: $$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \qquad (2)$$

де C_v – коефіцієнт, який враховує властивості оброблювального матеріалу та матеріалу різця;

T – період стійкості різального інструмента, хв.;

m – показник відносної стійкості;

x,y – показники степеня;

K_v – коефіцієнт, який враховує зміни умов обробки.

Значення C_v , m, x, y вибираємо з таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Величина подачі	C_v	m	x	y
Обробка сталі				
S<0,35 0,3<S<0,7 S>0,7	450 350 340	0,20	0,15	0,20 0,35 0,45
Обробка чавуну				
S<0,40 S>0,40	292 243	0,20	0,15	0,20 0,40

Коефіцієнт K_v розраховують за формулою:

$$K_v = K_n \cdot K_m \cdot K_i \cdot K_\varphi \cdot K\varphi_1 \cdot K_r,$$

де K_n – коефіцієнт, який враховує стан поверхневого шару заготовки;

K_m – коефіцієнт, який враховує механічні характеристики оброблювального матеріалу;

K_i – коефіцієнт, який враховує матеріал різальної частини інструменту;

K_φ – коефіцієнт, який враховує головний кут різця у плані;

$K\varphi_1$ – коефіцієнт, який враховує допоміжний кут різця у плані;

K_r – коефіцієнт, який враховує величину радіуса при вершині різця.

Примітка: значення коефіцієнтів наведеноу таблиці 2.5.

Частота обертання заготовки, хв$^{-1}$: $$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}\ , \qquad (3)$$

де v – розрахункова швидкість різання, м/хв.;

D – діаметр оброблювальної поверхні, мм.

Таблиця 2.5

Оброблювальний матеріал	Сталь				Чавун			
K_n кованка, вальцівка виливка	1 0,9				- 1			
K_m	$K_m = \frac{750}{\sigma_в}$				$K_m = \left(\frac{190}{HB}\right)^{1,25}$			
Матеріал різальної частини інструмента	Т5К10	Т14К8	Т15К6	Т15К4	ВК8	ВК6	ВК4	ВК3
K_i	0,65	0,80	1,00	1,40	0,83	1,00	1,10	1,15
Головний кут в плані φ	20	30	45		60	75	90	
K_φ	1,4	1,2	1,0		0,9	0,8	0,7	
Допоміжний кут в плані φ_1	10	15	20	30	45			
$K\varphi_1$	1,0	0,97	0,94	0,91	0,87			
Радіус при вершині різця r, мм	1	2	3	5				
K_r	0,94	1,0	1,03	1,13				

Частота обертання коректується за паспортними даними верстату.

Для токарно-гвинторізного верстату 1К62 частоти обертання шпинделя, хв.$^{-1}$: 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 800; 1000; 1250; 1600; 2000.

Фактична швидкість різання, м/хв: $$v_д = \frac{\pi \cdot D \cdot n_д}{1000} \qquad (4)$$

2. Визначення припусків на механічну обробку вальців круглого профілю

Приклад виконання

Умова: дано ескіз вала (рис. 2.1), виготовленого зі сталі 45. Вальцівка розрізана на поштучні заготовки.

Необхідно: визначити припуски на механічну обробку вала.

№ варіанту	*l*, мм	d_1, *мм*	d_2, *мм*	*a* , *мкм*
0	235	35	45	1,25

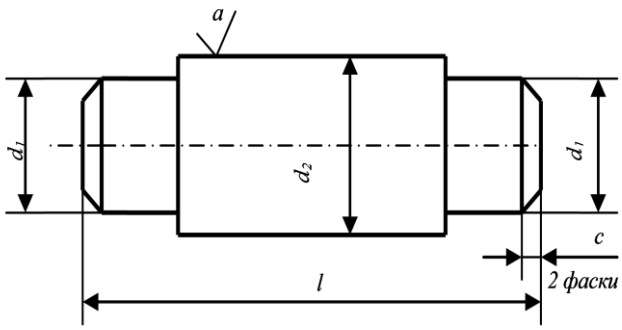


Рис. 2.1

Виконання:

Вал складається з трьох шийок – одна Ø45мм і дві Ø35мм. Оскільки заготовка деталі – вальцівка, то послідовність обробки вибирається за шийкою Ø45мм. Вибираємо таку послідовність виготовлення вала з вальцівки (табл. 2.6):

005 Токарно-гвинторізна

1. Підрізати торці в р-р 235мм.

2. Точити поверхню начорно і напівчисто.

010 Круглошліфувальна

1. Шліфувати поверхню до шорсткості Ra =1,25мкм.

Проміжні припуски для торців та поверхні Ø45мм вибираються з таблиці 2.7 та таблиці 2.8.

Таблиця 2.6

Методи та види обробки	**Квалітет точності**	**Параметри шорсткості R_a, мкм**
1	2	3
Обточування		
Обдирання	14…16	80…20
Чорнове	13…12	20…10

1	2	3
Напівчистове	12…11	10…2,5
Чистове	9…8	3,2...1,25
Тонке	7…6	1,25…0,16
Обробка отворів		
Свердління	12…11	20…2,5
Зенкерування чорнове	12	20…5
Зенкерування чистове	10…9	10…2,5
Розгортування	9…7	3,2…1,25
Протягування	7…6	1,25…0,32
Розточування чорнове	12…10	20…2,5
Розточування чистове	9…8	2,5…1,25
Розточування тонке	6…5	1,25…0,32
Обробка площин		
Фрезерування і стругання чорнове	12…9	20…2,5
Фрезерування і стругання чистове	11…8	3,2…0,63
Фрезерування і стругання тонке	9…6	1,25…0,32
Протягування	9…6	3,2...0,63
Шліфування		
Напівчисте	10…8	2,5…0,63
Чистове	9…8	1,25…0,32
Тонке	8…5	0,63…0,08

Таблиця 2.7 – Проміжні припуски на механічну обробку валів

Номінальний діаметр, мм	Метод обробки поверхні	Припуск на діаметр при довжині вала, мм				
		до 120	120…260	260…500	500…800	800…1250
1	2	3	4	5	6	7
Точіння						
до 30	чорнове	1,3	1,7	-	-	-
	напівчистове	0,45	0,5	-	-	-
	чистове	0,25	0,25	-	-	-
від 30 до 50	чорнове	1,3	1,6	2,2	-	-
	напівчистове	0,45	0,45	0,5	-	-
	чистове	0,25	0,25	0,3	-	-
від 50 до 80	чорнове	1,5	1,7	2,3	3,1	-
	напівчистове	0,45	0,5	0,5	0,55	-
	чистове	0,25	0,3	0,3	0,35	-
від 80 до 120	чорнове	1,8	1,9	2,1	2,6	3,4
	напівчистове	0,5	0,5	0,5	0,5	0,55
	чистове	0,25	0,25	0,3	0,3	0,35

1	2	3	4	5	6	7
Шліфування						
до 30	Попереднє після чистового точіння	0,1	0,1	-	-	-
	Чистове після попереднього шліфування	0,06	0,06	-	-	-
від 30 до 50	Попереднє після чистового точіння	0,1	0,1	0,1	-	-
	Чистове після попереднього шліфування	0,06	0,06	0,06	-	-
від 50 до 80	Попереднє після чистового точіння	0,1	0,1	0,1	0,1	-
	Чистове після попереднього шліфування	0,06	0,06	0,06	0,06	-
від 80 до 120	Попереднє після чистового точіння	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Чистове після попереднього шліфування	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Таблиця 2.8 – Припуски на механічну обробку торця вальців

Номінальний розмір (діаметр) заготовки, мм	Припуск на підрізування торця, мм
До 50	2
Понад 50	3

Припуски:

- на торці по 2 мм;
- на чорнове точіння поверхні 1,6 мм;
- на напівчистове точіння 0,45мм;
- на попереднє шліфування 0,1 мм.

Загальний припуск: 1,6 + 0,45 + 0,1 =2,15мм.

Діаметр вальцівки: 45 + 2,15=47,15мм.

За таблицею 1.9 вибирається найближчий більший діаметр вальцівки 48мм (рис. 1.2).

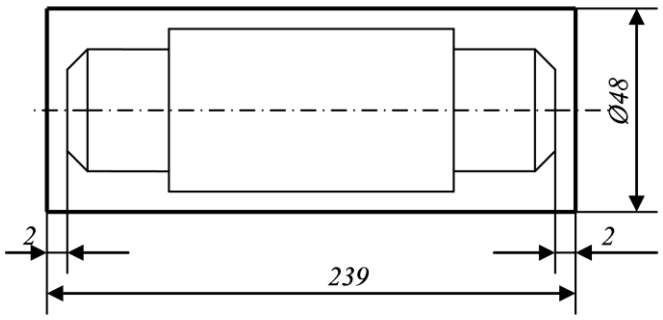


Рис. 2.2

Таблиця 2.9 – Номінальні діаметри сталевих прутків

d, мм	15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44; 45; 46;47;48; 50; 52; 53; 54; 55; 56; 58; 60; 62; 65; 67; 68; 70; 72; 75; 78; 80.

3. Визначення технічної норми часу для токарної обробки

Штучний час визначають за формулою:

$$Тшт = То + Тд + Тт + Торг + Тп , \quad (5)$$

де То – *основний (технологічний) час, хв;* Тд – *допоміжний час, хв;* Тт – *час технічного обслуговування робочого місця, хв;* Торг – *час організаційного обслуговування робочого місця, хв;* Тп – *час перерв, хв.*

Для обробки на верстатах основний час визначають за формулою, хв:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n}, \quad (6)$$

де L – розрахункова довжина обробки, мм, (довжина ходу інструмента в напрямку подачі); і – число робочих ходів інструменту; S – подача інструмента, мм/об; n – частота обертання, хв$^{-1}$.

Для ручного підводу інструмента розрахункова довжина обробки є сумою довжини безпосередньої обробки l_p; довжини врізання інструменту l_1 і довжини сходу (збігу) інструмента l_2:

$$L = l_p + l_1 + l_2 \quad (7)$$

l_p – довжина обробки за кресленням деталі, мм: $l_1 = \frac{t}{tg\varphi}$;

l_2 = t, мм (t – глибина різання).

Додатковий час Тд – це час, що витрачається на різні дії, які забезпечують виконання елементів роботи, що відносяться до основного часу, наприклад, на установку і зняття заготовки або вузла, що складається; на пуск і зупинку верстата; на переключення режимів обробки в процесі виконання операції; на проміри заготовок чи контроль якості складання вузла тощо.

Часто при розрахунках штучного часу використовується оперативний час:

$$Топ = То + Тд \quad (8)$$

Час технічного обслуговування Тт становить 2% $Т_{оп}$.

Час організаційного обслуговування Торг становить 2,5% $Т_{оп}$.

Час перерв Тп становить 0,5% $Т_{оп}$.

Зміст виконання завдання:

1) Визначити глибину різання за формулою (1).
2) Визначити подачу (відповідно до виду обробки) за табл. 2.2, табл. 2.3.
3) Розрахувати допустиму швидкість різання за формулою (2).
4) Розрахувати частоту обертання заготовки за формулою (3) та скоректувати її за рядом частот верстата 1К62.
5) Розрахувати фактичну швидкість різання за формулою (4).
6) Вибрати послідовність виготовлення вала з вальцівки скориставшись табл. 2.6.
7) Вибрати проміжні припуски для торців та шийки вала (табл. 2.7 та 2.8).
8) Розрахувати загальний припуск для шийки вала та діаметр вальцівки скоректувавши його за номынальними значеннями (табл. 2.9).
9) Визначити основний час на обробку за формулою (6). Значення *S, n, t* для відповідних варіантів взяти із розрахунків режимів різання.
10) Визначити час технічного обслуговування, організаційного обслуговування та час на відпочинок.
11) Визначити оперативний час за формулою (8).
12. Визначити норму штучного часу за формулою (5).

Практичне заняття №3

ТЕМА: ВИРОБНИЧИЙ І ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС. СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ

Мета – вивчення структури технологічної операції, оволодіння навиками складання технологічних процесів, встановлення змісту технологічної операції за переходами.

Під час складання маршруту обробки деталі необхідно враховувати, що:

а) в першу чергу обробляється поверхня чи ряд поверхонь, які в подальшому будуть базовими;

б) обробка поверхонь ведеться із збільшенням квалітету, отже, найточніші і чисто оброблені поверхні обробляються в кінці технологічного процесу;

в) в маршруті вказуються операції, установи, технологічні переходи, допоміжні переходи, позиції.

г) під час розробки ескізів всі оброблювані поверхні деталі позначаються відповідними арабськими цифрами (1, 2 ...) в кружечках (рис. 3.1).

Вибирається метод, вид і послідовність обробки окремих поверхонь на основі «Таблиці економічної точності обробки на металорізальних верстатах» відповідно до точності (квалітету) розмірів і шорсткості поверхні за табл. 2.6.

Приклад виконання завдання концентрованого технологічного процесу для деталі, що виготовляється із прокату

Дано: деталь – болт виготовлена зі шестигранного прокату в умовах серійного виробництва**.**

Необхідно:

- провести аналіз ескізу;
- встановити зміст операції;
- сформулювати її назву;
- визначити зміст операцій по переходам.

Виконання:

1. Для виконання операції буде використовуватися токарно-револьверний верстат. Найменування операції – „Токарно-револьверна”.

2. Аналізуючи вихідні дані, встановили, що на даній операції виконується обробка 6-ти поверхонь. Для цього потрібно 11 технологічних переходів. Ліва сторона деталі – шестигранний буртик із зовнішньою поверхнею, яка не обробляється.

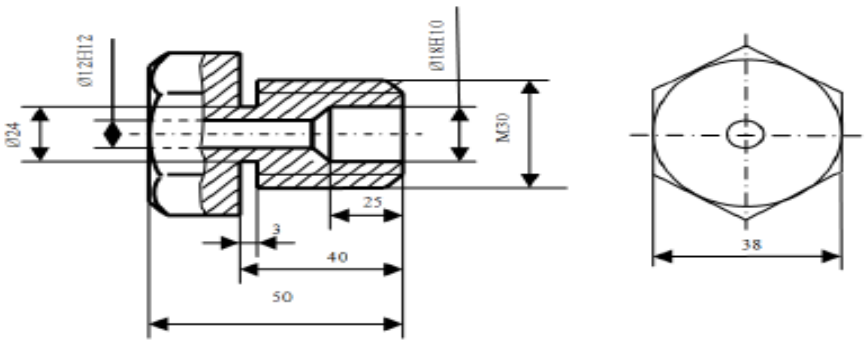


Рис. 3.1

Встановлюємо раціональну послідовність технологічних переходів.

№ переходу	Найменування операції та її зміст за переходами
	005 Токарно-револьверна
1	Подати пруток до упору та закріпити.
2	Підрізати торець у р-р 57мм.
3	Зацентрувати під свердління на глибину 6мм.
4	Свердлити отвір Ø16,25мм довжиною 25мм.
5	Свердлити Ø12H12 довжиною 25мм.
6	Зенкерувати отвір Ø18H10.
7	Обточити поверхню до Ø32мм довжиною 40мм попередньо.
8	Точити поверхню до Ø30мм довжиною 40мм (під різь).
9	Точити канавку шириною 3мм до Ø24мм.
10	Нарізати різь M30.
11	Надрізати деталь з утворенням фаски 2×30^0.
12	Відрізати деталь у р-р 50мм.
13	Зняти деталь.
14	Контроль розмірів.

Приклад виконання завдання диференційованого технологічного процесу для деталі, що виготовляється із поштучної заготовки

Дано: деталь – напівмуфта виготовлена зі сірого чавуну методом лиття в умовах серійного виробництва (рис. 3.2).

Необхідно:

- провести аналіз ескізу;
- встановити зміст операцій;
- сформулювати їх назву;
- визначити зміст операцій за переходами.

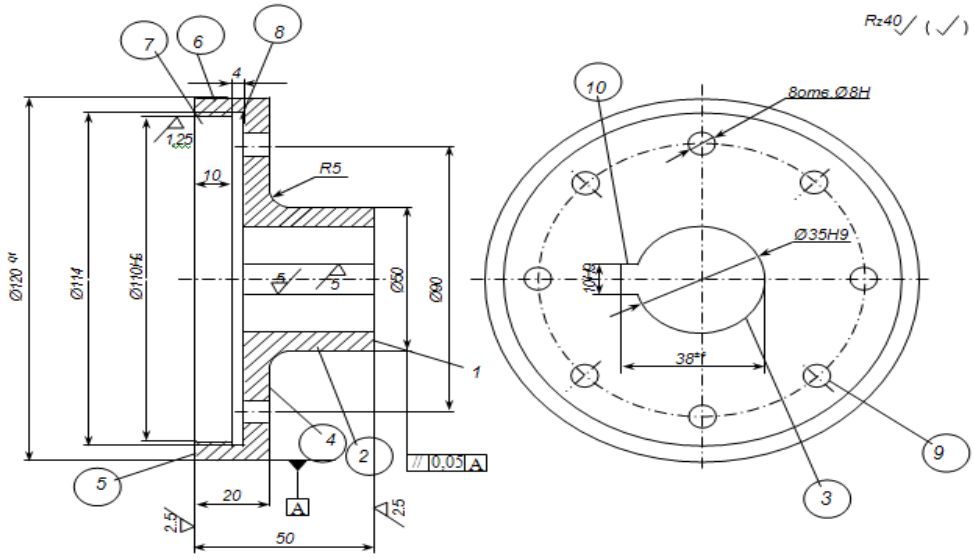


Рис. 3.2

Виконання:

1. Для виконання обробки напівмуфти буде використовуватися 4 операції, а саме 2 токарно-гвинторізні, вертикально-свердлильна і горизонтально-протяжна.

2. Аналізуючи вихідні дані, встановили, що на операціях виконується обробка 10-ти поверхонь.

Встановлюємо раціональну послідовність обробки напівмуфти.

№ операції	Найменування операцій та їх зміст за переходами
005	Токарно-гвинторізна 1. Підрізати торець 1 начорно, начисто. 2. Точити поверхню 2 начорно.

	3. Розточити отвір 3 начорно, начисто. 4. Підрізати торець 4.
010	Токарно-гвинторізна 1. Підрізати торець 5 начорно, начисто. 1. Точити поверхню 6 начорно, начисто. 2. Розточити отвір 7 начорно, начисто. 3. Розточити канавку 8.
015	Вертикально-свердлильна 1. Свердлити 8 отворів 9 одночасно. 2. Розгорнути 8 отворів 9 начисто одночасно.
020	Горизонтально-протяжна 1. Протягнути шпонковий паз 10.

Зміст виконання завдання:

У відповідності з одержаним завданням для заданим умов:

1) провести аналіз ескізу деталі;
2) встановити зміст операцій;
3) сформулювати їх назву;
4) визначити зміст операцій за переходами.

Практичне заняття №4

ТЕМА: ТИПИ ВИРОБНИЦТВА В МАШИНОБУДУВАННІ

Мета − оволодіння методологією визначення типу виробництва машинобудівного підприємства та опис його характеристик**.**

1. Визначення типу виробництва табличним способом та опис його характеристик

Одним із способів визначення типу виробництва є застосування певних таблиць. Для цього необхідно знати річний (Nр) або місячний (Nм) обсяг випуску виробів та деякі допоміжні показники. Це може бути трудомісткість виготовлення виробу (Тскл) або його маса (М). У даній роботі передбачено використання саме цих показників.

Послідовність виконання роботи**:**

а) визначення річного обсягу, шт., випуску виробів за формулою:

$$Nр = 100 + К \cdot 1000, \quad (4.1)$$

де Np – річний осяг випуску виробів;

К - номер прізвища студента за списком групи.

б) визначення обсягу випуску, шт., виробів за місяць Nм:

$$Nм = Np / 12 \quad (4.2)$$

в) визначення орієнтовного часу, необхідного для складання виробу Тскл (таблиця 4.1). Значення Тскл задано у варіантах завдань.

Таблиця 4.1– Час на складання виробу Тскл

Час на складання виробу Тскл, годин					
до 0,25	0,25…2,5	2,5…25	25…250	250…2500	понад 2500

Після проведення попередніх розрахунків можна розпочати визначення типу виробництва.

г) визначення типу виробництва за обсягом випуску на місяць Nм та трудомісткістю складання Тскл за таблицею 4.2.

Таблиця 4.2 – Залежність типу виробництва від Nм та Тскл

Тскл, годин	**Місячний випуск виробів Nм, шт.**				
понад 2500	до 1	2… 4	понад 5	-	-
250-2500	до 3	3…8	9…60	понад 60	-
25-250	до 5	8…30	31…350	351 – 1500	понад 1500
2,5-25	до 8	9 …50	51…600	601… 3000	понад 3000
0,25-2,5	-	до 80	81… 800	801 … 4500	понад 4500
до 0,25	-	-	-	1000 …6000	понад 6000
Тип виробництва	Одиничний	Дрібно-серійний	Середньо-серійний	Велико-серійний	Масовий

д) визначення типу виробництва за річним обсягом випуску виробів Np та його масою М за таблицю 4.3. Значення М задано у варіантах завдань.

Таблиця 4.3 – Залежність типу виробництва від Np та M

Тип виробництва	**Річний обсяг випуску виробів Np, шт.**		
	важкі M > 100 кг	середні 10 < M < 100 кг	легкі M < 10 кг
Одиничний	до 5	до 10	до 100
Дрібносерійний	5…100	10 …200	100…500
Середньосерійний	100…300	200…500	500… 5000
Великосерійний	300…1000	500…5000	5000…50000
Масовий	понад 1000	понад 5000	понад 50000

є) опис організаційно-технічних характеристик визначеного типу виробництва.

Організаційно-технічні характеристики типу виробництва включають такі показники:

- організаційні форми механічної обробки заготовок та складання виробу;
- визначення такту випуску для великосерійного та масового типів виробництва або партії запуску для інших типів:

партія випуску: $n = Np \cdot a / 254$, шт.

де Np − програма випуску шт./рік;

a − періодичність запуску у виробництво (рекомендовано 3, 6, 12 , 34 дні);

такт випуску: $t = 60 \cdot Fд / Np$, хв/ шт.

де Fд=4029 год − фонд часу у плановий період;

- опис обладнання, що використовують для реалізації технологічних процесів (верстатів, пристроїв, різального, додаткового та вимірювального інструментів);
- вимоги до кваліфікації робітників;
- собівартість виробництва.

Примітка. Основні характеристики типів виробництва наведені у додатку 2.

Приклад виконання роботи

Умова. Деталь напівмуфта (рис. 2.2) виготовляється із СЧ 20. Номер прізвища студента за списком групи К=23; трудомісткість виготовлення виробу Тскл=4год.; маса деталі М=0,69 кг.

Необхідно. Визначити тип виробництва табличним способом. Описати організаційно-технічні характеристики визначеного типу виробництва.

Виконання:

- річний обсяг випуску виробів Np: Np = 100 + 23 ·1000 = 23100 шт.;
- обсяг випуск виробів за місяць Nм : Nм = 23100 /12 = 1925 шт.;
- тип виробництва за обсягом випуску на місяць Nм=1925 шт та трудомісткістю складання Тскл=4 години - великосерійний (табл. 4.2);
- тип виробництва за річним обсягом випуску виробів Np=23100 шт та його масою М=0,69 кг - великосерійний (табл. 4.3).

Висновок: обидва способи дали один результат щодо типу виробництва – великосерійний.

Організаційно-технічні характеристики типу виробництва*:*

- організаційна форма виготовлення виробу – потокова лінія;
- такт випуску $t_в = \frac{60F_д}{Np} = \frac{60 \cdot 4029}{23100} = 10{,}5 хв/шт$; верстати - напівавтомати, пристрої - переналагоджувальні та спеціальні, інструмент ріжучий - універсальний та спеціальний, вимірювальний інструмент - універсальний, граничні калібри;
- вимоги до кваліфікації робітників поступово знижуються, але зростає вимога до кваліфікації робітників, що налагоджують обладнання (додаткові робітники);
- собівартість виробництва виробів – середня.

2. Визначення типу виробництва за коефіцієнтом закріплення операцій

1. Виходячи з програми випуску та маси деталі визначається, попередньо, тип виробництва за табл. 4.4.

2. Вибирається нормативний коефіцієнт завантаження обладнання $\eta_н$:

- для малосерійного виробництва 0,8…0,9;
- для серійного виробництва 0,75…0,85;
- для масового та багатосерійного виробництва 0,65…0,75.

Таблиця 4.4

Маса деталі, кг	**Тип виробництва**				
	одиничний	**мало-серійний**	**середньо-серійний**	**багато-серійний**	**масовий**
<1,0	<10	10...2000	1500… 100000	75000… 200000	200000 <
1,0…2,5	<10	10…1000	1000… 50000	50000… 100000	100000 <
2,5…5,0	<10	10…500	500… 35000	35000… 75000	75000 <
5,0…10	<10	10…300	300… 25000	25000… 50000	50000 <
> 10	<10	10…200	200… 10000	10000… 25000	25000 <

3. Визначається розрахункова кількість обладнання, необхідна для виконання кожної операції: $m_p = \frac{N \cdot T_{ш-к}}{60 \cdot F_д \cdot \eta_н}$,

де N – річна програма випуску, шт.;

$T_{ш-к}$ – штучно-калькуляційний час;

$F_д$ – дійсний річний фонд роботи обладнання ($F_д$ = 4029год);

$\eta_н$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання.

Заокруглюється m_P у більшу сторону до цілого числа й отримуємо кількість робочих місць "P".

4. Розраховується дійсний коефіцієнт завантаження обладнання: $\eta_ф = \frac{m_p}{P}$.

Якщо $\eta_ф > \eta_н$, то необхідно збільшувати "P" до тих пір, поки ця умова не буде виконана.

5. Розраховується кількість операцій, які виконуються на прийнятому обладнанні: $O = \frac{\eta_н}{\eta_ф}$.

Отримане значення "O" не округлюється до цілого числа.

6. Розраховується коефіцієнт закріплення операції: $K_{з.о} = \frac{\sum O}{\sum P}$,

де O – сума технологічних операцій, які виконуються на робочих місцях;

P – сума робочих місць (кількість прийнятого обладнання).

Тип виробництва для:

- $К_{зо} \leq 1$ – масове виробництво;
- $1 < К_{зо} \leq 10$ – багатосерійне виробництво;
- $10 < К_{зо} \leq 20$ – середньосерійне виробництво;
- $20 < К_{зо} \leq 40$ – дрібносерійне виробництво;
- $К_{зо} \geq 40$ – одиничне виробництво.

Приклад виконання

Умова: програма випуску деталей в рік N = 60 000 шт. Трудоємність виготовлення деталі на токарній операції Тшт = 25 хв, на вертикально-свердлильній Тшт = 13хв. Маса деталі – 2,1кг. Дійсний річний фонд роботи обладнання $F_д$ = 4029 год.

Необхідно: визначити тип виробництва.

Виконання:

1. Встановлюємо за таблицею 2 наближено тип виробництва – багатосерійний.
2. Вибираємо нормативний коефіцієнт завантаження обладнання: $\eta_н = 0,7$.
3. Визначаємо розрахункову кількість обладнання, необхідну для виконання

токарної операції: $m_p = \frac{60000 \cdot 25}{60 \cdot 4029 \cdot 0,7} = 8,86$. Приймаємо Р= 9.

вертикально-свердлильної: $m_p = \frac{60000 \cdot 13}{60 \cdot 4029 \cdot 0,7} = 4,61$. Приймаємо Р= 5.

4. Розраховуємо дійсний коефіцієнт завантаження обладнання:

для токарної операції: $\eta_ф = \frac{8,86}{9} = 0,98$.

Оскільки $\eta_ф = 0,98 \geq \eta_н = 0,7$ то необхідно збільшувати P. Приймаємо P=13.

Тоді $\eta_ф = \frac{8,86}{13} = 0,68 \leq 0,7$.

для вертикально-свердлильної: $\eta_ф = \frac{4,61}{5} = 0,92$. Оскільки $\eta_ф = 0,92 \geq \eta_н = 0,7$ то необхідно збільшувати *Р*. Приймаємо *Р*=7.

Тоді $\eta_ф = \frac{4,61}{7} = 0,66 \leq 0,7$.

5. Розраховуємо кількість операцій, які виконуються на прийнятому обладнанні:

для токарної операції: $O = \frac{\eta_н}{\eta_ф} = \frac{0,7}{0,68} = 1,03$.

для вертикально-свердлильної: $O = \frac{\eta_н}{\eta_ф} = \frac{0,7}{0,66} = 1,06$

6. Розраховуємо коефіцієнт закріплення операції:

$K_{з.о} = \frac{1,03+1,06}{13+7} = 0,11$ – тип виробництва масовий.

Зміст виконання завдання:

У відповідності з одержаним завданням для заданим умов:

1) визначити річний обсяг випуску виробів за формулою 4.1**;**

2) визначити обсяг випуску виробів за місяць за формулою 4.2;

3) визначити орієнтовний час для складання виробу (таблиця 4.1);

4) визначити тип виробництва за обсягом випуску на місяць та трудомісткістю складання за таблицею 4.2;

5) визначити тип виробництва за річним обсягом випуску виробів та його масою за таблицю 4.3;

6) описати організаційно-технічних характеристик визначеного типу виробництва (додаток 1);

7) за заданою програмою випуску деталей, трудоємністю їх операційного виготовлення за коефіцієнт закріплення операції визначити тип виробництва.

Практичне заняття №5

ТЕМА: БАЗУВАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ

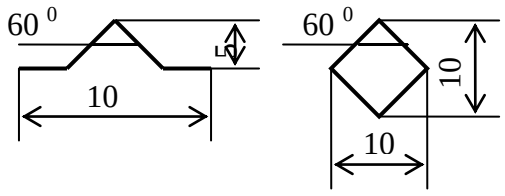
Мета – навчитися складати теоретичну схему базування із врахуванням технічних вимог до деталі та набути навики з технологічного забезпечення принципу суміщення та постійності баз**.**

База – це поверхня або сполучення поверхонь, вісь, які належать заготовці або виробу і використовуються для базування. Базування – надання заготовці або виробу потрібного положення відносно вибраної системи координат.

Для забезпечення нерухомості заготовки у вибраній системі координат на неї необхідно накласти 6 двосторонніх геометричних зв'язків, для створення яких необхідний комплект баз, які несуть 6 опорних точок (правило 6-ти точок).

Схема розміщення опорних точок на базах заготовки називається теоретичною схемою базування. Опорні точки нумеруються, починаючи з бази, на якій розташовується їх найбільша кількість. Номер точки проставляється праворуч від умовного знака.

Якщо в якійсь проекції одна опорна точка накладається на іншу, то зображується одна точка і біля неї проставляються номери суміщених точок. Опорні точки зображають умовними знаками:



а б

Рис. 5.1 – Зображення опорних точок на ескізах: а - вид збоку, зверху, знизу; б - вид спереди, заду

Теоретична схема базування розробляється, виходячи з того, що технологічною базою за кожною з координат повинна бути вимірювальна база.

Технологічна база – база, що використовується для визначення положення заготовки або виробу в процесі виготовлення або ремонту. Вимірювальна база –

це база деталі або складальної одиниці, від якої виконується відлік виконуваних розмірів під час обробки виробу чи перевірка відносного розташування поверхонь деталі. Вимірювальна база на кресленні зв'язана з контрольними поверхнями деталі безпосередніми розмірами або певними умовами.

Кількість ступенів вільності визначається службовим призначенням.

Приклад виконання

Умова: у технологічному процесі виготовлення корпусу (рис. 5.2) передбачена операція по розточуванню отвору ØD. При обробці отвору витримується розмір *a.*

Необхідно:

1. Вибрати технологічну базу для операції, яка розглядається.
2. Розробити схему базування.

Виконання:

1. Однією із конструкторських баз є площина А основи. Її прийнято як технологічну установочну базу, створивши під її базування три опорні точки 1, 2, 3. Технологічною направляючою базою прийнято площину Б з двома опорними точками 4 і 5. Ця база дозволить обробити отвір перпендикулярно цій площині. Для забезпечення симетричності розміщення отвору відносно зовнішнього контуру можна використовувати як технологічну базу поверхню В, але конструктивно легше використати для цього поверхню Г.

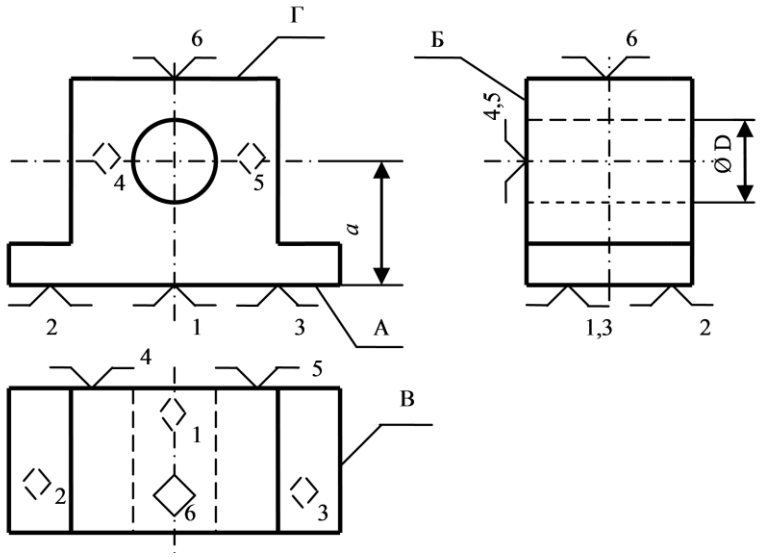


Рис. 5.2

На основі викладеного використаємо технологічну базу із трьох поверхонь: А, Б, Г.

2. Схема базування, яка показує розміщення положення опорних точок на базах заготовки, представлена на рис. 5.2.

Зміст виконання завдання:

У відповідності з одержаним завданням ескізами для обробки поверхні деталі із умовою дотримання вказаних розмірів:

1) розробити теоретичну схему базування для обробки поверхні заданої деталі враховуючи проставлені розміри (*умовно зображені розмірними лініями*);

2) у заданій системі координат вказати степінь вільності, що відбираються у заготовки;

3) дати повне найменування всім базам.

Практичне заняття №6

ТЕМА: ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ

Мета − визначення заданої точності розміру поверхні та її аналіз за допомогою законів розсіювання випадкових величин**.**

1. Статичні методи аналізу точності за допомогою законів розсіювання випадкових величин

Розрахункове значення середнього квадратичного відхилення випадкової величини: $\sigma = p \cdot S$,

де p – коефіцієнт, який залежить від величини вибірки (табл. 6.1);

S – розрахункова величина середнього квадратичного відхилення, мм.

Таблиця 6.1

n	25	50	75	100	200	300	400
p	1,4	1,3	1,25	1,2	1,15	1,12	1,11

Поле фактичного розсіювання розмірів, мм: $\omega = 6\sigma$

Умова обробки деталей без браку $T > \omega$.

Коефіцієнт функції Лапласа:

$t = \frac{0{,}5T}{\sigma}$ – якщо розподіл розмірів підлягає нормальному закону і поле розсіювання симетричне середині поля допуску (рис. 6.1);

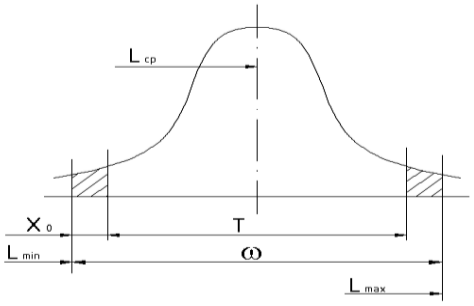


Рис. 6.1

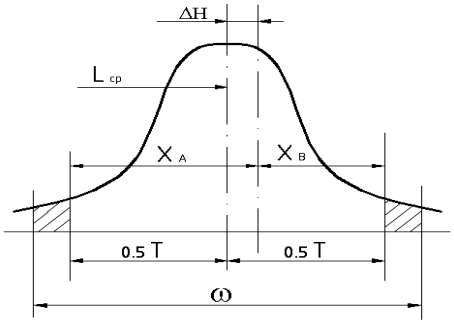


Рис. 6.2

$t_1 = \frac{0{,}5T + \Delta}{\sigma}$, $t_2 = \frac{0{,}5T - \Delta}{\sigma}$ – якщо розподіл розмірів підлягає нормальному закону і крива нормального розподілу зміщена вправо від середині поля допуску (рис. 5.2);

$t_1 = \frac{0{,}5T - \Delta}{\sigma}, t_2 = \frac{0{,}5T + \Delta}{\sigma}$ – якщо крива нормального розподілу зміщена вліво від середині поля допуску.

За таблицею визначається функція Лапласа (Додаток 2) .

Кількість браку визначаємо за формулою: $P=[0{,}5 – \Phi(t)]\cdot 100\%$.

Приклад виконання

Умова. На револьверному верстаті оброблюють партію деталей N = 500 штук. Допуск на обробку складає 8 мкм. З партії зробили вибірку n = 75 штук. Розподіл розмірів підлягає нормальному закону і поле розсіювання симетричне середині поля допуску. Розрахункова величина середнього квадратичного відхилення S =0,02 мм.

Необхідно:

1. Визначити кількість якісних та бракованих деталей.
2. Визначити кількість виправного та невиправного браку.

Розрахунок:

1. Визначаємо розрахункове значення середнього квадратичного відхилення випадкової величини:

σ = p·S = 1,25 · 0,02=0,025мм.

2. Визначаємо поле фактичного розсіювання розмірів:

ω = 6σ =6 ·0,025=0,15мм.

3. Перевіряємо умову обробки деталей без браку (T > ω):

T=0,008 < ω=0,15 – обробка супроводжується браком.

4. Визначаємо коефіцієнт функції Лапласа:

$$t = \frac{0,5T}{\sigma} = \frac{0,5 \cdot 0,008}{0,025} = 0,16$$

5. Функція Лапласа: Ф=0,0635.

6. Кількість браку визначаємо за формулою:

P=[0,5– Ф(t)]·100%=[0,5 – 0,0635]·100%=43,65%

7. Кількість бракованих деталей становить: 500·0,4365=218 штук. З них 109 штук виправного браку та 109 штук невиправного браку.

2. Визначення кількості технологічних переходів механічної обробки для досягнення заданої точності розміру поверхні

Вибір методу обробки поверхонь проводять шляхом визначення числа ступенів обробки на основі розрахунків уточнення.

Порядок розрахунків такий:

1) визначається загальний коефіцієнт уточнення $K = \frac{T_з}{T_д}$,

де $T_з$ – допуск на розмір заготовки;

$T_д$ – допуск на розмір деталі;

2) визначається кількість необхідних технологічних переходів $n = \frac{\lg K}{0,46}$;

3) округлюється розрахункова кількість необхідних технологічних переходів до найближчого меншого значення (для зменшення працеємності);

4) знаходиться різниця між квалітетом заготовки і деталі та за прийнятими технологічними переходами розподіляють її за законом прогресивного зменшення;

5) визначається точність проміжних розмірів заготовки в процесі механічної обробки.

Приклад виконання

Умова. Елементарна поверхня ступеня валу $Ø85p6\left(^{+0,059}_{+0,037}\right)$ виготовляється із штампованої поковки підвищеної точності $Ø91{,}2^{+1,3}_{-0,7}$.

Необхідно: проаналізувати початкові дані, визначити кількість технологічних переходів для досягнення заданої точності вказаного розміру, встановити точність проміжних розмірів.

Виконання:

1. При аналізі встановлюємо, що в процесі механічної обробки допуск на розмір заготовки $T_з$ = 1,3 – (–0,7) = 2мм зменшується до допуску розміру діаметра деталі $T_д$ = 0,059 –(–0,037)= 0,022мм. При цьому загальний коефіцієнт уточнення становить: $K = \frac{T_з}{T_д} = \frac{2}{0{,}022} = 90.$

2. Кількість технологічних переходів $n = \frac{\lg K}{0{,}46} = \frac{\lg 90}{0{,}46} = 4{,}2.$

Приймаємо n = 4 (для зменшення працеємності обробки).

3. Допуск розміру діаметра заготовки відповідає приблизно 16-му квалітету точності, а допуск розміру деталі – 6-му квалітету (табл. 6.2). Відповідно, точність підвищується на 16 – 6 = 10 квалітетів. За прийнятими чотирма технологічними переходами розподіляємо її за законом прогресивного зменшення: 10 = 4 +3+2+1.

Точність проміжних розмірів заготовки в процесі механічної обробки відповідає:

- після 1-го переходу 12-му квалітету (h12);
- після 2-го переходу 9-му квалітету (h9);
- після 3-го переходу 7-му квалітету (h7);
- після 4-го переходу 6-му квалітету (h6).

Таблиця 6.2 – Значення допусків Т, мкм

Розміри, мм	***Квалітети***											
	5	***6***	***7***	***8***	***9***	***10***	***11***	***12***	***13***	***14***	***15***	***16***
до 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3…6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
6…10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
10…18	8	11	18	27	42	70	110	180	270	430	700	1100
18…30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
30…50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	100	1600
50…80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
80…120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
120…180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
180…250	20	29	46	72	115	185	290	450	720	1150	1850	2900
250…315	23	32	52	21	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
315…400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
400…500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

Зміст виконання завдання:

У відповідності з одержаним завданням:

1) визначити кількість якісних та бракованих деталей;

2) визначити кількість виправного та невиправного браку;

3) визначити кількість технологічних переходів для здійснення обробки заданої поверхні деталі (допуски на розміри і квалітети встановлюються за таблицею 6.2.);

4) визначити зміну точності проміжних розмірів за переходами.

Практичне заняття №7

ТЕМА: ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ НА ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ

Мета − прогнозування очікуваної похибки форми оброблювальної поверхні.

Жорсткість деталі *j*д залежить від її конструктивних параметрів і від способу встановлення на верстаті. Якщо жорсткість мала під дією сил різання

заготовка прогинається, внаслідок чого утворюється похибка форми. Розглянемо це явище на прикладі токарної обробки гладкого валу під час його встановлення: у патроні і задньому центрі (рис. 7.1), у передньому і задньому центрах (рис. 7.2), у патроні (рис. 7.3).

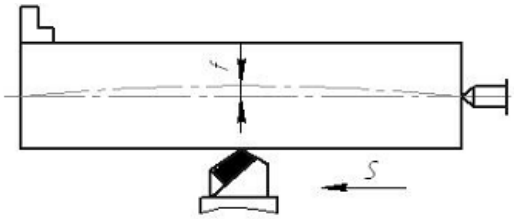


Рис. 7.1 – Встановлення вала в патроні і задньому центрі

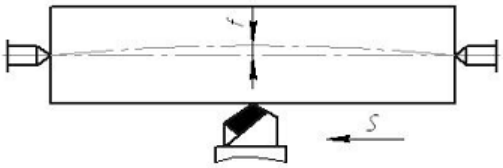


Рис. 7.2 – Встановлення вала в передньому і задньому центрах

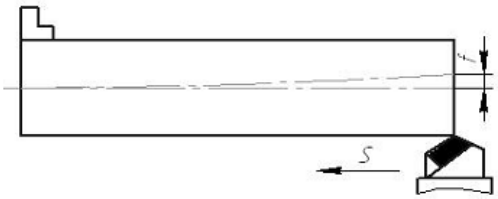


Рис. 7.3 – Встановлення вала в патроні

Формули для розрахунку жорсткості $j_д$ і стріли прогину f подано у табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Формули для розрахунку $j_д$ та f

№ п/п	Способи встановлення заготовки	Жорсткість, Н/мм	Стріла прогину, мм
1	У патроні і задньому центрі	$\frac{100 \cdot E \cdot J}{L^3}$	$\frac{P_y \cdot L^3}{100 \cdot E \cdot J}$
2	В центрах	$\frac{48 \cdot E \cdot J}{L^3}$	$\frac{P_y \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot J}$
3	В патроні	$\frac{3 \cdot E \cdot J}{L^3}$	$\frac{P_y \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot J}$

У формулах табл. 7.1 прийнято такі позначення:

P_y – радіальна складова сили різання, Н; L – довжина заготовки, мм; E – модуль пружності матеріалу: для сталі $E=2\cdot10^5…2{,}2\cdot10^5$ МПа; для чавуна $E=0{,}75\cdot10^5…1{,}6\cdot10^5$ МПа; J – момент інерції, мм^4:

для круглого перерізу:

$$J = 0{,}05\cdot d^4; \tag{7.1}$$

для кільцевого перерізу:

$$J = 0{,}05\cdot d^4\cdot\left[1-\left(\frac{D}{d}\right)^4\right] \tag{7.2}$$

де d – діаметр зовнішньої поверхні, мм;

D – діаметр отвору, мм.

Допустиме значення поздовжньої похибки форми $[\Delta_Ф]$, наприклад для встановлення в центрах:

$$[\Delta_\Phi]=2\cdot f=\frac{2\cdot[P_y]\cdot L^3}{48\cdot E\cdot J}=A\cdot[P_y] \tag{7.3}$$

Допустиме значення сили різання $[P_y]$, наприклад для встановлення в центрах:

$$[P_y]=\frac{48\cdot E\cdot J}{2\cdot L^3}\cdot[\Delta_\Phi] \tag{7.4}$$

Сила різання P_y:

$$P_y=10C_{Py}\cdot t^{x_{Py}}\cdot S^{y_{Py}}\cdot V^{n_{Py}}\cdot K_{Py} \tag{7.5}$$

Коефіцієнт K_{Py}:

$$K_{Py}=K_{MP}\cdot K_{\varphi P}\quad K_{\gamma P}\cdot K_{\lambda P}\cdot K_{rP} \tag{7.6}$$

Значення C_{Py} і показників x_{py}, y_{py}, n_{py} представлено в табл. 7.2.

Коефіцієнт K_{MP} знаходять за даними табл. 7.3 і 7.4. Значення коефіцієнтів $K_{\varphi P}$, $K_{\gamma P}$, $K_{\lambda P}$, K_{rP} представлено в табл. 7.5.

Таблиця 7.2 – Показники для розрахунку сили P_y під час точіння

Оброблюваний матеріал	Матеріал ріжучої частини інструмента	Вид обробки	Коефіцієнт і показники			
			C_{Py}	X_{Py}	y_{Py}	n_{Py}
Сталь конструкційна $\sigma_B=750$ МПа	Твердий сплав	Зовнішнє поздовжнє точіння	243	1,0	0,60	-0,3
	Швидкоріжуча сталь		125	1,0	0,75	0
Чавун сірий НВ 190	Твердий сплав		54	1,0	0,75	0
Чавун ковкий НВ 150			43	1,0	0,75	0

Таблиця 7.3 – Формули для розрахунку коефіцієнта K_{MP}

Сталь конструкційна	Чавун	
	сірий	ковкий
$K_{MP}=\left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^{n_P}$	$K_{MP}=\left(\frac{HB}{190}\right)^{n_P}$	$K_{MP}=\left(\frac{HB}{150}\right)^{n_P}$

Таблиця 7.4 – Показник ступеня n^P у формулах для K_{MP} (табл. 7.3)

Оброблюваний матеріал	Показник	
	Твердий сплав	Швидкоріжуча сталь
Сталь конструкційна	1,0	2,0
Чавун сірий, ковкий	1,0	1,3

Таблиця 7.5 – Поправочні коефіцієнти, що враховують геометрію ріжучого інструменту для розрахунку сили P_y

Кути та їх значення		**Матеріал різального інструменту**	**Коефіцієнти та їх значення**	
Головний кут, град φ	30	Твердий сплав	$K_{\varphi P}$	1,30
	45			1,00
	60			0,77
	90			0,50
	30	Швидкоріжуча сталь		1,60
	45			1,00
	60			0,71
	90			0,44
Передній кут, град γ	–15	Твердий сплав	$K_{\gamma P}$	2,00
	0			1,40
	10			1,00
	0	Швидкоріжуча сталь		2,00
	10-15			1,60
	20-25			1,00
Кут нахилу λ головного леза, град	-5	Твердий сплав*	$K_{\lambda P}$	0,75
	0			1,00
	5			1,25
	10			1,75
Радіус при вершині інструменту r, мм	0,5	Швидкоріжуча сталь**	K_{rP}	0,66
	1,0			0,82
	2,0			1,00
	3,0			1,14
Примітка: 1.* Для різців із швидкоріжучої сталі $K_{\lambda P}=1$ 2.**Для різців із твердого сплаву $K_{rP}=1$				

Приклад виконання

Умова. Операція токарна. На токарному одношпиндельному напівавтоматі точити вісь у розмір $Ø28_{-0,1}$. Параметри заготовки: матеріал – сталь з $\sigma_в$=750МПа, d_3=30 мм, D_3=20 мм, L_1=200 мм, L_2=250 мм, L_3=300 мм, модуль пружності $E=2\cdot10^5$ МПа. Різальний матеріал – швидкоріжуча сталь.

Режими: V=65 м/хв., S=0,5 мм/об. Геометрія інструмента: $\varphi=60^0$, $\gamma=10^0$, $\lambda=-5^0$, r=1 мм.

Необхідно. Розрахувати очікувану похибку форми $\Delta_Ф$ у поздовжньому перерізі деталі для заданих умов обробки за трьома способами її встановлення. Встановити метод встановлення заготовки, що забезпечує виконання умови $\Delta_Ф<0,5\cdot T_d$ мм.

Послідовність розв'язання задачі

1. Розрахуємо силу різання $P_У$ за формулою (7.5).

За таблицею 7.2 знаходимо коефіцієнти: $C_{РУ}$=125, $x_{РУ}$=1,0, $y_{РУ}$=0,75, $n_{РУ}$=0.

За таблицями 7.3 і 7.4 знаходимо $K_{МР}$=1, $K_{φР}$=0,7, $K_{γР}$=1,6, $K_{λР}$=0,75, $K_{rР}$ =0,82.

Тоді, за формулою (7.6) $K_{РУ}$ =1·0,7·1,6·0,75·0,82=0,69 і за формулою (7.5)

$$P_У=10\cdot125\cdot1\cdot0,5^{0,75}\cdot65^0\cdot0,69=862,5\ Н.$$

2. Розраховуємо очікувані значення похибки $\Delta_Ф$ для різних значень L, використовуючи формули табл. 7.1.

За формулою (7.2) розрахуємо значення моменту інерції.

$$J=0,05\cdot30^4\cdot\left[1-\left(\frac{20}{30}\right)^4\right]=41943мм^4$$

Тоді в разі встановлення заготовки в патроні та задньому центрі, для L=200 мм:

$$\Delta_Ф=2\cdot f=\frac{2\cdot862,5\cdot200^3}{100\cdot2\cdot10^5\cdot41943}=0,012мм;$$

для L_2=250 мм, $\Delta_Ф$ =0,025 мм;

для L_3=300 мм, $\Delta_Ф$ =0,043 мм.

В разі встановленні в центрах:

для L_1=200 мм, $\Delta_Ф$ =0,026 мм;

для L_2=250 мм, $\Delta_Ф$ =0,051 мм;

для L_3=300 мм, $\Delta_Ф$ =0,089 мм.

В разі встановленні в патроні:

для L_1=200 мм, $\Delta_Ф$ =0,421 мм;

для L_2=250 мм, $\Delta_Ф$ =0,822 мм;

для L_3=300 мм, $\Delta_Ф$ =1,421 мм.

3. Дані заносимо у таблицю 7.6.

Таблиця 7.6 – Результати розрахунків

Спосіб установлення заготовки	Похибка, мм, при різній довжині заготовки, мм		
	200	250	300
У патроні і задньому центрі	0,012	0,025	0,043
В центрах	0,026	0,051	0,089
У патроні	0,421	0,822	1,421

4. Формулюємо висновки.

Виходячи з вимоги $[\Delta_Ф]<0,5\cdot T_d$= 0,5·0,1=0,05 мм, бачимо, що тільки в разі встановленні заготовки у патроні та задньому центрі забезпечується $\Delta_Ф<0,5\cdot T_d$ мм для усіх заданих значеннях L.

Зміст виконання завдання:

У відповідності з одержаним завданням:

1) визначити очікувану похибку форми $\Delta_Ф$ у поздовжньому перерізі деталі для заданих умов обробки в разі встановлення заготовки в патроні та задньому центрі;

2) визначити очікувану похибку форми $\Delta_Ф$ у поздовжньому перерізі деталі для заданих умов обробки в разі встановлення заготовки в центрах;

3) визначити очікувану похибку форми $\Delta_Ф$ у поздовжньому перерізі деталі для заданих умов обробки в разі встановлення заготовки в патроні;

4) зробити висновки яким методом встановлення заготовки забезпечується виконання умови $\Delta_Ф<0,5\cdot T_d$ мм.

Практичне заняття №8

ТЕМА: ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДАННЯ МАШИН

Мета – навчитися розробляти технологічну схему та технологічний процес складання вузла**.**

Складання – це утворення роз'ємних або нероз′ємних з′єднань складових частин заготовки або виробу. Складання може здійснюватися простим з′єднанням деталей, їх запресовкою, скручуванням, зварюванням, пайкою, клепанням, склеюванням і т. д.

В умовах одиничного виробництва обмежуються розробкою маршрутних технологічних карт і керуються в основному схемами складання. У серійному виробництві розробляються маршрутно-операційні і операційні технологічні карти, при необхідності технологічні інструкції, комплектувальні карти, відомості оснастки і інші документи. Процес складання розділяють на загальне і вузлове, а також на технологічні операції і переходи, в багатосерійному – і на прийоми.

Під час формування техоперацї в її склад включають однорідні роботи, це сприяє спеціалізації робітників і підвищенню продуктивності праці. Сильно концентровані операції розділяються, синхронізуються.

Під час аналізу початкових даних і матеріалів необхідно вияснити наступне: найменування об'єкту складання, його призначення, короткий опис його складу, будови, принципу роботи, маси, габаритних розмірів, зміст і характер технічних вимог, що ставляться до нього.

Встановлюють склад об'єкту складання розділенням його на складальні одиниці різних порядків. Після чого складають схему складальних одиниць виробів. Для складання технологічної схеми складального виробу необхідно схему складальних одиниць доповнити технологічними вказівками про методи складання, контролю та випробування. Для вдосконалення схеми складання, що розглядається, вносяться пропозиції та вказуються базові деталі. На основі схеми складання розробляється технологічний процес складання з проектування технологічної операції (операцій) складання. Розроблена технологічна операція складання оформлюється у вигляді операційної карти складання.

Для вдосконалення технологічного процесу складання, що розглядається, додають пропозиції, наприклад, такі, що стосуються заміни ручних складальних операцій механізованими, використання більш досконалої оснастки, автоматичних пристроїв, в тому числі роботів.

Приклад виконання

Початкові дані і їх аналіз. Для прикладу взято пневматичний циліндр (рис. 8.1), що використовується у верстатних пристроях в якості силового агрегату. До його кришок від повітророзподільчого крану підходять шланги, що закінчуються штуцерами, до одного з яких підводиться стиснуте повітря, а по другому стиснуте повітря випускається в атмосферу. Під дією стиснутого повітря поршень із штоком здійснює переміщення. Для попередження витікання стиснутого повітря передбачено гумові прокладки і кільця (поз. 6, 4 та 8). Нерухомі з'єднання деталей здійснюються болтами, шпильками і гайками (поз. 10, 11, 12).

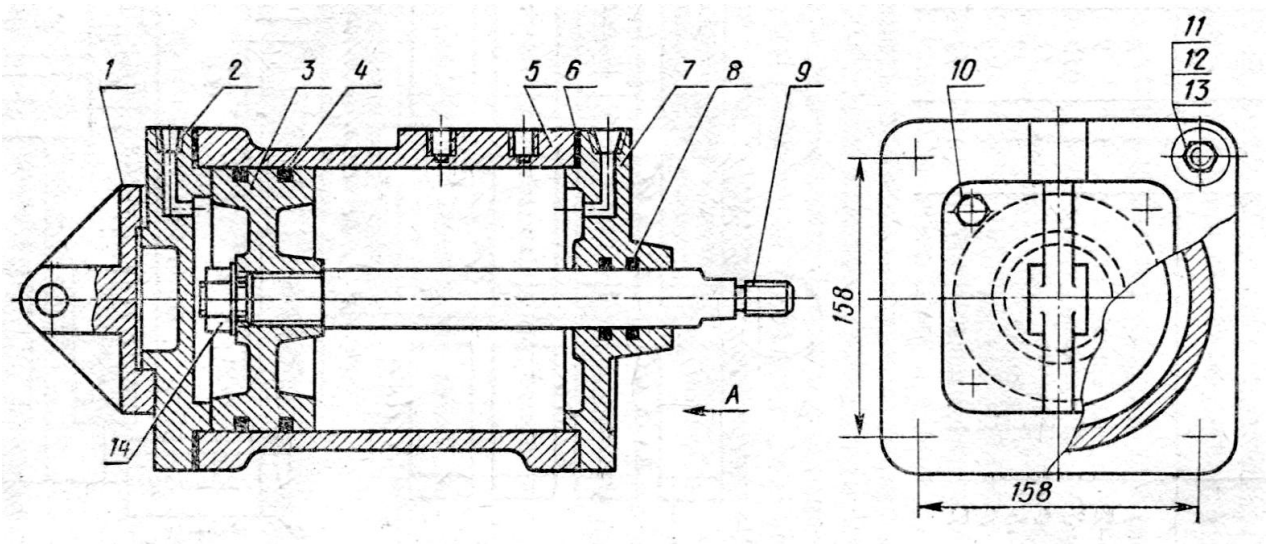


Рис. 8.1 − Пневматичний циліндр

Склад об'єкта складання наведено в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Складові елементи пневматичного циліндра

№ позиції деталі	Найменування деталі	Число деталей	№ позиції деталі	Найменування деталі	Число деталей
1	Фланець	1	8	Кільце	2
2	Кришка	1	9	Шток	1
3	Поршень	1	10	Болт М10×38	4
4	Кільце	2	11	Шпилька М12×42	8
5	Циліндр	1	12	Гайка М12	8
6	Прокладка	2	13	Шайба 12	8
7	Кришка	1	14	Гайка М20	1

Із розгляду складального креслення і проведеного технологічного аналізу конструкції виробу виявити складальні одиниці першого порядку, якими є: корпус із шпилькою (5 і 11); поршнештоковий вузол у складі поршня (3), кілець (4), штоку (9) і гайки (14); кришка передня з кільцями (7 і 8); кришка задня у з'єднанні з фланцем і болтами (1, 2, 10). Із розглянутих складальних одиниць роль базової виконує перша складальна одиниця (корпус у з'єднанні з шпильками). Деталі, що залишилися – прокладка (6), шайби і гайки (12 і 13) служать для з'єднання складальних одиниць і приймають участь у загальному складанні об'єкта.

В кожній складальній одиниці є базова деталь: Ск 1 – корпус, Ск 2 – поршень, Ск 3 – кришка передня, Ск 4 – кришка задня (рис. 8.2).

Розробка технологічної схеми складання виробу. Розділення об'єкта складання на складальні одиниці першого порядку і виявлення базової деталі, а також базової групи об'єкта дозволять скласти схему розбирання виробу (схему складальних одиниць об'єкта складання), так як це рекомендується у літературі і стандартах. Схема складання виробу показана на рис. 8.2. На цій схемі прийнято такі позначення: вертикальні лінії із стрілками означають послідовність складання складальних одиниць (вузлів), а горизонтальна лінія в центрі схеми – загальне складання виробу. В прямокутниках розміщені найменування деталей і номеру їх позицій, а в прямокутниках з потовщеною

лінією основи – найменування вузлів, в прямокутнику з двома потовщеними лініями – найменування виробу. Умовні позначення містять технологічні позначення: Ст – складання на стенді, Вр – складання на верстаку, К – кантування, С – свердлильні роботи, В – вимірювання, Конт – контроль, Фб – фарбування, Вп – випробування.

За схемою складання вузла (рис. 8.2) встановити зміст операції складання та її елементи (установи або позиії, переходи).

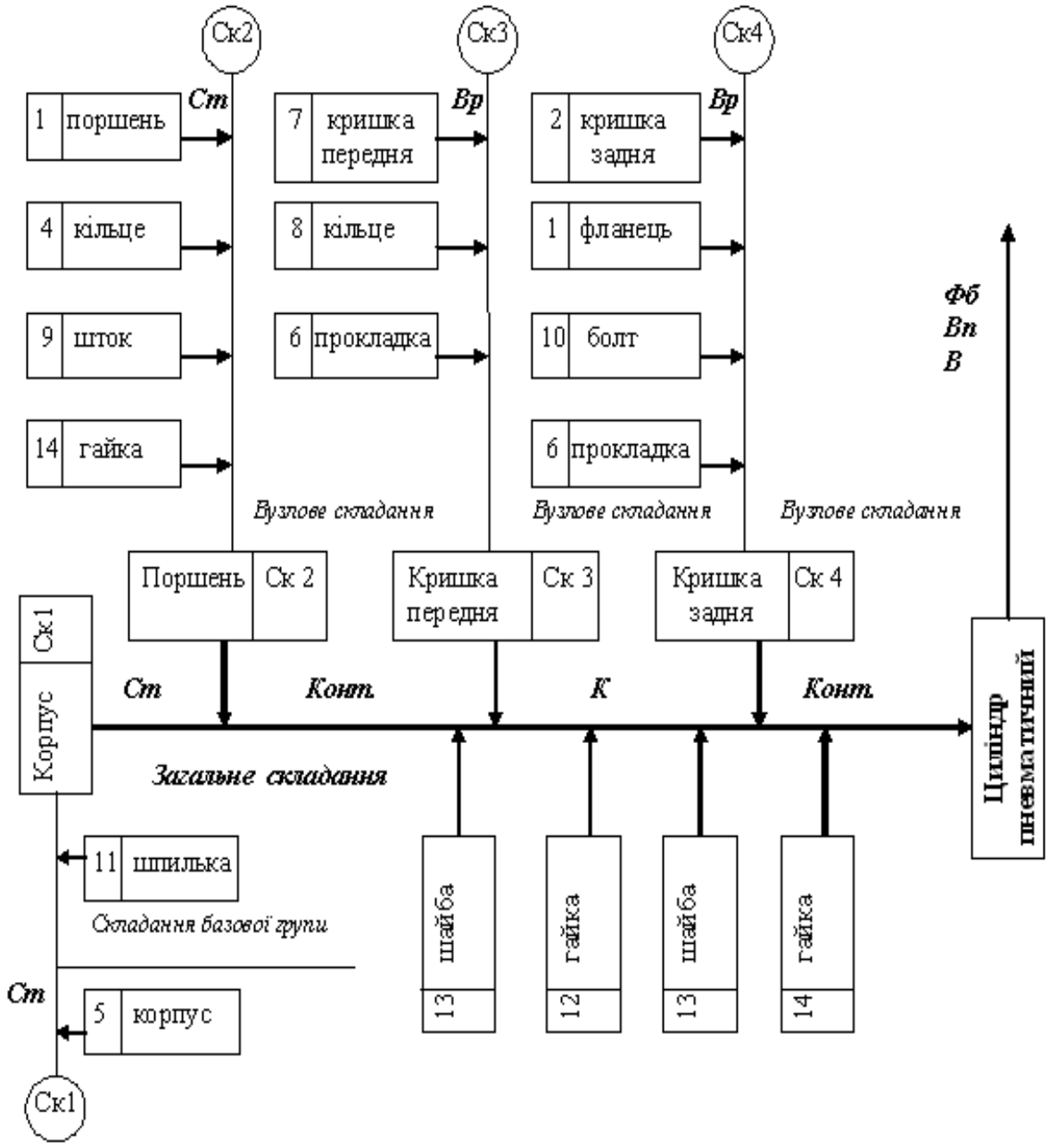


Рис. 8.2 – Складальна схема пневматичного циліндра

Проектування технологічного процесу складання. Зміст складальної операції визначають так, щоб на кожному робочому місці виконувалась однорідна за своїм характером і технологічно закінчена операція. Це дозволяє складальнику застосувати прогресивне технологічне оснащення і досягти високої ефективності. Розглядаючи операцію складання базової групи встановлюємо, що в цій складальній операції два установи або дві позиції, вісім технологічних складальних переходів за числом шпильок, що вкручуються, і ряд допоміжних переходів. Зміст складальної операції – закрутити в два торці корпусу по чотири шпильки. Зміст операції наведено у таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Технологічний процес складання пневматичного циліндра

№ переходу	Зміст переходу
1.	Очистити різьбові отвори від стружки
2.	Закрутити шпильку в отвір (з використанням одношпіндельного шпильковерта)
3.	Встановити корпус і закрутити його
4 – 6.	Повторити перехід 3 три рази
7.	Перевстановити корпус
8–11.	Повторити перехід 3 чотири рази
12.	Контроль роботи
13.	Зняти корпус і передати на наступну операцію

Висновки і пропозиції. В разі великих об’ємах випуску для виконання операції, що розглядається, доцільно використовувати автоматичні пристрої типу роботів, поворотні столи для виробів і послідовне загвинчування шпильок. Цю операцію можна виконати також на вертикально-свердлильному верстаті, використовуючи поворотний стіл для виробу і встановивши у шпинделі шпильковерт. Технологічні операції в процесах вузлового і загального складання фіксують в МК та ОК для слюсарних робіт, причому, правила їх оформлення аналогічні до правил оформлення процесів механічної обробки.

Зміст виконання завдання:

У відповідності з одержаним завданням – кресленням складальної одиниці:

1) розробити технологічну схему складання виробу із зображенням схеми;
2) спроектований технологічний процес складання;
3) оформити операційну карту складання.
4) зробити висновки і пропозиції.

Додаток 1 - Основні характеристики типів виробництва (довідкові)

Характеристика виробництва	**Тип виробництва**		
	одиничний	серійний (від дрібно - до великосерійного)	масовий
Номенклатура та обсяг випуску	Широка Малий	Незначна, з поступовим зменшенням номенклатури та збільшенням обсягу	Вузька Великий
Вид обладнання	Універсальне	Універсальне, верстати з ЧПК з поступовим підвищенням рівня автоматизації до напівавтоматів	Спеціальне, автомати, агрегатні верстати, багатошпиндельні верстати, автоматичні лінії
Пристрої	Універсальні	Універсальні, УСП, переналагоджувальні, та спеціальні	Спеціальні
Різальний інструмент	Універсальний	Універсальний, спеціалізований	Спеціальний, комбінований
Вимірювальний інструмент	Універсальний, шкальний	Універсальний, граничні калібри	Граничні калібри, комплексні контрольно-вимірювальні прилади (КВП)
Рівень глибини технологічних рішень	Маршрутний	Маршрутний, маршрутно-операційний, операційний	Маршрутний і обов’язково операційний
Види вихідних заготовок	Сортовий прокат різного профілю	Сортовий прокат, кування, литво	Штампування, литво, що забезпечують мінімальні припуски та максимальне наближення форми заготовки до форми деталі
Розташування обладнання	Дільниці за типами верстатів або видів роботи (токарна, фрезерна, складальна.)	Предметно-замкнуті дільниці для виготовлення групи технологічно подібних деталей, потокові лінії	Потокові лінії
Рівень кваліфікації основних робітників	Високий	Вимоги поступово знижуються, але зростає вимога до кваліфікації робітників, що налагоджують обладнання (додаткові робітники)	
Собівартість виробництва	Висока	Середня	Низька

Додаток 2 – Функція Лапласа

t	*Φ(t)*	*t*	*Φ(t)*	*t*	*Φ(t)*
0,00	0,0000	0,38	0,1480	1,05	0,3531
0,01	0,0040	0,39	0,1517	1,10	0,3643
0,02	0,0080	0,40	0,1554	1,15	0,3749
0,03	0,0120	0,41	0,1591	1,20	0,3849
0,04	0,0160	0,4	0,1628	1,25	0,3944
0,05	0,0199	0,43	0,1654	1,30	0,4032
0,06	0,0239	0,44	0,1700	1,35	0,4115
0,07	0,0279	0,45	0,1736	1,40	0,4192
0,08	0,0319	0,46	0,1762	1,45	0,4265
0,09	0,0359	0,47	0,1808	1,50	0,4332
0,10	0,0398	0,48	0,1844	1,55	0,4394
0,11	0,0438	0,49	0,1879	1,60	0,4452
0,12	0,0478	0,50	0,1915	1,65	0,4505
0,13	0,0517	0,52	0,1985	1,70	0,4554
0,14	0,0557	0,54	0,2054	1,75	0,4599
0,15	0,0596	0,56	0,2123	1,80	0,4641
0,16	0,0636	0,58	0,2190	1,85	0,4678
0,17	0,0675	0,60	0,2257	1,90	0,4713
0,18	0,0714	0,62	0,2324	1,95	0,4744
0,19	0,0753	0,64	0,2389	2,00	0,4772
0,20	0,0793	0,66	0,2454	2,10	0,4821
0,21	0,0832	0,68	0,2517	2,20	0,4861
0,22	0,0871	0,70	0,2580	2,30	0,4893
0,23	0,0910	0,72	0,2642	2,40	0,4918
0,24	0,0948	0,74	0,2703	2,50	0,4938
0,25	0,0987	0,76	0,2764	2,60	0,4953
0,26	0,1026	0,78	0,2823	2,70	0,4965
0,27	0,1064	0,80	0,2881	2,80	0,4974
0,28	0,1103	0,82	0,2939	2,90	0,4981
0,29	0,1141	0,84	0,2995	3,00	0,49865
0,30	0,1179	0,86	0,3051	3,20	0,49931
0,31	0,1217	0,88	0,3106	3,40	0,49966
0,32	0,1255	0,90	0,3159	3,60	0,499841
0,33	0,1293	0,92	0,3212	3,80	0,499928
0,34	0,1331	0,94	0,3264	4,00	0,499968
0,35	0,1368	0,96	0,3315	4,50	0,499997
0,36	0,1406	0,98	0,3365	5,00	0,499999
0,37	0,1443	1,00	0,3413		

Технологічні основи машинобудування [Текст]: Методичні вказівки до практичних занять для здобувачів першого рівня вищої освіти освітньої програми «Прикладна
Т38 механіка» галузь знань галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності G9 Прикладна механіка усіх форм навчання / уклад. Т.Н. Гальчук. – Луцьк: ЛНТУ, 2026. 48 с.

Методичне видання до практичних занять з дисципліни «Технологічні основи машинобудування» містять теоретичні відомості, приклади виконання, варіанти завдань, довідникові матеріали.

Призначене для здобувачів вищої освіти спеціальності G9 Прикладна механіка освітньої програми «Прикладна механіка».

Комп’ютерний набір Т.Н. Гальчук

Редактор Т.Н. Гальчук

Підп. до друку 30 .10. 2026р.
Формат 60х84/16. Папір офс. Гарнітура Таймс.
Ум. друк. арк. 3,00. Тираж 50 прим. Зам.

Відділ іміджу та промоції
Луцького національного технічного університету
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75
Друк – ВІП ЛНТУ