

Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний технічний університет

Методичні вказівки  
до виконання практичних занять з дисципліни  
«Технологічні основи машинобудування»  
для студентів напрямів підготовки 6.050502, 6.050503  
спеціальностей:  
«Технологія машинобудування»,  
«Металорізальні верстати та системи»,  
«Колісні та гусеничні транспортні засоби»  
всіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни «Технологічні основи машинобудування» для студентів напрямів підготовки 6.050502, 6.050503 спеціальностей: «Технологія машинобудування», «Металорізальні верстати та системи», «Колісні та гусеничні транспортні засоби» / Укл.: Гончар Н.В. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015 – 53 с.\*

Укладач: Н.В. Гончар, доц., к.т.н.

Рецензент: Ю.М. Внуков, проф., д.т.н.

Відповідальний за випуск: С.І. Дядя, доц., к.т.н.

Затверджено на засіданні кафедри

"Технології машинобудування"  
протокол № 5 від 8 грудня 2015 р.

---

\* Методичні вказівки складено на основі «Методичних вказівок до виконання практичних занять з дисциплін «Основи технології машинобудування», «Технологія машинобудування», «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин для студентів спеціальностей: 7.090202 – технологія машинобудування, 7.090203 – металорізальні верстати та системи, 7.090211 – колісні та гусеничні транспортні засоби, всіх форм навчання // Укл.: В. Д. Хорошков (перевидання 3-е). Під ред. Ципака В.І., Гончар Н.В. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011 – 71 с.»

## З М І С Т

**Жорсткість технологічних систем**

<u>Практичне заняття 1.</u> Розрахунок погрішностей, обумовлених пружними відтисненнями.....	5
<u>Практичне заняття 2.</u> Прогнозування очікуваної погрішності форми оброблюваної поверхні .....	14

**Зношення різального інструменту**

<u>Практичне заняття 3.</u> Вплив зношення інструменту на точність розміру при обробці партії заготовок на налаштованому верстаті.....	22
--	----

**Шорсткість поверхні**

<u>Практичне заняття 4.</u> Оцінка показників шорсткості за профілограмою поверхні.....	29
---	----

**Методи забезпечення точності замикаючої ланки  
розмірного ланцюга при складанні**

<u>Практичне заняття 5.</u> Забезпечення точності замикаючої ланки методом повної взаємозамінності.....	38
<u>Практичне заняття 6.</u> Забезпечення точності замикаючої ланки методом неповної взаємозамінності.....	46

Дані методичні вказівки призначено для надання допомоги студентам під час роботи над курсом «Технологічні основи машинобудування».

Загальний напрямок практичних занять полягає у придбанні практичних навичок в технологічній діагностиці і прогнозуванні очікуваних погрішностей обробки заготовок.

До методичних вказівок включено також розділи лекційного курсу: жорсткість технологічних систем, вплив зношення різального інструменту на точність обробки, шорсткість поверхні, методи забезпечення точності замикаючої ланки складальних розмірних ланцюгів.

Методичні вказівки містять: основні теоретичні положення за темою заняття, приклад розв'язання задачі, індивідуальні завдання, контрольні запитання, необхідні довідкові данні.

## Жорсткість технологічних систем

### Практичне заняття 1

## РОЗРАХУНОК ПОГРІШНОСТЕЙ, ОБУМОВЛЕНИХ ПРУЖНИМИ ВІДТИСНЕННЯМИ

Мета роботи – оволодіти методикою розрахунку пружних відтискань, зумовлених непостійністю глибини різання та твердості заготовок.

### 1.1 Короткі теоретичні відомості

При обробці заготовок різанням виникають пружні відтиснення:

$$y = \frac{P_y}{j} \quad (1.1)$$

де  $P_y$  – складова сили різання;  
 $j$  – жорсткість верстата.

При точінні складова сили різання:

$$P_y = 10C_{Py} \cdot t^{x_{py}} \cdot S^{y_{py}} \cdot V^{n_{py}} \cdot K_{Py} \quad (1.2)$$

$$K_{Py} = K_{MP} \cdot K_{\phi P} \cdot K_{\gamma P} \cdot K_{\lambda P} \cdot K_{rP} \quad (1.3)$$

Значення  $C_{Py}$  і показників  $x_{py}$ ,  $y_{py}$ ,  $n_{py}$  представлено в табл. 1.1. Коефіцієнт  $K_{MP}$  знаходять за даними табл. 1.2 і 1.3. Значення коефіцієнтів  $K_{\phi P}$ ,  $K_{\gamma P}$ ,  $K_{\lambda P}$ ,  $K_{rP}$  представлено в табл. 1.4.

Непостійність сили  $P_y$  обумовлюється непостійністю глибини різання  $t$  або непостійністю параметру границі міцності  $\sigma_e$  для сталей і твердості  $HB$  для чавунів.

Глибина різання залежить від дійсного значення діаметру заготовки. Наприклад:

$$t_{HB} = \frac{d_{3HB} - d_0}{2}; \quad t_{HM} = \frac{d_{3HM} - d_{0HB}}{2}; \quad \bar{t} = \frac{t_{HB} + t_{HM}}{2} \quad (1.4)$$

де  $d_3$ ,  $d_0$  – відповідно, розмір вихідної і обробленої заготовки.

У результаті зміни значень  $t$  від  $t_{HM}$  до  $t_{HB}$  змінюється від  $P_{yHM}$  до  $P_{yHB}$ , відтиснення  $y$  від  $u_{HM}$  до  $u_{HB}$ , і погрішності – від  $\Delta d_{HM}=2u_{HM}$  до  $\Delta d_{HB}=2u_{HB}$ . При цьому поле розсіяння

погрішностей, що спричинюється тільки непостійністю  $t$  дорівнює:

$$\omega'_{\Delta d} = \Delta d'_{НБ} - \Delta d'_{НМ} \quad (1.5)$$

Якщо ж при обробці заготовок  $t = \text{const}$ , то на розсіяння погрішностей буде діяти фактор непостійності  $\sigma_6$ . В результаті формується друге поле розсіяння погрішностей:

$$\omega''_{\Delta d} = \Delta d''_{НБ} - \Delta d''_{НМ} \quad (1.6)$$

Оскільки значення  $t$  і  $\sigma_6$  є випадковими величинами та діють при обробці кожної заготовки одночасно, то формується сумарне поле розсіяння погрішностей:

$$\omega_{\Sigma \Delta d} = \sqrt{(\omega'_{\Delta d})^2 + (\omega''_{\Delta d})^2} \quad (1.7)$$

Якщо  $\omega_{\Sigma \Delta d} > Td$ , то брак неминучий, якщо умови обробки залишаться незмінними. Для усунення браку необхідно прийняти ряд рішень, спрямованих на виконання умови  $\omega_{\Sigma \Delta d} < Td$ .

Рішення можуть бути такими.

1. Підвищення точності заготовок, що стабілізує глибину різання.
2. Стабілізація твердості заготовок, що робить постійною силу  $P_y$ .
3. Підвищення жорсткості верстата  $j$ , що веде до зменшення значень  $\omega_{\Sigma \Delta d}$ , при незмінних інших умовах обробки.

Можливі і інші рішення.

Якщо  $\omega_{\Sigma \Delta d} < Td$ , то брак також можливий, але тільки за рахунок неправильної настройки на розмір. Коректуванням настройки можна повністю вилучити брак.

Те чи інше рішення приймається в залежності від конкретної виробничої обстановки.

## 1.2 Приклад розв'язання задачі

Вихідні дані. На налажданому верстаті проточується шийка валу в розмір  $\varnothing 90_{-0,2}$ . Розмір заготовки  $\varnothing 100 \pm 3$ . Матеріал – сталь з  $\sigma_6 = 750 (\pm 5) \text{ МПа}$ . Режим обробки:  $V = 50 \text{ м/хв.}$ ;  $S = 0,5 \text{ мм/об.}$  Різальний матеріал – швидкоріжуча сталь. Кути різця:  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\gamma = 20^\circ$ ,  $\lambda = 0$ . Радіус при вершині  $r = 2 \text{ мм}$ . Жорсткість верстата  $j =$

2500 Н/мм.

Постановка задачі. Розрахувати поле розсіяння погрішностей  $\omega'_{\Delta d}$  зумовлене нестабільністю припусків, поле  $\omega''_{\Delta d}$ , що спричинене нестабільністю значень  $\sigma_e$ , та сумарне поле  $\omega_{\Sigma \Delta d}$ , що зумовлене дією двох цих факторів. Рекомендувати настройкові розміри, що забезпечать відсутність чи мінімальне значення браку.

Порядок розв'язання задачі.

1.2.1. Розраховуємо значення глибини різання (1.4):

$$t_{HB} = \frac{103 - 89,8}{2} = 6,6 \text{ мм}; \quad t_{HM} = \frac{97 - 90}{2} = 3,5 \text{ мм};$$

$$\bar{t} = 5,05 \text{ мм}$$

1.2.2. Розраховуємо значення коефіцієнта  $K_{MP}$  при різних значеннях  $\sigma_e$ , використовуючи табл. 1.2 і 1.3:

$$K_{MP}^{HM} = \left(\frac{700}{750}\right)^2 = 0,87; \quad K_{MP}^{HB} = \left(\frac{800}{750}\right)^2 = 1,14; \quad \bar{K}_{MP} = \left(\frac{750}{750}\right)^2 = 1$$

1.2.3. Розраховуємо значення коефіцієнта  $K_{Py}$ , використовуючи формулу (1.3) та дані табл. 1.4 при значенні коефіцієнтів:

$K_{\phi P} = 1; K_{\gamma P} = 1; K_{\lambda P} = 1, K_{rP} = 1;$

$$K_{Py}^{HM} = 0,87 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,87;$$

$$K_{Py}^{HB} = 1,14 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,14;$$

$$\bar{K}_{Py} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1.$$

1.2.4. Розраховуємо сили  $P_V$  при перемінній глибині різання  $t$  і постійному значенні  $\sigma_e = \bar{\sigma}_e$  (що враховано в середньому значенні  $\bar{K}_{Py}$ ), за формулою (1.2) і табл. 1.1:

$$P'_{yHB} = 10 \cdot 125 \cdot 6,6^1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 50^0 \cdot 1 = 4860 \text{ Н};$$

$$P'_{yHM} = 10 \cdot 125 \cdot 3,5^1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 50^0 \cdot 1 = 2580 \text{ Н}.$$

1.2.5. Розраховуємо пружні відтиснення  $y$  і погрішності  $\Delta d$ , що виникають тільки через непостійність  $t$  при жорсткості верстата  $j = 25000 \text{ Н/мм}$ . Використовуємо формулу (1.1):

$$y'_{HB} = \frac{4860}{25000} = 0,194 \text{ мм}; \quad \Delta d'_{HB} = 2 \cdot y''_{H\sigma} = 0,388 \text{ мм};$$

Таблиця 1.1 – Показники для розрахунку сили  $P_y$  при точінні

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 HB 190	Твердий сплав		54	1,0	0,75	0
Чавун ковкий HB 150			43	1,0	0,75	0

Таблиця 1.2 – 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 1.3 – Показник ступеня  $n_p$  в формулах для  $K_{MP}$  (табл. 1.2)

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



**Таблиця 1.4 – Поправочні коефіцієнти, що враховують геометрію ріжучого інструменту при розрахунку сили  $P_y$**

Кути та їх значення		Матеріал різального інструменту	Коефіцієнти та їх значення	
Головний кут, град $\varphi$	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 $\gamma$	-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 $\lambda$ 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 $K_{rP} = 1$				

$$y'_{HM} = \frac{2580}{25000} = 0,103\text{мм}; \quad \Delta d'_{HM} = 0,206\text{мм};$$

Поле розсіяння погрешностей, зумовлене пружними відтисненнями, що виникають тільки через нестабільність значень  $t$ , дорівнює:

$$\omega_{\Delta d} = 0,388 - 0,206 = 0,182 \text{ мм}$$

1.2.6. Розраховуємо сили  $P''_y$  при змінному  $\sigma_b$  і постійному  $t = \bar{t}$ . Значення коефіцієнта  $K_{MP}$  наведено в п.1.2.3 розв'язання цієї задачі:

$$P''_{y_{HB}} = 10 \cdot 125 \cdot 5,05^1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 50^0 \cdot 1,14 = 4270 \text{ Н};$$

$$P''_{y_{HM}} = 10 \cdot 125 \cdot 5,05^1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 50^0 \cdot 0,87 = 3240 \text{ Н}.$$

При  $\bar{t}$  і  $\bar{\sigma}_b$  середнє значення сили різання:

$$\bar{P}_y = 10 \cdot 125 \cdot 5,05^1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 50^0 \cdot 1 = 3740 \text{ Н}$$

1.2.7. Розраховуємо пружні відтиснення  $y''$  і погрішності  $\Delta d''$  при  $t = \bar{t} = const$  та змінному  $\sigma_b$ :

$$y''_{HB} = \frac{4240}{25000} = 0,167 \text{ мм}; \quad \Delta d''_{HB} = 0,334 \text{ мм};$$

$$y''_{HM} = \frac{3240}{25000} = 0,127 \text{ мм}; \quad \Delta d''_{HM} = 0,254 \text{ мм}.$$

Поле розсіяння погрішностей, зумовлене тільки непостійністю значення  $\sigma_b$ , дорівнює:

$$\omega''_{\Delta d} = 0,334 - 0,254 = 0,080 \text{ мм}.$$

1.2.8. Розраховуємо за формулою (1.7) сумарне (композиційне) поле розсіяння погрішностей:

$$\omega_{\Sigma \Delta d} = \sqrt{(0,182)^2 + (0,080)^2} = 0,199 \approx 0,2 \text{ мм}.$$

1.2.9. Розраховуємо середні значення  $\bar{y}$  і  $\bar{\Delta d}$  з середнього значення  $\bar{P}_y$  (п.1.2.6):

$$\bar{y} = \frac{3740}{25000} = 0,149 \text{ мм}; \quad \bar{\Delta d} = 0,298 \text{ мм}.$$

1.2.10. Розрахунок настройкового розміру.

Перш за все відзначимо, що на даній операції немає запасу точності, оскільки  $\omega_{\Sigma \Delta d} = 0,2 = Td$ .

Найліпше, чого можна досягти, це вилучити непоправний брак і мінімізувати поправний брак. Це можна забезпечити шляхом правильного вибору і забезпечення настройкового розміру  $d_H$ . Скористаємось для розрахунку  $d_H$  схемою, поданою на рис. 1.1. Для вилучення непоправного браку в процесі обробки необхідно забезпечити кривій розподілу погрішностей положення 1, при

якому нижня трисигмальна межа поля  $\omega_{\Sigma\Delta d}$  співпадає з нижньою границею допуску. Це положення буде забезпечуватись, якщо настройковий розмір при настройці буде:

$$d_H = d_{HM} + 3\sigma_{\Delta d} - \Delta\bar{d} = 89,8 + 0,1 - 0,298 = 89,602 \text{ мм}.$$

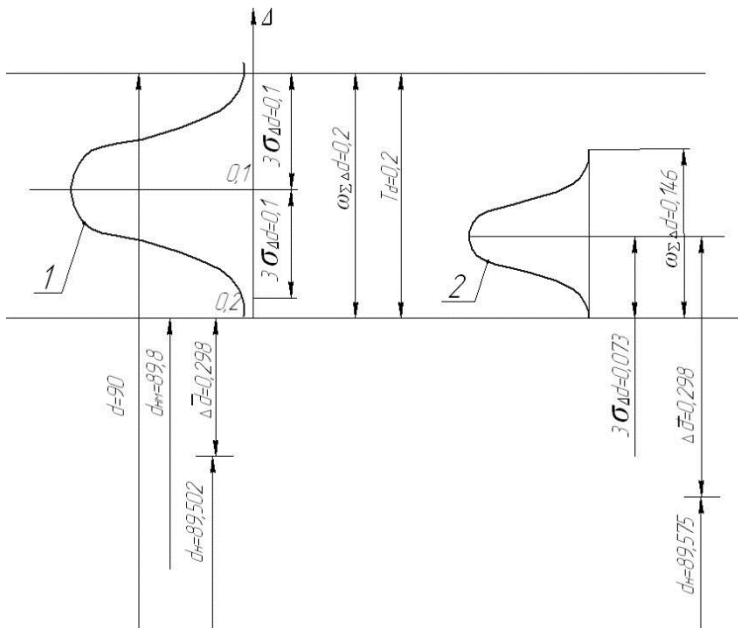


Рисунок 1.1 – Розрахункова схема для визначення найстройкового розміру

Очевидно, що впродовж обробки заготовки поле  $\omega_{\Sigma\Delta d}$  почне за рахунок зношення інструмента зміщуватись в сторону верхньої границі поля допуску і з'явиться поправний брак. Це станеться зразу ж, оскільки запасу точності немає.

Виправити положення можна тільки зменшивши значення  $\omega_{\Sigma\Delta d}$  зокрема, підвищенням точності заготовок. Розрахунки доводять, що при розмірі заготовки  $\varnothing 100 \pm 2$ , замість  $\varnothing 100 \pm 3$  поле розсіяння зменшується до значення  $\omega_{\Sigma\Delta d} = 0,146 \text{ мм}$  ( $\omega_{\Sigma\Delta d} < Td$ ), що забезпечує запас точності:

$$\Delta_T = Td - \omega_{\Sigma\Delta d} = 0,2 - 0,146 = 0,054 \text{ мм}.$$

Таблиця 1.5 – Вихідні дані для рішення задачі № 4

Номер варіанта	Оброблюваний матеріал	Виконавчий розмір		Жорсткість верстата j, Н/мм	Режим		Матеріал інструменту	Геометрія різця			
					V	S		$\varphi$	$\gamma$	$\lambda$	r
		м/хв	мм/об		заготовки	деталі					
1	Сталь $\sigma_B = 750 \pm 50$ МПа	100±5	90-0,3	20000	50	0,3	Швидкоріжуча сталь	90	20	0	0,5
2		100±4									
3		100±3									
4		100±2									
5		100±4	90-0,2	25000	70	0,4	Твердий сплав	90	10	5	2,0
6		100±3									
7		100±2									
8		100±3	90-0,3	15000	50	0,7	Швидкоріжуча сталь	90	20	0	1,0
9		100±2						0,5	0,5		
10		100±2	95-0,2								
11	Чавун сірий 180...200 HB	100±4	90-0,3	25000	70	0,5	Твердий сплав	45	10	5	3,0
12		20000									
13		15000									
14		25000									
15		100±2	90-0,2	20000	50	0,5	Твердий сплав	60	10	-5	1,0
16		25000									
17		15000									
18		25000									
19		100±3									
20		100±2		20000				70	0,3	30	
21	100±3	50	0,5	Твердий сплав	90	0	-5	2,0			
22	Чавун ковкий 140...160 HB	95-0,3	20000		50	0,5	90		0	-5	
			15000	70	0,4		10	5			

Щоб забезпечити для кривої розподілу положення 2 необхідно інструмент настроювати на розмір:

$$d_H = d_{HM} + 3\sigma_{\Delta d} - \Delta \bar{d} = 89,8 - 0,5 \cdot 0,146 - 0,298 = 89,575 \text{ мм}$$

### 1.3 Індивідуальне завдання

Завдання за варіантами подано в табл. 1.5.

Задаються: оброблюваний матеріал, жорсткість верстата, матеріал ріжучої частини інструменту, режими обробки і геометрія ріжучої частини інструменту.

### 1.4 Контрольні запитання

1. Що розуміють під жорсткістю і податливістю системи Верстат-Пристосування-Інструмент-Деталь?
2. Чому при обробці заготовок на наладнаних верстатах виникає явище розсіяння погрішностей?
3. Які основні шляхи зменшення сумарного поля розсіяння погрішностей?
4. Як розраховується настройковий розмір?
5. За рахунок чого можна забезпечити більш високу стабільність розмірів оброблюваних заготовок?
6. Основні розрахункові формули при оцінці поля розсіяння погрішностей.

Практичне заняття 2  
**ПРОГНОЗУВАННЯ ОЧІКУВАНОЇ ПОХИБКИ  
 ФОРМИ ОБРОБЛЮВАНОЇ ПОВЕРХНІ**

Мета роботи – навчитися розраховувати похибку форми заготовки в залежності від її конструктивних параметрів і способу установки на верстаті.

**2.1 Основні теоретичні положення**

Жорсткість деталі  $j_d$  залежить від її конструктивних параметрів і від способу встановлення на верстаті. При малій жорсткості під дією сил різання заготовка прогинається, внаслідок чого утворюється похибка форми. Розглянемо це явище на прикладі токарної обробки гладкого валу при різних варіантах його встановлення: у патроні і задньому центрі (рис. 2.1), у передньому і задньому центрах (рис. 2.2), у патроні (рис. 2.3).

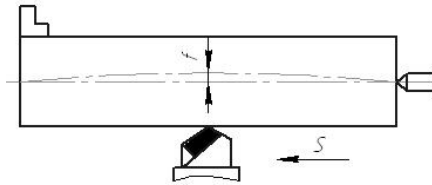


Рисунок 2.1 – Встановлення валу в патроні і задньому центрі

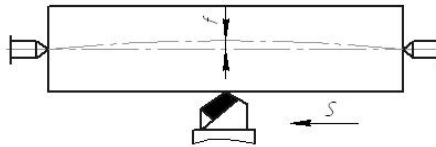


Рисунок 2.2 – Встановлення валу в передньому і задньому центрах

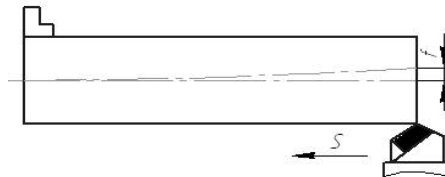


Рисунок 2.3 – Встановлення валу в патроні

Формули для розрахунку жорсткості  $j_{dem}$  і стріли прогину  $f$

подано у табл. 2.1.

**Таблиця 2.1 – Формули для розрахунку  $j_d$  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. 2.1 прийнято такі позначення:

$P_y$  – радіальна складова сили різання, Н;

$L$  – довжина заготовки, мм;

$E$  – модуль пружності матеріалу:

для сталі  $E=2 \cdot 10^5 \dots 2,2 \cdot 10^5$  МПа;

для чавуна  $E=0,75 \cdot 10^5 \dots 1,6 \cdot 10^5$  МПа;

$J$  – момент інерції, мм<sup>4</sup>:

для круглого перерізу:

$$J = 0,05 \cdot d^4; \quad (2.1)$$

для кільцевого перерізу:

$$J = 0,05 \cdot d^4 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{D}{d} \right)^4 \right] \quad (2.2)$$

де  $d$  – діаметр зовнішньої поверхні, мм;

$D$  – діаметр отвору, мм.

Якщо конструктором у технічних вимогах задано допустиме значення поздовжньої похибки форми  $[\Delta_\phi]$ , то виходячи, наприклад, з формули:

$$[\Delta_\phi] = 2 \cdot f = \frac{2 \cdot [P_y] \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot J} = A \cdot [P_y] \quad (2.3)$$

можна розрахувати допустиме значення:

$$[P_y] = \frac{48 \cdot E \cdot J}{2 \cdot L^3} \cdot [\Delta_\phi] \quad (2.4)$$

на підставі формули:

$$P_Y = 10 \cdot C_{PY} \cdot t^{x_{PY}} \cdot S^{y_{PY}} \cdot V^{n_{PY}} \cdot K_{PY} \quad (2.5)$$

де коефіцієнт  $K_{PY}$  розраховується за формулою (1.3).

Технолог може підібрати такі значення  $t$ ,  $S$ ,  $V$  і  $K_{PY}$ , які забезпечать  $\Delta\phi < [\Delta\phi]$  та визначити продуктивність.

## 2.2 Приклад розв'язання задачі

Постановка задачі. Розрахувати очікувану похибку форми  $\Delta\phi$  у поздовжньому перерізі деталі при заданих умовах обробки для кожного з трьох способів її устанавлення. Призначити режими різання і геометрію інструменту, що забезпечують виконання умови  $\Delta\phi < 0,5 \cdot Td$  при кожному способі устанавлення. Розрахувати норму машинного часу  $t_0$  для кожного способу.

Вихідні дані. Операція токарна. На токарному одношпиндельному напівавтоматі точити вісь у розмір  $\varnothing 28_{-0,1}$ . Параметри заготовки: матеріал – сталь з  $\sigma_e = 750$  МПа,  $d_3 = 30$  мм,  $D_3 = 20$  мм,  $L_1 = 200$  мм,  $L_2 = 250$  мм,  $L_3 = 300$  мм, модуль пружності  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа. Різальний матеріал – швидкоріжуча сталь. Режими:  $V = 65$  м/хв.,  $S = 0,5$  мм/об. Геометрія інструмента:  $\phi = 60^\circ$ ,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\lambda = -5^\circ$ ,  $r = 1$  мм.

Порядок розв'язання задачі.

2.2.1. Розрахуємо силу різання  $P_Y$  за формулою (1.2).

За таблицею 1.1 знаходимо коефіцієнти:  $C_{PY} = 125$ ,  $x_{PY} = 1,0$ ,  $y_{PY} = 0,75$ ,  $n_{PY} = 0$ .

За таблицями 1.2 і 1.3 знаходимо  $K_{MP} = 1$ ,  $K_{\phi P} = 0,7$ ,  $K_{\gamma P} = 1,6$ ,  $K_{\lambda P} = 0,75$ ,  $K_{rP} = 0,82$ .

Тоді, за формулою (1.3)  $K_{PY} = 1 \cdot 0,7 \cdot 1,6 \cdot 0,75 \cdot 0,82 = 0,69$

і за формулою (1.2)  $P_Y = 10 \cdot 125 \cdot 1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 65^0 \cdot 0,69 = 862,5$  Н.

2.2.2. Розраховуємо очікувані значення похибки  $\Delta\phi$  при різних значеннях  $L$ , використовуючи формули табл. 2.1.

За формулою (2.2) розрахуємо значення моменту інерції.

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

Тоді при встановленні заготовки в патроні та задньому центрі, при  $L = 200$  мм:



$$\Delta_{\phi} = 2 \cdot f = \frac{2 \cdot 862,5 \cdot 200^3}{100 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 41943} = 0,012 \text{ мм};$$

при  $L_2=250$  мм,  $\Delta_{\phi}=0,025$  мм;

при  $L_3=300$  мм,  $\Delta_{\phi}=0,043$  мм.

При встановленні в центрах:

при  $L_1=200$  мм,  $\Delta_{\phi}=0,026$  мм;

при  $L_2=250$  мм,  $\Delta_{\phi}=0,051$  мм;

при  $L_3=300$  мм,  $\Delta_{\phi}=0,089$  мм.

При встановленні в патроні:

при  $L_1=200$  мм,  $\Delta_{\phi}=0,421$  мм;

при  $L_2=250$  мм,  $\Delta_{\phi}=0,822$  мм;

при  $L_3=300$  мм,  $\Delta_{\phi}=1,421$  мм.

2.2.3. Оформити таблицю 2.2.

**Таблиця 2.2 – 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

2.2.4. Формулюємо висновки і рекомендації.

1) Виходячи з вимоги  $[\Delta_{\phi}] < 0,5 \cdot Td = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05$  мм, бачимо, що тільки при встановленні заготовки у патроні та задньому центрі забезпечується  $\Delta_{\phi} < 0,5 \cdot Td$  мм при усіх заданих значеннях  $L$ .

2) При встановленні в центрах вимога не забезпечується для заготовок з  $L=300$  мм і призначенні  $S=0,5$  мм/об. Допустиме значення подачі  $[S]$  розраховується так. Знайдемо допустиму силу різання за умови допустимої погрішності форми. Підставляємо у формулу (2.4) допустиме значення  $[\Delta_{\phi}] = 0,05$  і знаходимо:

$$[P_v] = \frac{48 \cdot E \cdot J \cdot [\Delta_{\phi}]}{2 \cdot L^3} = \frac{48 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 32500 \cdot 0,05}{2 \cdot 300^3} = 289 \text{ Н}$$

Використовуючи формулу (2.5) запишемо:

$$[P_y] = 10 \cdot 125 \cdot [S]^{0,75} \cdot 65^\circ \cdot 0,69 = 289 \text{ Н}$$

$$[S]^{0,75} = \frac{289}{10 \cdot 125 \cdot 0,69} = 0,335$$

$$[S] = \sqrt[0,75]{0,335} = 0,232 \text{ мм/об}$$

Приймаємо допустиме значення  $[S] = 0,2$  мм/об. Тобто ця подача забезпечить обробку вала довжиною 300 мм у центрах з похибкою форми, нижче допустимої.

Така подача знижує продуктивність більше, ніж в 2 рази.

3) Очевидно, що обробка у патроні недопустима через великі значення  $\Delta\phi$ . Розрахунки доводять, що, наприклад, при  $L=200$  мм для забезпечення  $\Delta\phi = 0,05$  мм слід приймати подачу  $S = 0,04$  мм/об, а при  $L = 300$  мм –  $S = 0,03$  мм/об.

2.2.5. Будемо графічні залежності  $\Delta\phi = f [L]$  при заданих у задачі вихідних даних (рис. 2.4).

За допомогою цих залежностей можна без додаткових розрахунків встановити  $[L]$  при різних значеннях  $[\Delta\phi]$ . Наприклад, якщо  $[\Delta\phi]=0,025$  мм, то при встановленні цієї заготовки в патрон і центр  $[L] \leq 255$  мм, а при установленні в передньому та задньому центрах  $[L] < 200$  мм.

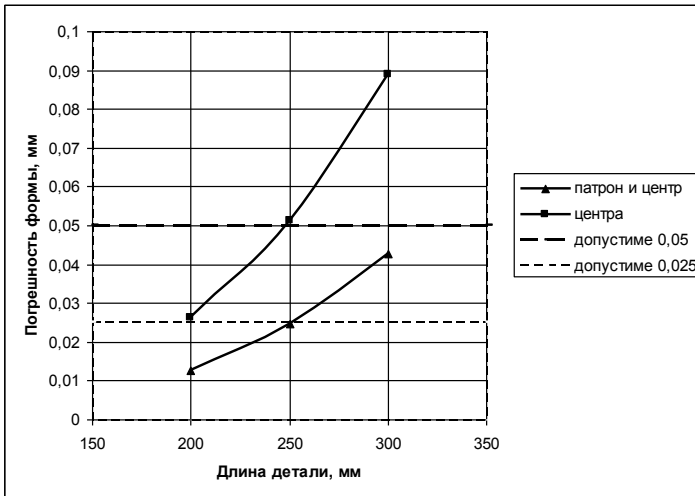


Рисунок 2.4 – Розрахункові значення

2.2.6. Розрахуємо основний час  $t_o$  обробки даної поверхні деталі за формулою:

$$t_o = \frac{L_{p.x.}}{S \cdot n} \cdot i \quad (2.6)$$

де  $L_{p.x.}$  – довжина робочого ходу, мм, дорівнює сумі довжин – врізання (2...3 мм), перебігу (2...3 мм) та оброблюємої довжини деталі  $L$ ;

$S$  – подача, мм/об;

$n$  – частота обертання, об/хв:  $n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 65}{3,14 \cdot 30} = 690$  об/хв;

$i$  – кількість проходів.

Для вала довжиною 300 мм розраховуємо  $t_o$ .

а) при установці в патроні та задньому центрі:

$S=0,5$  мм/об;

$$t_o = \frac{300 + 3 + 3}{0,5 \cdot 690} \cdot 1 = 0,89 \text{ хв};$$

б) при установці в центрах:

$S=0,3$  мм/об;

$$t_o = \frac{300 + 3 + 3}{0,3 \cdot 690} \cdot 1 = 2,21 \text{ хв (в 2 раз падає продуктивність ніж у}$$

першому випадку);

в) при установці в центрах:

$S=0,02$  мм/об;

$$t_o = \frac{300 + 3 + 3}{0,02 \cdot 690} \cdot 1 = 22,17 \text{ хв (в 25 разів падає продуктивність)}.$$

### 2.3 Індивідуальні завдання

Завдання за варіантами подано в табл. 2.3. Задаються:  $\sigma_s$  для сталей і  $HB$  для чавунів; зовнішній діаметр  $d$ ; діаметр отвору  $D$  і довжина  $L$  заготовки; допуск на розмір –  $Td$  і на похибки форми  $\Delta_\phi$  деталі; параметри геометрії різця:  $\phi$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$  і радіус при вершині  $r$ ; різальний матеріал – швидкоріжуча сталь (ШС) чи твердий сплав (ТС); режими обробки –  $V$ ,  $S$  і  $t$ .

Таблиця 2.3 – Вихідні дані до розв’язання задачі № 1

Варіант	Параметри заготовки											Допуск		Різальний мат-л	Геометрія різця				Режим різання			
	$\sigma_b$	HB	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$Td$	$T\Delta_\phi$		$\varphi$	$\gamma$	$\lambda$	$r$	$V$	$S$	$t$	
	МПа		мм												мм	мм	град.			мм	м/хв	мм/об
1	850	-	25	30	35	0			200			0,1	0,025	ТС	90	-15	10	2,0	75	0,4	1,5	
2			30	40	50	20			300												1,0	
3			30	40	50	25			300										60	0,3	1,0	
4			20	25	30	0			250												1,2	
5	600	-		30		0			200	250	300	0,05	0,03	ШС	45	0	-5	0,5	80	0,4	1,0	
6				35		0			200	250	300				60	0	0				1,5	
7				30		0			200	250	300				90	10	-5	1,0			1,0	
8				35		0			200	250	300				45	10	5				1,5	
9,10	900	-	25			0			200	250	300	0,1	0,03	ШС, ТС	90	0	-5	0,5	65	0,5	1,5	
11,12	750	-	30			0			200	250	300				60		0	0				1,0
13,14			35			0			200	250	300				45		0	0				1,0
15,16	750	-	30			15	20	25	200			0,1	0,05	ШС, ТС	90	10	5	1,0	65	0,5	1,0	
17,18			40			20	25	30	300						60							
19,20			50			20	30	40	300						45							
21,22		150		30		20			200	300	400	0,1	0,05	ШС, ТС	90	0	5	2,0	75	0,5	1,0	
23,24		180		40		30			250, 300						45	10	0				1,5	
25		220		50		40			250, 300						30	0	-5				1,2	

Примітка: 1. У варіантах 1...12 і 21...24 різальний матеріал: непарні варіанти – ШС, а парні – ТС

## 2.4 Контрольні питання

1. Як розраховується очікувана похибка форми  $\Delta_\phi$  при різних способах установки валів?
2. Які параметри конструкції деталі впливають на похибку  $\Delta_\phi$ ?
3. Який параметр  $V$ ,  $S$  і  $t$  у найбільшій мірі впливає на утворення похибки  $\Delta_\phi$ ?
4. Якщо при заданому способі устанавлення заготовки вичерпані можливості забезпечення вимоги  $\Delta_\phi < [\Delta_\phi]$  за рахунок підбору  $S$ ,  $V$  і параметрів геометрії інструмента, то як можна забезпечити  $[\Delta_\phi]$ ?
5. За допомогою яких пристосувань і схем різання можна зменшити  $\Delta_\phi$  при обробці валів і осей?
6. Чи можна за рахунок збільшення числа проходів забезпечити зменшення значення  $\Delta_\phi$ ?

## Зношення різального інструменту

### Практичне заняття 3

## ВПЛИВ ЗНОШЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ НА ТОЧНІСТЬ РОЗМІРУ ПРИ ОБРОБЦІ ПАРТІЇ ЗАГОТОВОК НА НАЛАДНАНОМУ ВЕРСТАТІ

Мета роботи – оволодіти методикою розрахунку допустимої кількості оброблюваних заготовок при заданому допустимому значенні розмірного зношення інструменту і заданих умовах обробки.

### 3.1 Основні теоретичні положення

Розмірне зношення різця вимірюють по нормалі до оброблювальної поверхні (рис. 6.1). Погрішність обробки, що спричиняється тільки зношенням дорівнює:

$$\Delta d = d_1 - d_2 = 2 \cdot \Delta u \quad (3.1)$$

Це підтверджує розмірний ланцюг  $A$ , у якому замикаюча ланка  $A_2$  змінюється за рахунок зміни ланки  $A_1$  при  $A_2 = const$ .

Залежність величини зношення від шляху  $L$  (рис. 6.2) має два характерних відрізки. Відрізок  $OA$  показує підвищену швидкість зношення на деякому шляху різання  $OL_n$ . Тут відбувається припрацювання леза різця. Другий відрізок  $AB$  – відрізок нормального зношення. Тут, на відрізок шляху  $L_n L_k$  зношення відбувається з постійною швидкістю, яку прийнято позначати  $u_0$  (мкм/км) і називати нормальним відносним зношенням.

Шлях різання при точінні однієї заготовки розраховується за формулою:

$$l_1 = V \cdot t_0 \quad (3.2)$$

де  $V$  – швидкість різання:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (3.3)$$

$t_0$  – основний час:

$$t_0 = \frac{l_n}{S \cdot n} \quad (3.4)$$

де  $l_n$  – довжина робочого ходу, мм.

Підставимо в (3.2) формули (3.3) та (3.4), отримаємо:

$$l_1 = \frac{\pi \cdot d \cdot l_n}{1000 \cdot S} \quad (3.5)$$

де  $d$  – діаметр поверхні, що оброблюється, мм.

Для партії заготовок  $N$  шлях різання дорівнює:

$$l_N = l_1 \cdot N \quad (3.6)$$

Щоб врахувати підвищене зношення в період припрацювання додають до значення  $l_N$  додатковий шлях різання  $l=1000$  м.

Тоді розрахункова довжина шляху різання дорівнює:

$$L = l_n + 1000 \quad (3.7)$$

Таким чином, для будь-якого шляху різання  $L$  значення розмірного зношення розраховується за формулою:

$$\Delta u = \frac{L}{1000} \cdot U_0 \quad (3.8)$$

де  $U_0$  – відносне зношення, мкм/км (табл. 3.1).

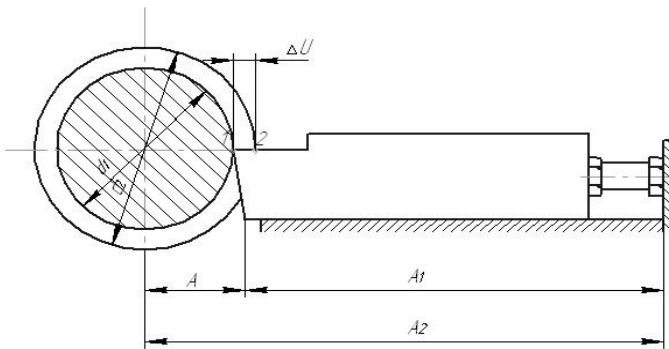


Рисунок 3.1 – Схема розмірного зношення різця

Розмірне зношення  $\Delta u$  суттєво впливає на точність розмірів в основному при чистовій і тонкій обробці, тому що допуски на розміри при такій обробці є відносно малими величинами. При чорнових обробках допуски великі, і зношення інструмента призводить не стільки до втрати точності розміру, скільки до втрати різальної здатності інструменту.

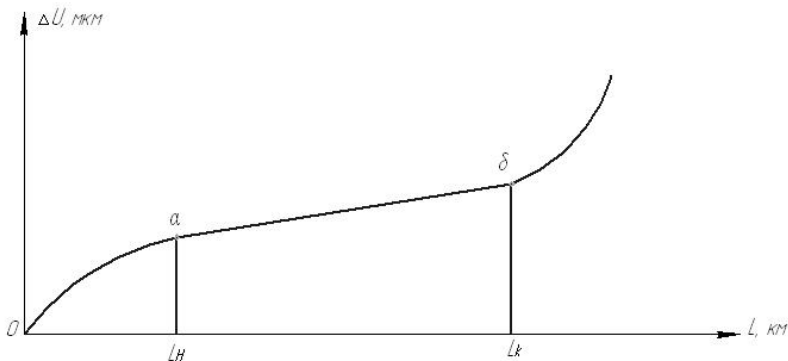


Рисунок 3.2 – Залежність зношення різця від шляху різання

Якщо відоме значення  $[\Delta u]$ , то за формулою (3.8) можна розрахувати допустимий шлях різання:

$$[L] = \frac{[\Delta u]}{u_0} \cdot 1000 \quad (3.9)$$

Тоді допустиме число заготовок, що можна обробити до піднастроювання, розраховується за формулою:

$$[N] = \frac{[L]}{l_1} \quad (3.10)$$

**Примітка:** Допустиме значення  $[\Delta u]$  зазвичай приймають, як чверть від загального допуску на розмір  $Td$ :

$$[\Delta u] = 0,25 \cdot Td \quad (3.11)$$

### 3.2 Приклад розв'язання задачі

Постановка задачі. Розрахувати кількість деталей, оброблюваних на налаштованому токарному верстаті до моменту досягнення граничного значення величини розмірного зношення.

Вихідні данні. Операція токарна. Чистовим точінням обробляється шийка вала  $d=100$  мм,  $l_n=100$  мм. Оброблюваний матеріал – вуглецева сталь; ріжучий матеріал – сплав Т5К10; подача  $S=0,1$  мм/об; допустиме значення  $[\Delta u]=0,25 \cdot Td$ .



Порядок розв'язання задачі.

3.2.1. За формулою (3.5) розраховуємо шлях різання для однієї заготовки:

$$l_1 = \frac{\pi \cdot 100 \cdot 100}{1000 \cdot 0,1} = 314 \text{ м}$$

3.2.2. За таблицею 3.1 встановлюємо значення відносного зношення  $U_0=8$  мкм/км при обробці вуглецевої сталі сплавом Т5К10.

**Таблиця 3.1 – Значення відносного зношення різців**

Ріжучий матеріал	Відносне зношення $U_0$ (мкм/км) при обробці матеріалів при чистовому точінні			
	Вуглецева сталь	Легована сталь	Сірий чавун	Чавун НВ 375...400
Т60К6	1...4	0,4...1	-	-
Т30К4	3...4	4...6	-	-
Т16К6	5...7	9...10	-	-
Т5К10	7...8	12...13	-	-
ВК8	-	17...25	13...14	-
ВК6	-	-	14...15	-
ВК4	-	25...30	-	16
ВК3	-	9...10	18...26	12
ВК2	-	-	-	9

**Таблиця 3.2 – Середні значення технологічних допусків при чистовому та тонкому точінні**

Розмір оброблюваної заготовки, мм	Технологічні допуски $Td$ мкм при точінні	
	чистовому	тонкому
до 30	45	21
від. 30 до 50	50	25
від. 50 до 80	60	30
від. 80 до 120	70	35
від. 120 до 180	80	40
від. 180 до 280	90	47
від. 280 до 360	100	54

3.2.3. За табл. 3.2 встановлюємо допуск, що забезпечується чистовим точінням  $Td = 70$  мкм. За формулою (3.11) визначаємо допустиме значення  $[\Delta u] = 0,25 \cdot 70 = 17,5$  мкм.

3.2.4. За формулою (3.9) розраховуємо допустимий шлях різання:

$$[L] = \frac{17,5 \cdot 1000}{8} = 2185 \text{ м}$$

3.2.5. За формулою (3.10) розраховуємо допустиму кількість оброблених до піднастроювання заготовок:

$$[N] = \frac{2185}{314} = 6,95$$

Приймаємо  $[N] = 7$  шт.

3.2.6. Аналогічно, за пунктами 3-5 розраховуємо міжнастройковий період для тонкого точіння:

$$[\Delta u]_{\text{тонк}} = 0,25 \cdot Td_{\text{тонк}} = 0,25 \cdot 35 = 8,75 \text{ мкм}$$

$$[L]_{\text{тонк}} = \frac{8,75 \cdot 100}{8} = 1094,8 \text{ м}$$

$$[N]_{\text{тонк}} = \frac{1094,8}{314} = 3,48 \text{ шт}$$

Приймаємо  $[N]_{\text{тонк}} = 3$  шт.

3.2.7. Припустимо, що сплав Т5К10 замінено на більш стійкий сплав Т30К4. Тоді  $u_0 = 4$  мкм/км (табл. 3.1).

$$\text{При цьому } [L]_{\text{чист}} = \frac{17,5 \cdot 1000}{4} = 4370 \text{ м}$$

$$[N]_{\text{чист}} = \frac{4370}{314} = 14 \text{ шт}$$

$$[L]_{\text{тонк}} = \frac{8,75 \cdot 100}{4} = 2187,5 \text{ м}$$

$$[N]_{\text{тонк}} = \frac{2187,5}{314} = 7 \text{ шт}$$

Отже, заміна матеріалу ріжучої частини інструмента при інших незмінних умовах обробки збільшує тривалість міжнастройкового періоду в два рази.

Заповнюємо порівняльну таблицю 3.3.

**Таблиця 3.3 – Результати розрахунку**

Вид точіння	Міжнастройковий період деталей, для	
	T5K10	T30K4
Чистове	7	14
Тонке	4	7

**Висновок:** Вибираємо T30K4. Допустиме розмірне зношення  $[\Delta U] = 17,5$  мкм, допустиме число  $[N] = 14$ . При  $[N] = 14$  деталей погрішність, яка зумовлена зношенням дорівнює  $\Delta d = 2 \cdot [\Delta U] = 35$  мкм. Іншу частину поля допуску, що дорівнює 35 мкм, призначено для решти складових сумарної погрішності обробки.

**Таблиця 3.4 – Вихідні дані за варіантами**

Номер варіанту	Параметри заготовки, мм		Оброблюваний матеріал	Ріжучий матеріал	Подача $S$ , мм/об
	$d$	$l_n$			
1, 11	90	100	BC, LC	T5K10	0,3
2, 12	80	100	BC, LC	T60K6	0,3
3, 13	70	100	BC, LC	T30K4	0,3
4, 14	60	90	BC, LC	T15K6	0,2
5, 15	50	90	BC, LC	T5K10	0,2
6, 16	100	70	BC, LC	T15K6	0,2
7, 17	200	50	LC, CЧ	BK8	0,3
8, 18	250	30	LC, CЧ	BK3	0,2
9, 19	100	50	чавун HB 375.....400	BK4, BK2	0,2
10, 20	60	100	CЧ, чавун HB 375.....400	BK3	0,2
21, 22	30	50	BC, LC	T15K6	0,3
23, 24	20	50	BC	T5K10, T30K4	0,3
25, 26	40	100	LC	T5K10, BK8	0,2

**Примітка:** Умовні позначення BC – вуглецева сталь;

LC – легувана сталь;

CЧ – сірий чавун HB 187...207.

### 3.3 Контрольні питання

1. Що розуміють під поняттям "розмірне зношення інструменту"?
2. Що розуміють під поняттям "відносне (питоме) зношення"?
3. Чому в період припрацювання відбувається інтенсивне зношення і яким чином воно враховується при розрахунках?
4. За рахунок чого можна зменшити вплив зношення на погіршність обробки?
5. Чому величина  $[\Delta U]$  встановлюється менше від допуску  $Td$ ?

## Шорсткість поверхні

### Практичне заняття 4

#### ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ШОРСТКОСТІ ЗА ПРОФІЛОГРАМОЮ ПОВЕРХНІ

**Мета роботи** – дати оцінку показників шорсткості шляхом розшифрування профілограми поверхні і встановити метод обробки контрольної похибки.

#### 4.1 Основні теоретичні положення

Сукупність нерівностей з відносно малими кроками, що утворюють рельєф поверхні в межах базової довжини  $l$  (рис. 4.1), являють собою шорсткість.

Встановлено три групи показників шорсткості:

- висотні ( $R_z$ ,  $R_a$ ,  $R_{max}$ ), що характеризують шорсткість по нормалі до бази відліку;
- крокові ( $S_m$ ,  $S$ ), що характеризують відстань нерівностей уздовж бази відліку;
- структурні ( $t_p$ ), що дають комплексну оцінку шорсткості.

Для оцінки всього комплексу цих показників необхідно записати профілограму поверхні на базовій довжині із значним вертикальним і горизонтальним збільшенням нерівностей (рис. 4.1).

Показник  $R_z$  спочатку оцінюється за профілограмою з використанням формули:

$$R_{zn} = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 H_i - \sum_{i=1}^5 h_i \right) \quad (4.1)$$

Для цього на профілограмі в межах базової довжини встановлюється п'ять максимальних западин відносно середньої лінії  $l_m$ . Далі від довільно обраної бази відліку (на рис. 7.1 базою відліку є лінія 2) за допомогою лінійки виміряються значення  $H_i$  та  $h_i$  і підставляються у формулу (4.1).

Із урахуванням вертикального збільшення  $\times V_y$ , що забезпечується під час запису профілограми, дійсне значення показника розраховуємо за формулою (4.2):

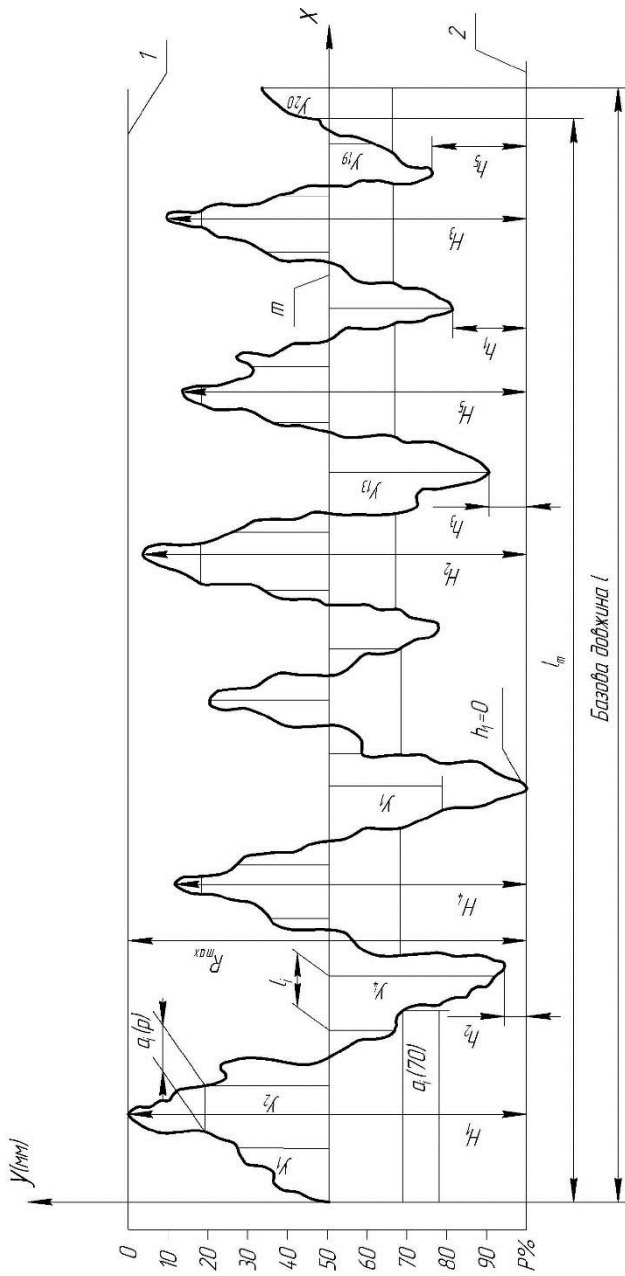


Рисунок 4.1 – Профілограма поверхні

$$R_z = \frac{R_{zn}}{xV_y} \quad (4.2)$$

Показник  $R_a$  за даними профілограми розраховується за формулою:

$$R_{an} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (4.3)$$

де  $y_i$  – абсолютне значення відхилення  $i$ -ї точки профілю від середньої лінії  $l_m$  за профілограмою;  
 $n$  – число вимірюваних відхилень на базовій довжині.

Приймають  $n \geq 20$ .

Дійсне значення  $R_a$  розраховується за формулою:

$$R_a = \frac{R_{an}}{xV_y} \quad (4.4)$$

Показник  $R_{max}$  вимірюється так, як показано на рис. 7.1 і являє собою відстань між максимальним виступом і западиною. Дійсне значення цього показника розраховується за формулою:

$$R_{max} = \frac{R_{max n}}{xV_y} \quad (4.5)$$

Середній крок нерівностей  $S_m$  на профілограмі представляється довжиною відрізка середньої лінії  $l_m$ , що перетинає профіль в трьох точках і розраховується за формулою:

$$S_{mn} = \frac{2 \cdot l_m}{K_m - 1} \quad (4.6)$$

де  $l_m'$  – довжина відрізка середньої лінії  $l_m$  до останнього непарного її перетину з профілем на базовій довжині  $l$ ;  
 $K_m$  – число усіх точок перетинання профілю середньої лінії на базовій довжині.

Дійсне значення кроку з урахуванням горизонтального збільшення  $^xV_x$  розраховується за формулою:

$$S_m = \frac{S_{mn}}{^xV_x} \quad (4.7)$$

Відносна опорна довжина профілю  $t_p$  розраховується за формулою:

$$t_p = \frac{\eta_P}{l} \cdot 100\% \quad (4.8)$$

і виражається у процентах базової довжини  $l$ .

Рівень  $P$  відкладається від лінії виступів 1 (рис. 4.1) і виражається у процентах від максимальної висоти профілю –  $R_{max}$ .

Опорна довжина:

$$\eta_P = \sum_{i=1}^n a_{i(P)} \quad (4.9)$$

являє собою суму відрізків  $a_{i(P)}$  у матеріалі виступів профілю, що відсікаються на рівні  $P$  лінією паралельною середній лінії. Якщо рівень  $P$  змінюється від 0 до 100 %, то  $t_p$  також буде змінюватись від 0 до 100 % (рис. 4.2).

Ті чи інші параметри шорсткості проставляються на робочих кресленнях деталей, на операційних ескізах, використовуються при порівняльному аналізі технологічних можливостей різних методів обробки поверхней, табл. 4.1.

## 4.2 Приклад розв'язання задачі

Постановка задачі. За заданою профілограмою зовнішньої циліндричної поверхні визначити показники шорсткості:  $R_z$ ,  $R_a$ ,  $S_m$ ,  $t_p$ . Побудувати опорну криву профілю. Орієнтовано (приблизно) встановити метод обробки поверхні.

Вихідні дані.

- 1) Профілограма (рис. 4.1).
- 2) Базова довжина на профілограмі  $l=200$  мм.
- 3) Вертикальне збільшення  $\times V_y=5000$ , горизонтальне збільшення  $\times V_x=80$ .

### Порядок виконання роботи

Оцінка показника  $R_z$ .

1. На відрізку профілограми, що має довжину  $l=200$  мм, знаходимо максимальний виступ і найглибшу западину. Проводимо дві лінії 1 і 2, паралельні середній лінії  $l_m$ . Лінію 2 приймаємо за базу відліку.

2. Для п'яти високих виступів знаходимо:  $H_1=71$ ,  $H_2=67$ ,  $H_3=63$ ,  $H_4=63$ ,  $H_5=60$  мм.



**Таблиця 4.1 – Шорсткість циліндричних поверхонь при різних методах обробки**

Метод обробки	Параметри шорсткості		
	$R_a$ , мкм	$S_m$ , мкм	$t_{20}$ , %
<b>Обточування, розточування</b>			
-чорнове	12,5...50	0,32...0,50	10...15
-напівчистове	3,2...12,5	0,16...0,32	10...15
-чистове	0,8...3,2	0,08...0,16	10...15
-тонке	0,1...0,8	0,02...0,10	10...15
<b>Шліфування:</b>			
-попереднє	1...2,5	0,063...0,20	10
-чистове	0,20...1,12	0,025...0,10	10
-тонке	0,05...0,20	0,008...0,025	40
<b>Суперфінішування</b>	0,032...0,28	0,006...0,02	10
<b>Притирання</b>	0,01...0,10	0,006...0,04	10...15
<b>Обкатка</b>	0,03...0,20	0,025...1,25	10...70

3. Для п'яти найглибших западин знаходимо:

$$h_1=0, h_2=3, h_3=6, h_4=12, h_5=15 \text{ мм.}$$

4. За формулою (4.1) розраховуємо значення:

$$R_{z_n} = \frac{1}{5}(324 - 36) = 57,6;$$

а за формулою (4.2) знаходимо дійсне значення показника:

$$R_z = \frac{57,6}{5000} = 0,0115 \text{ мм} = 11,5 \text{ мкм.}$$

Оцінка показника  $R_a$ .

1. Приймаємо середню лінію "m" за базу відліку. Використовуючи всю довжину  $l=200$  мм вимірюємо значення  $|y_i|$  в  $n=20$  точках, розмішених одна від другої на відстані:

$$l_i = \frac{l}{n} = \frac{200}{20} = 10 \text{ мм.}$$

2. Виміряні значення  $|y_i|$  записуємо в табл. 4.2.

**Таблиця 4.2 – Результати замірів  $|y_i|$** 

Номер виміру	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значення, $ y_i $ , мм	10	26	13	31	8	15	20	6	20	14
Номер виміру	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Значення $ y_i $ , мм	12	17	25	22	9	6	9	10	18	13

3. Розраховуємо значення  $R_{an} = \frac{294}{20} = 14,7$  мм,

а за формулою (4.4) розраховуємо дійсне значення параметра:

$$R_a = \frac{14,7}{5000} = 0,00296 \text{ мм} \approx 3 \text{ мкм.}$$

Оцінка показника  $S_m$ .

1. З урахуванням пояснень, наведених до формули (4.6), вимірюємо довжину відрізка  $l_m$  середньої лінії. Одержуємо  $l_m = 194$  мм.

2. Визначаємо кількість перетинів профілю середньою лінією на її довжині  $l_m$ . Одержуємо  $K_m = 13$ .

3. За формулою (4.6) розраховуємо:

$$S_{mn} = \frac{2 \cdot 194}{13 - 1} = 32,3 \text{ мм,}$$

а за формулою (4.7) знаходимо дійсне значення кроку:

$$S_m = \frac{32,3}{80} = 0,4 \text{ мм.}$$

Оцінка показника  $t_p$ .

1. Відрізок координатної осі  $Y$ , розміщеної між лініями 1 і 2, рівний  $R_{max}$ , розділяємо на 10 рівних відрізків. Будуємо шкалу рівнів розтину профілю. Значення рівнів  $P$  відкладаємо від лінії  $P_0 = 0\%$  до лінії  $P = 100\%$ , виражаючи їх значення в процентах від максимального значення.

2. На кожному рівні вимірюємо довжину відрізків  $\alpha_{i(P)}$ , а одержані значення заносимо в табл. 4.3. На рис. 4.1 відрізки  $\alpha_{i(P)}$  показано для  $P = 20\%$  і  $P = 70\%$ .

3. За формулою (4.9) знаходимо значення  $\eta_p$  для кожного рівня

*P*.

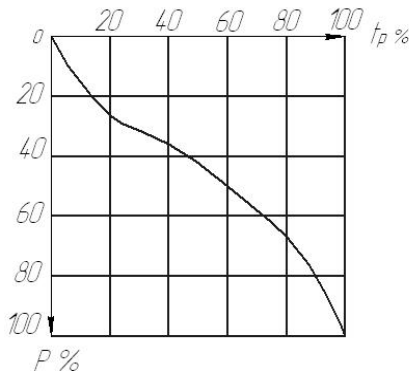
Наприклад, для  $P=20\%$ :

$$\eta_{20}=8+3+7+3+2=23 \text{ мм}$$

**Таблиця 4.3 – Результати вимірів для показника  $t_P$**

Рівні $P, \%$	Виміряні значення $\alpha_{i(P)}$ , мм								$\eta_{Pi}$ , мм	$t_P, \%$
	1	2	3	4	5	6	7	8		
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	5	3	-	-	-	-	-	-	8	4
20	8	3	7	3	2	-	-	-	23	11
30	19	8	4	10	7	1	6	-	55	27
40	23	13	9	13	12	10	2	-	82	41
50	26	16	9	17	16	13	6	-	103	51
60	30	22	17	17	19	17	9	-	131	65
70	32	24	19	19	20	18	12	-	144	72
80	37	27	50	24	37	-	-	-	175	87
90	39	27	53	67	-	-	-	-	186	93
100	200	-	-	-	-	-	-	-	200	100

4. Розраховуємо значення  $t_P$  для кожного рівня  $P$ . Наприклад, для  $P=20\%$ .



**Рисунок 4.2 – Залежність опорної довжини від рівня мікропрофілю  $P$**

$$t_{20} = \frac{23}{200} \cdot 100 = 11,5 \%$$

5. Будуємо графік опорної кривої (рис. 4.2).

Таким чином, одержано такі показники шорсткості:  
 $R_z=11,5$  мкм,  $R_a=3$  мкм,  $S_m=400$  мкм,  $t_{20}=11,5$  %.

**Таблиця 4.4 – Вихідні дані до завдання №3**

Варіанти	Кількість виступів $N$	Збільшення	
		$^xV_y$	$^xV_x$
1	8	5000	100
2	7	5000	90
3	6	4000	80
4	8	4000	100
5	8	3000	100
6	7	3000	80
7	7	2000	80
8	8	5000	80
9	8	5000	100
10	7	4000	90
11	6	4000	80
12	6	3000	90
13	7	3000	80
14	8	2000	100
15	7	200	80
16	8	1000	100
17	6	1000	90
18	8	5000	90
19	6	5000	80
20	8	4000	100
21	6	4000	90
22	7	3000	100
23	6	3000	100
24	8	2000	80
25	8	2000	80

Скориставшись табл. 4.1 можна зробити висновок, що досліджувана поверхня оброблена напівчистовим точінням.

### 4.3 Індивідуальні завдання

У таблиці 7.4 представлено варіанти індивідуальних завдань. За даними параметрами профілограми необхідно довільно побудувати профілограму і потім приступити до рішення задачі.

### 4.4 Контрольні питання

1. Які нерівності відносяться до шорсткості поверхні?
2. На які експлуатаційні властивості поверхні деталей та їх сполучень впливає шорсткість?
3. Якими методами вимірюється шорсткість?
4. Як розраховується показник  $R_z$ ?
5. Як розраховуються показники  $R_a$  і  $S_m$ ?
6. Як оцінити показник  $t_p$ ?
7. Який порядок побудови кривої опорної поверхні?
8. Які середньоекономічні значення  $R_z$  і  $R_a$  забезпечуються різними методами обробки?

## Методи забезпечення точності замикаючої ланки розмірного ланцюга при складанні

### Практичне заняття 5

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ЗАМИКАЮЧОЇ ЛАНКИ МЕТОДОМ ПОВНОЇ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ

Мета роботи – оволодіти методикою розв'язання проектної задачі, суть якої полягає у нормуванні точності складових ланок складального розмірного ланцюга, при забезпеченні якого задана точність замикаючої ланки буде забезпечуватись при складанні вузла методом повної взаємозамінності (ПВЗ).

### 5.1 Основні теоретичні положення

Суть методу ПВЗ полягає в тому, що в кожному з усіх вузлів однієї конструкції, що складаються, точність замикаючої ланки забезпечується без підбору, сортування, пригонки деталей чи регулювання вузла.

Метод ПВЗ може бути реалізованим при виконанні трьох умов формул (5.1) – 5.3).

Умова 1.

$$TA_{\Delta} = \sum_{j=1}^n TA_j \quad (5.1)$$

де  $TA_{\Delta}$  – допуск на розмір замикаючої ланки;

$TA_j$  – допуск на розмір  $j$ -ої складової ланки;

$n$  – число складових ланок розмірного ланцюга.

Умова 2.

$$\Delta_0 A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m \Delta_0 \vec{A}_i - \sum_{j=1}^k \Delta_0 \overleftarrow{A}_j \quad (5.2)$$

де  $\Delta_0 A_{\Delta}$  – координата середини поля допуску замикаючої ланки;

$\Delta_0 \vec{A}_i, \Delta_0 \overleftarrow{A}_j$  – відповідно координати середини поля допуску  $j$ -ої складової збільшуваної або  $j$ -ої зменшувальної ланки розмірного ланцюга;

$m$  - кількість збільшуваних ланок;

$k$  - число зменшувальних ланок.

Умова 3.

$$\left. \begin{aligned} ESA_{\Delta} &= \sum ES \vec{A}_i - \sum EI \overleftarrow{A}_j \\ EIA_{\Delta} &= \sum EI \vec{A}_i - \sum ES \overleftarrow{A}_j \end{aligned} \right\} \quad (5.3)$$

При розв'язанні проектної задачі відомими є: номінальний розмір замикаючої ланки –  $A_{\Delta}$ ; граничні відхилення  $ESA_{\Delta}$ ,  $EJA_{\Delta}$ ; номінальні розміри складових ланок (за варіантами табл. 8.5).

Для всіх складових ланок всі параметри:  $ESA_j$ ,  $EJA_j$ ,  $TA_j$ ,  $\Delta_0 A_j$  повинні бути призначені такими, щоб умови (5.1)...(5.3) задовольнялись.

Допуски  $TA_j$  можна встановлювати різними способами, в тому числі – по одному квалітету точності. Потрібний квалітет точності знаходиться за допомогою коефіцієнта  $a$ :

$$a = \frac{TA_{\Delta}}{\sum i_j} \quad (5.4)$$

де  $i_j$  – одиниця допуску;

$$i_j = 0,45 \cdot \sqrt[3]{A_j} + 10^{-3} \cdot A_j \quad (5.5)$$

де  $A_j$  – середнє значення розміру в інтервалі розмірів стандартного ряду.

Значення  $i$  та  $a$  наведено відповідно в табл. 5.1, 5.2.

В табл. 5.3 наведено значення допусків на розміри в залежності від квалітету точності.

## 5.2 Приклад розв'язання задачі.

Постановка задачі. Назначити показники точності на складові ланки розмірного ланцюга заданого вузла для забезпечення складання методом ПВЗ. Записати виконавчі розміри складових ланок. Вибрати метод обробки деталей.

Вихідні дані. Схема вузла кріплення диску і його розмірний ланцюг (рис. 5.1). При складанні зазор між диском 1 і втулкою 3 повинен забезпечуватись  $A_{\Delta} = 0_{+0,1}^{+0,3}$  у межах 0,1...0,3 мм. Втулка 3 кріпиться ковпаком-гайкою 2.

**Таблиця 5.1 – Значення одиниці допуску –  $i$  для інтервалів розмірів**

Інтервали	до 3	3...6	6...10	10...18	18...30	30...50	50...80	80...120	120...180	180...250
Значення	0,55	0,73	0,90	1,08	1,31	1,56	1,86	2,17	2,52	2,89

**Таблиця 5.2 – Значення коефіцієнта  $a$** 

Коефіцієнт	16	25	40	64	100	160	250	400
Квалітет	7	8	9	10	11	12	13	14

**Таблиця 5.3 – Табличні значення допусків**

Квалітет	Допуски, мкм для розмірів, мм										
	більш 3 до 6	6...10	10...18	18...30	30...50	50...80	80...120	120...180	180...250	250...315	315...400
7	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57
8	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89
9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140
10	48	56	70	84	100	120	140	160	185	210	230
11	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360
12	120	130	150	210	250	300	350	400	460	520	570

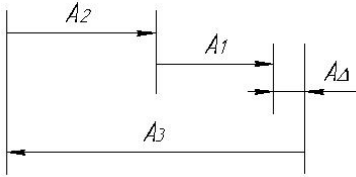


Номинальні розміри деталей у мм: диска  $A_1=38$ ; гайки  $A_2=42$ ;  
втулки  $A_3=80$ . Замикаюча ланка – зазор  $A_\Delta = 0_{+0,1}^{+0,3}$

### Порядок виконання роботи

5.2.1. Накреслити креслення вузла.

5.2.2. Накреслити схему розмірного ланцюга.



Рівняння розмірного ланцюга:

$$A_\Delta = A_3 - (A_1 + A_2) = 80 - (38 + 42) = 0$$

5.2.3. Накреслимо табл. 5.4 і заповнимо колонки 1...3.

### **Таблиця 5.4 – Результати розрахунку**

Деталь	Позначення ланки	Номинальний розмір, мм	Одиниця допуску $i$	Допуск $TA_j$ , мм	Координата $\Delta_0 A_j$ , мкм
Диск	$A_1$	38	1,56	0,062	0
Гайка	$A_2$	42	1,56	0,064	0
Втулка	$A_3$	80	1,86	0,074	0,2
				$\Sigma 4,98$	$\Sigma 0,200$

5.2.4. За табл. 5.1 вибрати значення одиниць допуску та записати їх в табл. 5.4.

5.2.5. Розрахувати за формулою (5.4) значення коефіцієнта  $a$ , підставляючи допуск замикаючої ланки  $TA_\Delta=200$  мкм:

$$a = \frac{200}{4,98} = 40,16 \approx 40$$

5.2.6. Визначити за табл. 5.2 квалітет точності. Таке значення коефіцієнта відповідає 9-му квалітету точності.

5.2.7. За таблицею 5.3 вибрати допуски на розміри  $A_1...A_3$ . Встановлюємо  $TA_1=TA_2=62$  мкм;  $TA_3=74$  мкм.

5.2.8. Перевіряємо умову рівності допусків за формулою (5.1):

$$200 \neq 62 + 62 + 74 = 198$$

Через те, що умова (5.1) не виконується, необхідно скоректувати

значення одного з допусків. Наприклад, приймаємо  $TA_2=64$  мкм. Прийняті значення  $TA_1=62$ ,  $TA_2=64$  та  $TA_3=74$  записуємо в табл. 5.4.

5.2.9. Призначити координати середини полів допусків на всі ланки, крім одної, наприклад,  $A_3$ .

Приймаємо  $\Delta_0A_1=0$ ,  $\Delta_0A_2=0$ . Використовуючи формулу (5.2), знаходимо координату  $\Delta_0A_3$ .

$$\text{Оскільки } \Delta_0A_\Delta = \frac{ESA_\Delta + EIA_\Delta}{2} = \frac{300 + 100}{2} = 200 \text{ мкм},$$

то  $200 = \Delta_0A_3 - 0 - 0$  та  $\Delta_0A_3 = 200$  мкм.

Записуємо значення координат  $\Delta_0A_j$  в табл. 5.4.

5.2.10. Розраховуємо граничні відхилення ланки  $A_3$ :

$$ESA_3 = \Delta_0A_\Delta + \frac{TA_3}{2} = 200 + \frac{74}{2} = 237 \text{ мкм};$$

$$EJA_3 = \Delta_0A_\Delta - \frac{TA_3}{2} = 200 - \frac{74}{2} = 163 \text{ мкм}.$$

5.2.11. Записуємо виконавчі розміри:

$$A_1 = 38 \pm 0,031; \quad A_2 = 42 \pm 0,032; \quad A_3 = 80^{+0,237}_{+0,163}.$$

5.2.12. Виконуємо перевірку розрахунків, використовуючи формулу (5.3):

$$300 = 237 - (-3,1 - 32) = 300 = ESA_\Delta$$

$$100 = 167 - (31 + 32) = 100 = EJA_\Delta$$

Таким чином всі розрахунки виконані правильно.

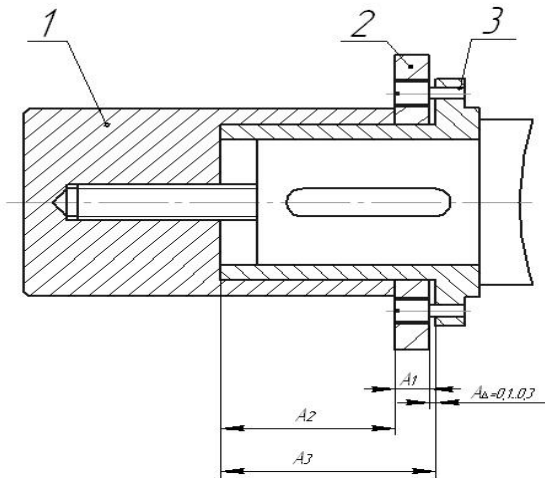
5.2.13. Призначаємо метод обробки, що забезпечує задану точність обробки деталей. Скориставшись таблицею 5.6, для обробки трьох деталей, що входять у розмірний ланцюг, призначаємо однократне шліфування.

### 5.3 Індивідуальне завдання

Вихідні дані за варіантами подано в табл. 5.5 і на рисунках 5.1 та 5.2. Для довідки наведено табл. 5.6.

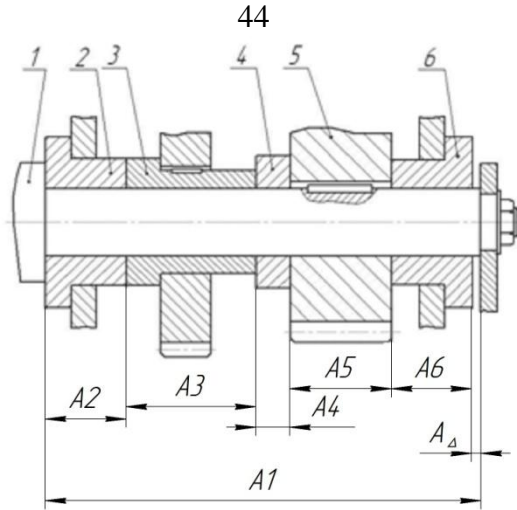
Таблиця 5.5 – Вихідні дані для рішення задачі 4

Варіанти	Замикаюча ланка $A_{\Delta}$ , мм	Розміри складових ланок, мм						Вузол
		$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	
1, 13	$0^{+0,2}$	10	30	40				Рис.5.1
2, 14	$0^{+0,1}$	20	35	55				
3, 15	$0^{+0,4}$	35	55	90				
4, 16	$0^{+0,1}$	52	48	100				
5, 17	$0^{+0,5}$	30	35	65				
6, 18	$0^{+0,1}$	55	45	100				
7, 19	$0^{+0,4}$	100	15	30	5	35	15	Рис.5.2
8, 20	$0^{+0,1}$	150	25	35	10	55	25	
9, 21	$0^{+0,6}$	200	35	60	25	55	25	
10, 22	$0^{+0,2}$	100	20	25	5	30	20	
11, 23	$1^{+0,5}$	300	75	125	4	20	75	
12, 24	$1^{+0,1}$	200	35	55	14	60	35	
25	$1^{+0,4}$	180	25	60	25	44	25	



1 – гайка; 2 – диск; 3 – втулка

Рисунок 5.1 – Схема вузла для прикладу розв'язання задачі



1 – вал; 2,4,6 – втулки; 3 – ступиця (маточина); 5 – зубчате колесо

Рисунок 5.2 – Схема і складальний ланцюг вузла

**Таблиця 5.6 – Значення допусків при різних методах обробки**

Метод обробки	Середньо-економічні допуски, мкм, на розміри					
	Св.3 до 6	6...10	10...18	18...30	30...50	50...80
1	2	3	4	5	6	7
<b>Точіння:</b>						
чорнове	300	360	430	520	620	740
напівчистове	160	200	240	280	340	400
чистове	48	58	70	84	100	120
<b>Шліфування:</b>						
однократне	25	30	35	45	50	60
чистове	12	15	18	21	25	30

80...120	120...180	180...250	250...315
8	9	10	11
870	1000	1150	1350
460	530	600	680
140	160	185	215
70	80	90	100
35	40	47	54

### 5.4 Контрольні питання

1. Які розмірні ланцюги називаються складальними?
2. Які ланки входять до розмірних ланцюгів?
3. У чому полягає зміст проектної задачі при розрахунку розмірних ланцюгів?
4. Які існують методи розрахунку розмірних ланцюгів?
5. Як формулюють основне правило розмірних ланцюгів?
6. Якою формулою описується зв'язок граничних відхилень ланок розмірного ланцюга?
7. Якою формулою описується зв'язок координат середин полів допусків на розміри ланок розмірного ланцюга?
8. Які існують способи призначення допусків на розміри складових ланок?
9. Як визначається квалітет точності – загальний для всіх розмірів складових ланок?
10. Як перевіряється правильність розрахунків?

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ЗАМИКАЮЧОЇ ЛАНКИ МЕТОДОМ НЕПОВНОЇ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ (НПВЗ)

Мета роботи – обґрунтувати економічну доцільність застосування методу НПВЗ і оволодіти методикою нормування точності розмірів складових ланок розмірного ланцюга в разі застосування цього методу.

Для виконання задачі студент повинен:

- знати сутність методу НПВЗ;
- принципи імовірності, покладені в основу цього методу;
- область застосування, переваги та недоліки методу НПВЗ;
- основні розрахункові формули;
- методику економічного обґрунтування застосованого методу;
- вміти обґрунтувати доцільність застосування методу НПВЗ для досягнення заданої точності вихідного параметра (замикаючої ланки) вузла, що збирається;
- нормувати точність розмірів деталей (складових ланок) складального розмірного ланцюга.

### 6.1 Основні теоретичні положення

Теорія методу НПВЗ заснована на наступних положеннях:

1. Похибки розмірів є випадковими величинами і підкоряються певним законам розподілу.
2. Згідно з цими законами при обробці деталей поява розмірів з граничними похибками буде маловірогідною.
3. Поєднання деталей, що мають граничні розміри, при їх випадковому відборі для складання одного вузла буде тим більш малоймовірним.

Звідси випливає, що отримання граничних значень замикаючої ланки:

$$\begin{aligned}
 ESA_{\Delta} &= \sum ES \vec{A}_i - \sum EI \vec{A}_j \\
 EIA_{\Delta} &= \sum EI \vec{A}_i - \sum ES \vec{A}_j
 \end{aligned}
 \tag{6.1}$$

при складанні вузлів також буде маловірогідним.

Виходячи з цього нормування точності розмірів складових ланок з обов'язковим виконання умови:

$$TA_{\Delta} = \sum_{j=1}^n TA_j \quad (6.2)$$

не завжди виявляється виправданим насамперед з економічних міркувань. Особливо це стає очевидним при необхідності забезпечення малих значень  $TA_{\Delta}$  і великій кількості  $n$  складових ланок у розмірному ланцюзі. Саме в цих випадках доводиться відмовлятися від методу ПВЗ і використовувати метод НПВЗ.

Сутність методу НПВЗ полягає в наступному.

1. При нормуванні точності розмірів  $A_j$  призначають середньо-економічні допуски  $TA_j$  таким чином, що:

$$\sum TA_{je} > TA_{\Delta} \quad (6.3)$$

2. У результаті після складання деяка кількість вузлів буде мати значення похибки замикаючої ланки, що виходить за межі допустимого.

3. Ці вузли розбираються і шляхом повної або часткової заміни деталей повторно складаються. При цьому брак усувається.

Економічну доцільність застосування методу НПВЗ можна встановити таким шляхом.

Припустимо, собівартість виготовлення всіх вузлів при використанні методу ПВЗ:

$$CC_{\Sigma 1} = (C_{n1} + C_{c1})N \quad (6.4)$$

та при використанні метода НПВЗ:

$$CC_{\Sigma 2} = (C_{n2} + C_{c2})N + (C_{p2} + C_{c2})n_{бр} \quad (6.5)$$

де  $C_{n1}$  та  $C_{n2}$  – технологічна собівартість виготовлення комплекту деталей для одного вузла відповідно при методах ПВЗ і НПВЗ;

$C_{c1} = C_{c2}$  – собівартість складання одного вузла при тих же двох методах;

$N$  – програма випуску вузлів, шт.;

$n_{бр}$  – кількість бракованих вузлів, що підлягають розбиранню і повторному складанню, шт.

Припускаємо, що  $C_{c1} = C_{c2}$ , і що собівартість розбирання  $C_{p2}$  одного бракованого вузла та його повторного складання однакові  $C_{c1} = C_{c2} = C_{cp2}$ .

Віднімаючи (6.5) з (6.4), отримаємо:

$$E = (C_{n1} - C_{n2})N - 2n_{бр}C_{p2} \quad (6.6)$$

Якщо виходить (+E), то більш економічним є використання метода НПВЗ, якщо (-E) – то ПВЗ.

Таким чином, ефект від застосування методу НПВЗ пояснюється тим, що  $C_{n2} < C_{n1}$  за рахунок грубішої, низької точності виготовлення деталей, що входять до розмірної ланки в якості ланцюгів та:

$$(C_{n1} - C_{n2})N = 2n_{бр}C_{p2} \quad (6.7)$$

Допустиме значення  $[n_{бр}]$ , при якому методи ПВЗ і НПВЗ економічно рівнозначні, визначається за формулою (6.7):

$$[n_{бр}] = \frac{(C_{n1} - C_{n2})N}{2C_{p2}} \quad (6.8)$$

Очікуване значення  $n_{бр}$  розраховується за допомогою коефіцієнта ризику:

$$t_{\Delta} = \frac{TA_{\Delta}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n \lambda_j^2 (TA_{ej})^2}} \quad (6.9)$$

Замінюємо  $\lambda_j^2 = \lambda'_j$ , де  $\lambda'_j$  – коефіцієнт відносного розсіювання залежить від виду закону розподілу похибки  $j$ -ї ланки;  $\lambda'_j$  приймають:

$\lambda'_j = 1/9$  – для закону нормального розподілу;

$\lambda'_j = 1/6$  – для закону розподілу трикутника Сімпсона;

$\lambda'_j = 1/3$  – для закону рівної імовірності;

$TA_{ej}$  – призначений середньо-економічний допуск на розмір  $j$ -ї ланки;

$n$  – кількість складових ланок.

При відомому значенні  $t_{\Delta}$  за таблицею 6.1 знаходять відсоток  $P_{бр}$  бракованих вузлів. Тоді очікувана кількість бракованих вузлів:

$$n_{бр} = \frac{N \cdot P_{бр}}{100} \quad (6.10)$$



Якщо  $n_{бр} < [n_{бр}]$ , то за формулою (6.6) розраховується очікуваний економічний ефект, що забезпечується застосуванням методу НПВЗ. Якщо рішення про використання методу НПВЗ прийнято, то виконується нормування точності розмірів складових ланок. Процедура нормування викладено у прикладі розв'язання задачі.

Доцільно знати, що, наприклад, при  $t_{\Delta} = 3$  – відсоток виходу значень похибок за межі допуску складає  $P_{бр} = 0,27\%$ . Тобто імовірність знаходження розмірів у полі допуску складає  $P = 99,73\%$ . А при  $t_{\Delta} = 1$  – відсоток бракованих вузлів складає  $P_{бр} = 32\%$ .

Якщо у проектних умовах закон розподілу складових невідомий, то приймають  $t_{\Delta} = 3$ , а коефіцієнт  $\lambda = 1/6$ .

## 6.2 Приклад розв'язання задачі

Постановка задачі. Дати порівняльну економічну оцінку методам ПВЗ і НПВЗ стосовно складання заданого вузла. З урахуванням обраного методу призначити виконавчі розміри складових ланок складального розмірного ланцюга.

Вихідні дані. Креслення вузла для побудови розмірного ланцюга (рис. 5.2); замикаюча ланка  $A_{\Delta} = 0^{+0,36}_{+0,12}$ ; номінальні розміри складових ланок, мм:  $A_1=200$ ,  $A_2=35$ ,  $A_3=60$ ,  $A_4=20$ ,  $A_5=50$ ,  $A_6=35$ ; річна програма випуску  $N=10^5$  шт.; технологічна собівартість виготовлення комплекту деталей для одного вузла  $C_{н1}=0,3$  грн. – при методі ПВЗ і  $C_{н2} = 0,22$  грн. при методі НПВЗ; технологічна собівартість складання одного вузла  $C_{с1}=C_{с2}=0,2$  грн.

Порядок розв'язання задачі

6.2.1 На підставі рис. 5.2 дати графічне представлення розмірного ланцюга.

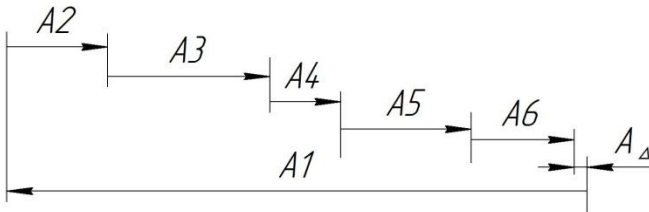


Рисунок 6.1 – Розмірний ланцюг

6.2.2. Розрахувати середній розмір складових ланок:

$$\bar{A}_j = \frac{\sum A_j}{n} = \frac{400}{6} = 66,7 \text{ мм}$$

де  $\sum A_j$  – сума номінальних розмірів складових ланок, мм;  
 $n$  – кількість складових ланок.

6.2.3. Розрахувати стосовно до методу ПВЗ середнє значення допуску, відповідно, однакове для всіх складових ланок:

$$\overline{TA}_j = \frac{TA_{\Delta}}{n} = \frac{240}{6} = 40 \text{ мкм.}$$

де  $TA_{\Delta}$  – допуск замикаючої ланки:  $TA_{\Delta} = 0,24 \text{ мм} = 240 \text{ мкм}$ .

6.2.4. За таблицю 5.6 встановлюємо метод обробки, що забезпечує  $TA_j = 40 \text{ мкм}$ . Така точність в основному забезпечується шліфуванням і знаходиться в межах допусків квалітетів *H7* та *H8* (табл. 5.3).

Таким чином, метод ПВЗ вимагає високої точності обробки деталей для забезпечення точності замикаючої ланки.

6.2.5. Приймаємо рішення обробляти деталі остаточно чистовим точінням. За табл. 5.6 встановлюємо  $TA_{je}$  – середньо-економічні допуски ( $TA_{1e} = 0,185 \text{ мм}$ ,  $TA_{2e} = TA_{5e} = TA_{6e} = 0,1 \text{ мм}$ ,  $TA_{3e} = 0,12 \text{ мм}$ ,  $TA_{4e} = 0,084 \text{ мм}$ ).

При цьому:

$$\sum TA_{je} = 0,689 \text{ мм} > TA_{\Delta} = \sum TA_j = 0,240 \text{ мм},$$

$$\overline{TA}_{je} = \frac{0,689}{6} = 0,115 \text{ мм} > \overline{TA}_j = 0,04 \text{ мм}.$$

6.2.6. Знайдемо очікувану кількість  $n_{бр}$  бракованих вузлів. За формулою (6.9) знаходимо коефіцієнт ризику:

$$t_{\Delta} = \frac{0,240}{\sqrt{\left(\frac{1}{3}\right)^2 \cdot [(0,185)^2 + (0,1)^2 + (0,12)^2 + (0,084)^2 + (0,1)^2 + (0,1)^2]}} = 2,47$$

За табл. 6.1 визначаємо відсоток (ймовірність) бракованих вузлів  $P_{бр} = 1,3\%$ .

За формулою (6.10) розраховуємо кількість бракованих вузлів.

$$n_{бр} = \frac{10^{5 \cdot 1,3}}{100} = 1300 \text{ шт.}$$

**Таблиця 6.1 – Значення коефіцієнта  $t_{\Delta}$  при нормальному розподілі розмірів для різних відсотків ризику  $P_{бр}$**

$t_{\Delta}$	P	$t_{\Delta}$	P	$t_{\Delta}$	P	$t_{\Delta}$	P
1,20	23,02	1,60	10,96	2,00	4,56	2,40	1,64
1,25	21,12	1,65	9,90	2,05	4,06	2,45	1,32
1,30	19,36	1,70	8,92	2,10	3,58	2,50	1,24
1,35	17,70	1,75	8,02	2,15	3,16	2,60	0,94
1,40	16,16	1,80	7,18	2,20	2,78	2,70	0,70
1,45	14,70	1,85	6,44	2,25	2,44	2,80	0,52
1,50	13,46	1,90	5,74	2,30	2,14	2,90	0,38
1,55	12,12	1,95	5,12	2,35	1,88	3,00	0,27

6.2.7. Допустима кількість бракованих вузлів за формулою (6.8):

$$[n_{бр}] = \frac{10^5 \cdot (0,3 - 0,22)}{2 \cdot 0,20} = 20000 \text{ шт.}$$

Оскільки  $n_{бр} < [n_{бр}]$ , метод НПВЗ є економічно доцільним.

6.2.8. Економічний ефект за формулою (6.6) від впровадження методу НПВЗ:

$$E = 10^5 \cdot (0,3 - 0,22) - 2 \cdot 1300 \cdot 0,20 = 7480 \text{ грн.}$$

6.2.9. Встановлюємо виконавчі розміри складових ланок  $A_j$  у випадку застосування методу НПВЗ і при значеннях  $TA_{je}$ , зазначених у п. 6.2.5.

Для всіх розмірів  $A_j$ , крім, наприклад, ланки  $A_1 = 200$  мм, призначаємо розташування допусків в (-). Тоді виконавчі розміри ланок, мм:

$$A_2 = 35_{-0,1}; A_3 = 60_{-0,12}; A_4 = 20_{-0,084}; A_5 = 50_{-0,1}; A_6 = 35_{-0,1}.$$

Оскільки:

$$\Delta_0 A_{\Delta} = \frac{ESA_{\Delta} + EIA_{\Delta}}{2} = \frac{0,36 + 0,12}{2} = 0,24 \text{ мм,}$$

Скориставшись рівнянням (5.2):

$$\Delta_0 A_{\Delta} = \sum \Delta_0 \bar{A}_j - \sum \Delta_0 \bar{A}_j,$$

Знаходимо координату  $\Delta_0 A_1$ :

$$0,240 = \Delta_0 A_1 - (-0,05 - 0,06 - 0,042 - 0,05 - 0,05)$$

$$\Delta_0 A_1 = -0,012 \text{ мм.}$$

Граничні відхилення ланки  $A_1$ :

$$\begin{cases} ESA_1 = \Delta_0 A_1 + 0,5 \cdot TA_1 = -0,012 + 0,5 \cdot 0,185 = 0,0805 \text{ мм,} \\ EIA_1 = \Delta_0 A_1 - 0,5 \cdot TA_1 = -0,012 - 0,5 \cdot 0,185 = -0,1045 \text{ мм.} \end{cases}$$

Виконавчий розмір ланки  $A_1 = 200^{+0,0805}_{-0,1045}$ . Для зручності його можна записати у вигляді  $A_1 = 200^{+0,08}_{-0,105}$ .

6.2.10. Перевіримо правильність розрахунків за формулою (6.1):

$$ESA'_\Delta = 0,08 - (-0,1 - 0,12 - 0,084 - 0,1 - 0,1) = 0,584 \text{ мм}$$

$$EIA'_\Delta = -0,105 - 0 = -0,105 \text{ мм}$$

Перевіримо значення допуску замикаючої ланки:

$$TA'_\Delta = \sum TA_{je} = ESA'_\Delta - EIA'_\Delta = 0,584 - (-0,105) = 0,689 \text{ мм}$$

### 6.3 Індивідуальне завдання

Вихідні дані наведено в табл. 6.2 та 6.3. До захисту потрібно представити звіт з рішенням задачі згідно розглянутому прикладу.

**Таблиця 6.2 – Вихідні дані для рішення задачі №6**

Варіанти	Програма випуску $N$	Параметри розмірного ланцюга (рис. 5.2), мм						
		$A_\Delta$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$
1, 14	$5 \cdot 10^3$	$1 \pm 0,10$	100	15	30	4	35	15
2, 15	$10 \cdot 10^3$	$1 \pm 0,12$	150	25	35	9	55	25
3, 16	$15 \cdot 10^3$	$1 \pm 0,13$	200	35	60	24	55	25
4, 17	$20 \cdot 10^3$		250	30	85	34	70	30
5, 18	$5 \cdot 10^4$	$1 \pm 0,2$	100	15	30	4	35	15
6, 19	$10 \cdot 10^4$		150	25	35	9	55	25
7, 20	$15 \cdot 10^4$	$1 \pm 0,12$	100	10	35	3	32	20
8, 21	$20 \cdot 10^4$		150	20	65	14	35	15
9, 22	$30 \cdot 10^3$	$2^{+0,4}_{-0,2}$	100	15	30	3	35	15
10, 23	$30 \cdot 10^4$		150	25	32	8	53	30
11, 24	$25 \cdot 10^3$	$2^{+0,5}_{-0,3}$	200	35	60	23	55	25
12, 25	$25 \cdot 10^4$		250	55	100	28	40	25
13, 26	$50 \cdot 10^3$	$3 \pm 0,15$	300	75	125	12	55	30

**Таблиця 6.3 – Собівартість виготовлення комплекту деталей та складання вузла**

Варіанти	Технологічна собівартість, грн.		
	Комплекту деталей, виготовлених методами		Складання вузла $C_c$ Розборка вузла $C_{p2}$
	ПВЗ - $C_{H1}$	НПВЗ - $C_{KH2}$	$C_{C1} = C_{C2} = C_{P2}$
1-5	0,30	0,20	0,20
6-10	0,35	0,20	0,25
11-15	0,40	0,25	0,20
16-20	0,40	0,30	0,25
21-26	0,30	0,22	0,18

Примітка. Прийнято допущення, що вартість розборки  $C_{p2}$  одного бракованого вузла дорівнює вартості його складання  $C_{c2}$ .

#### 6.4 Контрольні питання

1. Які математичні ідеї лежать в основі теорії методу НПВЗ?
2. Суть методу НПВЗ.
3. Що таке коефіцієнт ризику?
4. Як розрахувати ймовірну кількість бракованих вузлів?
5. За яких умов похибки замикаючої ланки підпорядковуються нормальному закону розподілу?
6. За рахунок чого виходить економічний ефект при досягненні точності замикаючої ланки методом НПВЗ?
7. Чому при значному збільшенні допусків на виготовлення деталей відсоток бракованих вузлів буде невеликим?