

621.9(075)

3-17

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ

Вінницький державний технічний університет

## **МЕХАНІЧНА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ**

**(ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ)**

Вінниця ВДТУ 1998

2997-9

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ

Вінницький державний технічний університет

## МЕХАНІЧНА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ

*(ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ)*

Затверджено Ученою радою Вінницького державного технічного університету як навчальний посібник для студентів механічних спеціальностей

НТБ ВНТУ



2997-9

621.9(075) 3-17 1998

Зайцев О.В. Механічна обробка матеріалів



Вінниця ВДТУ 1998

Механічна обробка матеріалів : Лабораторний практикум. Для студентів механічних спеціальностей / Автори: О.В. Зайцев, В.Г. Байло, А.Ю. Осадчук. - Вінниця; ВДТУ, 1998. - 88 с. Укр. мовою/

Посібник містить 18 лабораторних робіт, котрі повністю охоплюють курс механічної обробки матеріалів.

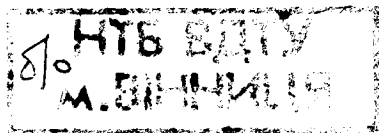
Значне місце займають роботи із застосуванням математичних методів обробки результатів та аналізу технологічних процесів і методів наладки верстатів для виконання основних операцій механічної обробки.

Велика увага приділена технологічному забезпеченню точності та експлуатаційної якості виробів.

Виконання робіт дозволить студентам отримати навички розробки раціональних технологічних процесів для наступного їх використання у курсовому, дипломному проектуванні та майбутній інженерній діяльності.

Іл. 25. Табл. 27. Бібліогр. 14 назв.

Рецензенти: В.М. Михалевич, д.т.н., професор  
В.Ф. Анісімов, д.т.н., професор  
О.В. Дерібо, к.т.н., доцент



## ВСТУП

Мета проведення лабораторних робіт - закріпити теоретичні знання з курсу «Механічна обробка матеріалів» на практиці. При цьому необхідно вивчити основи методики проведення експериментальних досліджень, обробки, аналізу та використання отриманих результатів для вирішення практичних задач.

До виконання лабораторних робіт допускаються підготовлені студенти; ступінь готовності визначається попереднім опитуванням з оцінкою знань відповідно до існуючих критеріїв. Після кожної лабораторної роботи студенти пишуть звіт на стандартних листах формату А4, після чого викладач перевіряє його, зараховуючи або не зараховуючи. В останньому випадку студент до наступного заняття не допускається.

***Звіт по кожній роботі містить:*** назву та мету роботи; назву, тип та технічні характеристики обладнання, пристосувань та вимірювальних засобів, що застосовуються; розрахунки; результати вимірювань та розрахунків у вигляді таблиць; необхідні графіки та ілюстрації; висновки з роботи.

До роботи в лабораторіях допускаються лише ті студенти, котрі пройшли інструктаж з техніки безпеки, виробничої санітарії, протипожежної безпеки; здали залік і розписались у журналі з техніки безпеки.

*Лабораторна робота № 1*

**ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ МЕТОДОМ  
НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ**

**Мета роботи:** оволодіти методикою застосування методу найменших квадратів (МНК) для обробки експериментальних даних.

**1.1. Загальні відомості**

При обробці експериментальних даних, отриманих у результаті проведення дослідів, необхідно знати функцію  $f(x, y, z)$ , значення котрої найкраще відповідає результатам експерименту.

Доволі часто вид залежності між змінними величинами може бути відомим, виходячи з тих чи інших міркувань. Проте у ряді випадків характер залежності змінних не є відомим заздалегідь, і за даними експерименту необхідно знайти математичний вираз залежності між ними. У цьому випадку використовують кореляційний аналіз.

Коли характер залежності між змінними відомий, що має місце при виконанні даного циклу лабораторних робіт, задача зводиться до визначення невідомих постійних величин в рівняннях зв'язку. Для цього застосовують різні методи: графічний, інтерполяційний, метод середніх значень та МНК. Останній є найбільш точним і базується на вимозі, щоб сума квадратів відхилень  $(\sum \Delta_i^2)$  значень вимірів  $y_i$  від значень функції  $y = f(x_i)$  була мінімальною:

$$\sum \Delta_i^2 = \min \quad (1.1)$$

**1.2. Визначення параметрів лінійної функції**

Лінійна функція має вигляд:

$$y = A_0 + A_1 x \quad (1.2)$$

де  $A_0$  та  $A_1$  - коефіцієнти.

Експериментальні дані у цьому випадку обробляються наступним чином. У формулу (1.2) підставляють  $n$  експериментальних значень  $x_i$  та  $y_i$  і отримують систему  $n$  рівнянь виду:

$$A_0 + A_1 x_i - y_i = \Delta_i \quad (1.3)$$

З умови (1.1) випливає

$$\sum_{i=1}^n (A_0 + A_1 x_i - y_i)^2 \Rightarrow \min \quad (1.4)$$

Оскільки змінними у цьому виразі є параметри  $A_0$  та  $A_1$ , для них необхідно знайти такі значення, при яких вказаний вираз має мінімум. Для

цього визначають частинні похідні по коефіцієнтам  $A_0$  та  $A_1$  і прівінюють їх до нуля. Позначаючи як  $\Sigma$  ліву частину (1.4), знаходимо частинні похідні  $\partial \Sigma / \partial A_0$  та  $\partial \Sigma / \partial A_1$ .

Прівінюючи їх до нуля, після перетворень отримуємо:

$$\begin{aligned} nA_0 + A_1 \sum x_i &= \sum y_i; \\ A_0 \sum x_i + A_1 \sum x_i^2 &= \sum x_i y_i. \end{aligned} \quad (1.5)$$

Такі лінійні рівняння називаються нормальними, їх число дорівнює кількості параметрів, що визначаються.

Розв'язуючи систему щодо параметрів, знаходять значення  $A_0$  та  $A_1$ , тобто визначають положення апроксимуючої кривої на площині  $xOy$ .

### 1.3. Визначення параметрів степеневої функції

Степенева функція:

$$y = Ax^m \quad (1.6)$$

дуже часто зустрічається в технології машинобудування.

Для визначення величин  $A$  та  $m$  за експериментальними даними використовують МНК з приведенням рівняння (1.6) до лінійного вигляду логарифмуванням:

$$\ln y = \ln A + m \ln x.$$

У цьому випадку невідомі коефіцієнти рівняння підбирають так, щоб сума квадратів логарифмів похибок була мінімальною.

За аналогією з викладеним вище отримуємо нормальні рівняння:

$$\begin{aligned} n \ln A + m \sum \ln x_i &= \sum \ln y_i; \\ \ln A \sum \ln x_i + m \sum (\ln x_i)^2 &= \sum \ln x_i \ln y_i; \end{aligned} \quad (1.7)$$

де  $n$  - кількість дослідних точок.

### 1.4. Приклад обробки дослідних даних

Припустимо, що в результаті тарування механічного динамометра, який використовується для вимірювання складової сили різання  $P_z$ , отримано дані, наведені в таблиці 1.1.

Відомо, що характеристика механічного динамометра є лінійною функцією виду  $P = A_0 + A_1 u$ , тому величини  $A_0$  та  $A_1$  будемо шукати з системи рівнянь (1.5). Результати проміжних розрахунків зручно подавати у формі таблиці 1.2.

Система рівнянь (1.5) у даному випадку має вигляд:

$$5A_0 + 10A_1 = 100;$$

$$10A_0 + 22,5A_1 = 248;$$

і дозволяє отримати такі значення постійних величин:  $A_0 = -184$ ;  $A_1 = 192$ ,

тобто характеристикою динамометра є функція  $P=192y-184$ .

### 1.5. Порядок виконання роботи

1.5.1. З таблиць 1.3 і 1.4 вибрати дані для визначення параметрів лінійної та степеневі функції для заданого варіанту.

1.5.2. Нанести експериментальні дані на графіки (окремо для кожної функції) у вигляді точок.

1.5.3. Розрахувати коефіцієнти за прикладом таблиці 1.2.

1.5.4. Побудувати графіки отриманих апроксимуючих функцій.

1.5.5. Зробити висновки з роботи.

Таблиця 1.1

Результати тарування механічного динамометра

№ досліду	1	2	3	4	5
$y, \text{мм}$	1	1,5	2,0	2,5	3,0
$P, \text{Н}$	10	90	210	310	380

Таблиця 1.2

Результати проміжних розрахунків

Величини	№№ дослідів					
	1	2	3	4	5	$\Sigma$
$y_i$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	10
$y_i^2$	1,0	2,25	4,0	6,25	9,0	22,5
$P_i$	10	90	210	310	380	1000
$P_i y_i$	10	135	420	775	1140	2480

### 1.6. Контрольні питання

1.6.1. Суть методу найменших квадратів.

1.6.2. Призначення методу найменших квадратів.

1.6.3. Методика визначення параметрів лінійної функції.

1.6.4. Методика визначення коефіцієнтів степеневі функції.

Таблиця 1.3

Дані для визначення параметрів лінійної функції

№№ варі- антів	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
	0,5	1,5	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10
	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$	$y_7$	$y_8$	$y_9$	$y_{10}$
1	0,6	0,9	1,4	1,45	1,8	1,95	2,2	2,5	2,7	3,0
2	0,68	1,4	2,9	3,3	4,0	4,8	5,6	6,4	7,0	7,8
3	1,2	1,8	2,8	2,9	3,6	3,9	4,4	5,0	5,4	6,0
4	2,04	4,2	8,7	9,9	12,1	14,4	16,9	19,2	21,1	23,3
5	0,3	0,45	0,7	0,73	0,9	0,96	1,11	1,25	1,34	1,5
6	1,43	2,6	5,0	5,6	6,65	8,0	9,1	10,3	11,7	13,0
7	0,5	0,7	1,3	1,55	1,7	1,9	2,4	2,6	2,9	3,1
8	0,7	1,3	2,5	2,8	3,3	4,1	4,6	5,2	5,9	6,5
9	2,8	5,2	10,1	11,2	13,3	15,8	18,0	20,6	23,5	26,0
10	0,26	0,34	0,65	0,74	0,87	0,95	1,2	1,3	1,5	1,6
11	1,0	1,4	2,6	3,0	3,4	3,8	4,8	5,2	5,8	6,2
12	2,4	3,6	5,6	5,8	7,2	7,8	8,8	10,0	10,8	12,0
13	1,3	2,8	5,8	6,6	8,0	9,6	11,2	12,8	14,1	15,5
14	2,0	3,0	4,4	5,0	6,0	6,6	7,5	8,4	9,0	10,0
15	2,6	3,0	3,9	4,3	4,8	5,5	6,0	6,2	7,1	7,3
16	1,4	1,7	2,5	2,6	2,9	3,3	3,6	4,0	4,1	4,6
17	1,0	1,5	2,0	2,9	3,3	3,6	4,2	4,5	5,1	5,6
18	1,3	1,6	1,9	2,1	2,5	2,8	3,0	3,1	3,5	3,7
19	0,9	1,7	3,0	3,6	4,2	5,3	6,0	7,0	7,5	8,4
20	0,7	1,1	2,0	2,2	2,5	2,9	3,4	3,8	4,1	4,6
21	0,5	0,8	1,3	1,3	1,6	1,9	2,2	2,4	2,5	2,8
22	2,6	3,2	3,8	4,2	5,0	5,6	6,0	7,0	7,0	7,4
23	1,8	3,4	6,0	7,2	8,4	10,6	12,0	14,0	15,0	16,8
24	1,4	2,2	4,0	4,4	5,0	5,8	6,8	7,6	8,2	9,2
25	1,0	1,6	2,6	2,6	3,2	3,8	4,4	4,8	5,0	5,6

Таблиця 1.4

Дані для визначення параметрів степеневі функції

№№ варі- антів	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
	0	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$	$y_7$	$y_8$	$y_9$	$y_{10}$
1	0,0	0,096	0,123	0,103	0,128	0,108	0,134	0,111	0,137	0,126
2	0,0	2,4	2,99	4,93	5,10	7,38	7,29	10,25	9,50	11,8
3	0,0	0,268	0,362	0,319	0,411	0,349	0,447	0,380	0,476	0,445
4	0,0	0,121	0,117	0,139	0,131	0,149	0,139	0,159	0,147	0,159
5	0,0	1,07	1,67	2,73	3,34	4,72	5,26	6,96	7,38	8,95
6	0,0	1,93	2,56	3,69	4,16	5,47	5,71	7,19	7,27	8,47
7	0,0	0,127	0,132	0,155	0,157	0,19	0,174	0,196	0,184	0,2
8	0,0	0,65	0,7	0,86	0,88	1,06	1,03	1,2	1,15	1,27



№№	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>7</sub>	x <sub>8</sub>	x <sub>9</sub>	x <sub>10</sub>
варі-	0	2	3	4	5	6	7	8	9	10
антів	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y <sub>4</sub>	y <sub>5</sub>	y <sub>6</sub>	y <sub>7</sub>	y <sub>8</sub>	y <sub>9</sub>	y <sub>10</sub>
9	0,0	0,139	0,147	0,182	0,181	0,215	0,207	0,241	0,229	0,250
10	0,0	0,64	0,99	1,59	1,92	2,70	2,98	3,92	4,15	5,0
11	0,0	1,61	2,06	3,0	3,17	4,09	4,22	5,23	5,28	6,02
12	0,0	0,89	1,42	1,58	2,89	4,12	4,64	6,20	6,58	8,04
13	0,0	0,148	0,165	0,21	0,212	0,257	0,251	0,298	0,285	0,315
14	0,0	1,32	1,62	2,23	2,36	3,02	3,07	3,75	3,70	4,22
15	0,0	0,34	0,48	0,72	0,84	1,15	1,22	1,55	1,61	1,89
16	0,0	0,159	0,184	0,241	0,257	0,308	0,305	0,366	0,355	0,398
17	0,0	1,05	1,26	1,69	1,76	2,19	2,19	2,64	2,56	2,90
18	0,0	0,171	0,205	0,277	0,293	0,368	0,371	0,45	0,44	0,50
19	0,0	0,85	0,96	1,24	1,27	1,55	1,52	1,81	1,75	1,95
20	0,0	0,51	0,75	1,16	1,38	1,89	2,06	2,67	2,79	3,33
21	0,0	0,183	0,229	0,318	0,344	0,44	0,451	0,554	0,551	0,631
22	0,0	0,468	0,488	0,597	0,584	0,688	0,657	0,761	0,717	0,784
23	0,0	0,175	0,168	0,194	0,181	0,206	0,191	0,215	0,200	0,212
24	0,0	0,2	0,255	0,364	0,404	0,528	0,548	0,682	0,686	0,794
25	0,0	1,01	1,35	1,96	2,20	2,88	3,02	3,80	3,84	4,46

### Лабораторна робота № 2

## ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ РОЗМІРНОГО ЗНОСУ ТОКАРНОГО РІЗЦЯ ВІД ШЛЯХУ РІЗАНЦЯ

**Мета роботи:** вивчити розмірне зношування різця та методику визначення відносного зносу як важливого фактора, що впливає на точність обробки.

### 2.1. Загальні відомості

На відміну від теорії різання, котра вивчає зношування з точки зору економічної стійкості інструмента, технологія машинобудування розглядає його з позицій точності механічної обробки, оскільки знос ріжучого інструменту під час обробки на налагоджених верстатах за методом автоматичного отримання розмірів призводить до виникнення змінної систематичної погрішності обробки (див. роботу № 9). Цей знос в технології машинобудування називається розмірним зносом ріжучого інструмента. Він визначається відстанню віддалення вершини різця від обробленої поверхні в напрямку, нормальному до осі деталі в перерізі I-I (рис. 2.1.), оскільки під час чистової обробки заготовок зношування різця відбувається по зад-

ній поверхні, що викликає від-далення вершини різця від центра обертання заготовки на величину радіального зносу і відповідне збільшення діаметра вала (або зменшення діаметра отвору).

Дослідженнями встановлено, що розмірний знос ріжучих інструментів має в часі перебіг, який відповідає рис. 2.2.

Відповідно до загальних закономірностей зношування при терті ковзання в початковий період роботи інструмента, званий періодом припрацювання, знос відбувається найбільш інтенсивно (рис. 2.2, ділянка I). Протягом цього часу має місце пристосування ріжучого інструмента до умов різання, що супроводжується викришуванням окремих нерівностей поверхні та згладжуванням штрихів - слідів заточки ріжучих граней. В цей період шорсткість обробленої поверхні зазвичай зменшується. Початковий (припрацювальний) знос  $U_1$  та його тривалість  $L_1$  (тривалість припрацювання) залежать від якості заточки інструмента та його доводки, матеріалу ріжучої частини і режимів різання. Досить часто тривалість початкового періоду, вказана як довжина шляху різання, знаходиться в межах 0,5 ... 2,0км (перша цифра відноситься до якісно доведених поверхонь, друга - до заточених звичайним чином).

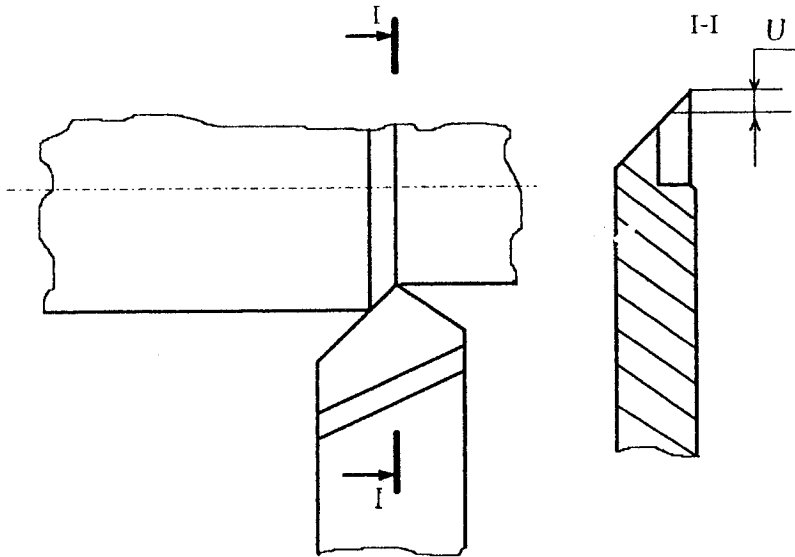


Рис. 2.1. Розмірний знос різців

Другий період зношування (рис. 2.2, ділянка II), який характеризує нормальний знос інструмента, прямо пропорційний шляху різання. Інтенсив-

вність цього періоду оцінюють за відносним (питомим) зносом (мкм/км):

$$U_0 = U_{II} / L_{II} \quad (2.1)$$

де  $U_{II}$  - розмірний знос на ділянці нормального зношування, мкм;

$L_{II}$  - шлях різання, який відповідає нормальному зносу, км.

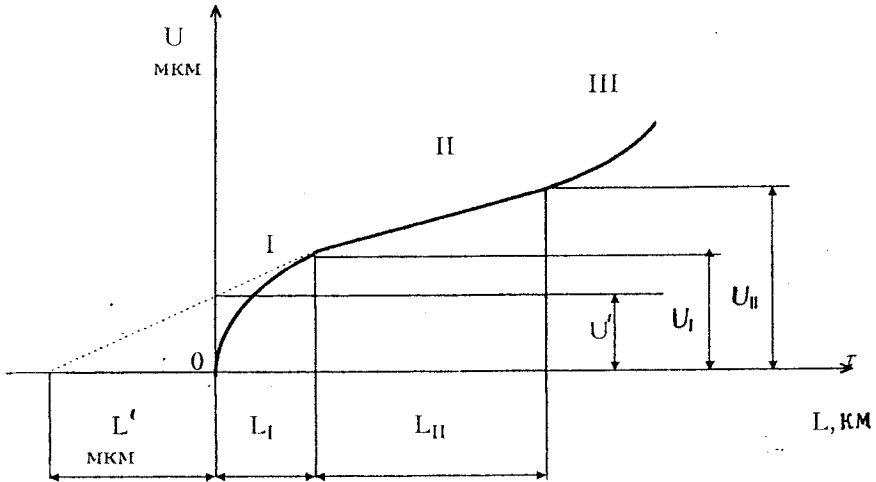


Рис. 2.2. Залежність розмірного зносу інструмента  $U$  від часу  $\tau$  (шляху  $L$ ) різання

Довжина  $L_{II}$  шляху різання за період нормального зносу при обробці сталі твердосплавними різцями Т15К6 може сягати 50 км.

Третій період зношування (ділянка III) відповідає найбільш інтенсивному, званому ще катастрофічним, зносу, котрий супроводжується значним викривленням та поломками інструмента, чого не слід допускати при нормальній його експлуатації.

## 2.2. Розрахункові співвідношення

Знос ріжучого інструмента, котрий впливає на точність обробки, звичайно розраховують за формулою:

$$U = U_0 \cdot L \quad (2.2)$$

де  $U$  - розмірний знос ріжучого інструмента, мкм;

$L$  - довжина шляху різання, км.

При точінні довжина шляху складає

$$L = \pi d l / (10^6 \cdot s); \quad (2.3)$$

де  $d$  - діаметр оброблюваної заготовки, мм;

$l$  - довжина оброблюваної ділянки (довжина обробки), мм;

$s$  - подача, мм/об.

Розрахунки за формулою (2.2) можна застосувати лише в умовах нормального зношування інструмента (зона II). При визначенні зносу нового або щойно заточеного інструмента такий розрахунок дає занижений результат внаслідок того, що не враховується підвищення інтенсивності зносу в період припрацювання на шляху різання  $L$ , що збільшує сумарний знос на величину  $L'$ . Для врахування початкового зносу, не ускладнюючи розрахунків, прийнято розрахункову довжину шляху різання  $L$ , що її визначають за формулою (2.3), збільшувати на деяку додаткову величину  $L'$ . У цьому випадку вираз (2.2) набуде вигляду:

$$U = U_0 \cdot (L + L') \quad (2.4)$$

Для доведених інструментів додатковий шлях різання  $L'$  дорівнює 0,5 км, для заточених звичайним чином - 1,5 км, а в середньому - 1,0 км.

Розрахунок за формулою (2.4) при загальній довжині шляху різання, значно більший від довжини різання в зоні початкового зносу ( $L \gg L_1$ ), дає досить точні результати. Коли ж  $L \leq L_1$ , то слід використовувати формулу:

$$U = U_1 \cdot L / L_1 \quad (2.5)$$

Для більш точного визначення розмірного зносу порівняно з розрахунком по (2.2) при значній довжині шляху різання  $L \gg L_1$  необхідно додати початковий знос і знос за період нормальної роботи інструмента:

$$U = U_1 + U_0 \cdot (L - L_1) \quad (2.6)$$

Слід зауважити, що для розрахунків за допомогою виразу (2.6) необхідно мати дані про початковий знос  $U_1$  та довжину  $L_1$  шляху різання, яка відповідає цьому зносу. На практиці вказані величини у більшості випадків залишаються невідомими і використовуються середні результати, що позбавляє розрахунок за формулою (2.6) будь-яких переваг порівняно з більш простими рівняннями (2.2) та (2.4).

### 2.3. Способи визначення розмірного зносу

Існує багато прямих та непрямих методів вимірювання розмірного зносу інструментів. Найбільш точними є прямі методи, найпростішим серед яких буде метод вимірювання зменшення відстані від вершини ріжучого леза інструмента до певної базової поверхні або точки на ньому, наприклад, на тілі різця.

Суть прямого методу вимірювання розмірного зносу різців зрозуміла з рис. 2.3.

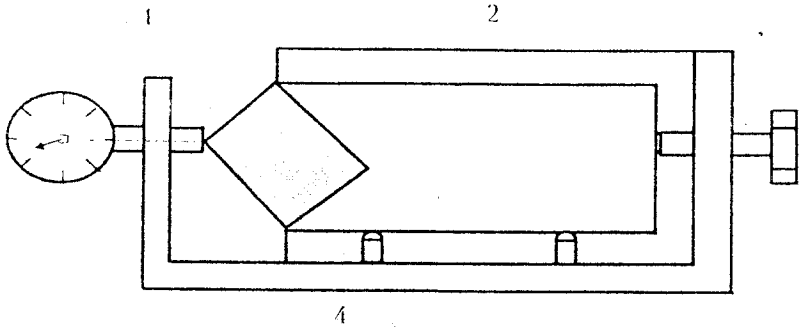


Рис. 2.3. Пристосування для вимірювання розмірного зносу різців  
1 - індикатор; 2 - різець; 3 - упорний гвинт; 4 - упори

Вимірювати знос у радіальному напрямку, а також слідкувати за змінною контурою ріжучого леза можна також оптичним проектором із 50-кратним збільшенням. При цьому різець встановлюють на вимірювальному столі проектора передньою гранню перпендикулярно до напрямку світлового пучка.

Вихідним контуром є початковий контур різця. Під час кожного наступного вимірювання контур різця необхідно суміщати з початковим. Радіальний (розмірний) знос у даному випадку - це відстань між ріжучою крайкою заточеного різця та його ріжучою крайкою після певного часу роботи. Якщо в процесі різання на різці буде утворюватись нарост, його необхідно знімати.

В даній роботі використовується метод непрямого вимірювання розмірного зносу. При цьому безпосередньо вимірюють фаску зносу на задній грані з подальшим розрахунком відповідного радіального зносу.

Виведемо формулу для визначення розмірного зносу у цьому випадку, для чого розглянемо рис. 2.4, звідки  $\alpha = U \cdot \operatorname{tg} \gamma$ ;  $U = b \cdot \operatorname{tg} \alpha$  і, відповідно

$$\alpha = b \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \gamma. \quad (2.7)$$

З іншого боку, можна записати

$$b = a + h. \quad (2.8)$$

Підставляючи (2.8) в (2.7), отримуємо

$$\alpha = (a + h_1) \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \gamma; \quad (2.9)$$

або ж

$$\alpha = h_1 \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \gamma / (1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \gamma). \quad (2.10)$$

Оскільки  $U = \alpha / \operatorname{tg} \gamma$ , то кінцева формула для визначення радіального зносу набуде вигляду

$$U = h_1 \operatorname{tg} \alpha / (1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \gamma). \quad (2.11)$$

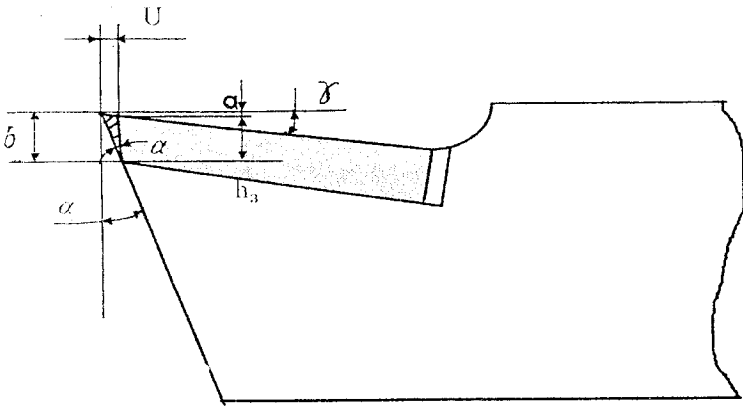


Рис. 2.4. Зв'язок між розмірним зносом  $U$  та фаскою зносу по задній грані  $h_3$

Для вимірювання зносу по задній грані можна використовувати різні прилади, в тому числі оптичні.

Цей метод позбавляє необхідності охолоджувати різець перед кожним вимірюванням, що необхідно для компенсації температурних деформацій у випадку застосування методів, подібних рис. 2.3, а також дозволяє обходитись без спеціальних пристосувань. Для вимірювання фаски зносу задньої поверхні можна використовувати відлі ковий мікроскоп типу МПБ-2 (з ціною поділки 0,05 мм), призначений для вимірювання відбитків при визначенні твердості методом Брінеля.

## 2.4. Порядок виконання роботи

- 2.4.1. Встановити і закріпити на токарному верстаті заготовку.
- 2.4.2. Заміряти величину початкової фаски зносу на задній поверхні та записати її значення в таблицю 2.1.
- 2.4.3. Встановити та закріпити різець у різцетримачі верстага так, щоб його поздовжня вісь була перпендикулярною до лінії центрів.
- 2.4.4. Налаштувати верстат на заданий режим різання.
- 2.4.5. Звімкнути верстат і почати обробку. Через заданий час відвести різець від заготовки та вимкнути верстат.
- 2.4.6. Виміряти фаску зносу задньої грані і записати результат в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1  
Результати вимірювань радіального зносу різця

Показники (параметри)	Результати вимірювань				
	0	1	2	...	k
$n_i, \text{хв}^{-1}$	-	$n_1$	$n_2$	...	$n_k$
$d_i, \text{хв}^{-1}$	-	$d_1$	$d_2$	...	$d_k$
$V_i, \text{м/хв}$	-	$V_1$	$V_2$	...	$V_k$
$t_i, \text{хв}$	-	$t_1$	$t_2$	...	$t_k$
$L_i, \text{км}$	-	$L_1$	$L_2$	...	$L_k$
$h_{3i}, \text{мкм}$	$h_{30}$	$h_{31}$	$h_{32}$	...	$h_{3k}$
$U_i, \text{мкм}$	$U_0$	$U_1$	$U_2$	...	$U_k$

2.4.7. Повторити п.п. 2.4.5. та 2.4.6. для всіх заданих інтервалів часу.

2.4.8. Розрахувати швидкість різання за формулою, м/хв,

$$V_i = \pi d n_i / 10^3; \quad (2.12)$$

та шлях різання за формулою, км,

$$L_i = V_i t_i / 6 \cdot 10^7. \quad (2.13)$$

Результати записати в таблицю.

2.4.9. Розрахувати розмірний знос для всіх інтервалів часу за формулою (2.11) і записати результати.

2.4.10. Нанести точки з координатами ( $L_i$ ;  $U_i$ ) на графік і обробити результати експерименту методом найменших квадратів. Для розрахунків використовувати точки, що лежать у зоні нормального зношування. Апроксимуючу функцію шукати у вигляді  $U = A_0 + A_1 L$ .

2.4.11. Накреслити графік отриманої функції.

2.4.12. Визначити відносний знос  $U_0$  та величину  $U_1$ .

2.4.13. Зробити висновки з роботи.

2.4.14. Скласти і оформити звіт.

## 2.5. Контрольні питання

2.5.1. Розмірний знос ріжучого інструмента.

2.5.2. На що впливає розмірний знос?

2.5.3. Для чого необхідно розрахувати розмірний знос інструмента?

2.5.4. Характер залежності розмірного зносу від шляху різання.

2.5.5. Основні періоди зносу інструмента.

2.5.6. Методи вимірювання зносу різців.

2.5.7. Характеристики розмірного зносу.

### Лабораторна робота № 3

## ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВІДНОСНОГО ЗНОСУ РІЗЦЯ ВІД ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ

**Мета роботи:** визначення впливу швидкості різання на розмірний знос інструмента.

### 3.1. Методика проведення експериментів

Відносний знос залежить від методу обробки, матеріалів заготовки та ріжучого інструменту, режимів різання, геометрії інструмента та жорсткості технологічної системи верстат - пристосування - інструмент - деталь. Зі збільшенням твердості матеріалу заготовки відносний знос зростає. Його можна зменшити, підвищуючи жорсткість технологічної системи і подачу. Глибина різання впливає на відносний знос незначно, а задній кут та швидкість різання - помітно, причому збільшення заднього кута призводить до збільшення зносу.

Розмірний знос особливо сильно впливає на точність обробки при чистових операціях, тому дослідження необхідно здійснювати в умовах, що відповідають чистовій обробці.

Встановлюють інструмент і вимірюють знос так само, як і в роботі 2. Відмінність полягає в тому, що замість інтервалів часу роботи різця змінюють швидкість різання (відповідно до завдання), а довжина шляху різання залишається постійною. Це дозволяє одразу отримати відносний знос різця для кожної заданої швидкості різання.

*Слід обов'язково врахувати, що в дослідженнях повинен використовуватись різець, який вже пройшов період припрацювання.*

### 3.2. Порядок виконання роботи

3.2.1. Встановити і закріпити заготовку в патроні верстата.

3.2.2. Заміряти початкову фаску зносу по задній грані та записати її значення в таблицю 3.1.

3.2.3. Встановити та закріпити різець у різцетримачі верстата так, щоб його по здовжня вісь була перпендикулярною до лінії центрів.

3.2.4. Налаштувати верстат на заданий режим різання.

3.2.5. Визначити швидкість різання за формулою (2.12).

3.2.6. Визначити час, необхідний для отримання заданого шляху різання  $L$ , км, за формулою:  $t_r = 100L / (6 \cdot V)$ , хв.

3.2.7. Увімкнути верстат і почати обробку. Через  $t_r$  секунд після початку роботи відвести різець від заготовки та вимкнути верстат.



3.2.8. Заміряти фаску зносу по задній грані та записати результат в таблицю 3.1.

3.2.9. Повторити п.п. 3.2.3...3.2.8 для всіх заданих частот обертання.

3.2.10. Розрахувати розмірний знос для всіх частот обертання за формулою (2.11) та занести результати в таблицю 3.1.

3.2.11. Визначити відносний знос для всіх значень частоти обертання за формулою  $U_{0i}=(U_i-U_{i-1})/L$ , мкм/км; де  $U_i$  - накопичений лінійний знос за частоти обертання  $n_i$ ;  $U_{i-1}$  - накопичений розмірний знос за попередньої частоти обертання  $n_{i-1}$ , мкм.

Таблиця 3.1.

Параметри	Результати вимірювань				
	0	1	2	...	k
$n_i, \text{хв}^{-1}$	-	$n_1$	$n_2$	...	$n_k$
$d_i, \text{мм}$	-	$d_1$	$d_2$	...	$d_k$
$V_i, \text{м/хв}$	-	$V_1$	$V_2$	...	$V_k$
$t_i, \text{хв}$	-	$t_1$	$t_2$	...	$t_k$
$U_i, \text{мкм}$	$U^0$	$U_1$	$U_2$	...	$U_k$
$U_{0i}, \text{мкм/км}$	-	$U_{01} = \frac{U_1 - U^0}{L}$	$U_{02} = \frac{U_2 - U_1}{L}$	...	$\frac{U_k - U_{k-1}}{L}$

3.2.12. Нанести точки з координатами ( $U_i; V_i$ ) на графік і обробити результати методом найменших квадратів. Апроксимуючу функцію шукати у вигляді  $U=AV^m$  або  $U=A_0+A_1V$  залежно від характеру розподілу точок.

3.2.13. Накреслити графік отриманої функції.

3.2.14. Зробити висновки з роботи і оформити звіт.

### 3.3. Контрольні запитання

3.3.1. Поясніть характер залежності відносного зносу від швидкості різання.

3.3.2. Викладіть методику проведення роботи.

3.3.3. Як впливає геометрія інструмента на знос різця?

3.3.4. Вплив елементів режиму різання на знос інструмента.

3.3.5. Вплив елементів зрізуваного шару на знос інструмента.

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ УСТАНОВКИ РОЗМІРУ ПО ЛІМБУ МЕТАЛОРИЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

**Мета роботи:** вивчити статистичні методи дослідження розподілу погрішностей установки розміру по лімбу верстата.

### 4.1. Установка розміру по лімбу верстата

Для відліку необхідних переміщень вузлів металорізальних верстатів використовуються лімба. Проте отримати за допомогою лімба точне переміщення неможливо внаслідок впливу похибок.

Похибка установки розміру по лімбу верстата є величиною випадковою і залежить від таких змінних факторів як сила тертя в направляючих, жорсткість системи переміщення, знос гвинтової пари, гострота зору робітника, освітленість робочого місця, ширина штрихів шкали лімба, неточність нанесення поділок на лімбі тощо.

Похибку установки розміру по лімбу можна знайти шляхом побудови кривих розподілу та їх математичної обробки.

Установка верстата на потрібний розмір за допомогою лімба виконується поворотом відповідної рукоятки гвинта та установкою лімба на потрібну поділку.

Фактичне положення вузла, що переміщується, визначається за допомогою індикатора годинникового типу з ціною поділки 0.01мм або 0.001мм. Індикаторну стійку закріплюють на нерухомому вузлі верстата. Індикатор встановлюють на будь-яку поділку з деяким натягом.

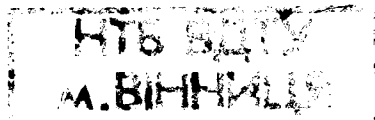
Для отримання даних, що використовуються для побудови кривих розподілу, необхідно багаторазово встановлювати вузол верстата в одне й те ж положення по лімбу, фіксуючи кожен раз фактичне положення вузла. Показники індикатора записують в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

Результати замірів похибок установки розміру по лімбу верстата

№ п/п	$x_i$ , мм	№ п/п	$x_i$ , мм	№ п/п	$x_i$ , мм	№ п/п	$x_i$ , мм

Для знаходження закономірностей поведінки похибок, що виникають під час обробки, використовують статистичні методи. В технології машинобудування широке розповсюдження для оцінки точності обробки отримали точкові діаграми та криві нормального розподілу.



#### 4.2.Крива нормального розподілу та її параметри

Рівняння кривої нормального розподілу має вигляд:

$$y = \varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4.1)$$

де  $\sigma$  - середньоквадратичне відхилення;  $a$  - істинне середнє значення (математичне сподівання) випадкової величини.

При експериментальних дослідженнях, коли число дослідів є обмеженим, аналітично розрахувати випадкову похибку неможливо, тому визначають її приблизні значення: середнє арифметичне випадкової величини  $\bar{x}$  та емпіричне середньоквадратичне відхилення  $s$ .

Для спрощення розрахунків значення випадкової похибки визначають за середніми розмірами інтервалів та частотами попадання цих значень в кожен інтервал:

$$\bar{x} = (\sum x_i m_i) / n, \quad (4.2)$$

де  $x_i$  - середнє значення інтервалу;  $m_i$  - частота попадання розміру в інтервал;  $n$  - загальна кількість вимірювань.

Емпіричне середньоквадратичне відхилення:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 m_i}{n}}. \quad (4.3)$$

При оцінюванні середньоквадратичного відхилення за даними вимірювання та розрахунку за формулою(4.3) похибка визначення емпіричного середньоквадратичного відхилення ( $s$ ) залежить від загальної кількості вимірювань та в окремих випадках може бути досить значною. Враховуючи цю обставину, доцільно визначати середньоквадратичне відхилення за формулою:

$$\sigma = p \cdot s; \quad (4.4)$$

де  $p$  - коефіцієнт точності визначення середньоквадратичного відхилення при невеликій кількості вимірювань  $n$  (таблиця 4.2).

Розрізняють такі криві розподілу: гістограму, практичну криву (полігон) і теоретичну криву розподілу. Ці криві, побудовані для даних таблиці 4.3, показані на рис. 4.1. Їх будують у такій послідовності.

За результатами замірів (таблиця 4.3) визначають з гістограми розподілу діапазон розсіювання розмірів  $\Delta x$  - різницю найбільшого та найменшого розмірів:  $\Delta x = x_{\max} - x_{\min}$ . У нас  $\Delta x = 18.07 - 17.89 = 0.18$ . Цей діапазон розбивають на інтервали, кількість яких вибирають у залежності від числа вимірювань. При кількості вимірювань порядку 100 зазвичай приймається 7...11 інтервалів. У нашому прикладі прийнято 9 інтервалів шириною  $\Delta_1 = 0.18/9 = 0.02$ мм. Подальша послідовність обробки даних показана в таблиці 4.3.

Параметри  $\bar{x}$  та  $s$  розраховують за формулами (4.2) і (4.3):

$$\bar{x} = \sum x_i m_i / n = 449.48 / 25 = 17.98;$$

$$S = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 m_i / n} = \sqrt{332 \cdot 10^{-4} / 25} = 0.036;$$

$$\sigma = p \cdot S = 0.036 \cdot 1.4 = 0.0504,$$

де  $p = 1.4$  (для  $n=25$  по табл.4.2)

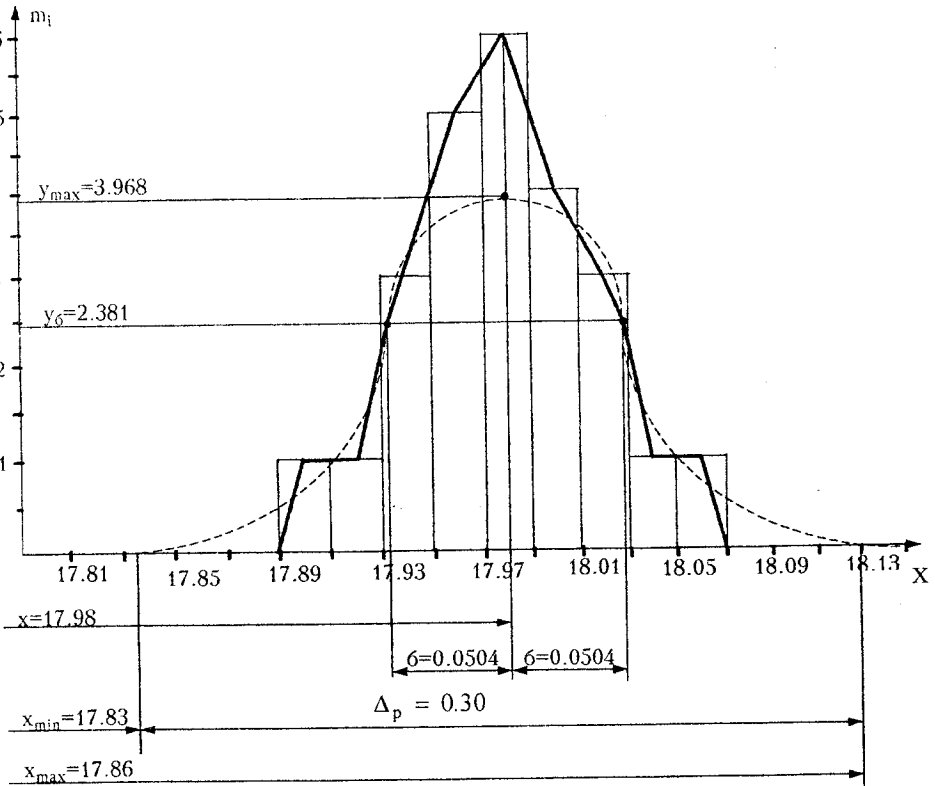


Рис. 4.1. Гістограма розподілу, полігон розподілу та теоретична крива розподілу для даних таблиці 4.3

Для скорочення розрахунків та спрощення приблизної побудови кривої нормального розподілу можна обмежитись такими величинами:

- максимальна ордината (при  $x = \bar{x}$ )

$$y_{\max} = (\sigma\sqrt{2\pi})^{-1} \approx 0,4 / \sigma ; \quad (4.5)$$

- ордината для точок перегину (при  $x = \pm\sigma$ )

$$y_{\sigma} = 0,6 \cdot y_{\max} = 0,24 / \sigma ; \quad (4.6)$$

- фактична величина поля розсіювання

$$\Delta_p = 6\sigma . \quad (4.7)$$

Таблиця 4.2

Максимальна похибка  $\Delta s$  визначення середньоквадратичного відхилення  $s$  та значення поправкового коефіцієнта  $p$  при різній кількості вимірювань  $n$

<b>n</b>	<b><math>\Delta s, \%</math></b>	<b>p</b>
25	42.4	1.4
50	30	1.3
75	25	1.25
100	21.2	1.2
200	15	1.15
300	12.2	1.12
400	10.6	1.11
500	10.0	1.10

Таблиця 4.3

Приклад обробки експериментальних даних

Інтервали	Частоти	$m_i x_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2 \cdot 10^4$	$(x_i - \bar{x})^3 \cdot 10^4 m_i$
17.89-17.91	1	17.90	-0.08	64	64
17.91-17.93	1	17.92	-0.06	36	36
17.93-17.95	3	53.82	-0.04	16	48
17.95-17.97	5	89.80	-0.02	4	20
17.97-17.99	6	107.88	0	0	0
17.99-18.01	4	72.00	0.02	4	16
18.01-18.03	3	54.06	0.04	16	48
18.03-18.05	1	18.04	0.06	36	36
18.05-18.07	1	18.06	0.08	64	64
Сума	25	449.48	-	-	332

Хоча крива нормального розподілу (крива Гауса) наближається до осі абсцис асимптотично, для побудови теоретичної кривої розподілу з достат-

ньою точністю прийнято, що на відстані  $\pm 3\sigma$  від середнього значення  $\bar{x}$  ця крива перетинає вісь абсцис. Тоді для теоретичної кривої розподілу максимальну та мінімальну абсциси визначають за формулами:

$$x_{\max} = \bar{x} + 3\sigma; \quad (4.8)$$

$$x_{\min} = \bar{x} - 3\sigma. \quad (4.9)$$

Для приведення кривої нормального розподілу до того ж масштабу, в якому накреслена крива розсіювання фактичних розмірів, необхідно ординати, розраховані за звичайними формулами, домножити на інтервал розмірів  $\Delta_i$  та на повне число деталей в партії  $n$ .

Тоді з урахуванням масштабу розрахункові формули (3.5)...(3.7) матимуть вигляд:

$$y_{\max} = 0,4 \cdot n \cdot \Delta_i / \sigma; \quad (4.10)$$

$$y_{\sigma} = 0,24 \cdot n \cdot \Delta_i / \sigma; \quad (4.11)$$

$$\Delta_p = 6 \sigma. \quad (4.12)$$

У нас:  $x_{\max} = 17,98 + 3 \cdot 0,0504 = 18,13$ ;  $x_{\min} = 17,98 - 3 \cdot 0,0504 = 17,83$ ;  
 $y_{\max} = 0,4 \cdot 25 \cdot 0,02 / 0,0504 = 3,968$ ;  $y_{\sigma} = 0,24 \cdot 25 \cdot 0,02 / 0,0504 = 2,381$

За цими даними будують криву нормального розподілу безпосередньо на графіку розсіювання розмірів (рис. 4.1).

Вся площа під кривою розподілу відповідає ймовірності попадання розміру у вказаний інтервал і дорівнює 1 або 100%. Площа на рис. 4.2 виражається інтегралом (функцією) Лапласа

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz; \quad (4.13)$$

де  $z = (x - \bar{x}) / \sigma$ .

Значення  $\Phi(z)$  відповідають таблиці 4.4. Користуючись таблицями інтеграла, можна розрахувати ймовірність попадання розмірів у будь-який інтервал, наприклад  $(x_1; x_2)$  на рис. 4.2, за формулою

$$P(x_1; x_2) = [\Phi(z_2) - \Phi(z_1)] 100\%; \quad (4.14)$$

де  $z_1 = x_1 / \sigma$ ;  $z_2 = x_2 / \sigma$ .

Ймовірність виходу значень величини за вказану границю можна розрахувати за формулою:

$$P = [0,5 - \Phi(z)] 100\%. \quad (4.15)$$

З таблиці значень інтеграла  $\Phi(z)$  видно, що при  $z=3$  (а це відповідає  $x=3\sigma$ )  $\Phi(z)=0,4986$ . Це означає, що ймовірність знаходження випадкової величини в межах  $\pm 3\sigma$  буде дорівнювати  $2 \cdot 0,4986 = 0,9973$ , або ж 99,73%. Ймовірність виходу значень величин за межу  $\pm 3\sigma$  становитиме  $1 - 0,9973 = 0,0027$ , або 0,27%. В зв'язку з цим було прийнято відхилення величини від середнього арифметичного, рівне  $\pm 3\sigma$ , називати граничним.

### 4.3. Побудова точкових діаграм

Метод визначення ймовірної точності на основі побудови кривих розсіювання не відбиває послідовності виконання операцій. Метод, що передбачає побудову точкових діаграм, цього недоліку позбавлений.

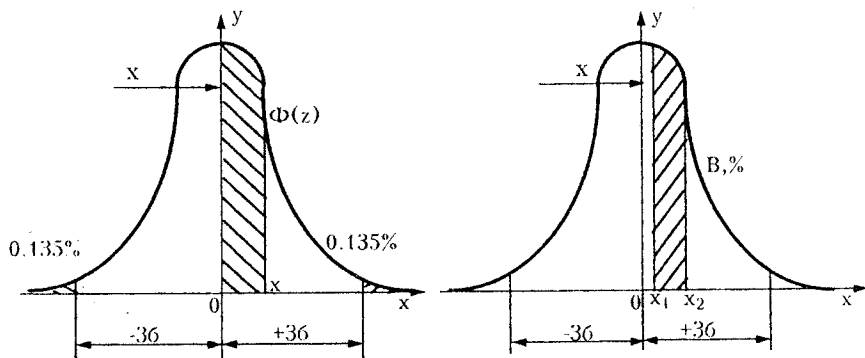


Рис. 4.2. Використання кривої розподілу для визначення ймовірності попадання розмірів у задані інтервали.

Для побудови такої діаграми по осі абсцис відкладають номери операцій виготовлення чи замірювання, що виконують послідовно, а по осі ординат - відповідні розміри або параметри. При значній кількості деталей в партії діаграма виходить довгою. Для зменшення її довжини всю вибірку слід розбити на групи, включаючи в кожну групу кілька операцій, що виконуються послідовно. У цьому випадку по осі абсцис відкладають номери груп. Точки, які позначають розміри деталей однієї групи, розташовуються на одній вертикалі. Отримане розсіювання точок характеризуватиме розсіювання розмірів деталей даної групи, рис 4.3.

Якщо при обробці заготовок їх розміри наближаються до верхньої або нижньої межі допуску, з метою позбавлення ризику появи браку потрібно переналадити верстат або змінити інструмент.

Для встановлення загального напрямку зміни розмірів необхідно замість точок, розташованих на одній вертикалі, нанести одну точку, яка позначає середній розмір даної групи. Отримані точки з'єднують кривою лінією. На точковій діаграмі наочно видні коливання розмірів, викликані як випадковими, так і систематичними похибками обробки.

Розглядаючи цю криву, можна зробити такі висновки:

- розміри перших деталей з початку обробки не співпадають з бажаним розміром наладки - значить, наявна похибка установки різця на розмір;

- початковий та кінцевий розміри не є рівними;  
- зміни розмірів зі збільшенням порядкового номера деталі (партії) свідчать про наявність складних залежностей точності механічної обробки від різних факторів технологічного процесу. Частина факторів викликає випадкові похибки, інші - закономірні систематичні похибки.

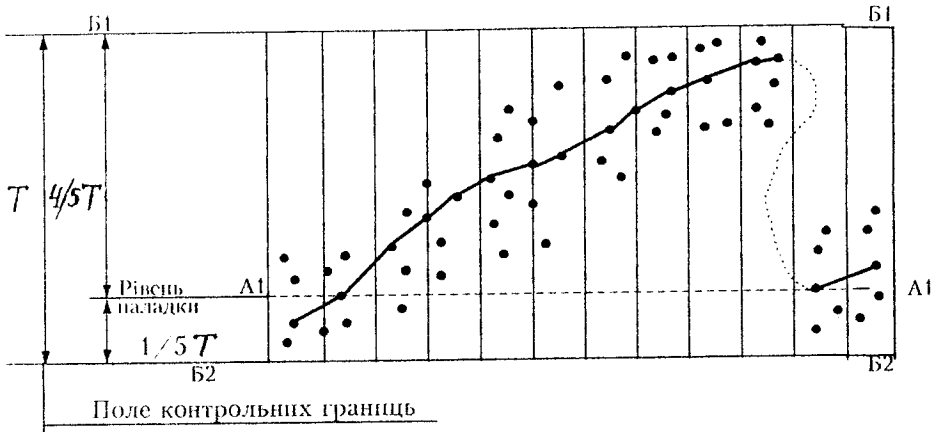


Рис. 4.3. Приклад побудови точкової діаграми.

$T$  - допуск розміру, лінія  $B1-B1$  - верхнє відхилення розміру;  $B2-B2$  - нижнє відхилення розміру;  $A1-A1$  - рівень наладки при обробці зовнішніх поверхонь.

#### 4.4. Порядок виконання роботи

4.4.1. Закріпити на нерухомому вузлі індикаторну стійку. Вимірювальний наконечник індикатора повинен торкатися деталі, яка під час проведення дослідження переміщується.

4.4.2. Зстановити лімб верстата на потрібну поділку.

4.4.3. За допомогою гвинта (повертаючи його рукоятку в зворотному напрямку) відвести назад (на 0,5 - 1 оберт) рухомий вузол верстата так, щоб обов'язково вибрати зазор у гвинтовій парі.

4.4.4. Повертаючи рукоятку гвинта, перемістити вузол верстата до співпадання риски вибраної поділки лімба із нерухомою міткою. Кінцеву доводку співпадання рисок здійснити легким постукуванням рукою по рукоятці гвинта. Записати показники індикатора.

4.4.5. Багаторазово (80...120 раз) повторити п. п. 4.4.3. та 4.4.4. Показники індикатора занести в таблицю 4.1.

4.4.6. Провести розбивку даних на інтервали; побудувати дослідну криву розподілу та гістограму розподілу.



#### 4.5. Контрольні питання

- 4.5.1. Призначення лімбів.
- 4.5.2. Класифікація похибок при механічній обробці.
- 4.5.3. Фактори, які впливають на похибки установки розміру по лімбу верстата.
- 4.5.4. Розсіювання розмірів, середньоквадратичне відхилення, дисперсія, математичне очікування.
- 4.5.5. Точкова діаграма та її аналіз.
- 4.5.6. Гістограма, дослідна крива розподілу, нормальна крива розподілу. Їх побудова і аналіз.
- 4.5.7. Оцінка точності розмірів за допомогою кривої нормального розподілу та точкової діаграми.

#### *Лабораторна робота №5*

### НАЛАГОДЖЕННЯ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ БАЗУВАННЯ

**Мета роботи:** оволодіти на практиці налагодженням фрезерного верстата для обробки партії деталей та вивчити вплив характеру базування заготовки на відхилення від номінальних розмірів деталі.

Під час обробки деталей на верстатах для забезпечення необхідної точності слід надавати заготовці цілком певного положення відносно ріжучого інструмента. Потім необхідно закріпити заготовку для попередження її зміщення під дією сил, що виникають в процесі обробки.

Внаслідок похибки виконання базової поверхні заготовок, неточності виготовлення та зносу елементів пристосування їх позиція буде різною. Похибка обробки, яка виникає внаслідок вказаних причин, називається похибкою установки  $\Delta_y$ . Поверхні заготовок, щодо яких задають розміри, котрі необхідно витримати, називаються вимірювальними; поверхні, за допомогою яких заготовки орієнтують у просторі належним чином - базовими; поверхні, які проходять через точки контакту базової поверхні заготовки з опорами пристосувань - установчими.

Похибку установки заготовки в пристосуваннях розраховують з урахуванням похибок: базування  $\Delta_b$  та закріплення  $\Delta_z$  заготовок, виготовлення та зносу опорних елементів пристосувань  $\Delta_{np}$ . Оскільки всі ці похибки є випадковими величинами, то

$$\Delta_y = \sqrt{\Delta_b^2 + \Delta_z^2 + \Delta_{np}^2}$$

Похибка пристосування не пов'язана з процесом установки в них заготовок, тому її часто можна компенсувати при налагоджуванні верстата (за виключенням випадків використання пристосувань - супутників).

Похибку закріплення зазвичай визначають статистичною обробкою результатів дослідження пристосувань (див. лабораторні роботи №6 та №7). Середнє значення похибки базування можна визначити розрахунком геометричних зв'язків за прийнятої схеми базування.

### 5.1. Схеми базування при встановленні в призмі

На рис. 5.1. зображені схеми установки вала діаметром  $d$  в призмі при фрезеруванні вала, розмір якого задано від різних конструкторських баз.

У першому випадку розмір  $A_{\Sigma}$  визначається від нижньої твірної вала, у другому - розмір  $B$  пов'язаний з верхньою твірною вала, в третьому - розмір  $C$  визначається від осі вала.

В усіх випадках вал встановлюють по допоміжній базі, тому похибка базування є неминучою.

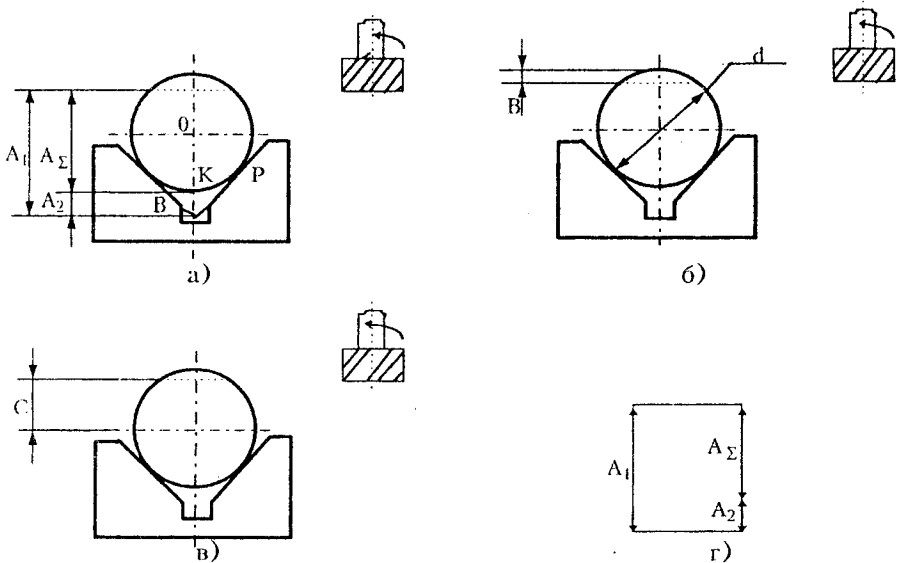


Рис. 5.1. Схеми базування при встановленні в призмі.

## 5.2. Розрахунок похибки базування

Розглянемо похибку базування для випадку фрезерування лиски паза в циліндричному валіку, що встановлений у призмі за схемою рис.5.1, а.

Похибку базування у цьому випадку можна визначити з розмірного ланцюга (рис. 5.1, г), який показує зв'язок між заданим розміром  $A_{\Sigma}$ , розміром  $A_1$ , що в даному випадку є розміром налагодження інструмента та розміром  $A_2$ , котрий пов'язує конструкторську та технологічну бази (точки К та В). Тут розмір  $A_{\Sigma}$  є замикаючим, оскільки його безпосередньо не дотримуються, а отримують внаслідок виконання складових ланок  $A_1$  та  $A_2$ :

$$A_{\Sigma} = A_1 - A_2 \quad (5.2)$$

З трикутника ОВР випливає :

$$A_2 = \frac{d}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right).$$

Тоді 
$$A_{\Sigma} = A_1 - \frac{d}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right) \quad (5.3)$$

Якщо  $2\alpha = 90^\circ$ , то 
$$A_{\Sigma} = A_1 - 0.207d \quad (5.4)$$

Коли ж  $2\alpha = 60^\circ$ , то 
$$A_{\Sigma} = A_1 - 0.5d \quad (5.5)$$

Похибка розміру  $A_{\Sigma}$ :

- для  $2\alpha = 90^\circ$  
$$\Delta A_{\Sigma} = \Delta A_1 + 0.207Td, \quad (5.6)$$

- для  $2\alpha = 60^\circ$  
$$\Delta A_{\Sigma} = \Delta A_1 + 0.5Td, \quad (5.7)$$

де  $Td$  - похибка величини розміру  $d$ , чи іншими словами допуск на діаметр  $d$ ;

Якщо прийняти, що похибка розміру  $A_1$  (розміру налагодження інструмента) дорівнює нулю, то похибка  $\Delta A_{\Sigma}$  буде являти собою похибку базування:

- для  $2\alpha = 90^\circ$  
$$\Delta_{\delta}^{A_{\Sigma}} = 0.207Td; \quad (5.8)$$

- для  $2\alpha = 60^\circ$  
$$\Delta_{\delta}^{A_{\Sigma}} = 0.5Td. \quad (5.9)$$

Аналогічно можна вивести залежності похибок базування для розмірів В та С:

$$\Delta_{\delta}^a = 0,5Td \left( \frac{1}{\sin \alpha} + 1 \right) \quad (5.10)$$

$$\Delta_{\delta}^c = 0,5Td \left( \frac{1}{\sin \alpha} \right) \quad (5.11)$$

## 5.3. Порядок виконання роботи

5.3.1. Виміряти діаметри всіх валіків, що входять у партію, та записати в таблицю 5.1 їх розміри відповідно до номера деталі.

5.3.2. Визначити середній діаметр валиків у партії  $d = \Sigma d_i / n$  та діапазон розсіювання  $\Delta d = d_{\max} - d_{\min}$ .

5.3.3. Визначити квалітет  $IT$  виконання партії валиків з довідників виходячи з умови, що допуск  $Td$  дорівнює, чи дещо перевищує діапазон розсіювання  $\Delta d$ .

5.3.4. Розрахувати похибку базування на розмір  $A_\Sigma$  за рівнянням (5.8) та з'ясувати, яка частина допуску залишається на інші похибки. Але при цьому повинна виконуватись умова

$$\frac{1}{3} T_{A_\Sigma} \geq \Delta_\delta A_\Sigma. \quad (5.12)$$

Якщо умова (5.12) не виконується, то вибираємо більш грубий квалітет виконання розміру  $A_\Sigma$  для забезпечення виконання даної умови.

5.3.5. Вибрати валик, у котрого діаметр найбільш близький до

$$d_{cp}^0 = \frac{d_{\min}^0 + d_{\max}^0}{2}, \quad (5.13)$$

де  $d_{\min}^0$  та  $d_{\max}^0$  вибираються з довідників згідно з попередньо визначеним у п. 5.3.3 квалітетом.

5.3.6. Закріпити вибраний валик у призмі з  $2\alpha = 90^\circ$  та методом пробних стружок виконати налагодження верстата на розмір

$$A_{\Sigma_{cp}}^0 = \frac{A_{\Sigma_{\max}}^0 + A_{\Sigma_{\min}}^0}{2} \quad (5.14)$$

де  $A_{\Sigma_{\max}}^0$  та  $A_{\Sigma_{\min}}^0$  вибираються з довідників згідно з попередньо визначеним у п. 5.3.4 квалітетом.

5.3.7. Виконати фрезерування лисок всіх валиків партії.

5.3.8. Виміряти розмір  $A_{\Sigma_i}$  у всіх деталей та записати в таблицю 5.1 відповідно до номера деталі.

5.3.9. Визначити середній розмір

$$\bar{A}_\Sigma = \Sigma A_{\Sigma_i} / n \quad (5.15)$$

5.3.10. Розрахувати відхилення  $e_{d_i}$  та  $e_{A_{\Sigma_i}}$  від їх середнього розміру

$$e_{d_i} = d_i - d_{cp}^0 \quad (5.16)$$

$$e_{A_{\Sigma_i}} = A_{\Sigma_i} - A_{\Sigma_{cp}}^0 \quad (5.17)$$

Отримані величини записати в таблицю 5.1.

5.3.11. Побудувати точкову діаграму для  $e_{d_i}$  та  $e_{A_{\Sigma_i}}$  за методикою,

викладеною в лабораторній роботі №4.

5.3.12. Визначити похибку налагодження верстата за формулою

$$\Delta_n = A_{\Sigma,р} - A_{\Sigma,р}^0 ;$$

де  $A_{\Sigma,р}^0 = \frac{1}{2} (A_{\Sigma,р,макс}^0 + A_{\Sigma,р,мін}^0)$  - середина поля допуску розміру  $A_{\Sigma}$  за довідковими даними.

5.3.13. Зробити висновки та оформити звіт.

Таблиця 5.1.

Розміри та відхилення розмірів деталей.

№ деталей	$d_i$	$A_{\Sigma_i}$	$e_{d_i}$	$e_{A_{\Sigma_i}}$	Прим.

#### 5.4. Контрольні запитання

- 5.4.1. Мета роботи.
- 5.4.2. Зміст роботи.
- 5.4.3. Схеми базування при встановленні в призмі.
- 5.4.4. Визначення похибки установки та її складових.
- 5.4.5. Похибка базування та методика її розрахунку.
- 5.4.6. Похибка налагодження і методика її визначення.
- 5.4.7. Величина та поле розсіювання розмірів.
- 5.4.8. Точкова діаграма та її аналіз.

#### Лабораторна робота № 6

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ В ТРИКУЛАЧКОВОМУ ПАТРОНІ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА

**Мета роботи:** вивчити методику визначення погрішності закріплення заготовки в трикулачковому патроні.

Під час закріплення заготовки в пристосуванні у багатьох випадках відбувається її переміщення (витискування з пристосування), що призводить до появи зазорів між базовою поверхнею заготовки та відповідною установчою поверхнею пристосування, щодо якої здійснюється налагодження верстата. Зміна переміщення заготовки при її закріпленні викликає розсіювання розміру, що контролюється, з полем розсіювання  $\Delta$ , котре визначається у більшості випадків експериментально.

Похибка закріплення залежить від конструкції та стану затискного

пристрою і напрямку затискання. Найменша похибка закріплення, пов'язана з вигискуванням заготовки із пристосування, досягається при направленні затискного зусилля перпендикулярно до вимірювальної бази. Проте й у цьому випадку похибка закріплення не дорівнює нулю у зв'язку з неточністю базуючих опорних поверхонь заготовок та наявністю контактних деформацій поверхонь дотику. Такі деформації в загальному вигляді описуються нелінійним законом типу  $y = cP^n$  і можуть досягати в окремих випадках значних величин. У цій формулі:  $c$  - коефіцієнт, що характеризує вид контакту, матеріал заготовки, шорсткість та стан поверхневого шару контактуючих поверхонь;  $P$  - сила, яка діє на контактний елемент (опору);  $n$  - показник степені (менший за одиницю).

Контактні деформації поверхонь дотику супроводжуються зміщенням технологічної та вимірювальної баз заготовки відносно положення встановленого інструмента, викликаючи появу похибки закріплення.

### 6.1. Особливості закріплення заготовок у патроні

При закріпленні заготовки в трикулачковому патроні виникає осьова похибка - наслідок деякої непостійності радіального переміщення кулачків, а також пружної деформації в результаті випинання передньої стінки патрона.

Так, при повороті спірального диска 1 патрона (рис. 6.1) зусилля  $P$  намагається змістити кулачок 3 і закріпити заготовку 4.

З боку заготовки на кулачок діє сила реакції  $P'$  і, таким чином, намагається повернути кулачок в напрямку стрілки.

Цьому повороту заважають направляючі 2 корпуса патрона, проте момент  $M$  є достатнім для того, щоб деформувати направляючі разом зі всією передньою стінкою корпуса патрона.

Звичайними прийомами закріпити деталь із забезпеченням однакових умов закріплення неможливо, тому похибка установки є випадковою величиною, котру визначають статистичною обробкою результатів, отриманих шляхом багаторазового закріплення заготовки у пристосуванні з наступним контролем поточного значення похибки.

### 6.2. Порядок виконання роботи

6.2.1. Встановити оправку індикатора в різцетримачі токарного верстага.

6.2.2. Встановити оброблювану заготовку в трикулачковий патрон і щільно притиснути до торцевої поверхні патрона.

6.2.3. В цьому положенні підвести супорт із закріпленням у державці різцетримача індикатором, вимірювальний наконечник котрого повинен

торкатися торця закріпленої заготовки по лінії центрів з натягом, після чого закріпити супорт та встановити стрілку індикатора на нуль.

6.2.4. Відкріпити заготовку, повернути її на довільний кут навколо осі, знову щільно притиснути базовий торець до поверхні патрона та закріпити. Показники індикатора записати тільки після закріплення деталі.

6.2.5. Повторити закріплення деталі багаторазово (50...70 разів) і записати результати. При цьому кожному з членів бригади застосувати один із вказаних далі способів установки та закріплення заготовки:

а) заготовку притискають до торця патрона і закріплюють;

б) заготовку притискають до торця патрона, після чого затискають попередньо з незначним зусиллям. Потім легким постукуванням дерев'яним молотком по торцю заготовки щільно притискають її до торця патрона та закріплюють остаточно.

6.2.6. Подати результати вимірювань за формою 1.

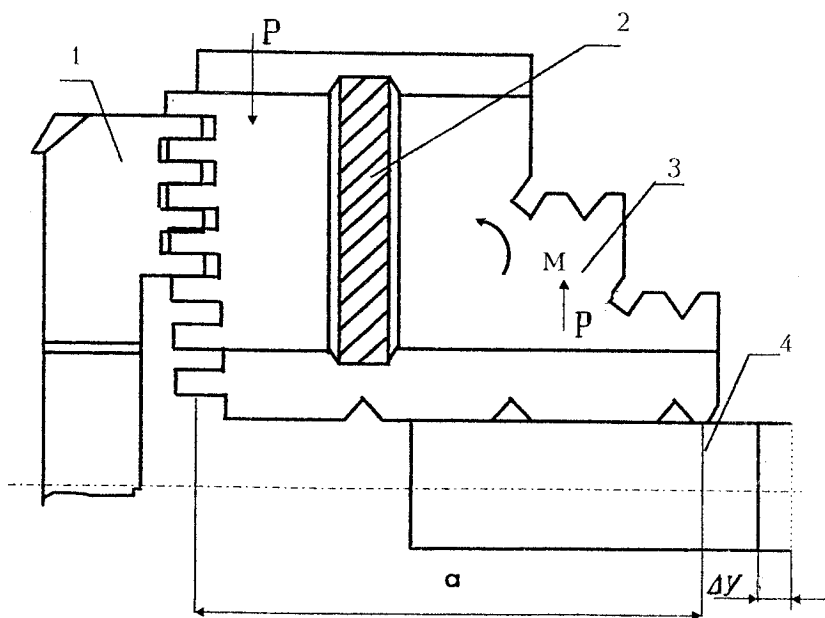


Рис. 6.1. Схема закріплення заготовки у токарному патроні

6.2.7. Розрахувати середню похибку закріплення та середньоквадратичне відхилення за методикою, викладеною в лабораторній роботі №4.

6.2.8. Визначити поле розсіювання похибки закріплення :

$$\Delta_s = 6pS \quad (6.1)$$

де  $S$  - емпіричне середньоквадратичне відхилення;

$p$  - поправковий коефіцієнт (визначається за методикою, викладеною в лабораторній роботі №4 та табл. 4.2).

6.2.9. Зробити висновки з результатів роботи бригади, в яких обґрунтувати вплив способів установки на похибку  $\Delta_s$  та визначити квалітет точності для заданого номінального розміру при різних способах установки.

6.2.10. Оформити звіт з роботи.

### 6.3. Контрольні питання

6.3.1. Складові похибки установки.

6.3.2. Фактори, що впливають на похибку закріплення.

6.3.3. Особливості закріплення заготовок в трикулачковому патроні.

6.3.4. Чому значення похибок установки при закріпленні способами *a)* та *б)* відрізняються між собою ?

6.3.5. Якого квалітету точності можна досягнути при установці деталі в досліджуваному патроні?

6.3.6. Чи можна зробити висновок про можливий квалітет точності без застосування статистичного аналізу? Чому?

6.3.7. Як впливає матеріал заготовки на похибку установки?

6.3.8. Чи впливає розмір деталі на можливий квалітет точності?

*Форма 1*

Обладнання:		Пристосування:			
Вимірювальні прилади:					
Спосіб установки:					
Схема установки:			Ескіз деталі:		
Результати вимірювань					
№ п/п	Значення параметра	№ п/п	Значення параметра	№ п/п	Значення параметра



## Лабораторна робота № 7

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ В МАШИННИХ ЛЕЩАТАХ

**Мета роботи:** вивчити методику визначення похибки закріплення заготовок в машинних лещатах.

#### 7.1. Особливості закріплення в машинних лещатах

Якщо закріплювана деталь не досить жорстка, то внаслідок пружних деформацій під дією зусилля затискання може мати місце спотворення її геометричної форми; після обробки та розкріплення заготовка знову набуде своєї первісної форми, проте це приведе до похибки розміру.

При закріпленні жорстких заготовок також буде виникати похибка закріплення, але вже як наслідок непаралельності затискних поверхонь, що виникає за наявності зазорів у конструкції лещат, котрі призводять до перекосу заготовки.

Оскільки коливання зусилля затискання є випадковим, то й похибка закріплення в машинних лещатах також буде випадковою величиною.

Виникнення похибки закріплення заготовки в машинних лещатах та її вимірювання показано на рис. 7.1.

#### 7.2. Порядок виконання роботи

7.2.1. Встановити лещата та стійки з індикатором на столі верстата.

7.2.2. Встановити заготовку в лещата і рукою притиснути її до нерухої губки. У цьому положенні індикатору надати натяг 0,5...1,0 мм і встановити стрілку на нуль.

7.2.3. Багаторазово (50...70 раз) закріпити та розкріпити заготовку в лещатах, фіксуючи щоразу показання індикатора; при цьому використовуйте три способи установки та закріплення заготовки (послідовно серіями):

а) заготовку вільно кладуть на підкладку лещат і затискають з довільним зусиллям;

б) заготовку вільно кладуть на підкладку лещат, після чого затискають невеликим зусиллям. Потім легким постукуванням дерев'яним молотком притискають її до підкладки і перевіряють щільність прилягання заготовки, намагаючись витягти з-під неї підкладку. Якщо її не можна видалити, тоді остаточно затискають лещата;

в) заготовку щільно притискають до підкладки та затискають в лещатах. Остаточне затискання виконують сильним, однаковим для всіх закріплень, ударом молотка по рукоятці лещат.

7.2.4. Подати результати за формою 1 (див. роботу №6).

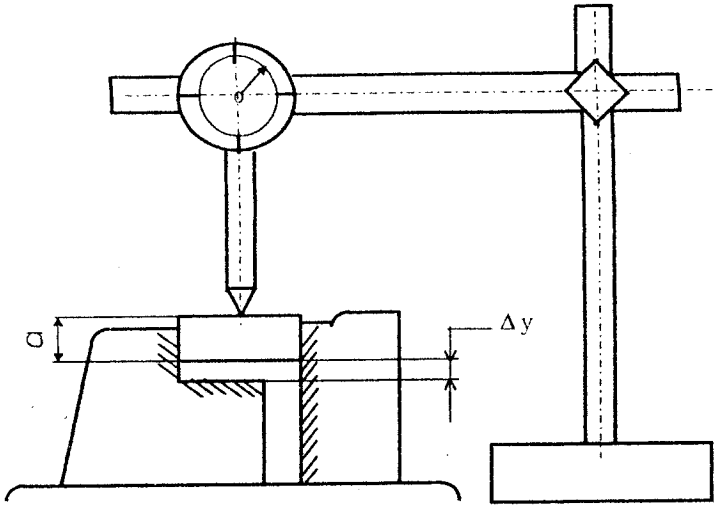


Рис. 7.1. Похибка закріплення при встановленні заготовки в машинних лещатах.

7.2.5. Визначити поле розсіювання похибок закріплення за формулою (6.1).

7.2.6. Зробити висновки з результатів роботи, в котрих пояснити вплив способів установки на похибку закріплення та визначити, який квалітет точності може бути досягнутий для даного номінального розміру деталі залежно від способу установки.

7.2.7. Оформити звіт.

### 7.3. Контрольні запитання

7.3.1. Назвіть складові похибки установки.

7.3.2. Які фактори впливають на похибку установки?

7.3.3. Особливості закріплення заготовок в машинних лещатах.

7.3.4. Чому похибки установки при закріпленні різними способами відрізняються?

7.3.5. Якого квалітету точності можна досягати при встановленні деталі в досліджувані лещата?

7.3.6. Чи можна зробити висновок про можливий квалітет точності без проведення статистичного аналізу? Чому?

7.3.7. Як впливає матеріал заготовки на похибку її закріплення в машинних лещатах?

### *Лабораторна робота №8*

## **СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ**

**Мета роботи:** оволодіти навиками практичного застосування методу вибірок для аналізу точності обробки деталей на налагодженому на розмір верстаті.

При обробці партії заготовок на налагодженому верстаті розміри окремих деталей відрізняються від розрахункового значення внаслідок загального впливу окремих похибок обробки, джерелами яких є система “верстат - пристосування - інструмент - деталь” (ВПД).

Виходячи з характеру утворення цих похибок, їх можна поділити на випадкові та систематичні, а останні - на постійні та функціональні.

Постійними називаються такі похибки, котрі зберігають своє значення при обробці кожної деталі.

Функціональні - похибки, що закономірно змінюються під час обробки кожної нової деталі.

Випадкові - похибки, які при обробці кожної нової деталі можуть бути будь-якого числового значення в певних межах.

Постійні похибки виникають внаслідок неточності налагодження ріжучого інструмента на розмір, неточності виготовлення верстата, пристосування та вимірювального інструмента.

Причини виникнення функціональних похибок - розмірний знос ріжучого інструмента та його теплові деформації.

### **8.1. Параметри, що характеризують вплив похибок на точність обробки**

Вплив систематичних похибок характеризується коефіцієнтом точності налагодження, за допомогою якого можна оцінити положення середини поля розсіювання відносно середини поля допуску. При цьому розрізняють коефіцієнт точності налагодження  $e_\phi$  та допустимий коефіцієнт точності налагодження  $e_d$ :

$$e_\phi = (\bar{x} + x_{cp}^0) / T \quad (8.1)$$

$$e_0 = (T - \Delta_p) / 2T \quad (8.2)$$

Тут  $\bar{x}$  - середнє арифметичне значення дослідного розподілу;

$x_{\Delta p}^0 = (x_{\max}^0 + x_{\min}^0) / 2$  - координата середини поля допуску; ( $x_{\max}^0$  та

$x_{\min}^0$  - найбільший та найменший розміри деталі за кресленням);

$T$  - допуск на ознаку якості за кресленням;

$\Delta_p = 6\rho S$  - практичне поле розсіювання (значення  $\rho$  для вибірок

різного обсягу див. у роботі 4, табл. 4.2).

Вплив випадкових факторів оцінюється коефіцієнтом точності

$$T_n = T / \Delta_p \quad (8.3)$$

Під час аналізу точності технологічних процесів можливі декілька варіантів.

Якщо  $T_n > 1$ , то поле допуску на обробку за кресленням перевищує практичне поле розсіювання і технологічний процес забезпечує певний резерв точності.

Якщо  $T_n \leq 1$ , поле допуску на обробку є меншим від практичного поля розсіювання і технологічний процес не забезпечує заданої точності, тобто може виникнути брак, що піддається або не піддається виправленню.

Враховуючи викладене, можна стверджувати, що достатньою умовою роботи без браку є забезпечення нерівностей

$$T_n > 1; e_0 < e_d \quad (8.4)$$

## 8.2. Порядок виконання роботи

8.2.1. Встановити різець у різцетримачі токарного верстата і закріпити його.

8.2.2. Увімкнути верстат і методом пробних проходів здійснити налагодження на заданий розмір.

8.2.3. Обробити партію заготовок кількістю 50 штук.

8.2.4. В процесі обробки партії вимірювати отримані діаметри деталей і записувати їх у порядку надходження в таблицю (див. таблицю 4.1).

8.2.5. Побудувати точкову діаграму для даної партії.

8.2.6. Подати дослідний розподіл у вигляді згрупованих даних по формі таблиці 4.2 і визначити параметри кривої нормального розподілу.

8.2.7. Побудувати на одному графіку гістограму, полігон і теоретичну криву розподілу за методикою, викладеною в лабораторній роботі №4.

8.2.8. Розрахувати коефіцієнт точності  $T_n$  та коефіцієнти точності налагодження  $e_d$  та  $e_0$ .

8.2.9. Зробити висновки про якість функціонування технологічного процесу.

8.2.10. Визначити процент можливого браку, що піддається та не під-

дається виправленню (див. лабораторну роботу №4).

8.2.11. Зробити висновки та оформити звіт.

### 8.3. Контрольні запитання

8.3.1. Класифікація похибок обробки.

8.3.2. Характеристики похибок.

8.3.3. Причини виникнення різних похибок.

8.3.4. Параметри, що характеризують вплив похибок на точність обробки.

8.3.5. Чим характеризується вплив систематичних похибок?

8.3.6. Чим характеризується вплив випадкових похибок?

8.3.7. Чим визначається можливість виправлення браку?

8.3.8. Умови роботи без браку.

### Лабораторна робота №9

## ВПЛИВ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ТА ГЕОМЕТРІЇ ІНСТРУМЕНТА НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ПРИ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ

**Мета роботи:** ознайомитись зі ступенем впливу швидкості різання, подачі та радіуса при вершині в плані на шорсткість поверхні при токарній обробці, а також набути навичок самостійного проведення досліджень.

В процесі різання відбувається деформація обробленої поверхні. Умови, які приводять до зменшення деформації різаного шару, зменшують деформації обробленої поверхні і, відповідно, зменшують висоту залишкових нерівностей.

Від якості поверхні залежить більшість експлуатаційних характеристик деталей машин; поряд з цим стан поверхні (шорсткість) є однією з характеристик точності обробки, оскільки поверхня заготовки, отримана в результаті обробки ріжучим інструментом, завжди відрізняється від ідеальної, зображеної на кресленнях.

Якість поверхневого шару характеризується шорсткістю поверхні, мікроструктурою, глибиною та ступенем наклепу, залишковими напруженнями. При цьому найбільш розробленою характеристикою якості поверхні є її шорсткість.

### 9.1. Фактори, які впливають на шорсткість поверхні

Висота мікронерівностей під час обробки залежить в основному від швидкості різання  $V$ , подачі  $s$  та геометричних параметрів ріжучого інстру-

мента (кутів  $\varphi$  і  $\varphi_1$ , а також радіуса при вершині в плані  $r$ ).

Шорсткість обробленої поверхні значною мірою пов'язана з процесами утворення стружки і в першу чергу - з явищами наростоутворення. В зоні малих швидкостей різання (порядку 1 м/хв) при яких нарід не утворюється, розміри нерівностей обробленої поверхні незначні. Зі збільшенням швидкості різання до 20 - 30 м/хв шорсткість поверхні погіршується, тобто зростає висота мікронерівностей, перевищуючи розрахункові значення. Зона збільшення шорсткості пов'язана з утворенням наросту на ріжучій крайці інструмента. Подальше підвищення швидкості різання зменшує нарід та знижує висоту нерівностей профілю обробленої поверхні, якщо фактори залишаються незмінними.

В зоні швидкостей порядку 70 м/хв наростоутворення припиняється, шорсткість мінімізується. Подальше збільшення швидкості різання зменшує нарід незначно, крім того у цьому разі зона пластичного деформування поверхневого шару також зменшується, що наближує характеристики якості обробки до розрахункових.

У випадку обробки крихких матеріалів (наприклад, чавуну) поряд зі зрізанням окремих шарів металу відбувається їх зсув та неупорядковане крихке відколювання від основної маси металу, що збільшує шорсткість поверхні. Підвищення швидкості різання при цьому зменшує відколювання часток і оброблена поверхня стає гладенькою.

Значніше, ніж швидкість, на шорсткість поверхні впливає величина подачі, що багато в чім зумовлено пластичними та пружними деформаціями поверхневого шару.

Різання металів здійснюється інструментом, лезо котрого завжди має певний радіус, званий радіусом заокруглення  $\rho$ . При проникненні різця в оброблюваний матеріал відбувається відділення стружки по площині сколювання А-А (рис. 9.1). При цьому частина металу, що лежить нижче точки В, не зрізається, а підминається заокругленою частиною різця, зазнаючи пружних та пластичних деформацій.

Після проходження різця незрізаний шар металу частково пружно відновлюється, викликаючи тертя по задній поверхні різця. Різниця ступені пружного відновлення металу виступів та западин нерівностей звичайно збільшує висоту шорсткості.

Найменша товщина  $t_{\min}$  зрізаного шару (при більших за  $t_{\min}$  товщинах шару відбувається різання, а при менших - лише пластичне деформування та пружне зминання металу заокругленою поверхнею леза) залежить від радіуса заокруглення, властивостей оброблюваного матеріалу та швидкості різання (рис. 9.1). При зменшенні ж радіуса  $\rho$  та збільшенні швидкості різання значення  $t_{\min}$  зменшується.

Зміна кутів  $\varphi$  і  $\varphi_1$  в плані впливає не лише на висоту, але й на форму нерівностей поверхні.

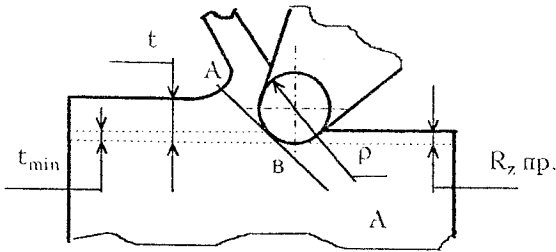


Рис. 9.1. Схема відділення стружки різцями із округленим лезом

При використанні різців із заокругленою вершиною достатньо великого радіуса в плані  $r$  форма нерівностей відповідно стає також заокругленою. При цьому збільшення радіуса  $r$  приводить до зменшення висоти шорсткості  $R_z$ .

Виходячи із геометричних міркувань, проф. Чебишев запропонував визначати висоту  $R_z$  нерівностей при обробці різцями залежно від подачі та радіуса в плані  $r$  за формулою  $R_z = S^2 / 8r$ .

Вибрації леза ріжучого інструмента відносно оброблюваної поверхні є додатковими джерелами збільшення шорсткості обробленої поверхні, причому висота шорсткості буде тим більшою, чим більшою буде подвоєна амплітуда коливання леза інструмента відносно оброблюваної поверхні.

## 9.2. Вимірювання шорсткості

Шорсткість поверхні слід вимірювати в напрямку, котрий дає найбільше значення  $R_z$ . Для цього застосовують спеціальні прилади контактного (профілографи та профілометри) і безконтактного (оптичні прилади) типів, котрі дозволяють отримати профіль обробленої поверхні, збільшений у вертикальному напрямку в декілька тисяч, а в горизонтальному - в кілька десятків (сотень) раз.

У даній роботі висоту мікронерівностей вимірюють за допомогою мікроскопа МІС-11.

Оброблену деталь встановлюють на предметний столик мікроскопа і фокусують зображення щілини мікроскопа на деталі. Повертаючи від руки деталь, орієнтують її таким чином, щоб напрямок нерівностей був перпендикулярним до зображення щілини. Далі поворотом окулярного мікрометра горизонтальну штрихову лінію встановлюють паралельно до вершин гребне-

нів (рис. 9.2.). Якщо в поле зору попадає менше п'яти гребенів, необхідно замінити об'єктиви на слабші та знову повторити фокусування.

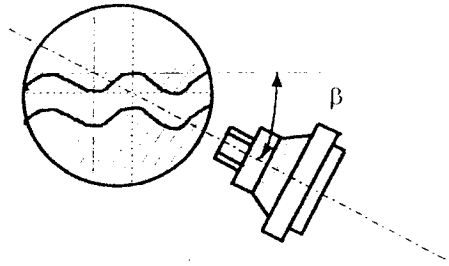


Рис. 9.2. Вимірювання шорсткості мікроскопом МІС-11

Обертанням барабана спочатку суміщають штрихову лінію окулярної сітки з вершинами профілю та відраховують показники, потім - із западинами - і знову фіксують результати. Висота мікронерівностей  $R$  у даному випадку дорівнюватиме різниці показників барабана, домноженій на масштабну ціну поділки. Величина  $R_z$  визначається як середньоарифметичне п'яти максимальних значень  $R$  на довжині ділянки вимірювання (вона може включати в себе одну або кілька базових довжин залежно від поля зору мікроскопа):  $R_z = 0,2 \sum R_{\max}$ .

### 9.3. Порядок виконання роботи

9.3.1. Встановити заготовку в центрах токарного верстата.

9.3.2. Закріпити в різцетримачі супорта різець з головним кутом у плані  $\varphi=45^\circ$  та з найменшим радіусом при вершині. Положення різця під час установки (кут  $\varphi$ ) перевірити шаблоном.

9.3.3. Встановити режим різання:  $V=65-70$  м/хв;  $t=0,2-0,5$  мм. Подачі  $s$  складають для кожної ділянки валика відповідно 0,07; 0,13; 0,620; 0,33; 0,40; 0,55 мм/об. Ескіз валика для обробки зображений на рис. 9.3.

9.3.4. Проточити першу ділянку вала.

9.3.5. Встановити наступну подачу і проточити другу ділянку.

9.3.6. Повторити дію п. 9.3.5 для всіх заданих подач.

9.3.7. Зняти заготовку та виміряти висоту нерівностей обробленої поверхні на всіх ділянках валика за допомогою мікроскопа. Розрахувати висоту нерівностей  $R_z$  та перевести її в  $R_a$  за довідниками.

9.3.8. Зняти різець і виміряти радіус при вершині різця.

9.3.9. Повторити п.п. 9.3.1 та 9.3.2.

9.3.10. Встановити режим різання:  $s=0,13$  мм/об;  $t=0,2...0,5$  мм. Шви-



дкість різання  $v$  вибирають з ряду 10, 20, 65, 85, 120, 150 м/хв.

9.3.11. Проточити першу ділянку валика.

9.3.12. Встановити наступну швидкість різання і проточити іншу ділянку валика.

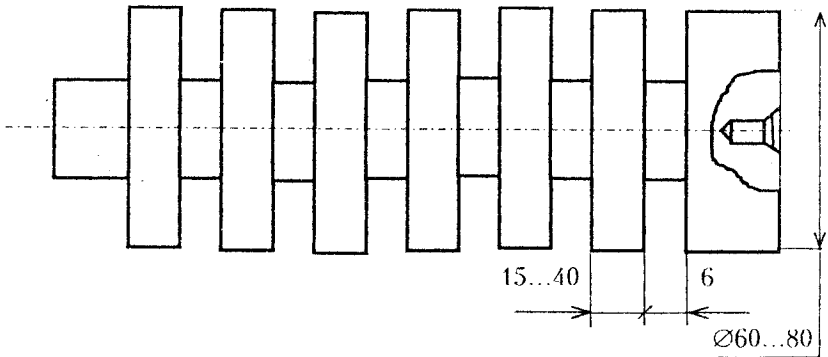


Рис. 9.3. Загальний вигляд заготовки для проведення досліджень шорсткості обробленої поверхні

9.3.13. Повторити п. 9.3.12 для всіх заданих швидкостей.

9.3.14. Повторити п.п. 9.3.7 та 9.3.8.

9.3.15. Проточити заготовку в декілька прийомів, використовуючи різці з радіусами при вершині в плані  $r$ , рівними 0,5; 1,0; 3,0; 6,0 мм; при цьому  $t=0,5$  мм;  $V=65$  м/хв;  $s=0,13$  мм/об.

9.3.16. Зняти заготовку з верстата, заміряти висоту мікронерівностей на кожній ділянці поверхні.

9.3.17. Виміряти на інструментальному мікроскопі радіуси при вершині в плані у всіх різців.

9.3.18. Подати результати досліджень згідно з таблицею 9.1.

9.3.19. Побудувати графіки залежності шорсткості поверхні від швидкості різання, подачі, радіуса при вершині в плані.

9.3.20. Зробити висновки з роботи та скласти звіт.

#### 9.4. Контрольні питання

9.4.1. Шорсткість поверхні.

9.4.2. Які фактори впливають на  $R_z$  при обробці?

9.4.3. Як залежить шорсткість поверхні від швидкості різання?

9.4.4. Вплив подачі на шорсткість поверхні.

9.4.5. Визначення висоти мікронерівностей при обробці різцем.



Лабораторна робота №10

ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБОК ОБРОБКИ КІЛЕЦЬ НА НАЛАГОДЖЕНОМУ ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ

**Мета роботи:** визначити відхилення розмірів (діаметрів) деталей (кілець) для випадку їх обточування на налагодженому токарному верстаті, викликані як випадковими, так і систематичними похибками обробки, методом точкових діаграм.

10.1. Загальні відомості

Встановлено на практиці, що при обточуванні партії кілець на налагодженому верстаті вони будуть мати різні розміри (діаметр і довжину), котрі відрізнятимуться від розміру наладки на деяку величину  $\Delta_d$  (похибку обробки). Ці коливання розмірів є наслідком як випадкових, так і систематичних похибок обробки.

Похибки обробки можуть визначатись кількома методами, серед яких найбільш наочним є метод точкових діаграм. При цьому по осі абсцис відкладають номери деталей, що обробляються послідовно, а по осі ординат - розміри цих деталей або відхилення від розміру наладки  $\Delta_d$  (див. рис. 10.1).

Для ідентичної установки кілець на оправках на одному з їх торців кернером зроблена спеціальна відмітка. На оправці всі деталі встановлюють торцем із відміткою, спрямованою до передньої бабки.

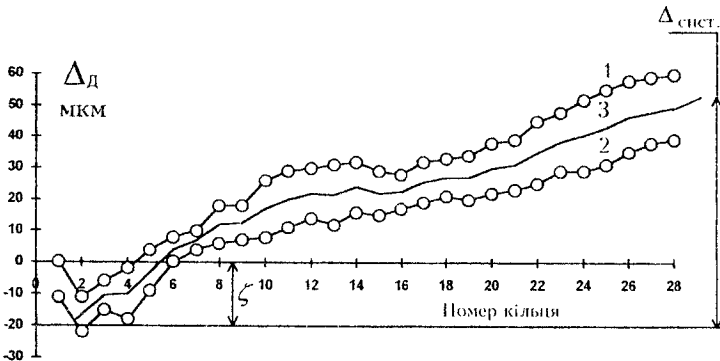


Рис. 10.1. Точкова діаграма для обробки партії кілець

Відповідно на рисунку точки лінії 1 відповідають розмірам біля торця

з відміткою, а точки лінії 2 - біля протилежного торця.

Аналіз рисунка дозволяє зробити такі висновки:

а) розмір першої виготовленої деталі не співпадає з розміром наладки, що вказує на наявність похибки установки різця на розмір;

б) розміри деталей, виміряні біля торця з відміткою та біля протилежного торця відрізняються, тобто всі виготовлені деталі мають похибку форми (конусність), котра є більш-менш однаковою для всіх деталей;

в) крива 3, яка є згладженою кривою середніх розмірів деталей, свідчить, що на початку обробки партії (до третьої деталі) зовнішній діаметр зменшується, а потім зростає;

г) криві 1 та 2 є ламаними, що вказує на розсіювання розмірів окремих деталей, тобто на наявність випадкових похибок обробки.

Вказані факти можна пояснити такими причинами.

1. Різниця розмірів деталі біля протилежних торців (відстань по ординаті між кривими 1 та 2) викликана швидше всього наявністю температурної деформації різця, різницею пружних деформацій технологічної системи на початку та в кінці обробки деталі, а також розмірним зносом різця на довжині обробки деталі.

2. Складний характер кривої 3 зумовлений в основному дією трьох систематичних похибок обробки  $\Delta_{сист}$ : температурними деформаціями різця та верстата і зносом різця. Розмір  $\zeta$  на початку кривої 3 приблизно відповідає повній температурній деформації різця (з урахуванням зношування під час обробки перших деталей).

3. Має місце складна залежність точності механічної обробки деталей від факторів технологічного процесу, причому частина останніх має випадковий характер, а інша частина є закономірними систематичними похибками.

## 10.2. Порядок виконання роботи

10.2.1. Ознайомитись з верстатом.

10.2.2. Встановити оправку для кріплення кілець у патрон верстата та перевірити її на биття (не повинно перевищувати 0,02 мм).

10.2.3. Закріпити різець в пристосуванні для вимірювання його розмірного зносу та встановити індикатор на нуль.

10.2.4. Закріпити на верстаті стояки з індикаторами для вимірювання температурної деформації шпіндельної бабки.

10.2.5. Встановити на супорті верстата і відрегулювати стояк з індикатором для вимірювання температурної деформації різця.

10.2.6. Виміряти посередині ширини кільця відхилення розміру  $\Delta$ , заготовки від наладки. Результати записати в таблицю 10.1.

10.2.7. Помістити кільце на оправку; встановити режими різання

( $V=100...150$  м/хв;  $S=0,1...0,15$  мм/об;  $t=0,1...0,2$  мм) і проточити кільце.

10.2.8. Зняти кільце з оправки та виміряти відхилення діаметра кільця  $\Delta_d$  від діаметра наладки в трьох місцях по ширині кільця. Результати записати в таблицю 10.1.

10.2.9. Обробити всі деталі партії, вимірюючи  $\Delta_s$  та  $\Delta_d$ .

10.2.10. Після обробки останнього кільця заміряти скорочення різця в процесі його повного охолодження. Зареєструвати зміни розмірів різця через 1, 2, 3, 5, 8, 12, 15 хвилин. Результати записати в таблицю 10.2.

10.2.11. Після повного охолодження різця виміряти його розмірний знос.

10.2.12. Виходячи з показників індикаторів (п. 10.2.4.) визначити величину та напрямок температурної деформації верстата.

10.2.13. На основі показників індикатора (п. 10.2.10 та табл. 10.2) побудувати графік зміни розмірів різця при охолодженні залежно від часу охолодження і визначити повну температурну деформацію різця при нагріванні.

10.2.14. На базі даних п.10.2.9 побудувати точкову діаграму.

10.2.15. На основі графіка п. 10.2.13 визначити зміну розмірів різця при охолодженні  $\zeta$  за час перерви між обробками двох кілець.

10.2.16. Використовуючи дані п. 10.2.11, визначити середню величину розмірного зносу при обробці однієї деталі:  $U_d=U/n$ , де  $U_d$  - середній розмірний знос при обробці однієї деталі;  $U$  - повний розмірний знос за час обробки всієї партії деталей;  $n$  - число деталей.

10.2.17. Визначити систематичну похибку виготовлення, як суму повного розмірного зносу різця та температурної деформації різця ( $U$  та  $\zeta$ ) і порівняти з похибкою розміру на точковій діаграмі.

10.2.18. Скласти звіт згідно з п. 10.3.

### 10.3. Зміст звіту

10.3.1. Назва роботи.

10.3.2. Теоретичні відомості.

10.3.3. Назва, модель та основні характеристики верстата.

10.3.4. Марка оброблюваного матеріалу та його характеристики.

10.3.5. Ескіз кільця з розмірами.

10.3.6. Режим різання ( $V$ ,  $S$ ,  $t$ ).

10.3.7. Ескіз закріплення кільця на державці та ескіз вимірювання розмірів кільця.

10.3.8. Результати дослідів (за формою табл. 10.1 та 10.2).

10.3.9. Точкова діаграма та графік залежності скорочення різця від часу охолодження.

10.3.10. Необхідні розрахунки.

10.3.11. Кореляційна таблиця та всі розрахунки з кореляційного аналізу для визначення відхилень  $\Delta_1$  та  $\Delta_0$ , вимірених посередині кільця.

10.3.12. Зробити висновки з роботи.

Таблиця 10.1.

№ кільця	Відхилення розміру заготовки від розміру наладки (в середині кільця) $\Delta_1$ , мкм	Відхилення від розміру наладки після обробки			$\frac{\Delta_1 - \Delta_2}{2}$ мкм
		Біля 1 <sup>ш</sup> торця $\Delta_1$ , мкм	Посередині кільця $\Delta_{ср}$ , мкм	Біля 2 <sup>ш</sup> торця $\Delta_2$ , мкм	
1					
2					
3					
...					
i-1					
i					
i+1					
...					
n-1					
n					

Таблиця 10.2.

Час охолодження $\tau$ , хв.	1	2	3	5	8	12	15
Скорочення різця $\Delta_p$ , мкм							

### 10.4. Контрольні запитання

10.4.1. Випадкові похибки розмірів та їх причини.

10.4.2. Систематичні похибки та їх причини.

10.4.3. Суть методу точкових діаграм та його призначення.

10.4.4. Які висновки дозволяє зробити точкова діаграма?

10.4.5. Викладіть порядок виконання роботи та її мету.

10.4.6. Чи дозволить збільшення перерви між послідовною обробкою двох деталей зменшити похибку їх виготовлення? Чому?

10.4.7. Як вимірюється розмірний знос в даній лабораторній роботі?

10.4.8. Яким чином можна врахувати вплив теплових деформацій різця і верстата в процесі різання з метою зменшення похибок виготовлення?

## Лабораторна робота № 11

### ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА ВИРОБНИЧИМ МЕТОДОМ.

**Мета роботи:** вивчити методику визначення жорсткості системи ВІПД та характер її впливу на точність обробки.

#### 11.1. Загальні положення

При обробці під дією сил різання в технологічній системі «верстат - пристосування - інструмент - деталь» (ВІПД) виникають пружні деформації та зміщення елементів внаслідок наявності зазорів у їх з'єднаннях, котрі є однією з причин виникнення похибок обробки. Величина зміщень і деформацій залежить від сил різання та жорсткості системи.

Поняття «жорсткість» пов'язане зі здатністю технологічної системи опиратись дії сил, які намагаються її деформувати. Жорсткість  $j$  визначається відношенням сили  $P$ , котра викликає зсування робочого леза інструмента відносно оброблюваної деталі в заданому напрямку, до величини цього зміщення  $S$ , тобто  $j = P / S$ .

Рівнодіючу силу різання при точінні зазвичай розкладають на три координатні вісі  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , одержуючи її складові  $P_x, P_y, P_z$ :

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}$$

Під час розрахунків беруть до уваги зміщення елементів ВІПД не від рівнодіючої сили  $P$ , а від її складових за трьома напрямками переміщення ріжучого леза. Наприклад, жорсткість пружної системи  $j_y$  - це відношення складової  $P_y$ , спрямованої за нормаллю до оброблюваної поверхні, до величини зміщення леза інструмента у тому ж напрямку, тобто:

$$j_y = P_y / y \quad (11.1)$$

#### 11.2. Методи визначення жорсткості

На наш час існують три основні методи експериментального визначення жорсткості верстатів або окремих вузлів:

а). *Статичний* метод, який полягає у навантаженні вузлів непрацюючого верстата;

б). *Виробничий* метод, що виконується точінням заготовки із нерівномірним припуском (змінною глибиною різання), які забезпечуються внаслідок ексцентриситету заготовки, її конусності або східчастості;

в). *Динамічний* метод ґрунтується на знятті віброграм як за холостого ходу верстата, так і під час різання металів.

Статичний і динамічний методи складні і потребують чималих вип-

рат часу. Крім того, жорсткість верстата, котра визначається у статичному стані, характеризує його пружні зміщення в процесі експлуатації лише приблизно. Тому для визначення жорсткості верстата найчастіше застосовується виробничий метод, докладно розглянутий нижче.

### 11.3. Методика визначення жорсткості виробничим методом

Для одержання нерівномірного припуску в процесі випробувань верстата застосовується східчаста заготовка (рис. 11.1).

При обробці східчастої заготовки глибина різання закономірно змінюється від  $t_{\min}(l_1)$  до  $t_{\max}(l_6)$ , що викликає відповідні сили різання ( $P_1 \dots P_6$ ) і пружні зміщення деталей технологічної системи ( $y_1 \dots y_6$ ). Пружні деформації системи порушують закономірність пересування інструмента відносно оброблюваної деталі, встановлену налагодженням верстата. В результаті задана глибина різання зменшиться і фактичний діаметр валу при його обробці буде збільшуватись від  $d_1$  до  $d_6$ , тобто форма заготовки (східчастість) копіюється на обробленій поверхні.

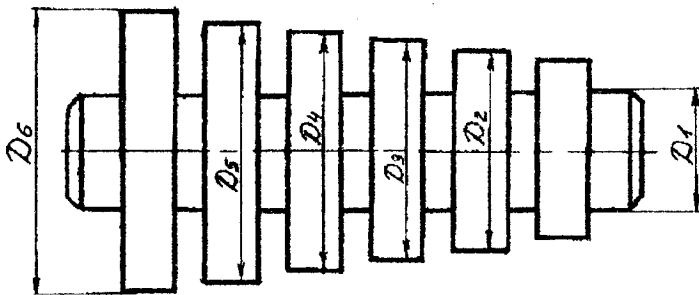


Рис. 11.1. Ескіз східчастої заготовки.

Для розрахунків радіальної складової сили різання на практиці застосовують емпіричну формулу:

$$P_y = 9.8C_p t^x s^y v^n K_p; \quad (11.2)$$

де  $C_p$  - коефіцієнт, що характеризує матеріал та умови його обробки;  $t$  - глибина різання, мм;  $s$  - подача, мм/об;  $v$  - швидкість різання;  $x, y, n$  - показники степенів відповідно при глибині, подачі та швидкості різання.

Величини  $C_p, x, y, n$  і  $K_p$  беруть з довідників.

При переході від діаметра  $D_1$  до  $D_2$  зміни радіальної складової зусилля різання  $\Delta P_y$ , пружних зміщень ВПД  $\Delta y$  та глибини різання  $\Delta t$  складають:



$$\Delta P_y = P_{y1} - P_{y2} = 9.8C_p s^y v^n K_p (t_2^x - t_1^x); \quad (11.3)$$

$$\Delta y = y_2 - y_1 = (d_2 - d_1) / 2; \quad (11.4)$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = (D_2 - D_1) / 20 - \Delta y. \quad (11.5)$$

З урахуванням виразів (11.3) - (11.5) формула жорсткості системи ВПД матиме вигляд

$$j = 9.8C_p s^y v^n K_p \left( \frac{D_2 - D_1}{d_2 - d_1} - 1 \right) \quad (11.6)$$

(при великій жорсткості одиницю в дужках можна не враховувати).

За одержаними результатами будують графік у координатах «навантаження - зміщення», при цьому по осі ординат відкладають значення навантаження  $P_y$  (в ньютонках), визначені за формулою (11.3) для всіх ступенів, а по вісі абсцис - зміщення  $y$  (в мікрометрах).

Позначаючи похибку розміру заготовки  $\Delta_j$ , і похибку розміру деталі після обробки  $\Delta_o$  (в міліметрах), можна визначити *уточнення*  $\varepsilon$ , яке дорівнює відношенню похибок заготовки і готової деталі:

$$\varepsilon = \Delta_j / \Delta_o. \quad (11.7)$$

Увівши у формулу (11.7) значення похибок заготовки і деталі:

$$\Delta_j = D_2 - D_1 = 2(t_2^x - t_1^x) + 2\Delta y; \quad \Delta_o = d_2 - d_1 = 2\Delta y; \quad \text{одержимо}$$

$$\varepsilon = \frac{j}{9.8C_p s^y v^n K_p} + 1 \quad (11.8)$$

Уточнення дає можливість оцінити очікуване поле розсіювання розмірів деталей після обробки на налагодженому верстаті і кількість проходів, необхідних для досягнення заданої точності:

$$\Delta_o = \Delta_j = \Delta_j / \varepsilon \quad (11.9)$$

Після кожного проходу похибка деталей зменшується обернено пропорційно уточненню:

- після першого проходу  $\Delta_{1o} = \Delta_j / \varepsilon;$

- після другого проходу  $\Delta_{2o} = \Delta_j / \varepsilon^2;$

- після і-го проходу  $\Delta_{io} = \Delta_j / \varepsilon^i.$

Тоді

$$i = (\lg \Delta_j - \lg \Delta_o) / \lg \varepsilon \quad (11.10)$$

Величина, обернена уточненню, називається коефіцієнтом зменшення похибок:

$$K_y = 1 / \varepsilon = \Delta_o / \Delta_j. \quad (11.11)$$

### 11.4. Порядок виконання роботи

11.4.1. Виміряти мікрометром діаметри усіх ступенів заготовки.

11.4.2. Встановити заготовку в центрах токарного верстата.

11.4.3. Закріпити прохідний різець у різнетримачі. Виліт різця повинен бути 30-40 мм.

11.4.4. Увімкнути верстат і проточити послідовно усі шість сходинок з наступними режимами різання (встановлювати за меншою сходиною): глибина різання  $t = 0,5 - 0,8$  мм ; подача  $s = 0,1 - 0,2$  мм/об; швидкість різання  $v = 40-60$  м/хв.

11.4.5. Вимкнути верстат, зняти деталь і охолодити її до кімнатної температури.

11.4.6. Виміряти мікрометром діаметри після обробки  $d_1, d_2, \dots, d_6$ .

11.4.7. Вирахувати за формулою (11.6) жорсткість верстата для всіх сходинок заготовки; визначити середню жорсткість верстата.

11.4.8. За залежністю (11.3) розрахувати  $\Delta P_y$  для усіх сходинок і побудувати графіки « навантаження - зміщення».

11.4.9. Визначити розміри уточнень та коефіцієнт зменшення похибок для кожного переходу від сходинок до сходинок.

11.4.10. Розрахувати за формулою (11.10) кількість проходів, необхідних для одержання заданої точності деталей.

11.4.11. Скласти звіт.

### **11.5. Контрольні питання**

11.5.1. Мета та зміст роботи.

11.5.2. Жорсткість технологічної системи ВПД.

11.5.3. Одиниці жорсткості.

11.5.4. Статичний метод визначення жорсткості.

11.5.5. Виробничий метод визначення жорсткості.

11.5.6. Динамічний метод визначення жорсткості.

11.5.7. Копіювання похибок заготовки на деталі.

11.5.8. Розрахунок величини радіальної складової сили різання.

11.5.9. Уточнення.

11.5.10. Коефіцієнт зменшення похибок.

11.5.11. Графік «навантаження-зміщення».

11.5.12. Розрахунок величини очікуваного поля розсіювання.

## Лабораторна робота № 12

### ВІДЛІВ РЕЖИМІВ ТА ШЛЯХУ РІЗАННЯ НА ТЕМПЕРАТУРНУ ДЕФОРМАЦІЮ ТОКАРНОГО РІЗЦЯ

**Мета роботи:** вивчити закони зміни температурних деформацій ріжучого інструмента і навчитись на практиці розраховувати їх величини.

#### 12.1. Загальні положення

У процесі обробки на токарному верстаті, як і на інших металорізальних верстатах, виділяється чимала кількість теплоти, під дією якої інструмент (токарний різець), деталі верстата і заготовка, яка обробляється, нагріваються, внаслідок чого їх розміри змінюються. Це призводить до виникнення похибок обробки.

У процесі токарної обробки величина температурних деформацій різця в основному залежить від режиму різання (швидкості різання  $v$ , м/хв.; подачі  $s$ , мм/об; глибини різання  $t$ , мм); механічних властивостей оброблюваного матеріалу, конструкції та геометрії різця, а також від часу роботи різця (шляху різання).

Теплова рівновага звичайно настає через кілька хвилин після початку роботи, при цьому видовження різця практично припиняється.

Найбільш простим і зручним експериментальним методом визначення температурних деформацій різця у процесі точіння є метод безпосереднього виміру укорочення різця у процесі його охолодження.

Закон зміни температурних деформацій у часі можна характеризувати показниковими функціями:

- у процесі охолодження

$$\lambda = \lambda_c \exp(-\alpha T); \quad (12.1)$$

- у процесі нагрівання

$$\lambda = \lambda_c [1 - \exp(-\alpha T)]; \quad (12.2)$$

де  $\lambda$  - величина видовження,  $\lambda_c$  - величина видовження у встановленому режимі теплової рівноваги;  $\alpha$  - коефіцієнт, який характеризує форму кривої;  $T$  - час.

Найбільший ріст температурних деформацій простежується у початковий період роботи різця, потім інтенсивність росту знижується і настає період рівноважного теплового режиму, на протязі якого температурні деформації практично не змінюються (рис. 12.1).

За експериментально встановленими значеннями  $T_i$  і  $\lambda_i$  для різця методом найменших квадратів можна визначити значення  $\lambda_c$  і  $\alpha$  в рівнянні (12.1). Однак у цьому випадку доцільно мінімізувати не суми квадратів від-

хивень функцій, а суми квадратів відхилень логарифмів цих функцій:

$$\sum_{i=1}^n \{ \ln \lambda_i - \ln [\lambda_c \exp(-\alpha T_i)] \}^2 = \min; \quad \text{звідки} \quad \sum_{i=1}^n (\ln \lambda_i - \ln \lambda_c + \alpha T_i) = 0.$$

Система нормальних рівнянь буде мати вигляд:

$$\begin{cases} -\alpha \sum_{i=1}^n T_i + n \ln \lambda_c = \sum_{i=1}^n \ln \lambda_i; \\ -\alpha \sum_{i=1}^n T_i^2 + \ln \lambda_c \sum_{i=1}^n T_i = \sum_{i=1}^n T_i \ln \lambda_i \end{cases} \quad (12.3)$$

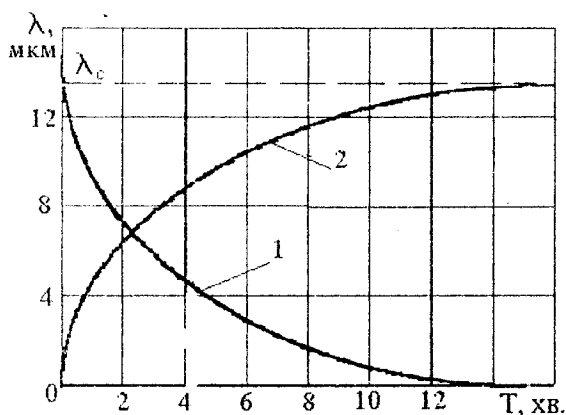


Рис. 12.1. Залежність температурної деформації різця від часу обробки (2) та охолодження (1)

ції) визначають експериментально (див. рис. 12.1), тобто:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \ln \frac{\lambda_c - \lambda_i}{\lambda_c}}{\sum_{i=1}^n T_i}. \quad (12.4)$$

## 12.2. Порядок виконання роботи

12.2.1. Вивчити технічні характеристики верстата, інструмента та вимірювальних приладів.

12.2.2. Вивчити схему вимірювання температурної деформації різця.

12.2.3. Встановити і закріпити заготовку 2 в трикулачковому патроні

Рішення цієї системи дозволяє визначити параметри  $\lambda_c$  і  $\alpha$ .

Функція (12.2), що характеризує температурні деформації при нагріванні різця, не приводиться до лінійної, тому методом найменших квадратів можна визначити тільки значення  $\alpha$ , а параметр  $\lambda_c$  (асимптоти функції)

1; різець 3 в поворотному чотирьохпозиційному різцетримачі 4 і мікронний індикатор 5 на верхньому супорті токарного верстата, останній встановлюють так, щоб у разі повороту різцетримача на  $90^\circ$  вершина різця торкалась наконечника індикатора, при цьому індикатор повинен мати натяг не менше  $0,05$  мм (рис. 12.2).

12.2.4. Налагодити верстат на заданий **числовий** режим різання:  $V = 100-150$  м/хв;  $s = 0,1-0,2$  мм/об.;  $t = 0,1-0,2$  мм.

12.2.5. Увімкнути верстат та автоматичну по-здовжню подачу. Через 1 хв. від початку роботи вимкнути подачу, відвести різець від заготовки і швидко повернути різцетримач на  $90^\circ$  до торкання вершини різця з наконечником індикатора. В такому стані дати різцю охолонути до кімнатної температури. Записати величину укорочення різця (величина укорочення під час охолодження відповідає видовженню в процесі різання).

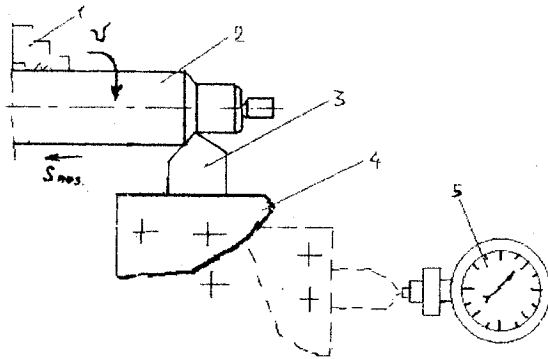


Рис. 12.2. Схема вимірювання температурної деформації різця.

12.2.6. Повторити зазначене в п.12.2.5. для всіх заданих інтервалів часу (2, 5, 10, 20, 30 хв.). Після останнього інтервалу роботи різця зафіксувати укорочення різця в залежності від часу його остигання (1, 2, 5, 10, 20 хв.).

12.2.7. Результати дослідів занести до табл. 12.1.

12.2.8. Підрахувати шляхи різання для всіх точок за формулою  $L = VT$ ; де  $v$  - швидкість різання, м/хв;  $T$  - час роботи різця, хв.

12.2.9. Побудувати криві залежності видовження різця при нагріванні від шляху різання і вкорочення при охолодженні від часу охолодження.

12.2.10. Визначити параметри  $\lambda_c$  і  $\alpha$  в рівняннях (12.1) і (12.2) для кривих охолодження і нагрівання.

12.2.11. Визначити значення коефіцієнта  $C$  у формулі для розрахунку максимального видовження різця (коефіцієнти  $m$ ,  $n$ ,  $k$  задаються):

$$\lambda_c = \frac{l}{F} \sigma_b l^m s^n V^k; \quad (12.5)$$

де  $\lambda_c$  - видовження різця, що відповідає рівноважному тепловому стану, мкм (визначають за рис. 12.1),  $l$  - висіт різця, мм;  $F$  - переріз різця, мм<sup>2</sup>.

Для випадку зовнішнього точіння конструкційної сталі твердосплавними різцями можна прийняти  $m = 1$ ;  $n = 0,75$ ;  $k = -0,3$ .

12.2.12. Зробити висновки та скласти звіт.

Таблиця 12.1

Параметри	Час роботи різця, хв.				Час охолодження, хв.			
	2	5	...	30	1	2	...	20
Шлях різання, км								
Температурні деформації при нагріванні $\lambda_n$ , мкм								
Температурні деформації при охолодженні $\lambda_o$ , мкм (розраховуються від розміру охолодженого різця)								

### 12.3. Контрольні питання

12.3.1. Сформулюйте мету та зміст роботи.

12.3.2. Схема вимірювання вкорочення різця.

12.3.3. Від яких параметрів залежить величина температурної деформації різця?

12.3.4. Чим характеризується закон зміни температурних деформацій різця у часі?

12.3.5. Яким чином можна врахувати видовження різця в процесі роботи при отриманні особливо точних виробів?

12.3.6. Дайте коротку характеристику залежностей температурної деформації різця  $\lambda$  від шляху різання і вкорочення від часу охолодження.

12.3.7. Методика розрахунку коефіцієнтів  $\lambda_c$  та  $\alpha$  в рівняннях (12.1) і (12.2) для кривої охолодження і нагрівання.

12.3.8. Формула для розрахунку максимального видовження різця і визначення коефіцієнта  $C$ .

12.3.9. Навіщо необхідно знати характер зміни видовження різця в процесі його роботи?

## Лабораторна робота №13.

### ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ШИРОКОУНІВЕРСАЛЬНОГО ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

**Мета роботи:** вивчити температурні деформації у вузлі шпиндельної головки широкоуніверсального фрезерного верстата в процесі його роботи та оволодіти методикою розрахунку їх величин.

#### 13.1. Загальні положення

У процесі роботи широкоуніверсального фрезерного верстата як і будь-якого іншого металорізального верстата, в рухомих з'єднаннях деталей і вузлів виділяється теплота тертя, котра підвищує їх температуру. Підвищення температури викликає деформацію деталей і вузлів верстата, зміну їх взаєморозташування, що у свою чергу призводить до виникнення похибки форми і розмірів деталей, що обробляються. Максимальні температурні деформації спостерігаються у вузлі шпиндельної головки. Найбільший вплив на точність форми і розміру оброблюваної деталі справляє температурна деформація шпинделя, яка виникає у напрямку нормалі до оброблюваної поверхні. Температурні деформації інших деталей та в інших напрямках значно менші і тому, як правило, не мають значного впливу на точність обробки.

Задля спрощення виконання роботи і з урахуванням того, що похибка виготовлення має велике значення тільки в процесі чистової обробки, тобто при малих навантаженнях верстата, коли втрати на тертя невеликі, дослідження температурних деформацій проводиться на холостому ході.

#### 13.2. Порядок виконання роботи

13.2.1. Вивчити технічну характеристику верстата і вимірювальних приладів.

13.2.2. Вивчити схему вимірювань.

13.2.3. Встановити та закріпити в шпинделі 1 верстата торцеву оправку 2. Закріпити на столі 5 верстата індикаторну стійку 4 з мікронним індикатором 3 таким чином, щоб вимірювальний наконечник індикатора торкався центра торцевої оправки, при цьому натяг індикатора повинен бути в межах 0,1-0,2 мм (рис.13.1). Потім установити шкалу індикатора на нуль.

13.2.4. Налогодити верстат на задану частоту обертання (1400 - 1600 об/хв.).

13.2.5. Увімкнути верстат і через 2 хв. від початку роботи записати величину температурної деформації.

13.2.6. Повторити зазначені заходи для всіх заданих інтервалів часу (5, 10, 20, 30 хв.).

13.2.7. Зафіксувати зміни температурної деформації шпинделя у процесі остигання верстата через 2, 5, 10, 20, 30 хв.

13.2.8. Дані замірів занести до табл. 13.1.

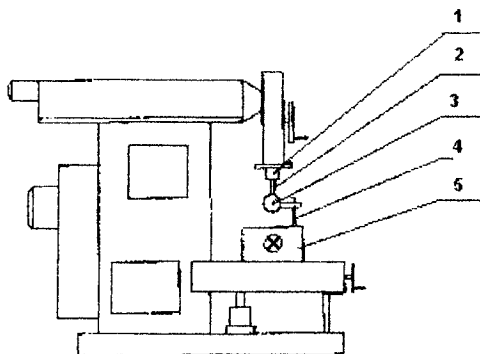


Рис. 13.1. Схема вимірювання температурної деформації шпинделя універсального фрезерного верстата

Таблиця 13.1.

Параметри	Час, хв.							
	роботи верстата				охолодження верстата			
	2	5	10	20	2	5	10	і т.д.
Температурні деформації шпинделя, мкм: при нагріванні при охолодженні								

13.2.8. Побудувати криві залежності температурних деформацій вузла шпинделя від часу роботи верстата і часу його охолодження.

13.2.9. Визначити параметри  $\lambda_c$  і  $\alpha$  в рівняннях (12.1) і (12.2).

13.2.10. Зробити висновки по роботі та скласти звіт.

### 13.3. Контрольні питання

13.3.1. Якими є мета і зміст роботи?

13.3.2. Найменування, характеристика, модель та режими роботи верстата.



13.3.3. Які деталі і вузли верстата зазнають найбільшої температурної деформації?

13.3.4. Чому дослідження температурних деформацій проводиться на холостому ході?

13.3.5. Від яких температурних деформацій у найбільшій мірі залежить точність форми і розмірів деталі, яка обробляється?

13.3.6. Дайте коротку характеристику деформації шпинделя в залежності від часу роботи і охолодження верстата.

13.3.7. Як визначаються коефіцієнти  $\lambda_c$  і  $\alpha$ ?

### **Лабораторна робота №14.**

## **ТЕХНОЛОГІЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ІЗ ГЛАДКИМИ ОТВОРАМИ**

**Мета роботи:** вивчити типові маршрутні технологічні процеси виготовлення зубчастих колес і ознайомитись зі способами налагодження верстата та практикою зубонарізання.

### **14.1. Загальні положення**

У головних і допоміжних механізмах машин і верстатів для передачі різних рухів, зміни швидкості та напрямку руху, передачі зусиль, крутячих моментів тощо застосовують різні види зубчастих коліс: циліндричні із зовнішніми і внутрішніми зачепленнями, із прямими та скісними зубцями, черв'ячні та інші.

Найбільшого поширення набули циліндричні зубчасті колеса ( 80-85% від загальної кількості коліс, що випускаються промисловістю).

Діапазон зовнішніх розмірів циліндричних зубчастих коліс дуже широкий. Згідно зі СТ СЭВ 641-77 та СТ СЭВ 642-707, в залежності від точності виготовлення зубчасті колеса і передачі розділені на 12 ступенів.

У машинобудуванні найчастіше застосовують циліндричні зубчасті колеса із зовнішнім діаметром 60 - 320 мм, модулями 1 - 5 мм, 5 - 8 ступенів точності, із шліцьовими і гладкими отворами.

### **14.2. Вимоги до точності заготовок зубчастих коліс**

Норми точності на елементи заготовок стандартами не встановлені. Вимоги до точності заготовок залежать від прийнятого технологічного процесу обробки і методів контролю зубчастих коліс. Вимоги до базових поверхонь повинні регламентуватись.

### **14.3. Заготовки зубчастих коліс**

Заготовками для зубчастих коліс можуть бути поковки, прокат і виливки. Вид заготовок вибирають у залежності від розмірів і конфігурації деталі, технічних вимог та масштабів випуску.

Для сталевих зубчастих коліс зовнішнім діаметром до 50-60 мм у більшості випадків дрібносерійного і серійного виробництва застосовують заготовки із періодичного прокату чи відрізані від прутка заготовки. Колеса великих діаметрів виготовляють із поковок, отриманих різними способами: вільним куванням, штампуванням у підкладних або закритих штампах, на пароповітряних молотах і штамповкою на механічних кривошипних пресах (МКП) з нагрітих штучних заготовок, а також на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ) з нагрітого прутка.

Для зняття залишкових напружень і покращення обробки поковки піддають нормалізації або відпалу. Після термообробки поковки очищають від окалини (дробоструменевим методом або травленням у розчині сірчаної кислоти з наступним промиванням гарячою водою.)

### **14.4. Матеріали зубчастих коліс**

Заготовки для зубчастих коліс найчастіше виготовляють з таких матеріалів:

- а). Без термообробки - сталь 45, 40Х; чавун СЧ 22, СЧ24; (при окружній швидкості до 6 м/с ;
- б). З термічним покращенням - сталь 35...50, 50Г, 40Х, 40ХН, 35ХГС;
- в). Цементовані і загартовані: сталь 15Х, 20Х, 12ХНЗА, 18ХГТ; 15ХФ, 18ХНВА;
- г). Поверхнево загартовані з нагрівом СВЧ: сталь 45, 40Х;
- д). Азотовані: сталь 38ХВФЮА, 38ХЮА.

Зубчасті колеса, що працюють при окружних швидкостях до 40-50 м/с, виготовляють із синтетичних матеріалів (текстоліту, нейлону, капрону та інших). Застосування цих матеріалів забезпечує безшумність, плавність роботи передачі і гасіння вібрацій.

### **14.5. Основні технологічні бази коліс**

За них приймають: отвір зубчастого колеса, що використовується для монтажу колеса на вал; у хвильових шестерень - опорні шийки вала; зовнішній циліндр зубчастого колеса, що використовується в деяких випадках для вивіряння точності установки заготовки на зуборізному верстаті та контролю розмірів зуба, а у великих колесах і для контролю рівномірності кроку; базовий торець зубчастого колеса, який використовують при зубообробці.

У таблиці 14.1 зазначені вимоги до точності елементів заготовки за рекомендаціями ISO DR 1328.

Величини відхилень і допуски на радіальне биття  $F_d$  і діаметр зовнішнього циліндра заготовки  $A_d$  визначаються в залежності від варіанта використання при обробці і контролюванні зовнішнього циліндра за формулами, наведеними в [3, с. 878, табл. 5.26].

Рекомендовані допуски на торцеве биття  $F_T$  базового торця, по якому базуються заготовки при зубообробці, подані в таблиці 14.2.

#### **14.6. Технічні умови на виготовлення зубчастих коліс**

СТ СЭВ 641-77 і СТ СЭВ 642-77 для кожного ступеня точності зубчастих коліс встановлені норми кінематичної точності, плавності роботи, контакту зубців.

Норми кінематичної точності визначають величину найбільшої похибки кута повороту зубчастих коліс за один оберт при однопрофільному зачепленні з точним колесом.

Норма плавності роботи зубчастого колеса визначає величину відповідних повній похибки кутів повороту зубчастого колеса, що багатократно повторюються за оберт колеса.

Норма контакту зубців характеризується відносними розмірами по довжині і висоті зуба сумарної плями контакту сполучення зубців передачі.

Цими ж стандартами незалежно від ступеня точності коліс і передач встановлені норми бокового зазору, котрі визначають вид сполучення зубців передачі.

Виконання вимог кожного виду норм можна контролювати перевіркою у виробництві комплексних показників чи кількох поелементних показників. Для цього в стандартах подані комплекси контролю, що включають або один комплексний, або кілька поелементних показників.

Вибір того чи іншого комплексу контролю залежить від призначення і точності зубчастих коліс і передач, їх розмірів, що встановлені практикою контролю, від обсягу і умов виробництва та інших факторів. Елементи, що контролюються, встановлюються галузевими стандартами.

У готового зубчастого колеса найчастіше контролюються наступні параметри: накопичена похибка кроку  $F_p$ ; радіальне биття зубчастого вінця; відхилення кроку зачеплення  $F_{pt}$ ; похибка профілю зубця  $f_t$ ; похибка спрямування зубця  $F_{\beta}$ ; найменше відхилення товщини зубця  $E_{cs}$ .

#### **14.7. Технологія механічної обробки**

Технологічний процес виготовлення зубчастих коліс можна поділити на два етапи:

- перший етап складається з комплексу операцій, пов'язаних з отриманням геометричної форми заготовок колеса до нарізання зубців;
- другий етап передбачає зубонарізання та всі наступні процеси, пов'язані з фінішними операціями.

**14.7.1. Обробка заготовки і зубонарізання.** При виготовленні зубчастого колеса на першому етапі до технологічного процесу висуваються певні вимоги, від яких залежить якість готових зубчастих коліс. До основних вимог належать: забезпечення концентричності циліндричної посадочної поверхні і зовнішніх поверхонь та забезпечення перпендикулярності посадочної поверхні щодо одного з базових торців.

Схему першого етапу технологічного процесу виготовлення зубчастого колеса вибирають у залежності від конструкції зубчастого колеса.

При обробці заготовок зубчастих коліс, що належать до класу «втулка», за початкову базу обробки колеса, як правило, вибирають необроблені поверхні, які повинні бути паралельними до оброблюваних площин.

Перша операція, що виконується від чорнових баз, полягає у свердленні, зенкеруванні та розвертанні центрального отвору і підрізанні з тієї ж установки одного з торців ступиці.

Друга операція - протягування - виконується від створеної торцевої бази і полягає в утворенні пліщового або круглого отвору. Посадочна поверхня цього отвору буде базою при подальшій обробці.

Третя і четверта операції - заключні для першого етапу і полягають у чистовій обробці зубчастого колеса під нарізання зубців.

П'ята операція - попереднє і чистове нарізання зубців на зубофрезерувальному або фрезерному верстаті.

Шоста, сьома і восьма операції - заокруглення, шевінгування та притирання зубців - належать до фінішних видів обробки.

Схема фрезерування зубців зубчастого колеса методом копіювання дисковою модульною фрезою на горизонтально-фрезерному верстаті з використанням ділильної головки зображена на рис. 14.1.

Таблиця 14.1

Найменування елементів	Ступінь точності зубчастих коліс						
	4	5	6	7	8	9	10
	Квалітети допусків						
Отвір зубчастого колеса	4	5	6	7	7	8	8
Опорні шийки валів	4	5	5	6	6	7	7
Діаметр зовнішнього циліндра	7	7	8	8	8	9	9
Радіальне биття зовнішнього циліндра, биття базового торця, радіальне биття контрольного пояса, мкм	0,01d +5	0,016 d+10	0,016 d+10	0,025d +15	0,025 d+10	0,04d +25	0,04d +25

Таблиця 14.2.

Ступінь точності за нормами контакту	Ширина зубчастого колеса, мм					
	до 40	від 40 до 100	від 100 до 160	від 160 до 250	від 250 до 400	від 400 до 630
	Допуски F <sub>t</sub> при d=100 мм, мкм					
4	12	6	4	3	2,2	1,7
5	16	8	5,1	4	2,9	2,2
6	20	10	6,4	5	3,8	2,8
7	24	12	8	6	4,5	3,4
8	40	20	12,8	10	7,1	5,5
9	64	32	20	16	12	9
10	100	50	25	25	19,2	14

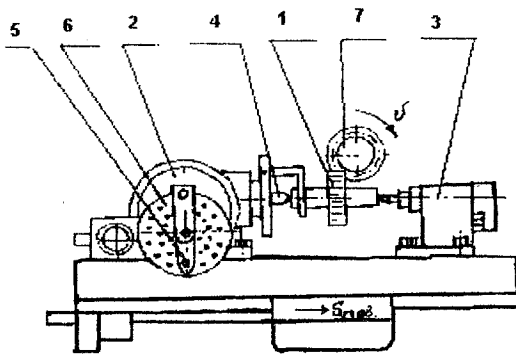


Рис. 14.1. Схема обробки зубчастого колеса з використанням ділильної головки.

Заготовка 1 закріплюється на оправці в центрах шпинделя ділильної головки 2 і задньої бабки 3. Прорізання западини колеса проводять дисковою фрезою 7, котра виконує головний обертальний рух різання, а стіл здійснює подачу.

Після обробки чергової западини між зубцями стіл повертають у початкове положення, а заготовку за допомогою ділильної головки повертають на кут, що відповідає кроку зубців зубчастого колеса. Поворот заготовки, з'єднаної за допомогою повідкового патрона зі шпинделем 4, здійснюють рукояткою 5, положення якої фіксується в одному з концентрично розташованих отворів лімба 6 за допомогою пружинного фіксатора.

**14.7.2. Налаштування верстата.** Початкові дані для налаштування верстата:  $Z$  - число зубців колеса, що нарізається;  $m$  - його модуль, мм;  $V$  - швидкість фрезерування, м/хв.;  $s$  - подача, мм/зуб.

Нарізання зубців коліс здійснюється методом копіювання. Дисккові модульні фрези призначені для нарізання зубців циліндричних коліс зовнішнього зчеплення з точністю не вище 9-го ступеня за ГОСТ 1643-72, а також для попереднього парізання прямих зубців конічних коліс.

Модульні дисккові фрези з модулем від 0,2 до 1 мм випускають за ГОСТ 13838-68 у вигляді наборів з 8 фрез для одного певного модуля. В окремих випадках набори (комплекти) можуть складатись із 15 фрез.

Для модулів від 1 до 8 мм дисккові модульні фрези виготовляють за ГОСТ 10996-64 наборами з 8 фрез, а для модулів понад 8 мм - з 15 фрез. Номер фрези з набору вибирають залежно від числа зубців колеса (табл. 14.3).

Для фрези, яку вибрано, записують число зубців  $Z_{\phi}$  і діаметр  $d_{\phi}$ .

Режими різання для нарізання зубців циліндричних коліс дискковими модульними фрезами відповідають таблиці 14.4.

Частоту обертання визначають за формулою, об/хв.:

$$n_{\phi} = 1000V / \pi d_{\phi}$$

За паспортом верстата приймають найближче (найчастіше - менше) число обертів шпинделя верстата  $n$  і визначають фактичну швидкість різання, м/хв:

$$V = \pi d_{\phi} n / 1000$$

## **14.8. Порядок виконання роботи**

14.8.1. Ознайомитись з конструкцією і управлінням верстата і ділильної головки.

14.8.2. Налаштувати ділильну головку.

14.8.3. Встановити на стіл верстата ділильну головку і задню бабку. Відрегулювати висоту центру задньої бабки по центру ділильної головки.

14.8.4. Встановити змінні зубчасті колеса гітари ділильної головки.

14.8.5. Встановити оправку фрези в шпиндель верстата і фрезу на оправку.

14.8.6. Пересуванням стола вздовж осі шпинделя (напрямок поперечної подачі) установити фрезу по осі шпинделя УДГ.

14.8.7. Установити заготовку в центрах головки і задньої бабки.

14.8.8. Встановити визначені частоту обертання фрези і подачу стола та налаштувати верстат на глибину фрезерування. Для цього підвести стіл із заготовкою під фрезу, яка обертається, до дотику серединою зубця верхньої точки заготовки; установити на 0; змістити стіл вздовж осі заготовки, відводячи її з-під фрези. Перемістити консоль верстата угору на глибину фрезерування  $h = 2,2$  м, відраховуючи пересування за лімбом.

Таблиця 14.3.

Номер фрези		1	1 1/2	2	2 1/3	3	3 1/2	4	4 1/2
Число зубців коліс	Комплект 8 шт.	12	-	14-16	-	17-20	21-25		
	15 шт.	12	13	14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-26
Номер фрези		5		5 1/2	6	6 1/2	7	7 1/2	8
Число зубців нарізання коліс	Комплект 8 шт.	26-34		-	35-54	-	55-134	-	135-00
	15	26-29		30-34	35-41	42-54	55-79	80-134	135-00

Таблиця 14.4.

Модуль, мм	Діаметр фрези, мм	Подача мм/хв.	Швидкість м/хв.	Модуль, мм	Діаметр фрези, мм	Подача мм/об.	Швидкість м/хв.
4	80	134	32	14	195	2	16
5	90	120	32	18	225	1,7	17
6	100	109	32	22	240	1,5	17,5
8	110	109	32	26	260	1,4	18

14.8.9. Профрезерувати канавку і повернути стіл із заготовкою у початкове положення.

14.8.10. Вивести фіксатор з отвору ділильного диска, повернути рукоятку ділильної головки на кут налагодження і ввести фіксатор в отвір диска (лімба).

14.8.11. Після фрезерування другої канавки перевірити установку глибини фрезерування, замірюючи за допомогою штангензубоміра товщину зубця за постійною хордою  $S_x$ . При куті зачеплення  $\alpha = 20^\circ$

$$S_x = (1,387 + 0,643 \epsilon) m, \text{ мм};$$

де  $\epsilon$  - коефіцієнт зсуву початкового профілю.

Відстань хорди від кола виступів визначають за формулою

$$h_x = h - 0,182 S_x$$

де  $h$  - висота головки зуба, який нарізається.

Для некоригованих коліс з  $\alpha = 20^\circ$

$$S_x = 1,387m, \text{ мм}; \quad h_x = 0,748m, \text{ мм}.$$

Якщо фактична товщина зуба відрізняється від розрахункової, тобто  $\Delta S = S_{\phi} - S_x \neq 0$ , то консоль стола переміщують у вертикальному напрямку на величину

$$\Delta h = \frac{\Delta S}{2 \operatorname{tg} \alpha} = 1,37 \Delta S.$$

При  $S_{\phi} > S_x$  зміщують стіл догори, тобто поглиблюють западину.

14.8.12. Нарізати потрібне число зубців колеса.

14.8.13. Провести контроль розмірів зубця, що визначають величини бокових зазорів, по зміщенню початкового контуру. У виробничих умовах це зміщення контролюють тангенційним зубоміром.

### **14.9. Контрольні питання**

14.9.1. Найменування, модель і характеристика верстата.

14.9.2. Найменування, модель і характеристика ділильної головки.

14.9.3. Конструкція колеса, що обробляється.

14.9.4. Марка матеріалу заготовки і його характеристика.

14.9.5. Характеристика ріжучого інструменту.

14.9.6. Види заготовок, що застосовуються для виготовлення зубчастих коліс.

14.9.7. Матеріали, що використовуються для зубчастих коліс.

14.9.8. Режими різання.

14.9.9. Вимоги до точності зубчастих коліс.

14.9.10. Норми кінематичної точності.

14.9.11. Гарантований боковий зазор.

14.9.12. Технологія обробки заготовки до операції зубонарізання.

14.9.13. Спосіб комбінованого ділення.

14.9.14. Послідовність налагодження верстата на нарізання зубчастого колеса.

14.9.15. Вибір режимів різання.

14.9.16. Установка глибини фрезерування.

14.9.17. Контроль товщини зуба.

14.9.18. Контроль зміщення початкового контуру.



## Лабораторна робота № 15

### ТЕХНОЛОГІЯ НАРІЗАННЯ РІЗЕЙ

**Мета роботи:** оволодіти методикою і практикою нарізання різи.

#### 15.1. Загальні положення

Нарізни з'єднання широко застосовуються в конструкціях машин, апаратів, приладів, інструментів і пристосувань у різних галузях промисловості.

Поверхня різи утворюється при гвинтовому переміщенні плоского контуру заданої форми по циліндричній або конічній поверхні (відповідно циліндричні і конічні різи).

За призначенням різи поділяються на загальні і спеціальні. До різей загального призначення належать ті, що застосовуються в будь-яких галузях промисловості: кріпильні для скріплення деталей і регульовальних пристроїв; різи для перетворення рухів у різних гвинтових механізмах; трубні та арматурні різи для щільного (герметичного) з'єднання виробів (труб, арматури і т.п.).

Різи спеціального призначення застосовують лише в певних виробках деяких галузей промисловості (наприклад, для цоколів і патронів ламп, для протигазів).

У машинобудуванні використовують кріпильні, кріпильно-ущільнюючі і ходові різи.

**Кріпильні** в залежності від форми поверхні, на якій утворена різь, бувають циліндричними і конічними. Вони мають переважно трикутний профіль, характеризуються великим тертям і високою міцністю. Основною кріпильною різзю є метрична з кутом профілю  $\alpha = 60^\circ$ . Основні розміри визначають за ГОСТ 9150-81; СТ СЭВ 180-75, СТ СЭВ 181-75, СТ СЭВ 182-75, а допуски за ГОСТ 16093-81.

**Кріпильно-ущільнюючі** мають трикутний профіль з плавними заокругленнями без радіальних зазорів, що забезпечує підвищену щільність з'єднання; їх виконують як на циліндричній, так і на конічній поверхнях. Основні розміри та допуски визначаються ГОСТ 6357-81, ГОСТ 6211-81 і ГОСТ 6111-52.

**Ходові** застосовують для передачі руху. До них належать:

а) трапеційдна, яка має профіль рівнобедреної трапеції з кутом  $\alpha = 30^\circ$  та характеризується невеликими втратами на тертя і технологічністю; застосовується для передачі реверсивного руху;

б) упорна з профілем нерівнобічної трапеції; застосовується при великих односторонніх осьових навантаженнях (в пресах, домкратах тощо);

в) прямокутна, що характеризується квадратним профілем і зниженою міцністю; має обмежене застосування, не стандартизована.

Розміри і допуски трапецієдних та упорних різьб нормуються ГОСТ 9484-73, ГОСТ 9562-60, ГОСТ 10177-62, СТ СЭВ 146-75, СТ СЭВ 185-75.

Спосіб виготовлення різі вибирають у залежності від параметрів точності, допустимої шорсткості поверхні, матеріалу, конфігурації деталі і потрібної продуктивності.

Різь нарізають різцями, фрезами, плашками, гайкорізами, різенарізними головками. Останнім часом застосовують новий, високопродуктивний метод - парізанія різі гайкорізами-протяжками.

У цій роботі вивчають технологію нарізанія внутрішньої різі різцем і гайкорізом-протяжкою в гайці (рис. 15.1).

## **15.2. Нарізанія різі різцями**

Нарізанія різцями відбувається за багато проходів у залежності від потрібної точності, діаметра різі та твердості матеріалу деталі, що нарізається.

Різь нарізають односторонніми або багаторізними різцями (гребінками) при двох відносних рухах інструмента і заготовки - обертальному довкола її вісі і поздовжньому вздовж осі (рис.15.2).

Односторонніми різцями нарізають різь за багатопрхідною («човниковою») профільною схемою з радіальною (рис. 15.2, а) і радіально-осьовою (рис. 15.2, б) подачами або за генераторною схемою (рис. 15.2, в).

При кроці різі  $P > 3$  мм застосовують чорнові проходи різцями, профіль котрих збігається (рис. 15.2, г, д) або відрізняється (рис. 15.2, е) від чистового. Чорнові різці працюють за генераторною або профільною схемою з радіально-осьовою або радіальною подачами.

Для нарізанія наскрізних трапецієдних різей застосовують набори з чорнового та чистового різців, установлених на різну глибину.

Різці для різей бувають призматичні та дискові. Профіль нарізних різців у площині передньої поверхні  $\gamma = 0^\circ$  відповідає профілю западини різі, що нарізається, у осьовому перетині. Вершина нарізних різців може бути притупленою або заокругленою. Передній кут  $\gamma \neq 0^\circ$  вносить спотворення в профіль і тому для точних різьб не рекомендується.

Крім того, верхня грань різця повинна розташовуватись на висоті центрів. При іншому її розташуванні різь буде нарізана з неправильним кутом. Правильний профіль різі забезпечується точністю профілю різця і правильною установкою його відносно заготовки: різець має бути точно перпендикулярним до вісі верстата; в іншому разі різь вийде скісною. Відносно напрямку різі різець належить установити в одному з трьох положень (рис 15.3).

При установці різця за рис. 15.3, а дійсні бокові задні кути  $\alpha'_0 \neq \alpha''_0$ , що припустимо при кутах підйому  $\mu < 4^\circ$ .

Установка різця з нахилом  $\mu$  створює сприятливі умови різання ( $\alpha'_0 = \alpha''_0 = \alpha_\delta$ ), але приводить до викривлення профілю різи і використовується лише для чорнових різців.

Найчастіше застосовують установку чистових різців (рис. 15.3, в), коли  $\alpha'_0 = \alpha''_0$ .

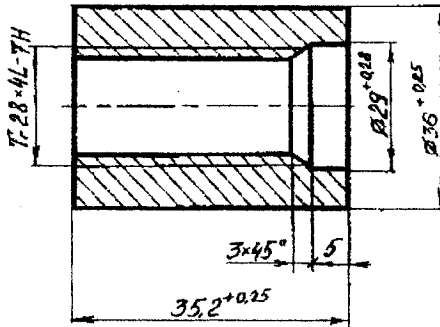


Рис. 15.1. Гайка спеціальна накладна.

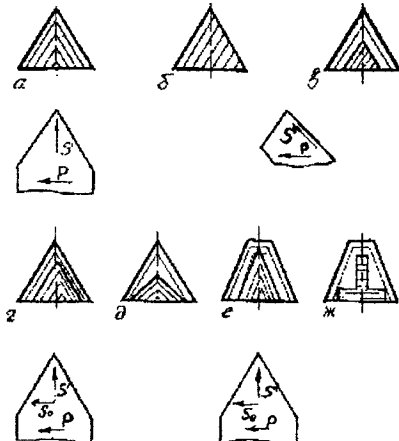


Рис. 15.2. Схема нарізання різи:  $S'$  - радіальна подача;  $P$  - осьове переміщення різця;  $S_0$  - осьова подача.

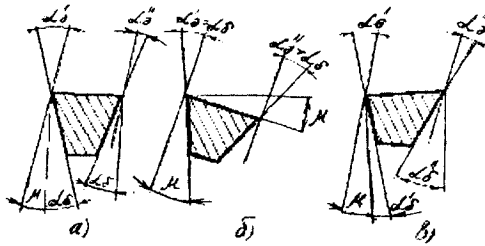


Рис. 15.3. Положення різця при отриманні зовнішньої різі

### 15.3. Нарізання різей гайкорізом-протяжкою

Нарізання проводиться на токарному верстаті за допомогою спеціального пристрою (рис. 15.4).

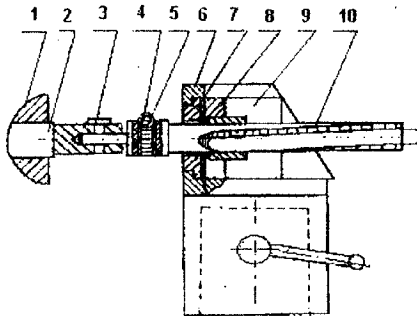


Рис. 15.4. Нарізання внутрішньої різі гайкорізом-протяжкою.

Гайкоріз-протяжка 10 слугує для нарізання наскрізних різей за один прохід без реверсування. Для кращого відводу стружки використовують гайкорізи-протяжки з гвинтовими канавками. Інструменту надається обертальний рух за допомогою шпинделя верстата, з яким він з'єднаний за допомогою штока 2 і муфти передачі. Остання зв'язана зі штоком клином 3, а з гайкорізом-протяжкою - державкою 5, що фіксується чекою 4.

Для усунення похибок розташування заготовки відносно вісі шпинделя слугують втулки 7 і шайба 8, котрі дотикаються сферичними поверхнями.

### 15.4. Налаштування верстата

При налаштуванні токарно-гвинторізного верстата на нарізання різі заданого кроку  $S_{нр}$  необхідно підрахувати і встановити на гідарі змінні зубчасті колеса.

Рівняння кінематичного балансу руху при нарізанні різі записують у вигляді:

$$i_{об.лун} \cdot i_p \cdot i_{зм} \cdot i_{кп} \cdot t_{хг} = S_p,$$

де  $i_{зм}$  - загальне передаточне відношення змінних зубчатих коліс;

$S_p$  - крок різі, що нарізається;

$i_p$  - передаточне відношення реверсивного механізму коробки подач;

$i_{кп}$  - загальне передаточне відношення коробки подач;

$t_{хг}$  - крок нарізки ходового гвинта.

Різи можуть бути парними і непарними. Різь називається парною, якщо від ділення кроку різі ходового гвинта на крок різі, що нарізається, або навпаки, отримують ціле число. В інших випадках різь буде непарною. При нарізанні парних різей розсувну гайку супорта можна вимкнути і супорт швидко вручну повертати у початкове положення після кожного проходу нарізки різцем. При новому увімкненні гайки і наступному проході різі різець обов'язково потрапляє в прорізану нитку різі. При нарізанні непарних різей роз'єднувати гайку з гвинтом не можна, бо різець не потрапляє в прорізану нитку.

### 15.5. Контроль нарізного виробу

Нарізні вироби контролюють в основному за допомогою граничних калібрів (комплексний метод). У комплект для контролю входять робочі прохідні та непрохідні граничні калібри.

Прохідні нарізні калібри повинні згвинчуватись з нарізним виробом, вони контролюють зведений середній і зовнішній (у гайок) або внутрішній (у болтів) діаметри нарізки. Непрохідні калібри контролюють середній діаметр нарізки.

Поелементний контроль нарізних виробів (диференційований метод) застосовується для контролю якості різі калібрів-пробок, різцеобробного інструмента тощо. При цьому окремо перевіряють власне середній діаметр, крок і половину кута профілю, використовуючи універсальний та спеціалізований інструмент.

### 15.6. Порядок виконання роботи

15.6.1. Налаштувати верстат на нарізання різі заданого кроку.

15.6.2. Вибрати схему нарізання різі однопітківим різцем.

- 15.6.3. Встановити розрізну оправку у трикулачковому патроні.
- 15.6.4. Встановити заготовку у розрізну оправку та різець у різцетримачі верстата.
- 15.6.5. Нарізати різь.
- 15.6.6. Зняти нарізану гайку з верстата.
- 15.6.7. Перевірити різь калібром-пробкою.
- 15.6.8. Зняти різець з верстата.
- 15.6.9. Встановити на верстаті пристрій.
- 15.6.10. Встановити другу заготовку в пристрій.
- 15.6.11. Просунути гайкоріз-протяжку крізь заготовку і закріпити її у муфті пристрою.
- 15.6.12. Нарізати різь в заготовці гайкорізом-протяжкою.
- 15.6.13. Перевірити роботу калібром-пробкою.

### **15.7. Контрольні питання**

- 15.7.1. Види різі.
- 15.7.2. Способи нарізання різі.
- 15.7.3. Схеми нарізання різі різцями.
- 15.7.4. Види нарізних різців.
- 15.7.5. Способи установки різців
- 15.7.6. Гайкоріз-протяжка.
- 15.7.7. Будова пристосування для нарізання внутрішньої різі гайкорізом-протяжкою.
- 15.7.8. Нарізання різі гайкорізом-протяжкою.
- 15.7.9. Налаштування верстата для різенарізання.
- 15.7.10. Контроль нарізних з'єднань.

## **Лабораторна робота № 16.**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ОТВОРІВ**

**Мета роботи:** вивчити методику визначення економічної точності різних методів механічної обробки отворів.

#### **16.1. Загальні положення**

Отвір - один з основних елементів деталей машин. Для їх одержання застосовують різноманітні методи механічної обробки: свердлення, розсвердлювання, зенкерування, розвертання, розточування, протягування, прошивання тощо.

При виборі в першу чергу виходять з точності і шорсткості, одержання яких забезпечує даний метод, потім при рівних можливостях в якості остаточного критерію вибору використовують економічні показники.

Точність методу обробки залежить від багатьох факторів: матеріалу, що обробляється; конструкції ріжучого інструмента і пристосувань; обладнання, яке застосовується, та його стану.

В результаті аналізу даних різних галузей промисловості у літературі наводяться усереднені показники точності різних методів обробки.

У зв'язку з технічним прогресом задачі, що стоять перед технологами, постійно змінюються і ускладнюються; крім того, вдосконалюються самі технологічні методи. Тому на практиці виникає необхідність оцінити точність методу обробки в різних умовах конкретного виробництва.

### **16.2. Економічна точність обробки та її визначення**

Під економічною точністю методу механічної обробки розуміють точність, що досягається в реальних умовах виробництва при нормальному функціонуванні технологічного процесу. Економічна точність характеризується середнім відхиленням отриманих розмірів від нормальних розмірів оброблених заготовок і може бути виражена через відповідний квалітет точності.

Важливою характеристикою методу механічної обробки є також шорсткість оброблюваної поверхні. Для вірогідного висновку про точність методу механічної обробки необхідно провести статистичний аналіз результатів вимірювання партії деталей, що виготовляються даним методом.

Досягнутий квалітет точності визначають порівнянням практичного поля розсіювання з табличними значеннями граничних відхилень для даного номінального розміру.

Шорсткість у виробничих умовах можна з достатньою точністю визначити візуально, порівнюючи поверхню, що обробляється, зі зразками - еталонами шорсткості.

### **16.3. Порядок виконання роботи**

16.3.1. Скласти маршрут технологічної обробки отвору таким чином, щоб у нього увійшли всі причетні до впливу на точність методи у відповідності із завданням.

У маршруті передбачити необхідні операції контролю. Зміст операцій подати у вигляді маршрутної карти.

16.3.2. Виходячи з обраного маршруту призначити проміжні припуски на механічну обробку, режими різання; підрахувати основний і допоміжний час. Результати оформити у вигляді операційних карт і карти контролю.

16.3.3. Відповідно до розробленої технології, обробити 30-35 отворів (деталей з отворами). У процесі обробки виконати необхідні заміри. Шорсткість для кожного методу обробки визначити по 2 - 3 отворах (деталях з отворами), для чого останні розрізати таким чином, щоб одержати потрібний доступ до обробленої поверхні. Результати подаги у вигляді таблиці 16.1.

16.3.4. Виконати статистичну обробку результатів замірів шорсткості і точності та визначити досягнутий квалітет точності і середню величину шорсткості по кожному методу обробки. Результати подати у вигляді таблиці 16.2.

16.3.5. Зробити висновки з роботи та оформити звіт.

Таблиця 16.1

Метод роботи			Номінальні розміри		
Номер деталі	Дійсний розмір	Шорсткість (Ra, мкм)	Номер деталі	Дійсний розмір	Шорсткість (Ra, мкм)

Таблиця 16.2

№ п/п.	Найменування методу	Номінальний розмір	Досягнутий квалітет точності (IT)	Середня величина шорсткості (Ra, мкм)	Оперативний час на обробку, хв.

### 16.4. Контрольні питання

16.4.1. Фактори, котрі впливають на економічну точність механічної обробки.

16.4.2. Методи розрахунку режимів різання при свердленні, зенкеруванні, розвертанні.

16.4.3. Особливості розрахунку режимів різання при розточуванні.

16.4.4. Як визначити основний та допоміжний час обробки отворів?

16.4.5. Яким чином різні методи механічної обробки отворів впливають на точність форми, розташування та шорсткість їх поверхні?



## Лабораторна робота № 17

### ТЕХНІЧНЕ НОРМУВАННЯ ВЕРСТАТНИХ ОПЕРАЦІЙ

**Мета роботи:** навчитись визначати норми часу на верстатній роботі шляхом розрахунку та хронометражу.

#### 17.1. Загальні положення

Під технічним нормуванням мається на увазі встановлення норми часу на виконання визначеної роботи або норми виготовлення в штуках деталей за одиницю часу.

Технічна норма часу - час, що встановлюється на виконання даної операції при певних організаційно-технічних умовах і найефективнішому використанні усіх засобів виробництва з урахуванням передового виробничого досвіду.

Технічна норма є основою для оплати праці робітника, калькуляції собівартості деталей та виробу. По ній розраховують тривалість виробничого циклу, необхідну кількість верстатів, інструментів, визначають виробничу потужність цехів, планують виробництво.

Норма часу на виготовлення одного виробу називається нормою штучного часу. Вона складається з наступних елементів, хв.:

$$t_{шт} = t_o + t_o + t_{об} + t_{пер};$$

де  $t_{шт}$  - норма поштучного часу;  $t_o$  - основний (технологічний) час;  $t_o$  - допоміжний час;  $t_{об}$  - час обслуговування робочого місця;  $t_{пер}$  - час перерв на відпочинок і фізичні потреби робітника.

*Основний (технологічний) час* - це час, протягом якого знімається стружка, тобто змінюється форма, розміри і зовнішній вигляд деталі.

*Допоміжний час* включає: керування верстатом: пуск, зупинку, зміну швидкості і подачі тощо; час переміщення інструмента, установку, закріплення і зняття деталі; установку, закріплення і зняття заготовки під час роботи; вимірювання деталі (наприклад: взяти інструмент, установити, виміряти, відкласти інструмент тощо).

*Сума основного і допоміжного часу називається оперативним часом* ( $t_{оп} = t_o + t_o$ ).

*Час обслуговування* складається з часу на технічне обслуговування робочого місця  $t_{мо}$  і часу на організаційне обслуговування робочого місця  $t_{оо}$ : ( $t_{об} = t_{мо} + t_{оо}$ )

По можливості слід перекривати затрати часу на ручні дії машинним часом.

*Час технічного обслуговування робочого місця* - це час верстатника

по догляду за робочим місцем в процесі даної роботи, який в свою чергу містить такі затрати: додаткову наладку і регулювання верстата в процесі роботи; зміну інструмента в разі його притуплення; правку інструмента; видалення стружки в процесі роботи.

Час технічного обслуговування залежить від основного часу, тому його обчислюють у процентах від основного. Він становить зазвичай 1-5 % основного часу в залежності від типу і розмірів верстата, крім шліфувальних верстатів, для яких приймають 3,5-10%, а для безцентрово-шліфувальних - 12-18% основного часу.

Час організаційного обслуговування робочого місця передбачає витрати часу робітника на догляд за робочим місцем протягом зміни; в нього входить час на наступні процеси: розкладка інструмента на початку зміни і прибирання його по закінченні зміни; чистка і змащування верстата; огляд і випробування верстата.

Час організаційного обслуговування робочого місця обчислюють у процентах до оперативного часу: 1,9-5,5% у залежності від типу і розмірів верстата відповідно до затверджених нормативів.

Крім того, в індивідуальному і дрібносерійному виробництві передбачається *підготовчо-завершальний* час, котрий у норму штучного часу не входить і визначається окремо для всієї партії деталей, при цьому величина підготовчо-завершального часу не залежить від розмірів партії. Таким чином, загальний калькуляційний час буде складатись зі штучного і підготовчо-завершального часу, що припадає на одну штуку.

У *підготовчо-завершальний* входять: час ознайомлення робітника з роботою і читання креслення; час підготовки робочого місця, налагодження верстата, інструмента і пристроїв для обробки заданої партії деталей.

У масовому і багатосерійному виробництві підготовчо-завершальний час у норму верстатника не входить, оскільки цю роботу виконують до початку зміни спеціальні наладчики. У серійному виробництві деяка частина  $T_{ПЗ}$  припадає на верстатника.

Норма часу на обробку даної партії деталей

$$T_n = t_{um}n + T_{ПЗ};$$

де  $n$  - кількість деталей в партії;  $T_{ПЗ}$  - підготовчо-завершальний час на всю партію, хв.

Норма загального калькуляційного часу на одну деталь

$$t_k = \frac{T_n}{n} = t_{um} + \frac{T_{ПЗ}}{n}.$$

Тривалість допоміжних операцій, що мають місце під час виготовлення деталі та входять до складу допоміжного часу, визначають так як і підготовчо-завершальний час, за нормативами, які розроблені на базі експериментальних даних.

Загальна формула норми штучного часу набуде вигляду

$$t_{шт} = t_o + t_o + \frac{\alpha}{100} t_o + \frac{\beta}{100} (t_o + t_o) + \frac{\gamma}{100} (t_o + t_o);$$

де  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  - процент від оперативного часу, що відображає відповідно час технічного обслуговування робочого місця, організаційного обслуговування та час на фізичні потреби.

Норму часу можна визначити технічними розрахунками або хронометражем.

### 17.2. Технічний розрахунок норми часу

Верстатну операцію, котра виконується на даному робочому місці, поділяють на переходи та прийоми. Безпосереднім спостереженням установлюють фактичний зміст і послідовність переходів і прийомів, фіксують режимі різання, відмічають типи пристроїв та вимірювальних інструментів, вагу і розмір заготовки та інші фактори, що впливають на величину штучного часу.

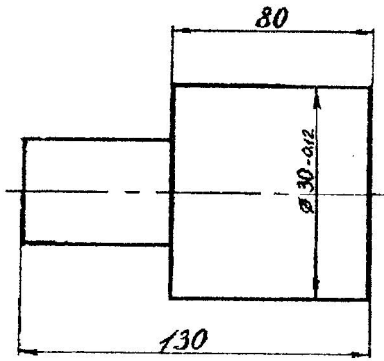


Рис. 17.1. Ескіз валіка

Для кожного переходу обробки розрахунком визначають основний технологічний час, користуючись формулами для методів обробки, які застосовуються у даному випадку.

Грунтуючись на нормативних матеріалах з окремих заздальгідь вписаних у таблицю прийомів, визначають допоміжний час для даної операції.

В таблиці 17.1 наведена тривалість деяких прийомів, за допомогою яких можна встановити допоміжний час в умовах се-

рійного виробництва.

За тими ж нормативами визначають час технічного і організаційного обслуговування робочого місця і час на відпочинок, а також норму штучного часу. Розглянемо розрахунок норми штучного часу на прикладі її визначення для операції обточування шийки валіка (рис. 17.1).

Початкові дані: матеріал деталі - сталь Ст 3, кількість деталей  $n = 10$  шт., кут різця у плані  $\phi = 45^\circ$ .

Режими різання:  $U = 30$  м/хв;  $n = 315$  1/хв.;  $S_o = 0,42$  мм/об;  $t = 0,50$  мм.

Таблиця 17.1.

Робочі прийоми	Тривалість, хв.
Встановити деталь у патрон	0,100
Надіти хомутик на деталь і закріпити	0,050
Змастити центрові гнізда деталі	0,030
Установити деталі в центрах	0,035
Підвести центр задньої бабки маховиком і закріпити піноль рукояткою	0,030
Увімкнути обертання шпинделя	0,020
Підвести різець до деталі у поздовжньому напрямі вручну	0,025
Увімкнути подачу важелем	0,030
Перемістити супорт в поперечному напрямі до упору	0,025
Увімкнути подачу	0,010
Увімкнути подачу і обертання шпинделя	0,020
Увімкнути обертання шпинделя важелем фрикціона	0,010
Відвести різець від деталі у поперечному напрямі	0,025
Перемістити каретку супорта в поздовжньому напрямі вручну у початкове положення	0,030
Відкріпити піноль задньої бабки рукояткою і відвести центр маховиком	0,025
Зняти деталь і відкласти на відстань до 1 м	0,015
Відкріпити і зняти хомутик	0,020
Відкріпити патрон і зняти деталь	0,060

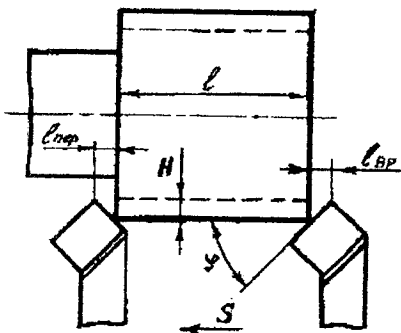


Рис. 17.2. Визначення шляху інструмента

Обробка виконується до упору на налагодженому токарно-гвинторізному верстаті з висотою центрів 200 мм, обладнаному кнопковим пусковим керуванням і важільним механізмом вимикання фрикційної муфти та механізму подачі.

Основний час визначають за формулою, хв.:

$$t_o = \frac{l_{сп} + l + l_{спр}}{nS_o}$$

де  $l$  - довжина шийки, яка

проточується, за кресленням, мм:  $l_{ap}$ - шлях врізання інструмента, мм,  $l_{пер}$ - шлях перебігу інструмента, мм.

В даному випадку (рис 17.2.)

$$l_{ap} = l / \operatorname{tg} \varphi = 0,5 / \operatorname{tg} 45^{\circ};$$

$$l_{пер} = (1 \div 2) s_0 \quad (\text{приймаємо } l_{пер} = 0,42 \text{ мм}).$$

$$\text{Тоді } t_0 = \frac{0,5 + 80 + 0,42}{315 \cdot 0,42} = 0,61; \text{ хв.}$$

Для визначення допоміжного часу виділимо наступні робочі прийоми, тривалість яких визначаємо за нормативними матеріалами (у хвили-нах):

а). Надіти хомутки і закріпити .....	0,05
б). Змастити центрові гнізда деталі .....	0,03
в). Установити деталь в центрах .....	0,035
г). Підвести центр задньої бабки маховичком і закріпити піноль рукояткою.....	0,03
д). Увімкнути обертання шпинделя важелем фрикціона .....	0,02
е). Підвести різець до деталі в поздовжньому напрямі до упору .....	0,02
є). Перемістити супорт у поперечному напрямі .....	0,025
ж). Увімкнути подачу важелем .....	0,03
з). Вимкнути подачу .....	0,01
і). Відвести різець від деталі в поперечному напрямі .....	0,025
й). Перемістити каретку супорта в поздовжньому напрямі вручну в початкове положення .....	0,03
к). Вимкнути обертання шпинделя важелем фрикціона .....	0,01
л). Відкріпити піноль задньої бабки і відвести центр задньої бабки .....	0,025
м). Зняти деталь і відкласти в піддон на відстань до 1 м.....	0,015
н) Відкріпити і зняти хомутки .....	0,02
Усього .....	0,375

Враховуючи можливість суміщення часу виконання заходів а), б) і н) з основним часом, одержимо допоміжний час  $t_0 = 0,275$  хв.

Час технічного і організаційного обслуговування та час на відпочинок приймаємо відповідно 1, 2 і 2 проценти.

### 17.3. Встановлення (визначення) норм часу хронометражем

Підготовку до хронометражу починають з розчленування конкретної операції на переходи та прийоми на основі фактичного спостереження за роботою.

Зайві і пераціональні прийоми вилучаються. При аналізі послідовності і змісту окремих етапів роботи враховують послідовність і можливість суміщення прийомів з періодами автоматичного ходу машини (основного часу).

Для замірювання часу використовують хронометраж, виконуючи запис результатів дослідження за спливаючим часом (спосіб безперервних замірів).

На початку спостережень пускають хронометр від нуля, а потім при закінченні кожного послідовного прийому не повертають до нуля, а записують поточні значення показників. У подальшому тривалість другого прийому підраховують відніманням від часу його закінчення часу закінчення попереднього прийому (наприклад, тривалість третього прийому дорівнює різниці між часом третього і другого заходів тоно).

Отримані заміри часу заносять у карту хронометражу (табл.17.2), де навпроти кожного прийому розташовані два рядки чисел. У верхній рядок, позначений літерою Т, заносять поточний час; у нижній, позначений літерою П, заносять після закінчення спостереження тривалість прийому (робочі прийоми подано збільшеними).

Якщо в процесі спостереження виникають перерви в роботі, то причини їх і поточний час фіксують у хронометражній карті. Число спостережень залежить від тривалості операцій згідно з таблицею 17.3.

Таблиця 17.2

Заміри Робочі прийоми		1	2	...	n	Число замірів	Сума- рний час	Сере- дній час
Взяти валик зі встановленим хомутиком, встановити у центрах і закріпити гіноль задньої бабки	Т	0,10	1,04	...	12,5	14	1,09	0,077
	П	0,10	0,08	...	0,09			
Увімкнути обертання шпиделя, підвести різець та увімкнути подачу	Т	0,19	1,12	...	-	16	1,27	0,078
	П	0,09	0,08	...	-			
Проточити шийку	Т	0,81	1,72	...	22,4	20	12,29	0,62
	П	0,62	0,60	...	0,62			
Вимкнути подачу, відвести різець і зупинити шпидель	Т	0,90	1,60	...	22,5	18	1,37	0,076
	П	0,09	0,08	...	0,10			
Відкрити гіноль задньої бабки, зняти та відкласти деталь	Т	0,96	1,65	...	-	18	1,03	0,057
	П	0,06	0,05	...	-			

Одержані ряди чисел з тривалістю кожного прийому уважно розглядають. Окремі числа, які значно вирізняються за своєю величиною серед решти чисел того ж ряду, виключаються. Для того, щоб установити, які спостереження необхідно виключити, використовують коефіцієнт стійкості хроноряду, під яким розуміють відношення часу найбільш тривалого прийому до середньоарифметичного часу виконання прийомів для одного і того ж ряду спостережень (табл. 17.4).

Після виключення з хронорядів різко відмінних значень, установлюють нормальну тривалість кожного прийому, яка приймається рівною середньому арифметичному для даного ряду спостережень.

Таблиця 17.3.

Тривалість операції, хв.	Число спостережень
менше 2,0	20
від 2,0 до 0,3	10
від 10,0 до 40,0	7
від 40,0 до 60,0	5

**Примітка.** При виконанні лабораторних робіт дозволяється застосовувати коефіцієнт стійкості хроноряду, рівний 1,8 незалежно від тривалості операції.

На оперативний час, визначений за допомогою хронометражу, нараховують час для обслуговування робочого місця і на природні потреби. Одержані результати для поданого прикладу подані в таблиці 17.5.

Таблиця 17.4.

Тривалість елементів операції, хв.	Коефіцієнт стійкості хроноряду
Менше 0,1	1,3
від 0,1 до 0,3	1,8
більш 0,3	2,2

Таблиця 17.5.

Способи визначення норми часу	Час обробки однієї деталі, хв.		
	основний	допоміжний	штучний
Розрахунок	0,610	0,275	0,939
Хронометраж	0,610	0,290	0,945

### 17.4. Порядок виконання роботи

17.4.1. Накреслити наладку на операцію, що нормується, показавши шлях інструмента, величини врізання та перебігу інструмента.

17.4.2. Виходячи зі схеми операції, розрахувати основний час, попередньо встановивши режим різання за довідником.

17.4.3. Визначити склад операції по прийомах і, користуючись табл. 17.1 розрахувати допоміжний час.

17.4.4. Визначити час технічного і організаційного обслуговування, прийнявши їх рівними 1, 2 і 2 % відповідно.

17.4.5. Підрахувати штучний час і занести в табл. 17.5 усі результати розрахунків.

17.4.6. Скласти хронометражну карту за формулою табл. 17.2.

17.4.7. Налагодити верстат на виконання заданої операції.

17.4.8. Виконати обробку із замірюванням поточного часу, повторюючи операції 20 разів.

17.4.9. Проаналізувати одержані значення тривалості прийомів, відкидаючи значення, які надто відрізняються (з використанням коефіцієнта стійкості хроноряду).

17.4.10 Визначити оперативний час, нарахувати на нього час на обслуговування робочого місця і час на відпочинок. Результати занести до табл. 17.5.

17.4.11. Порівняти результати визначення штучного часу за допомогою розрахунку і хронометража, зробити висновки і оформити звіт.

### 17.5. Контрольні питання

17.5.1. Що таке технічна норма часу?

17.5.2. Яка структура штучного часу?

17.5.3. Визначення  $t_0$ ,  $t_d$ ,  $t_{то}$ ,  $t_{об}$ ,  $t_{пер}$ .

17.5.4. Структура  $t_{шт.к.}$

17.5.5. Як визначається  $T_{ПЗ}$ ?

17.5.6. Що таке технічно обґрунтована норма часу?

17.5.7. Способи визначення норми часу.

17.5.8. Мета і задачі хронометражу. Як він може виконуватись?

17.5.9. Особливості визначення  $t_{шт}$  в масовому, серійному, одиничному типах виробництва.

17.5.10. Як виключають спостереження з отриманого ряду чисел?



## Лабораторна робота № 18

### НАЛАГОДЖЕННЯ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА МЕТОДОМ ПРОБНИХ ДЕТАЛЕЙ

**Мета роботи:** практичне засвоєння методики розрахунку рівня налагодження, виконання налагодження токарного верстата на цей рівень методом пробних деталей.

#### 18.1. Загальні положення

За ГОСТ 3.1109-73 **наладка** - це підготовка технологічного обладнання та оснастки до виконання операції. Та частина наладки, що відноситься до встановлення інструмента та установочних елементів пристосування в положення, яке забезпечує попадання необхідного розміру в поле допуску, називають налагодженням верстата на заданий рівень наладки. Воно може здійснюватися методом еталонів або методом пробних деталей.

При налагодженні верстата методом еталонів використовують деталь-еталон або спеціальний калібр, що закріплюється на верстаті. Інструмент підводиться до торкання з поверхнею деталі-еталону, після чого закріплюється.

При цьому виді налагодження неможливо забезпечити високу точність обробки в зв'язку з деформаціями пружної системи ВПД, котрі залежать від сил різання, температурного режиму та інших факторів. Для компенсації різних фактичних розмірів заготовок, що обробляються, деталі-еталони виготовляють з поправкою  $\Delta_{\text{погр}}$  відносно робочого креслення.

Налагодження методом пробних деталей можна здійснювати за допомогою робочого калібру та універсального вимірювального інструмента. Після налагодження за допомогою робочого калібру, робочий повинен виготовити одну чи декілька заготовок. Якщо розміри знаходяться в межах допуску, який передбачає робочий калібр, то налагодження вважається вірним для всієї партії заготовок. Але цей метод не можна вважати задовільним, тому що навіть у найсприятливішому випадку, коли допуск на обробку значно перевищує поле розсіювання, немає гарантії того, що значна частина заготовок не буде за межами встановленого допуску. Для зменшення ймовірності виникнення браку при налагодженні даним способом необхідно забезпечити співпадання середини поля розсіювання із серединою поля допуску.

Налагодження методом пробних деталей за допомогою універсального вимірювального інструмента є більш раціональним тому, що здійснюється за допомогою універсального вимірювального інструмента по звужених допусках. Вірність налагодження встановлюється обробкою дея-

кої кількості  $m$  пробних заготовок; налагодження вважається вірним, якщо середнє арифметичне значення розмірів пробних заготовок знаходиться в межах допуску на налагодження  $\delta_n$ .

Налагодження можна вести як без урахування змінних систематичних похибок, так і з їх урахуванням. Так, якщо зміщення центру групування розмірів деталей апроксимується лінійною залежністю, а середньоквадратичне відхилення випадкових похибок цих розмірів у процесі обробки деталей практично постійне, то згідно з ГОСТ 16.308 -75 рівень налагодження  $X_0$  визначається за однією з формул:

а). При зміщенні рівня налагодження до верхнього граничного відхилення  $\Delta_n$  поля допуску на обробку (як, наприклад, при зовнішньому точінні)

$$X_0 = \Delta_n - \delta_z - 3\sigma_m - \frac{\delta_n}{2}; \quad (18.1)$$

б). При зміщенні рівня налагодження до нижнього граничного відхилення  $\Delta_n$  поля допуску на обробку (наприклад, при розточуванні отворів):

$$X_0 = \Delta_n + \delta_z + 3\sigma_m + \frac{\delta_n}{2}; \quad (18.2)$$

де  $\Delta_n$  і  $\Delta_n$  - відповідно верхнє та нижнє відхилення розміру, мм;

$\delta_z$  - зміщення рівня налагодження, мм;

$\sigma_m$  - середньоквадратичне відхилення розмірів при обробці деталей на даній операції, мм;

$\delta_n$  - поле допуску на налагодження, мм.

Зміщення рівня налагодження

$$\delta_z = \bar{X}_k - \bar{X}; \quad (18.3)$$

де  $\bar{X}_k$  та  $\bar{X}_1$  - центри групування похибок параметра, який контролюють за допомогою поточних вибірок, у кінцевий і початковий моменти обробки партії деталей відповідно.

Поле допуску на налагодження при розподілі похибок за нормальним законом можна визначити за формулою:

$$\delta_n = \sqrt{T^2 - \delta_m^2 - 3\delta_z^2 - \Delta_{mi}^2 - \delta_{вим}^2}; \quad (18.4)$$

де  $T$  - поле допуску на обробку, мм;

$\delta_m$  - миттєве поле розсіювання параметра, що контролюється, мм;

$\Delta_{mi}$  - абсолютна похибка контролю точності налагодження, мм;

$\delta_{вим}$  - похибка вимірювання, мм.

Абсолютне значення похибки контролю точності налагодки являє собою похибку  $\Delta_{роз}$  методу розрахунку середнього арифметичного значення:

$$\Delta_{mi} = \Delta_{роз} = \delta_m / \sqrt{m}; \quad (18.5)$$

де  $m$  - кількість пробних деталей.

Контроль точності налагодження повинен проводитись шляхом ви-

мірювання пробних деталей, які були оброблені на верстаті після налагодження. При цьому, коли середньоквадратичне відхилення невідоме, кількість пробних деталей вибирається в межах від 5 до 10 шт. Засоби вимірювання вибираються за ГОСТ 8.051-73, згідно з яким похибки вимірювання приймаються рівними від 20 (для грубих квалітетів ) до 35% допуску на розмір.

Про правильність налагодження роблять висновок по середньому арифметичному значенню, яке визначається за результатами вимірювань контрольованого параметру оброблених після налагодження верстата пробних деталей.

Налагодження слід вважати вірним, якщо виконуються такі умови:

$$\bar{X} - X_0 \leq \varepsilon; \quad (18.6)$$

де  $\bar{X}$  - середнє арифметичне значення, мм;  $\varepsilon$  - абсолютна похибка налагодження в мм, яка визначається формулою:

$$\varepsilon = \frac{t_p}{\sqrt{m}} \cdot \hat{\delta}_{m_0}; \quad (18.7)$$

( $t_p / \sqrt{m}$ ) - відношення, яке приймається за табл. 18.1 в залежності від надійної ймовірності  $P$  та кількості пробних деталей  $m$ ;  $\hat{\delta}_{m_0}$  - середньоквадратичне відхилення, яке обчислюють за результатами попередньої обробки та вимірювання параметру, що контролюється, на трьох - десяти деталях:

$$\hat{\delta}_{m_0} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{X})^2}{m - 1}}; \quad (18.8)$$

При виконанні даної лабораторної роботи  $\hat{\delta}_{m_0}$  можна приймати рівним 15 ...200 мкм без попередньої обробки та вимірювання деталей.

Табл. 18.1.

Залежність ( $t_p / \sqrt{m}$ ) від імовірності  $P$  та кількості деталей  $m$

m	P				
	0,95	0,980	0,990	0,995	0,999
5	1,15	1,15	1,80	2,13	3,07
6	1	1,28	1,51	1,76	2,44

### 18.2. Рекомендації щодо виконання роботи

При виконанні даної лабораторної роботи необхідно проточити 5-6 деталей типу вал на прохід на довжині 75-80 мм з наступними режимами

різання:  $t = 0,5 - 0,6$  мм;  $s = 0,2 - 0,3$  мм/об;  $U = 100 - 110$  м/хв. Прохідний різець з Т15К6.

Допуск на обробку вала потрібно брати в межах  $0,25 - 0,3$  мм (тобто по 1712 СТ СЭВ 144-75).

При визначенні абсолютної похибки налагодження рівень надійної ймовірності  $P$  приймається з ряду:  $0,950; 0,980; 0,990; 0,955; 0,999$ . Обсяг партії деталей  $N$ , що обробляються при даному налагодженні, можна прийняти рівним 100 шт.

Зміщення рівня налагодження  $d_j$  (мкм), яке використовується для визначення рівня налагодження та поля допуску на налагодження, розраховується виходячи з припущення, що при точінні воно в основному зумовлене розмірним зношуванням інструмента. Тоді

$$\delta_j = \bar{X}_k - \bar{X}_l \cong \Delta_l = 2U_0 l / 1000; \quad (18.9)$$

де  $\Delta_l$  - похибка, зумовлена зношуванням ріжучого інструмента, мкм;

$U_0$  - відносне зношування інструмента мкм/км. Для випадку точіння сталі твердосплавним різцем Т15К6 зі швидкістю понад 100 м/хв  $U_0 = 5-7$  мкм/км;

$l$  - шлях різання, м;

$$l = \pi d L n / 1000 s; \quad (18.10)$$

де  $d$  - діаметр заготовки, мм;

$L$  - довжина заготовки, мм.

Поле миттєвого розсіювання розмірів  $d_m$  при точінні заготовок діаметром 50-80 мм на верстатах жорсткістю 6-10 кН/мм можна прийняти рівним 32-33 мкм. Таким чином, знаючи поле миттєвого розсіювання  $\delta_m$  контрольованого розміру, можна визначити середньоквадратичне відхилення розмірів  $\delta_m$ . За рекомендаціями ІСО 1938-71 приймається  $\delta_m = \pm 2 \sigma_m$  (при надійній ймовірності  $P = 0,95$ ). Звідси:

$$\sigma_m = \delta_m / 4. \quad (18.11)$$

Похибка вимірювань  $\delta_{вим}$  мікрометром з ціною поділки 0,01 мм для діапазону розмірів 25...80 мм складає 10 мкм (ГОСТ 8.051-73). Відношення  $t_p / \sqrt{m}$ , що входить в формулу (18.7) для визначення похибки налагодження  $\delta_m$ , знаходиться по табл. 18.1 за значеннями  $P$  та  $m$ .

### 18.3. Порядок виконання роботи

18.3.1. Визначити рівень налагодження за допомогою розрахунково-аналітичних методів.

18.3.2. Закріпити заготовку у трикулачковому патроні з використанням центра задньої бабки. Закріпити піноль задньої бабки рукояткою.

18.3.3. Налаштувати токарний верстат на заданий рівень методом пробних стружок та регулювання налагодження різця за допомогою лімба по-

перечної подачі. Закріпити лімб у положенні налагодження.

18.3.4. Обробити на заданих режимах і рівні налагодження 5-6 деталей на прохід на довжині 75-80 мм.

18.3.5. Виміряти мікрометром діаметри оброблених деталей після їх остигання.

18.3.6. Розрахувати  $\bar{X}$  згідно з варіантом завдання.

18.3.7. Визначити величину  $t_p/\sqrt{m}$  за табл. 18.1 та вирахувати похибку налагодження  $e$ .

18.3.8. Визначити виконання умови нерівності  $(\bar{X} - X_0 \leq \varepsilon)$  згідно з варіантом завдання.

18.3.9. Дати оцінку точності налагодження.

18.3.10. Скласти звіт.

#### **18.4. Зміст звіту**

18.4.1. Назва та мета роботи

18.4.2. Короткі теоретичні відомості.

18.4.3. Найменування та модель верстата, дані про пристосування, вимірювальний та ріжучий інструмент, що використовувались.

18.4.4. Ескіз установки деталі на верстаті, матеріал деталі та її розміри.

18.4.5. Вихідні та розрахункові дані, які необхідні для визначення рівня налагодження.

18.4.6. Результати вимірювань пробних деталей та визначення  $\bar{X}$ .

18.4.7. Результати визначення абсолютної похибки налагодження.

18.4.8. Результати перевірки умови правильності налагодження.

18.4.9. Висновки.

#### **18.5. Контрольні питання**

18.5.1. Визначення параметрів налагодження та наладка верстата.

18.5.2. Види налагодження верстата.

18.5.3. Від яких факторів залежить рівень наладки верстата?

18.5.4. Чим пояснити зміщення рівня налагодження при точінні?

18.5.5. Які фактори впливають на допуск налагодження верстата?

18.5.6. Що є критерієм правильності налагодження верстата?

ЛІТЕРАТУРА

1. Балабанов А. Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя. – М. : Изд. стандартов, 1992. – 464 с.
2. Дальский В.В. Технология машиностроения. – М. : Высшая школа, 1972. – 544 с.
3. Допуски и посадки : Справочник. В 2-х т. / Под ред. В.Д. Мягкова. – Л. : Машиностроение, 1978. – Т. 1 – 544с. Т. 2 – 545 с.
4. Картавов С.А. Технология машиностроения : (спец. часть) – К. : Вища школа, 1984. – 271 с.
5. Лабораторный практикум по технологии машиностроения / Под ред. В.В. Бабука. – Минск : Высшейшая школа, 1983. – 220 с.
6. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л. : Машиностроение, 1985. – 512 с.
7. Маталин А.А. Технология механической обработки. – Л. : Машиностроение, 1977. – 464 с.
8. Медвідь М.В., Шабайкович В.А. Теоретичні основи технології машинобудування. – Львів : Вища школа, 1976. – 299 с.
9. Мосталыгин Г.П., Толмачевский Н.Н. Технология машиностроения. – М. : Машиностроение, 1990. – 288 с.
10. Никифоров А.Д., Бойцов В.В. Инженерные методы обеспечения качества в машиностроении. – М. : Изд. стандартов, 1987. – 384 с.
11. Основы технологии машиностроения / Под ред. В.С. Корсакова. – М. : Машиностроение, 1977. – 416 с.
12. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении / Под ред. В.В. Бабука. – Минск : Высшейшая школа, 1987. – 255 с.
13. Скраган В.А., Амосов И.С., Смирнов А.А. Лабораторные работы по технологии машиностроения. – Л. : Машиностроение, 1974. – 192 с.
14. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 1 – 656 с. Т. 2 – 496 с.

## З М І С Т

• ВСТУП .....	3
• <i>Лабораторна робота №1. ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ МЕТОДОМ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ</i> .....	4
• <i>Лабораторна робота №2. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ РОЗМІРНОГО ЗНОСУ ТОКАРНОГО РІЗЦЯ ВІД ШЛЯХУ РІЗАННЯ</i> .....	8
• <i>Лабораторна робота №3. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВІДНОСНОГОЗНОСУ РІЗЦЯ ВІД ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ</i> .....	15
• <i>Лабораторна робота №4. ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ УСТАНОВКИ РОЗМІРУ ПО ЛІМБУ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ</i> .....	17
• <i>Лабораторна робота №5. НАЛАГОДЖЕННЯ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ БАЗУВАННЯ</i> .....	24
• <i>Лабораторна робота №6. ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ В ТРИКУЛАЧКОВОМУ ПАТРОНІ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА</i> .....	28
• <i>Лабораторна робота №7. ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ В МАШИННИХ ЛЕЩАТАХ</i> .....	32
• <i>Лабораторна робота №8. СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ</i> .....	34
• <i>Лабораторна робота №9. ВПЛИВ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ТА ГЕОМЕТРІЇ ІНСТРУМЕНТУ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ПРИ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ</i> .....	36
• <i>Лабораторна робота №10. ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ОБРОБКИ КІЛЕЦЬ НА НАЛАГОДЖЕНОМУ ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ</i> .....	42
• <i>Лабораторна робота №11. ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА ВИРОБНИЧИМ МЕТОДОМ</i> .....	46

- *Лабораторна робота №12. ВПЛИВ РЕЖИМІВ ТА ШЛЯХУ РІЗАННЯ НА ТЕМПЕРАТУРНУ ДЕФОРМАЦІЮ ТОКАРНОГО РІЗЦЯ* ..... 50
- *Лабораторна робота №13. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ШИРОКОУНІВЕРСАЛЬНОГО ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА* ..... 54
- *Лабораторна робота №14. ТЕХНОЛОГІЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ІЗ ГЛАДКИМИ ОТВОРАМИ* ..... 56
- *Лабораторна робота №15. ТЕХНОЛОГІЯ НАРІЗАННЯ РІЗЕЙ* ..... 64
- *Лабораторна робота №16. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ОТВОРІВ* ..... 69
- *Лабораторна робота №17. ТЕХНІЧНЕ НОРМУВАННЯ ВЕРСТАТНИХ ОПЕРАЦІЙ* ..... 72
- *Лабораторна робота №18. НАЛАГОДЖЕННЯ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА МЕТОДОМ ПРОБНИХ ДЕТАЛЕЙ* ..... 80
- *ЛІТЕРАТУРА* ..... 85



Міністерство освіти України  
Вінницький державний технічний університет

Навчальне видання

Олег Васильович Зайцев, Віктор Григорович Байло,  
Андрій Юрійович Осадчук  
Механічна обробка матеріалів  
(Лабораторний практикум)  
Навчальний посібник

Редактор Т.А. Ягельська  
Коректор З.В. Поліщук

Тир. 50 примірників Зам. № 99-08

ВДТУ, 286021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95