

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних занять з дисципліни  
«Технологічні основи машинобудування»  
для студентів освітніх програм:  
«Технологія машинобудування»,  
«Металорізальне верстати та системи»,  
«Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні ма-  
шини і обладнання»  
всіх форм навчання

2020

Методичні вказівки до виконання лабораторних занять з дисципліни «Технологічні основи машинобудування» для студентів освітніх програм: «Технологія машинобудування», «Металорізальні верстати та системи», «Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання» / Укл.: Вишнепольський Є.В., Гончар Н.В. – Запоріжжя: НУЗП, 2020 – 53 с.\*

Укладач: Н.В. Гончар, доц., к.т.н.  
Є.В. Вишнепольський, старш. викл.

Рецензент: Д.М. Степанов, старш. викл., к.т.н.

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

Затверджено  
на засіданні кафедри

"Технології машинобудування"  
протокол № 6 від 24 січня 2020 р.

---

\* Методичні вказівки складено на основі «Методичних вказівок до виконання лабораторних занять з дисциплін «Основи технології машинобудування», «Технологія машинобудування», «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин для студентів спеціальностей: 8.090202 – технологія машинобудування, 8.090203 – металорізальні верстати та системи, 8.090211 – колісні та гусеничні транспортні засоби, всіх форм навчання // Укл.: В. Д. Хорошков, В.В. Кононов, К.В. Зінкевич, Н.О. Савчук. Під ред. Ципака В.І. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2004 – 55 с.»

<u>Лабораторне заняття 1.</u> Оцінка похибки установки заготовки в цанговому та трьохкулачковому патронах .....	5
<u>Лабораторне заняття 2.</u> Оцінка похибки настройки токарного верстата.....	9
<u>Лабораторне заняття 3.</u> Оцінка похибок обробки, які викликані порушенням принципу постійності технологічних баз .....	15
<u>Лабораторне заняття 4.</u> Оцінка похибки обробки, яка викликана пружним віджимом в залежності від операційного припуску .....	21
<u>Лабораторне заняття 5.</u> Дослідження залежності похибки форми деталі від жорсткості та способу закріплення заготовки .....	26
<u>Лабораторне заняття 6.</u> Оцінка похибки обробки, що викликана розмірним зносом різця .....	30
<u>Лабораторне заняття 7.</u> Дослідження впливу технологічних факторів на шорсткість поверхні.....	34
<u>Лабораторне заняття 8.</u> Розрахунок складального розмірного ланцюга та його дослідна перевірка.....	39
ЛІТЕРАТУРА.....	45
ДОДАТОКИ.....	46

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

Загальний напрямок лабораторних робіт полягає у придбанні навичок в технологічній діагностиці і прогнозуванні очікуваних погрешностей обробки заготовок.

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

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

## Лабораторна робота 1

**ОЦІНКА ПОХИБКИ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ В  
ЦАНГОВОМУ ТА ТРЬОХКУЛАЧКОВОМУ ПАТРО-  
НАХ**

Мета роботи – встановити факт утворення похибки установки та її випадковий характер; оцінити похибку установки експериментальним шляхом і зрівняти її з нормативними значеннями.

**Матеріально-технічне забезпечення**

Токарно-револьверний та токарно-гвинторізний верстати, індикатори з ціною ділення шкали 0,005 або 0,01 мм, утримувачі для індикаторів, зразки заготовок.

**Теоретичні положення**

При обробці деталей на верстатах їх параметри точності завжди залежать від вірної орієнтації заготовок відносно елементів верстатів, що визначають траєкторію руху подачі обробляючих інструментів. Це досягається базуванням заготовок.

Згідно ГОСТ 21495-76 базуванням називається придання заготовці (її системі координат) потрібного положення відносно вибраної системи координат (пристосування верстату). Для виконання технологічної операції потрібно окрім базування заготовки забезпечити її нерухомість відносно пристосування на весь період обробки, для чого заготовка закріплюється в пристосуванні.

Таким чином, при установці заготовки в пристосуванні вирішується дві задачі: базування - забезпечення необхідності орієнтування та закріплення - забезпечення незмінності орієнтування в процесі обробки.

Похибка установки складається з похибки базування та похибки закріплення і зображує собою відхилення фактичного положення заготовки від потрібного.

На верстатах токарної групи заготовки установлюють у трьохкулачковий або цангових патронах з упором горця заготовки в торець патрону (рис 1.1).

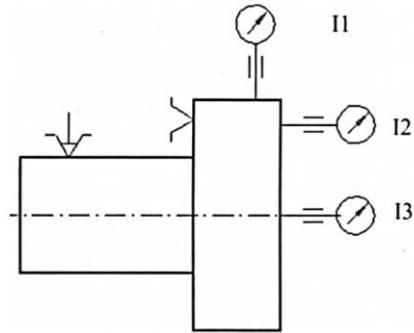


Рисунок 1.1- Схема установки та вимірювання

Виникнення похибки установки можливо знайти за допомогою індикаторів. Якщо заготівці придати обертання, то за кожний її оберт індикатор П1 буде фіксувати радіальне, а індикатор І2 - торцеве биття заготовки. Осьове зміщення можна зафіксувати індикатором І3, якщо встановити його по осі заготовки.

Причини з'явлення похибки установки різні, як по своїй природі, так і по характеру з'явлення, тому похибка установки являється випадковою величиною. В цьому можна переконатися, фіксуючи показники індикаторів після кожного повтору процедури установки. Для оцінки похибки установки як випадкової величини необхідно знати закон розподілу її значень.

Похибки установки, які відображають радіальне або торцеве биття підпорядковуються закону Релея, так як являються істотно позитивними величинами.

Якщо похибку  $\Delta u$  позначити "x", то середнє значення

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1.1)$$

де  $x_i$  – значення  $\Delta u$  при  $i$ -й установці,  $n$  – число установок (обсяг виборки).

Середнє квадратичне відхилення

$$\sigma_x = \frac{\overline{W}}{\alpha_n}, \quad (1.2)$$

де 
$$W = x_{нб} - x_{нм} \quad (1.3)$$

представляє собою розмах значень  $x_i$ , у виборці;  $\alpha_n$  - коефіцієнт, що приймається в залежності від об'єму вибірки  $n$ .

Стандартне поле розсіювання похибки для закону Релея  $w=5,252\sigma_x$ .

Похибка установки в осьовому напрямку, вимірювана індикатором ІЗ, підкоряється нормальному закону розподілу.

Для розрахунку значень  $\bar{x}$  та  $\sigma_x$ , використовуються (1.1) - (1.3). Стандартне поле  $w=6\sigma_x$ . Найбільше значення похибки  $x_{H\delta} = \bar{x} + 3\sigma$ .

#### Порядок виконання роботи

- 1 Ознайомитися з інструкцією та робочим місцем.
- 2 Установити індикатори.
- 3 Установити та закріпити заготовку по схемі (рис 1.1).
- 4 Ввімкнути мінімальну частоту обертання шпинделя. Зняти показники індикаторів та записати в протокол (табл. D.1).
- 5 Повтори ти установку заготовки  $n = 10$  разів.
- 6 Комплекс робіт, зазначених в п. 2-5, виконувати на кожному робочому місці.
- 7 Розрахувати для кожного виду  $\Delta u$ , значення  $\bar{x}$ ,  $\sigma_x$ , вибираючи значення коефіцієнту  $\alpha_n$  по табл. D.2.
- 8 З урахуванням закону розподілу похибки розрахувати поле розсіювання  $w=5,252\sigma_x$ , - для закону Релея;  $w=6\sigma_x$ , - для нормального закону.
- 9 Установити максимальне значення похибки установки по даним дослідів та зрівняти їх з нормативними (табл. D.3).
- 10 Обговорити одержані результати.
- 11 Оформити звіт, захистити та здати роботу.

## Контрольні запитання

1. Що називають базуванням установки ?
2. З яких похибок складається похибка установки ?
3. Які види похибки установки можуть бути при установці заготовок кулачкових та цангових патронах ?
4. Причини з'явлення похибки установки ?
5. На які параметри точності впливають параметри установки ?
6. Які систематичні та випадкові фактори призводять до утворення похибки установки ?
7. Впливає похибка установки на величину операційного припуску ?
8. Як підвищити точність установки заготовок в цангових та кулачкових патронах ?



## Лабораторна робота 2

**ОЦІНКА ПОХИБКИ НАСТРОЙКИ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА**

Ціль роботи: дослідним шляхом дати оцінку похибки розмірної настройки верстата при його настройці по лімбу.

Матеріально-технічне забезпечення

- 1 Токарно-гвинторізні верстати мод. 16К20 та 1А62.
- 2 Різці прохідні твердосплавні - 2 шт.
- 3 Заготовки - прутки сталеві  $\varnothing 40-75$  мм та довжиною  $L = 150...300$  мм 2 шт. (рис 2.1).
- 4 Мікрометри 25...50 та 50...75 мм.

Короткі теоретичні положення

Для обробки партії заготовок на настроєному верстаті необхідно верстат налагодити на заданий налагоджувальний розмір –  $d_H$ .

За  $d_H$  можна приймати середній розмір деталі (рис 2.1)

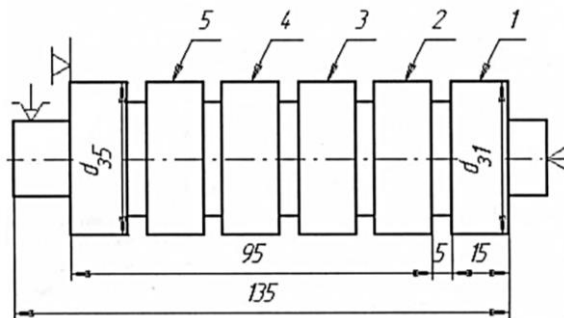


Рисунок 2.1-Зразок - заготовка

$$\bar{d}_o = \frac{d_o^{нб} + d_o^{нм}}{2}. \quad (2.1)$$

Якщо, наприклад, заданий операційний розмір  $\varnothing 50_{-0,1}$  то

$$d_H = \frac{50 + 49,9}{2} = 49,95 \quad (2.2)$$

При настройці завжди з'являється похибка настройки  $\Delta_H$ , яка показує відхилення від заданого налагоджувального розміру –  $d_H$  і дорівнює (рис. 2.1) при  $i$ -й настройці

$$\Delta_{ni} = d_{ni} - d_H, \quad (2.3)$$

де  $d_{ni}$  - налагоджувальний розмір, одержаний при  $i$ -й настройці в статичному режимі роботи верстата, тобто при відсутності процесу різання. При цьому очікуване розрахункове значення похибки обробки

$$\Delta_{oi} = d_o - d_H - \Delta_{ni} \quad (2.4)$$

Проте в процесі обробки під дією сил різання та лінійного зносу формується дійсна похибка обробки деталі

$$d_{doi} = d_o - d_{oi}^{SUM} \quad (2.5)$$

де  $d_{oi}^{SUM}$  - вимірний після обробки розмір деталі.

Для виключення помітного впливу складової сили різання  $P_y$  на похибку  $\Delta_{doi}$  слід обробку проводити на глибині різання  $t < 0,2$  мм та значеннях подачі ( $0,1 < S < 0,2$  мм/об).

Дія лінійного (розмірного) зносу різця в силу малого шляху різання слід признати незначною. Забезпечивши такі умови обробки та приймаючи до уваги форм. 2.4 і 2.5 можна вважати, що очікувана похибка обробки  $\Delta_{oi}$  та дійсна  $\Delta_{doi}$  будуть рівними і, отже,

$$d_o - d_H - \Delta_{ni} = d_o - d_{oi}^{SUM}, \quad (2.6)$$

З рівності (2.6) похибка  $i$ -ї настройки

$$\Delta_{ni} = d_{oi}^{SUM} - d_H. \quad (2.7)$$

Для кожної  $i$ -ї настройки похибка  $\Delta_{ni}$  є однозначною величиною. Якщо необхідно обробити "n" партій заготовок, то необхідно виконати  $i = n$  настройок. В одержаній сукупності значень  $\Delta_{ni}$ , кожне значення стає величиною випадковою. Багаточисленними дослідями встановлено, що похибки настройки підкоряються нормальному закону розподілу, статистичними параметрами якого є: (рис. 2.2)

середнє значення похибки настройки

$$\bar{\Delta}_{ni} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{ni}}{n}; \quad (2.8)$$

середнє квадратичне відхилення похибки настройки

$$\sigma_n = \frac{\Delta_{ni}^{нб} - \Delta_{ni}^{нм}}{\alpha_n}; \quad (2.9)$$

де  $\Delta_{ni}^{нб}$  та  $\Delta_{ni}^{нм}$  - відповідно найбільше та найменше значення  $\Delta_{ni}$  в одержаній сукупності "n" значень  $\Delta_{ni}$  :

$\alpha_n$  - коефіцієнт, що вибирається з табл. D.2 додатку.

Найбільше значення похибки настройки (рис. 2.2)

$$\Delta_n^{нб} = \bar{\Delta}_n + 3\sigma_n \quad (2.10)$$

найменше

$$\Delta_n^{нм} = \bar{\Delta}_n - 3\sigma_n .$$

Поле розсіювання похибки настройки

$$\omega_n = \Delta_n^{нб} - \Delta_n^{нм} = \bar{\Delta}_n + 3\sigma - (\bar{\Delta}_n - 3\sigma_n) = 6\sigma_n. \quad (2.11)$$

Маючи статистику оцінки можна побудувати розрахункову схему (рис. 2.2) та зробити ряд висновків;

- поле розсіювання похибки настройки займає приблизно 50% поля допуску Td, а коефіцієнт точності настройки

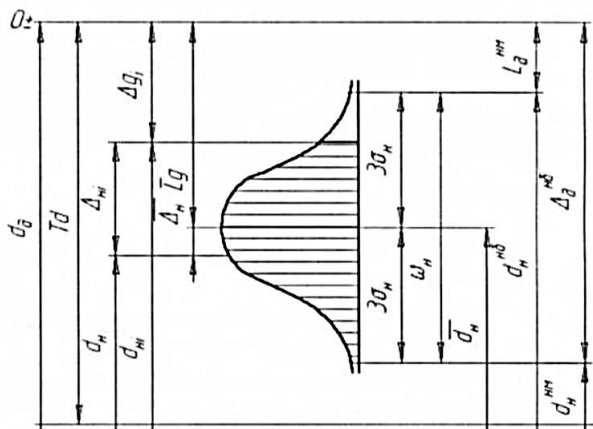


Рисунок 2.2 - Розрахункова схема

$$k_{mn} = \frac{6\sigma_n}{Td} \approx 0,5 \quad (2.12)$$

- коефіцієнт рівня настройки

$$k_{pn} \frac{\bar{\Delta}_n}{Td} \approx 0,1 \quad (2.13)$$

Допустимі значення коефіцієнта  $[k_{pn}]$  при різних коефіцієнтах  $k_{тн}$  приведені в табл. 2.1.

Головний висновок можна сформулювати так:

якщо  $\omega_n = 6\sigma_n = 0,5Td, k_{mn} = 0,5, k_{pn} = 0,1 < [k_{pn}] = 0,125$ ,

то прийняті значення налагоджувального розміру  $d_n$  метод та процедуру настройки можна рекомендувати для операції токарної обробки заготовок з заданою точністю  $Td$ .

## Порядок проведення роботи

- 1 Ознайомитися з інструкцією та робочим місцем.
- 2 Сформулювати задачу та записати вихідні дані:  $d_{\text{заг}}$ ,  $d_{\text{дет}}$  з допуском  $Td$ ,  $t$ ,  $s$ ,  $v$ ,  $n$ , характеристику інструменту.
- 3 Накреслити табл. Д.6.
- 4 Установити заготовку та різець.
- 5 Оцінити систематичну похибку мікрометра. Заміряти заготовку.
- 6 Установити назначені в п. 2 режими різання. Особливу увагу звернути на точний розрахунок глибини різання

$$t = \frac{d_{\text{заг}} - \bar{d}_\delta}{2}, \text{ де } \bar{d}_\delta = \frac{d_\delta^{\text{нб}} + d_\delta^{\text{нм}}}{2} = d_n.$$

- 7 Записати в табл. Д.6 значення:  $d_{\text{заг}}$ ,  $d_{\text{дет}}$  (виконавчий розмір);  $d_n = \bar{d}_\delta$ ; глибину різання  $t$ .
- 8 Включити оберти шпинделя та установити глибину різання  $t$ .
- 9 Проточити ділянку №1 заготовки.
- 10 Виміряти одержаний розмір  $d_\delta^{\text{внм}}$  та записати в табл. Д.6.
- 11 Повторити роботу пунктів 8-10.
- 12 Розрахувати:
  - похибку настройки –  $\Delta_{\text{ні}}$ , по форм. (2.7);
  - середнє значення  $\bar{\Delta}_n$  по форм. (2.8);
  - середнє квадратичне відхилення по форм. (2.9);
  - граничне значення  $\Delta_n^{\text{нб}}$  та  $\Delta_n^{\text{нм}}$  по форм. (2.10);
  - поле розсіювання  $\omega_n$  по форм (2.11);
  - значення коефіцієнтів  $k_{\text{тн}}$  та  $k_{\text{рн}}$  по форм. (2.12 та 2.13).
- 13 Побудувати розрахункову схему (рис. 2.2), використовуючи одержані дані.
- 14 Виходячи з вимог  $[\omega_n] \leq 0,5Tc_i$  та вимог табл. Д4 установити для яких інтервалів та квалітетів точності (табл. Д5) одержана дослідним шляхом точність настройки допустима.
- 15 Сформулювати висновки, оформити та захистити звіт, відповівши на контрольні запитання.

## Контрольні запитання

- 1 Що називається похибкою  $\Delta_n$ ?
- 2 Які показники використовують для оцінки похибки на-  
стройкі?
- 3 Що характеризують коефіцієнти  $k_{тн}$  та  $k_p$ ?
- 4 Які значення  $k_{тн}$  рахувати допустимими?
- 5 Чому при настройці необхідно забезпечити умову  $w_n < 0,5$ ?
- 6 Як розрахувати  $\Delta_{ні}$ , ти  $\Delta_{ді}$ ?
- 7 При якому заданому налагоджувальному розмірі та при яких  
умовах обробки  $\Delta_{ні}=\Delta_{ді}$ ?
- 8 Що характеризує параметр  $\bar{\Delta}_n$  ?
- 9 Що характеризує параметр  $\sigma_n$  ?
- 10 Чим відрізняється розмах похибок настройки  $w_n$  від поля ро-  
зсіювання цих похибок –  $\omega_n$ ?

## Лабораторна робота 3

## ОЦІНКА ПОХИБОК ОБРОБКИ, ЯКІ ВИКЛИКАНІ ПОРУШЕННЯМ ПРИНЦИПУ ПОСТІЙНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ БАЗ.

Ціль роботи - установити факт зниження точності обробки за рахунок зміни технологічних баз.

Матеріально-технічне забезпечення

Вертикально-фрезерний верстат мод.

Фреза кінцева пазова

Тиски верстатні, штангенциркуль з ціною ділення 0,05 або 0,1 мм

Заготовки - сталі бруски, два комплекти по 3 шт.

Робоче креслення деталі

### Теоретичні положення

Якщо на ряді послідовно виконуваних операцій для базування заготовки використовується один і той же комплект технологічних баз, то це свідчить про дотримання принципу постійності баз.

Будь-яка зміна у ході технологічного процесу веде до зниження точності і може привести до появи браку. Розглянемо приклад.

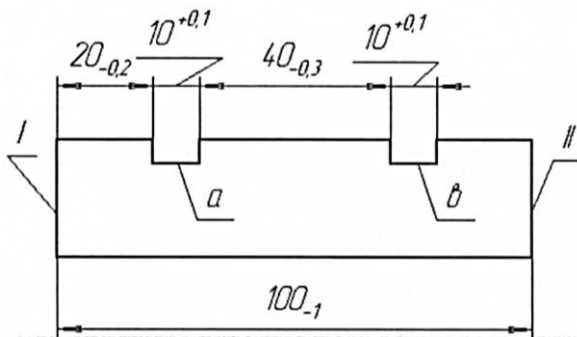


Рисунок 3 1 - Креслення деталі

Припустимо, що згідно технологічного процесу пази «а» та «в» фрезеруються на настроєних верстатах на двох послідовно виконуваних операціях, наприклад 4 та 5.

На операції 4 фреза настроюється на розмір  $A_1$  від торця І (рис 3.2). Розмір  $A_2 = 10^{+0,1}$  забезпечується розміром фрези. Конструкторський розмір  $20_{-0,2}$  є замикаючою ланкою розмірного ланцюга «А» і для його забезпечення необхідно знайти налагоджувальний розмір  $A_1$ . Так як  $TA_{\Delta} = TA_1 + TA_2$ , то  $TA_1 = TA_{\Delta} - TA_2 = 0,2 - 0,1 = 0,1$  мм. Так як  $ESA_{\Delta} = ESA_1 - EIA_2$ , то  $ESA_1 = 0$  та  $A_1 = 30_{-0,1}$ .

На операції 5 фрезерується паз «в», рис 3.3. На цій операції для забезпечення конструкторського розміру  $40_{-0,3}$  фреза (як і на операції 4) налагоджується від торця І, чим забезпечується дотримання принципу постійності баз на операціях 4 та 5. Налгоджувальний розмір  $B_1$  входить розмірний ланцюг Б.

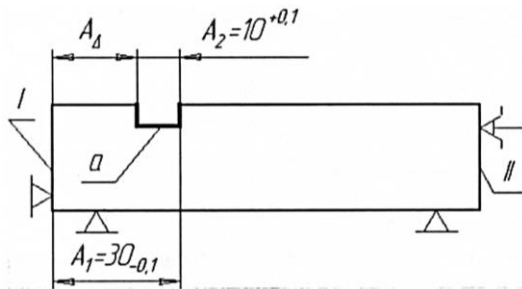


Рисунок 3.2

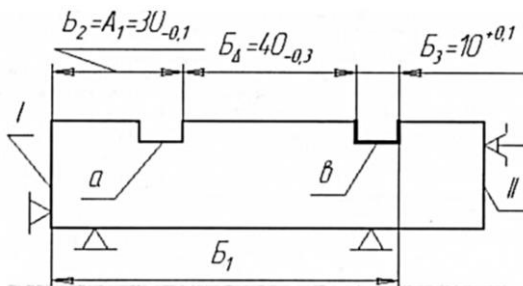


Рисунок 3.3



З розмірного ланцюга  $B_1 = 80$  та на основі контрольного правила  $T_{B\Delta} = \sum T_{A_i}$ .

Тоді  $T_{B\Delta} = T_{B_1} + T_{B_2} + T_{B_3}$

$0,3 = T_{B_1} + 0,1 + 0,1$ , звідси  $T_{B_1} = 0,1$

Граничні відхилення для налагоджувального розміру розраховуються так

$$ES_{B\Delta} = ES_{B_1} - EI_{B_2} - EI_{B_3}$$

$$ES_{B_1} = ES_{B\Delta} + EI_{B_2} + EI_{B_3} = 0 + (-0,1) + 0 = -0,1$$

Так як  $T_{B_1} = 0,2$ , то  $EI_{B_1}$  і розмір  $B_1 = 80_{-0,2}$

Висновок. Якщо на операціях 4 та 5 зберігається одна настроєчна база (торець 1) і налагоджувальні розміри  $A_1 = 30_{-0,1}$  і  $B_1 = 80_{-0,2}$  установлюються у межах своїх допусків, то конструкторський розмір  $40_{-0,3}$  буде гарантовано забезпечуватися.

Далі роздивимося обробку пазів при зміні технологічних баз.

Операція 4 залишається без змін, рис. 3.2. Налагоджувальний розмір  $A_1 = 30_{-0,1}$ .

На операції Б проходить зміна баз, рис. 3.4.

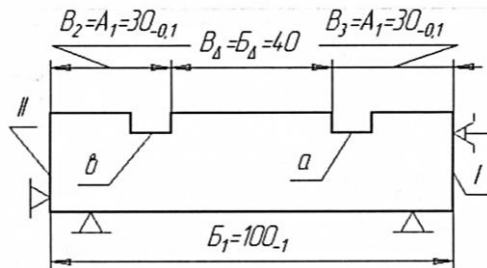


Рисунок 3.4

Налагоджувальний розмір для фрези зберігається, тобто  $A_1 = B_2 = 30_{-0,1}$ , але змінюється налагоджувальна база (замість торця 1 базою є торець II).

З розмірного ланцюга В

$$T_{B\Delta} = T_{B\Delta} = T_{B_1} + T_{B_2} + T_{B_3} - 1,2$$

$$ES_{B\Delta} = ES_{B_1} - EI_{B_2} - ES_{B_3} = 0 - (-0,1) - (-0,1) = 0,2$$

$$EIB_{\Delta} = EIB_1 - ESB_2 - ESB_3 = -1,0 - 0 - 0 = -1,0$$

Конструкторський розмір  $40_{-0,3}$  за рахунок зміни баз на операції 5 буде забезпечуватися в межах розміру  $40_{-1,0}^{+2,0}$

Таким чином, доказано, що порушення принципу постійності баз знижує точність обробки.

### Порядок проведення роботи

- 1 Записати тему лабораторної роботи.
- 2 Записати матеріально-технічне забезпечення.
- 3 Виміряти довжину у шести заготовок, записати розміри  $L_1, L_2, \dots, L_6$ . Відібрати дві заготовки з  $L_{\max}$ , дві з  $L_{\min}$  та дві з  $L_{\min} < L < L_{\max}$ .
- 4 Підібрати два комплекта заготовок, включаючи в кожний по одній заготовці із зіставлених в пункті 3 груп. Присвоїти комплектам номера: №1 та №2.
- 5 Розрахувати налагоджувальний розмір  $A_1$  (рис. 3.1) з урахуванням розмірів, заданих на робочому кресленні.
- 6 Підібрати кінцеву фрезу. Діаметр фрези повинен відповідати номінальному розміру паза.
- 7 Установити фрезу в патроні.
- 8 Ознайомитися з роботою фрезерного верстата та управлінням робочими рухами.
- 9 Взяти першу-ліпшу (будь-яку) заготовку з комплекту №1 та установити в пристосуванні.
- 10 Настроїти фрезу на розмір  $A_1$  та на глибину пазу  $h = 3 \dots 5$  мм.
- 11 Профрезерувати паз «а» у трьох деталей першого комплекту. Третю заготовку після фрезерування пазу «а» з пристосування не знімати.
- 12 Розрахувати налагоджувальний розмір  $B_1$  рис. 3.3.
- 13 Настроїти фрезу на розмір  $B_1$  та фрезерувати паз «в» у трьох заготовок комплекту №1.
- 14 Виміряти та записати у табл. 3.1 дійсні значення розміру  $40_{-0,3}$  у трьох деталей комплекту №1.
- 15 Взяти будь-яку заготовку з комплекту №2 і установити в пристосування.

- 16 Налаштувати фрезу на розмір  $B_2 = A_1$  (див. пункти 5 і 10 та рис. 3.2); фрезерувати паз «а» у кожній з трьох заготовок комплекту №2.
- 17 Переустановити заготовку так як показано на рис. 3.4.
- 18 Налаштувати фрезу на розмір  $B_2 = A$  і фрезерувати паз «в».
- 19 При тій же настройці фрезерувати паз «в» у всіх заготовок комплекту №2.
- 20 Виміряти та записати у табл. 3.1 дійсні значення розміру  $40_{-0,3}$  у трьох деталях комплекту №2.
- 21 Оформити звіт, який повинен містити:
- тему і ціль лабораторної роботи;
  - робоче креслення деталі; матеріально-технічне забезпечення;
  - ескізи з розмірними ланцюгами для всіх установок заготовок;
  - розрахунки налагоджувальних розмірів;
  - заповнену табл. 3.1;
  - висновки по результатах роботи.
- 22 Відповісти на контрольні запитання та захистити звіт.

Таблиця 3.1 - Вихідні та дослідні дані

№ ком-плексу	Номер заготовки	Виміряна довжина заготовки, мм	Виміряне значення розміру $B_{\Delta} = V_{\Delta}$ , мм	Похибка розміру $\Delta B_{\Delta} = \Delta V_{\Delta}$ , мм	Розмах похибки, мм $W = \Delta B_{\Delta}^{нб} - \Delta B_{\Delta}^{нм}$
1	1				
	2				
	3				
2	1				
	2				
	3				

## Контрольні запитання

- 1 Що називається базуванням деталей?
- 2 Що називають базою деталі?
- 3 Що називають комплектом баз?

- 4 Які бази називають конструкторськими, технологічними, вимірювальними?
- 5 Які технологічні бази називають контактними, а які налагоджувальними?
- 6 Суть принципу постійності баз.
- 7 Суть принципу єдності (спільності) баз.
- 8 Суть правила шести точок при базуванні.
- 9 Чи впливає зміна баз на несиметричність розташування поверхні яка знаходиться між пазами відносно торців I і II?
- 10 Як перевірити цю несиметричність?

## Лабораторна робота 4

## ОЦІНКА ПОХИБКИ ОБРОБКИ, ЯКА ВИКЛИКАНА ПРУЖНИМ ВІДЖИМОМ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ОПЕРАЦІЙНОГО ПРИПУСКУ.

Ціль роботи - установити факт з'явлення пружних віджимів при різанні: вплив припуску на пружні віджими та точність обробки; оцінити жорсткість верстата.

Матеріально-технічне забезпечення

Токарні верстати мод. І6К20 та ІА62; різці токарні - 2 шт; заготовки сталеві,  $d = 50 - 100$  мм та  $l = 150...400$  мм; мікрометри 25...50, 50...75, 75...100 мм; індикатори з ціною ділення шкали 0,005 або 0,01 мм; державки для індикаторів.

Теоретичні положення

При обробці циліндричних поверхонь заготовок на токарному верстаті виникають пружні віджими

$$y = \frac{P_y}{j}, \quad (4.1)$$

де  $P_y$  – радіальна складова різання:

$$P_y = C_{P_y} \times t^{x_{P_y}} \times s^{y_{P_y}} \times v^{n_{P_y}} \times k_{P_y}; \quad (4.2)$$

$$k_{P_y} = k_{mp} \times k_{yp} \times k_{gp} \times k_{ap} \times k_{rp}; \quad (4.3)$$

$j$  – жорсткість технологічної системи ВПД, приведена до вершини різця. Довідкові дані, необхідні для розрахунку  $P_y$ , приведені в табл. D7 - D10.

Для оцінки  $j$  дослідним шляхом використовується (4.1), записана у вигляді

$$j = \frac{\Delta P_y}{\Delta y}, \quad (4.4)$$

де  $\Delta P_y$  - приріст сили  $P_y$  ;

$\Delta y$  - відповідно  $\Delta P_y$  радіальний віджим.

При інших рівних умовах різання приріст  $\Delta P_y$  забезпечується зміною глибини різання  $t$ , яке досягається точінням ступінчатої заготовки (рис. 4.1, а). Так як  $t_2 > t_1$  і  $\Delta P_y = P_{y2} - P_{y1}$ , на проточеній поверхні утвориться уступ (рис. 4.1, б) рівний приросту радіальних віджимів  $\Delta y$ . Розрахункове значення  $\Delta P_y$  та заміряне значення  $\Delta y$  дозволяють обчислити по (4.4) жорсткість  $j$ .

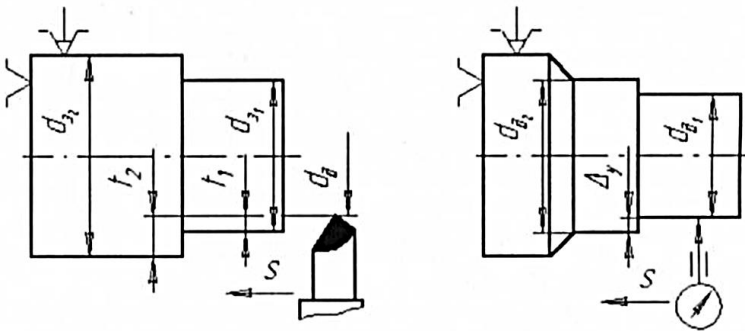


Рисунок 4.1 - Заготовка до і після точіння

З (4.1) видно, що при  $j = \text{const}$  зміни  $y$  викликаються змінами  $P_y$ .

Очевидно, що поле розсіювання  $\omega_{P_y}$  викликає поле розсіювання  $\omega_y$ , з центром групування рівним середньому віджиму  $\bar{y}$ . При  $\omega_{P_y} = \text{const}$  положення та величина поля розсіювання  $\omega_y$  залежить від жорсткості верстату. На рис. 4.2 це показано для випадку поля  $j_1 < j_2$ .

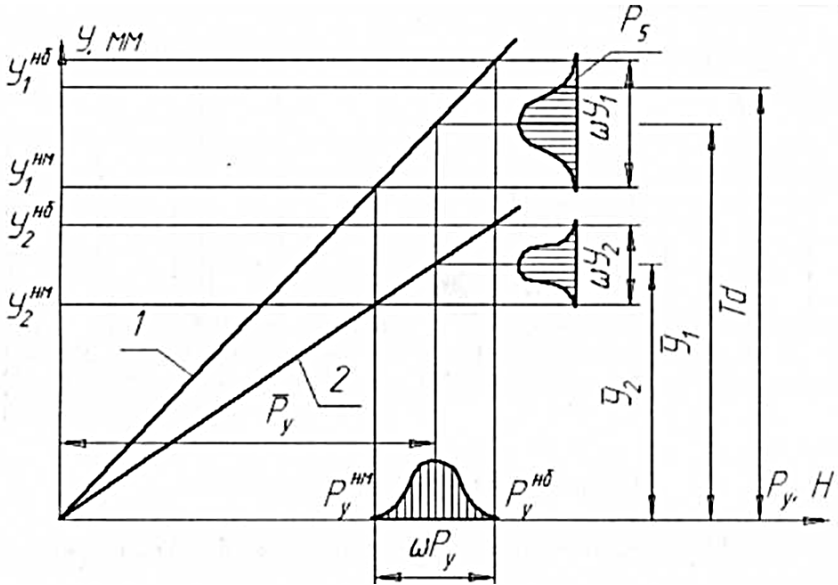


Рисунок 4.2 - Залежність пружних віджимів від сили різання при різній жорсткості верстату

Низька жорсткість  $j_1$  першого верстату призводить до виходу поля розсіювання  $\omega_{y1}$  за межі допуску  $T_d$ , що обумовлює деяку вірогідність появи браку  $P_B$ . Якщо на настроєному верстаті обробляють партію заготовок, то нестабільність значень  $P_y$  і відповідне  $\omega P_y$  забезпечується в основному нестабільністю дійсних значень операційних припусків  $z$ , від яких залежить глибина різання  $t = 0,5z$ .

Отже, при відомих значеннях припусків  $z^{Hb}$  та  $z^{HM}$  і жорсткості верстата  $j$  можна розрахувати  $P_y^{Hb}$  та  $P_y^{HM}$  і по (4.1) визначити (дати прогноз) очікувані значення  $y^{Hb}$ ,  $y^{HM}$ ,  $\omega_y$  та  $\bar{y}$ . Так як похибка обробки  $\Delta y = 2y$ , можна прогнозувати точність обробки на етапі проектування операції, що і являється основною метою даної лабораторної роботи.

### Порядок виконання роботи

- 1 Ознайомитися з інструкцією та робочим місцем.

- 2 Установити заготовку на верстаті та закріпити її.
- 3 Установити різець та індикатор.
- 4 Проточити заготовку по всій довжині для виключення радіального биття.
- 5 Назначити подачу  $s$  та швидкість різання  $v$ .
- 6 Записати в протокол експерименту всі вихідні дані, що харак-теризують верстат, ріжучий та вимірювальний інструмент, заготовку, режими обробки, особливості схеми установки заготовки.
- 7 Провести дослід №1. Для цього необхідно проточити заготовку при  $t_1 = 1$  мм на довжину  $l_1 = 15$  мм; повернути різець у вихідне положення, задати повторно глибину  $t_1 = 1$  мм і проточити заготовку на довжину  $l_2 = 25 \dots 30$  мм, забезпечивши ступінчасте різання при  $t_1 = 1$  мм та  $t_2 = 2$  мм, виміряні індикатором віджим  $\Delta_{y2}$ , розрахувавши  $P_{y1}$  та  $P_{y2}$ .
- 8 Виконати дослід №2-5, забезпечивши послідовність умови:  $t_1 = 1$  мм;  $t_3 = 3$  мм,  $l_3 = 10$  мм;  $t_1 = 1$  мм;  $t_4 = 4$  мм;  $l_4 = 50$  мм;  $t_1 = 1$  мм;  $t_5 = 5$  мм;  $l_5 = 60$  мм. Виміряти  $\Delta_3 \dots \Delta_5$  та розрахувати  $P_{y3} \dots P_{y5}$ .
- 9 Підготувати та заповнити табл. D.11.
- 10 По даним кожного  $i$ -го дослідів розрахувати  $\Delta P_{yi}$ ,  $j_i$ ,  $u_i$  та  $\Delta d_{yi} = 2u_i$ .
- 11 Побудувати графіки залежностей:  $P_y = f(z)$  та  $\Delta d_y = \psi(P_y)$ .
- 12 Оцінити поле розсіювання похибки  $\omega \Delta d_y$  та координату середини поля розсіювання  $\Delta \bar{d}_y$ .
- 13 Зрівняні значення  $\omega \Delta d_y$ , та  $\Delta \bar{d}_y$  у зі стандартними значеннями допусків для різних квалітетів точності, приведені в табл. D.12.
- 14 Сформулювати висновки.
- 15 Оформити звіт, захистити та здати роботу.

### Контрольні запитання

- 1 Що називається жорсткістю системи ВПД?
- 2 Що являється показником жорсткості верстата і як його оцінити?
- 3 Які заготовки, окрім ступінчатих, можна використовувати в експерименті по оцінці жорсткості верстата?
- 4 Які основні причини призводять до нестабільності пружних віджимів при обробці на настроєних верстатах?



- 5 Чому в масовому виробництві використовують більш точні заготовки, чим в серійному та одиничному?
- 6 Якщо  $\omega\Delta dy > Td$ , то як можна забезпечити умову  $\omega\Delta dy > Td$ ?
- 7 Якщо  $\omega\Delta dy < Td$ , але є брак, установити його причини та способи усунення.
- 8 Який вид маг залежність пружних віджимів від різних кутів різця?
- 9 Чи впливає знос різця на величину пружних віджимів?
- 10 Основні шляхи зниження пружних віджимів.

## Лабораторна робота 5

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОХИБКИ ФОРМИ ДЕТАЛІ ВІД ЖОРСТКОСТІ ТА СПОСОБУ ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ.

Ціль роботи - установити факт утворення похибки форми обробленої деталі у поздовжньому перетині, оцінити її при різній жорсткості заготовки та способу її закріплення на токарному верстаті.

### Матеріально-технічне забезпечення

Токарний верстат; прохідний та підрізний різці; центр задній; заготовки - прутки  $d = 20 - 50$  мм;  $l_3 = 250...300$  мм (3 шт.); індикатор з ціною ділення шкали 0,005 або 0,01 мм; мікрометри 0...25 та 25...50 мм; лінійка 0...500 мм.

### Теоретичні положення

Жорсткість заготовки впливає на похибку обробки. Поздовжня похибка форми утворюється із-за деформації заготовки (прогину осі) під дією сили різання. При токарній обробці деталей типу валів або осей утворюється стріла прогину  $f$  (рис. 5.1, 5.2). Стріла прогину залежить від жорсткості заготовки  $f_3$  та способу її установки.

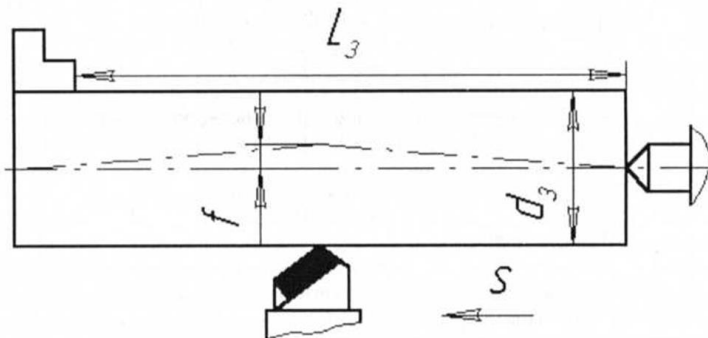


Рисунок 5.1 - Установка у патроні та центрі

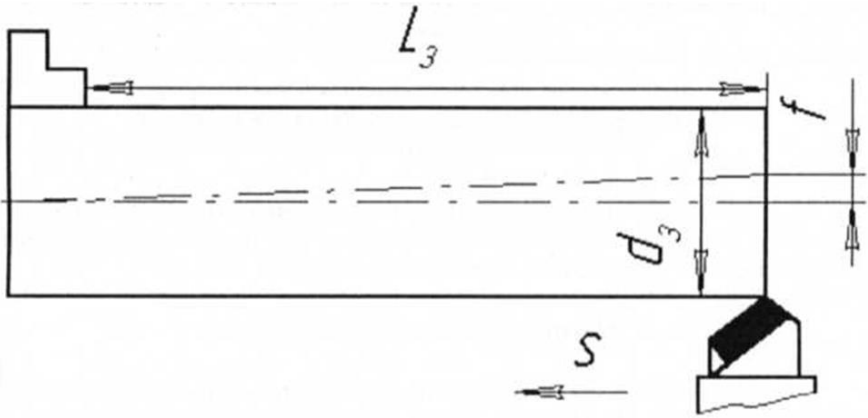


Рисунок 5.2 - Установка у патроні.

Так, при установці заготовки у патроні та задньому центрі (рис. 5.1)

$$j_3 = \frac{100 \times E \times l}{L^3}; \quad (5.1)$$

$$f = \frac{P_y \times L^3}{100 \times E \times l}. \quad (5.2)$$

При установці у патроні (рис. 5.2)

$$j_0 = \frac{3 \times E \times l}{L^3}; \quad (5.3)$$

$$f = \frac{P_y \times L^3}{3 \times E \times l}. \quad (5.4)$$

де  $L$  - довжина заготовки;  $E$  - модуль пружності матеріалу, для сталі  $E = 2 \times 10^4 \dots 2,2 \times 10^4$ , для чавуну  $E = 0,75 \times 10^4 \dots 1,6 \times 10^4$  кг $\times$ с/мм $^2$ ;  $l$  - момент інерції, мм $^4$ .

Для заготовок круглого суцільного перетину

$$I = 0,005d^4; \quad (5.5)$$

Похибка форми

$$\Delta\Phi = 2f \quad (5.6)$$

і нормується конструктором завжди у межах величини допуску Td на діаметр. Очікувана похибка форми  $\Delta\Phi$  - один з основних параметрів, який підлягає розрахунку при проектуванні технологічних операцій. На основі цих розрахунків технолог вибирає режим обробки та способи закріплення заготовки.

### Порядок виконання роботи

- 1 Ознайомитися з інструкцією та робочим місцем.
- 2 Установити заготовку у патроні та надійно закріпити її, вдержуючи довжину вильоту  $L_3 = 200$  мм.
- 3 Установити різець та індикатор.
- 4 Проточити заготовку для виключення чорноти та виміряти діаметр  $d_{31}$ .
- 5 Установити індикатор та переміщуючи його по всій довжині оброблюваної поверхні, переконалися у відсутності повздовжньої похибки форми.
- 6 Призначити режим різання:  $n, v, s, t$  та проточити заготовку на довжину, рівну довжині вильоту.
- 7 Настроїти індикатор на "нуль" та переміщуючи його зліва на-право, виміряти значення  $f$  на відстані 100, 150, 200 мм від лівого кінця проточеної поверхні.
- 8 Повторити дослід при  $d_{31} < d_{32} < d_{33}$  та  $L_d = \text{const}$ .
- 9 Побудувати графіки залежностей  $\Delta\Phi = 2f = f(d_3)$  та  $\Delta\Phi = y(L_3)$ .
- 10 Використовуючи значення допусків Td (табл. D.10) установити для яких квалітетів точності виконується умова  $\Delta\Phi < 0,5 \times Td$ .
- 11 Виконати пп. 2-6 при установці заготовки з  $d_3 = d_{31}$  та  $L_3 = L_{31}$  у патроні та задньому центрі (рис. 5.2).
- 12 Обговорити одержані результати.
- 13 Оформити звіт, захистити та здати лабораторну роботу.

## Контрольні запитання

- 1 Що розуміють під жорсткістю деталі ?
- 2 Які геометричні параметри деталі впливають на її жорсткість ?
- 3 Що називається моментом інерції ?
- 4 Як розраховується момент інерції для круглого та кільцевого перетину ?
- 5 Що називають модулем пружності?
- 7 Чому рівняється модуль пружності для сталі та чавуну ?
- 8 Чи впливає жорсткість заготовки на продуктивність та тривалість її обробки?
- 9 За рахунок чого можна зменшити деформації заготовок при їх обробці на верстатах?

## Лабораторна робота 6

**ОЦІНКА ПОХИБКИ ОБРОБКИ, ЩО ВИКЛИКАНА РОЗМІРНИМ ЗНОСОМ РІЗНЯ.**

Ціль роботи - установити факт розмірного зносу різця; оцінити величину зносу та похибку обробки, побудувати графіки залежності величини зносу від шляху різання.

## Матеріально-технічне забезпечення

Токарний верстат; різець прохідний з швидкоріжучої сталі та твєрдою сплаву; заготовка з легованої сталі  $d = 100 \dots 200$  мм;  $L = 500 \dots 1000$  мм; пристосування для контролю розмірного зносу; лінійка  $0 \dots 500$  мм.

## Теоретичні положення

Розмірний знос  $\Delta U$  різця виміряють в напрямку нормалі до оброблюваної поверхні (рис. 6.1) при статичній розмірній настройці верстату утворюється розмірний ланцюг "А". По мірі зносу різця початковий настроєчний розмір  $A_1$  змінюється (зменшується) і похибка, викликана розмірним зносом

$$\Delta d_U = d_2 - d_1 = A_2 - A_1 - A_\Delta^{+2\Delta U}, \quad (6.1)$$

де  $\Delta U = f(L_p)$ ;  $L_p$  - довжина шляху різання:

$$L_p = \frac{\pi \times d \times l}{1000 \times s}; \quad (6.2)$$

$l$  - довжина проходу.

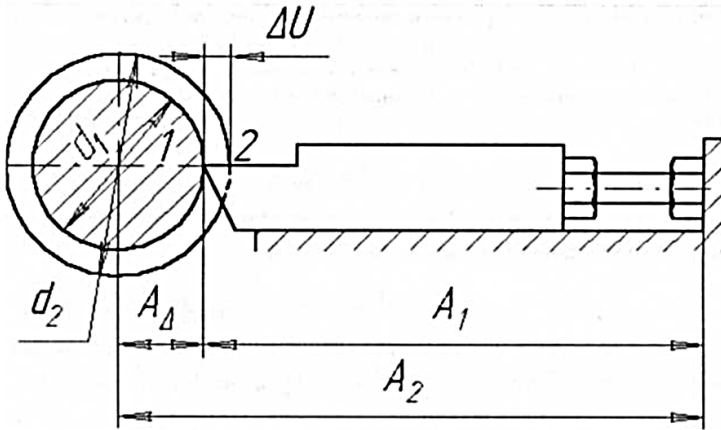


Рисунок 6.1 – Схема вимірювання розмірного зносу.

На графіку залежності  $\Delta U = f(L_p)$  (рис. 6.2) ділянка  $0a$ , на якій здійснюється приробка ріжучої кромки, указує на підвищену швидкість зносу різця за час проходження шляху різання  $L_n$ . На ділянці  $ab$  відбувається так званий нормальний знос, тобто знос з постійною швидкістю.

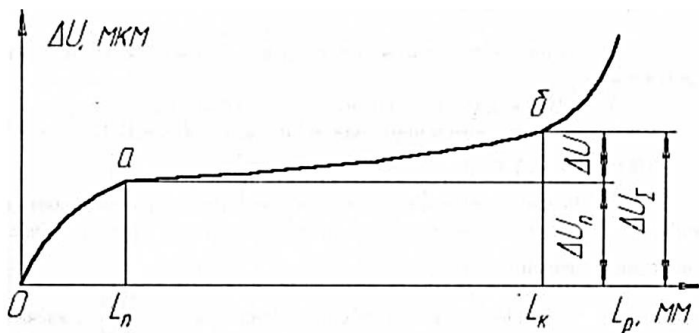


Рисунок 6.2 – Графік залежності  $\Delta U = f(L_p)$

Лінійна залежність розмірного зносу від довжини шляху різання  $L_p$  на ділянці  $ab$  дозволяє прийняти за характеристику розмірного

зносy відносний знос на 1000 м шляху різання, який позначається  $U_0$ , мкм / км. В [1. табл. 28 с. 74] приведені значення  $U_0$  для різців з пластинами з твердого сплаву. При відомих значеннях  $L_p$  та  $U_0$  знос при його постійній швидкості (ділянка **аб**)

$$\Delta U = \frac{L_p}{1000}; \quad (6.3)$$

Якщо врахувати знос  $\Delta U_n$ , який утворюється в період приробки (рис. 6.2) то загальний очікуваний знос

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_n + \Delta U = \frac{(L_p + 1000)}{1000} \times U_0. \quad (6.4)$$

Допустимі значення зносу  $[\Delta U_{\Sigma}]$  регламентується на основі узагальнення статистичних даних. В табл. D.11 приведені значення  $[\Delta U_{\Sigma}]$  для різних способів токарної обробки.

Так як знос залежить від множини факторів, найбільш вірогідні його значення для конкретних умов обробки краще всього одержувані експериментальним шляхом.

#### Порядок виконання роботи

- 1 Ознайомитися з інструкцією та робочим місцем.
- 2 Установити та закріпити заготовку на верстаті.
- 3 Вибрати з нормативів [2] режими різання для чистового точення.
- 4 Установити різець у пристосуванні для контролю зносу та настроїти його.
- 5 Зняти різець та установити його в різцетримач.
- 6 Задати контрольні шляхи різання:  $L_{p1}=259$ ,  $L_{p2}=500$ ,  $L_{p3}=1000$ ,  $L_{p4} = 1500$ ,  $L_{p5} = 2000$ ,  $L_{p6} = 2500$ .
- 7 Розрахувати по (6.2) довжини проходів  $l_i$ , які відповідають вибраним  $L_{pi}$ . Зробити на поверхні заготовки відмітки від правого торця, які відповідають значенням  $l_1 \dots l_6$ .
- 8 Установити частоту обертів шпинделя, ввімкнути оберти шпинделя. Задати значення  $t$  та  $s$ .



- 9 Проточити заготовку на довжині проходу  $l_1$ .
- 10 Зняти різець і охолодити установити його в контрольне пристосування та виміряти знос  $\Delta U_1$ .
- 11 Продовжити точити до відмітки  $l_2$  Виміряти знос  $\Delta U_2$ . Повторити дослід для вимірів  $\Delta U_3 \dots \Delta U_6$ .
- 12 Побудувати графіки експериментальної залежності  $\Delta U = f(L_p)$ .
- 13 Орієнтуючись на дані табл. D.11, встановити допустимі значення  $[L_p]$  та відповідаючи йому значення  $[1]$ .
- 14 При наявності часу повторити дослід для різця з іншим ріжучим матеріалом.
- 15 Обговорити одержані результати.
- 16 Оформити звіт, захисти та здаги роботу.

### Контрольні запитання

- 1 Який знос інструмента називають розмірним? Як він вимірюється та на що впливає?
- 2 На що впливає знос по заданій грані різця?
- 3 Від чого залежить знос інструменту?
- 4 Як можна підвищити зносостійкість інструменту?
- 5 Що представляє собою доводка інструмента? Для чого вона потрібна?
- 6 Чим пояснити характер кривої зносу (рис. 6.2)?
- 7 На яких чистових або чорнових операціях вплив зносу на точність обробки більш вагомий?
- 8 Що називають відносним (питомим) зносом?
- 9 Як розрахувати допустиме число деталей, оброблених в одному міжналадочному періоді, з урахуванням розмірного зносу?
- 10 Похибка, визвана зносом, є систематичною чи випадковою?

## Лабораторна робота 7

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ.

Мета роботи - встановити залежності  $Rz = f(v)$ ;  $Rz = f(s)$ ;  $Rz = f(t)$ ;  $Rz = f(\rho)$  пронормувати значення  $v$ ,  $s$ ,  $t$ ,  $\rho$  для забезпечення допустимого значення  $[Rz]$ .

## Матеріально-технічне забезпечення

Токарний верстат, подвійний мікроскоп МИС-11 з набором об'єктивів; різці токарі прохідні з твердосплавною ріжучою частиною та радіусом при вершині 0,5; 1; 2; 3 мм, зразки для дослідження, штангенциркуль.

## Теоретичні положення

Шорсткістю називається сукупність нерівностей з відносно малим кроком, яка утворює рельєф поверхні і розглядається в межах заданої базової довжини  $L$  (рис. 7.1)

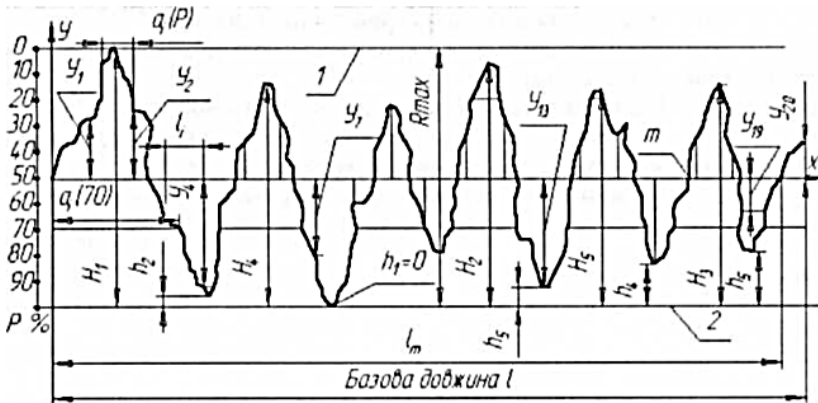


Рисунок 7.1 - Рельєф поверхні

Шорсткість істотно впливає на експлуатаційні показники виконавчих поверхонь; зносостійкість, антикорозійну стійкість, жорсткість стиків, міцність з'єднань та інші.

Зважаючи на ці властивості, конструктор, вказує на робочому кресленні допустимі значення показників шорсткості. Задача технолога - забезпечити ці вимоги конструктора, створивши певні умови обробки поверхні.

На утворення тієї чи іншої шорсткості впливає багато факторів: фізико-механічні властивості оброблюваною матеріалу, режими різання, геометрія ріжучого інструмента та інші (рис. 7.2, 7.3).

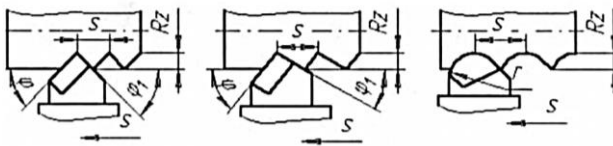


Рисунок 7.2 - Вплив геометрії інструмента на профіль нерівностей

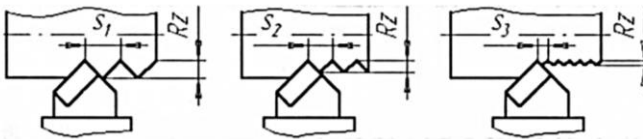


Рисунок 7.3 - Вплив подачі  $s$  на значення  $Rz$  ( $s_1 > s_2 > s_3$ )

Для оцінки шорсткості ГОСТ 2789-73 вводять ряд показників, серед них є висотний показник, який показує середню відстань між п'ятьма найбільшими виступами і п'ятьма найменшими западинами профілю в межах базової довжини  $l$  (рис. 7.1)

$$Rz = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 Hs - \sum_{i=1}^5 hi \right) \quad (7.1)$$

Для оцінки Rz використовується метод світлового перетину, який реалізується за допомогою мікроскопу МИС-11. Якщо оброблений зразок (рис. 7.4) установити на призму мікроскопу, то в його окулярі можна спостерігати збільшений профіль поверхні та лінію відрахунку. Зміщуючи лінію відрахунку з максимальною точкою виступу (положення 1) знімають показники ноніуса. Потім переміщують лінію відрахунку в положення 2 (рис. 7.5) і також знімають показники ноніуса. Різниця показників є висота і-ї нерівності

$$a_i = H_i - h_i \quad (7.2)$$

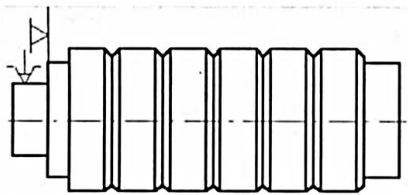


Рисунок. 7.4 - Зразок для дослідження

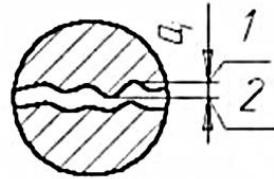


Рисунок 7.5 - Положення 1 та 2 ліній відрахунку для вимірів величини  $a_i$

Маючи п'ять значень  $a_i$  виміряних на базовій довжині знаходять

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^5 a_i}{5} \quad (7.3)$$

Тоді дійсне значення висотного показника Rz

$$Rz = \frac{10\bar{a}}{2N} \quad (7.4)$$

де N- збільшення об'єктива (табл. D. 12).

На базі дослідно-статистичних даних встановлені середньо економічні значення Rz одержані при різних методах обробки, частина яких приведена [1, табл. 25, с. 188].

### Порядок виконання роботи

- 1 Ознайомитися з інструкцією та місцем роботи.
- 2 Установити заготовку на верстаті та закріпити її.
- 3 Установити та закріпити різець.
- 4 Проточити заготівку для виключення радіального биття; придати заготівці вигляд, показаний на рис. 7.2.

5 Виконати дослід №1 для встановлення залежності  $Rz = f(S)$ ; призначити  $v = 100$  м/хв,  $t = 0,5$  мм,  $r = 1$  мм, та ряд подач:  $s = 0,05$ ,  $s = 0,1$ ,  $s = 0,2$ ,  $s = 0,3$ ,  $s = 0,4$  мм/об. Проточити кожний  $i$ -й поясок на подачі  $S_i$ ; виміряти  $a_i$  на мікроскопі та розрахувати Rz для кожного пояску, оформити табл. D.12 і побудувати графік залежності  $Rz = f(s)$ .

6 Виконати дослід № 2 для встановлення залежності  $Rz = f(v)$ . Призначити  $s = 0,15$  мм/об,  $r = 1$  мм. Орієнтуючись на дані про числа обертів шпинделя, призначити ряд значень швидкостей  $v_1, v_2, \dots, v_5$ , так щоб їх діапазон змінювався, наприклад, від  $v_1 = 10$  до  $v_5 = 100$  м/хв, при розрахунку швидкості використовувати формулу

$$v_i = \frac{\pi \times d \times n_i}{1000}$$

Проточити кожний  $i$ -й поясок зразка при  $v_i$  та заданих постійних значеннях  $t$  і  $s$ . Мікроскопом МИС-11 виміряти на кожному пояску по п'ять значень  $a_i$ . Розрахувати по (7.3) значення  $a$  та по (7.4) - значення Rz: для кожного пояска. Оформити таблицю D.13 та побудувати графік залежності  $Rz = f(v)$ .

7 Виконати дослід №3 для встановлення залежності  $Rz = f(t)$ . Призначити  $v = 100$  м/хв,  $s = 0,15$  мм/об,  $r = 1$  мм та ряд глибин різання  $t_1 = 0,25$ ,  $t_2 = 0,5$ ,  $t_3 = 1$ ,  $t_4 = 2$  мм. Визначити Rz для кожного пояска. Оформити табл. D.14 та побудувати графік залежності  $Rz = f(t)$ .

8 Виконати дослід №4 для встановлення залежності  $Rz =$

$f(r)$ . Призначити  $v = 100$  мм/хв,  $t = 0,5$  мм,  $s = 0,15$  мм/об та ряд значень радіусу скруглення при вершині різця  $r_1 = 0,5$ ,  $r_2 = 1$ ,  $r_3 = 2$ ,  $r_4 = 3$  мм. Оцінити  $Rz$  на кожному пояску. Заповнити табл. D.15 та побудувати графік залежності  $Rz = f(t)$ .

- 9 Обговорити одержані в кожному досліді результати.
- 10 Оформити звіт, захистити та здати роботу.

#### Контрольні запитання

- 1 Що називають шорсткістю поверхні?
- 2 Назвіть показники шорсткості.
- 3 Назвіть засоби вимірювання шорсткості.
- 4 Від яких факторів залежить шорсткість?
- 5 Як можна пояснити збільшення  $Rz$  з ростом значень подачі?
- 6 Чим можна пояснити одержану залежність  $Rz = f(v)$ ?
- 7 Чим пояснюється залежність  $Rz$  із збільшенням  $r$ ?
- 8 Яка з одержаних залежностей буде в більшій мірі змінюватись при зміні фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу?

## Лабораторна робота 8

**РОЗРАХУНОК СКЛАДАЛЬНОГО РОЗМІРНОГО ЛАНЦЮГА  
ТА ЙОГО ДОСЛІДНА ПЕРЕВІРКА.**

Ціль роботи - розрахувати параметри замикаючої ланки складального розмірною ланцюга (далі СРЛ) двома методами та виконати дослідну перевірку результатів розрахунку.

## Матеріально-технічне забезпечення

- набір деталей для моделі складальної одиниці (рис. 8.1);
- набір щупів для вимірювання дійсних значень замикаючої ланки ЗРЛ;
- набір кінцевих мір для вимірювання розміру  $A_7$  кронштейну;
- мікрометр 0...25 мм для вимірювання розмірів шайб;
- штангенциркуль з ціною поділки 0,05 мм.

## Теоретичні положення

В теорії розрахунків розмірних ланцюгів в основному вирішуються дві задачі: пряма та обернена. Пряма задача полягає в тому, що при існуючих параметрах замикаючої ланки розрахувати параметри всіх складових ланцюгів, гарантовано забезпечуючих задані параметри точності замикаючої ланки при складанні. Обернена - полягає в тому, що при заданих параметрах складових ланок обчислити очікуване значення параметрів замикаючої ланки.

Розрахунки можна проводити двома методами: максимуму-мінімуму (граничних відхилень) та вірогідним. При рішенні оберненої задачі методом максимуму-мінімуму параметри обчислюються за наступними формулами:

- 1 Номінальне значення замикаючої ланки:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{n_1} \overline{A}_i - \sum_{j=1}^{n_2} \overline{A}_j \quad (8.1)$$

де  $\overline{A}_i$  і  $\overline{A}_j$  - номінальні значення, відповідно, збільшуючих та зменшуючих ланок;  $n_1$  і  $n_2$  - кількість, відповідно, збільшуючих та зменшуючих ланок в розмірному ланцюзі.

- 2 Граничні відхилення замикаючої ланки:  
верхнє:

$$ESA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{n_1} ES \overline{A}_i - \sum_{j=1}^{n_2} EI \overline{A}_j \quad (8.2)$$

нижнє

$$EIA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{n_1} EI \overline{A}_i - \sum_{j=1}^{n_2} ES \overline{A}_j \quad (8.3)$$

- 3 Допуск замикаючої ланки:

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{n_1} T \overline{A}_i + \sum_{i=1}^{n_2} T \overline{A}_i \quad (8.4)$$

Формула (8.4) є контрольною та використовується для перевірки розрахунків.

Якщо розрахунок розмірною ланцюга ведеться за допомогою вірогідного методу, то параметри обчислюються за такими формулами:

- 1 Середнє значення кожного і-ого складового ланцюга:

$$A_i = \frac{A_i^{нб} + A_i^{нм}}{2} \pm a_i TA_i \quad (8.5)$$

де  $a_i$  - коефіцієнт відносної асиметрії, який являє собою величину неспівпадання математичною очікування  $M(A_i)$  (середнього арифметичного  $\overline{A}_i$ ) з координатою середини поля допуску  $\Delta_0 TA_i$ , що виражається в долях половини допуску  $TA_i$ :



$$a_i = \frac{M(\Delta_i) - \Delta_0 A_i}{2TA_i} \quad (8.6)$$

При розрахунку (8.5) значення  $a_i$ , беруть з табл. D 18 для поверхонь, що охоплюють, зі знаком "+" та для поверхонь, які обхвачені, зі знаком "-".

2 Середнє значення замикаючої ланки по середнім значенням складових ланок:

$$A_{\Delta}cp = \sum_{i=1}^{n_1} \overline{A_i}cp - \sum_{j=1}^{n_2} \overline{A_j}cp \quad (8.7)$$

3 Допуск (поле розсіювання  $\omega_{\Delta}$ ) замикаючої ланки:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n TA_i^2 \lambda_i^2 + 2 \sum TA_k TA_l \lambda_k r_{kl}} \quad (8.8)$$

де  $\lambda_i$  - коефіцієнт, що характеризує ступінь відмінності закону розподілу  $A_i$ , ланки від нормального

$$\lambda_i = \frac{6\sigma_i}{T_i} \quad (8.9)$$

Значення  $\lambda_i$ , слід брати з табл. D.18. Для замикаючої ланки  $A_{\Delta}-\lambda_i=1$ , коефіцієнти кореляції  $r_{kl}=0,62...0,8$ . Корелірованими (взаємозалежними) є ланки  $A_4$  та  $A_5$ ,  $A_4$  та  $A_6$ ,  $A_5$  та  $A_6$ .

4 Граничні значення замикаючої ланки

$$A_{\Delta}^{nb} = \overline{A_{\Delta}} + \frac{TA_{\Delta}}{2} \quad (8.10)$$

$$A_{\Delta}^{nm} = \overline{A_{\Delta}} - \frac{TA_{\Delta}}{2} \quad (8.11)$$

Значення  $TA_{\Delta}$ , розраховані по (8.8), завжди менші, чим значення  $TA_{\Delta}$  розраховані по (8.4), що, зокрема, підтверджується

дослідною перевіркою у ході лабораторної роботи.

### Порядок виконання роботи

- 1 Ознайомитися з інструкцією та технічним оснащенням роботи.
- 2 Виконати рисунок 9.1.

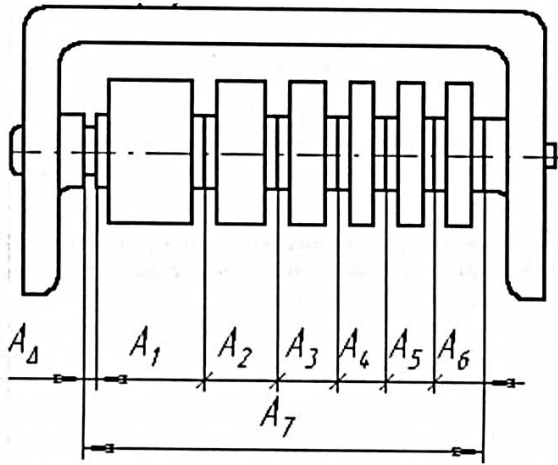


Рисунок 8.1 - Модель складальної одиниці та розмірний ланцюг А.

$$A_1 = 10_{-0,07}^{+0,07}$$

$$A_2 = 7_{-0,04}^{+0,07}$$

$$A_3 = 6_{-0,04}^{+0,13}$$

$$A_4 = A_5 = A_6 = 5_{-0,08}^{+0,06}$$

$$A_7 = 39_{-0,8}^{+0,1}$$

3 Розрахувати розмірний ланцюг методом "мах-мін", використовуючи формули (8.1) - (8.4).

4 Розрахувати розмірний ланцюг вірогідним методом, використовуючи формули (8.5) - (8.11).

5 Зібрати складальну одиницю (рис. 8.1) та щупом виміряти зазор. При наявності натягу його оцінюють розрахунковим шляхом, вимірявши розміри кронштейну та комплекту шайб.

6 Шляхом випадкового відбору кронштейнів та шайб повторити складання 10 разів, кожного разу оцінюючи одержані значення  $A_{\Delta}$ , тобто зазору та натягу.

7 По виборці з  $n = 10$  оцінити розмах:

$$W_i = A_{\Delta}^{H\bar{O}} - A_{\Delta}^{HM} \quad (8.12)$$

8 Використовуючи значення  $W_i$ , одержані іншими бригадами студентів, розрахувати середнє значення розмаху:

$$\bar{W} = \frac{\sum_{i=1}^m W_i}{m} \quad (8.13)$$

де  $m$  - число одержаних значень  $W_i$ .

9 Обчислити середнє квадратичне відхилення замикаючої ланки:

$$SA_{\Delta} = \frac{\bar{W}}{\alpha_n} \quad (8.14)$$

де  $\alpha_n$  - коефіцієнт, значення якого приведені в табл. D.2.

10 Визначити найбільше та найменше значення замикаючої ланки  $A_{\Delta}$ , використовуючи дані експерименту:

$$A_{\Delta}^{H\bar{O}} = \bar{A}_{\Delta} + 3SA_{\Delta}; \quad (8.15)$$

$$A_{\Delta}^{HM} = \bar{A}_{\Delta} - 3SA_{\Delta}; \quad (8.16)$$

11 Розрахункові та експериментальні дані внести в табл. D.21.

12 Обговорити одержані результати та сформулювати висновки.

## 13 Оформити та захистити звіт.

## Контрольні запитання.

- 1 Що називається складальним розмірним ланцюгом?
- 2 Як називаються ланки, які входять у розмірний ланцюг?
- 3 Суть прямої та оберненої задач, які вирішуються при розрахунку розмірних ланцюгів.
- 4 Методи розрахунку розмірних ланцюгів.
- 5 Які основні формули використовуються при розрахунках розмірних ланцюгів?
- 6 Що характеризує коефіцієнт асиметрії  $\alpha$ ?
- 7 Що характеризує коефіцієнт відносного розсіювання  $\lambda$ ?
- 8 Що характеризує коефіцієнт кореляції  $r$ ?
- 9 Які переваги має вірогідний метод розрахунку розмірних ланцюгів?
- 10 Для яких розмірних ланцюгів краще застосувати метод "max- min", а для яких вірогідний?

**ЛІТЕРАТУРА**

- 1      Справочник технолога-машиностроителя. - т. 1,2 / Под. ред. А.Г.Косшовой и Р.К.Мещеракова. - М.: Машиностроение, 1985. - т. 1 -656 с.
- 2      Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. - М.: Машиностроение, 1974. - 4.1. - 406 с.
- 3      Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места для технического нормирования станочных работ. - М.: Машиностроение, 1974. - 421 с.
- 4      Режимы резания металлов. Справочник / Под. Ред. Ю.В. Бароновского. - 3-е изд. - М.: Машиностроение, 1972. - 407 с.
- 5      Расчет сборочных и технологических размерных цепей, Солонин И.С., Солонин С.Н. - М.: Машиностроение. 1980. - 112 с.

## Додаток

Таблиця D.1 - Протокол вимірювання похибки установки

№ п/п	Вид похибки	Виміряні значення похибки, мм, в і-му досліді										$\sum_{i=1}^{10} x_i$	$\bar{x}$	W
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	Биття: радіальне торцьове Осьове зміщення													
2														

Таблиця D.2 - Значення коефіцієнта  $\alpha_n$ 

Об'єм вибірки	3	4	5	6	7	8	9	10	15
Коефіцієнт	1,69	2,06	2,33	2,53	2,70	2,85	2,97	3,08	3,47

Таблиця D.3 - Похибка установки в цанговому та трьохкулачковому патронах

Методи обробки технологічних баз заготовок	Напрямок зміщення заготовки	Похибки установки $\Delta U$ , мкм, при діаметрі базової поверхні заготовки, мм		
		Більше 18 до 30	Більше 30 до 50	Більше 50 до 80
1	2	3	4	5

Установка в цанговому патроні

Точіння або шліфування по 7, 8 квалітетах точності	Радіальне	20-45	25-50	30-75
--	-----------	-------	-------	-------

Калібрування прутків	Радіальне	70	90	100
	Осьове	50	60	70

Установка в трьохкулачковому патроні

Шліфувальні бази	Радіальне	20	20	30
	Осьове	10	10	15

Чистове точіння	Радіальне	50	50	80
	Осьове	30	30	50

Відливки	Радіальне	100	100	150
	Осьове	50	50	80

Заготовки штаповані на пресах.	Радіальне	200	200	300
	Осьове	80	80	100

Примітка. Радіальне зміщення заготовок з діаметрами баз в указаних інтервалах вимірюються на відстані від базового торцю відповідно 50, 75 та 100 мм

Таблиця D.4 - Допустимі значення  $K_{yH}$  при різних  $K_{TH}$ 

Фактичне значення показника точності настройки $K_{TH}$	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05
Найбільше допустиме значення показника рівня настройки $K_{yH}$	0,125	0,132	0,150	0,165	0,175	0,186	0,200	0,212	0,225	0,236

Таблиця D.5 - Допуски валів для різних квалітетів

Інтервали розмірів, мм	Допуски валів по ЕСДП, мкм									
	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	
Більше 18 до 30	13	21	33	52	84	130	210	330	520	
Більше 30 до 50	16	25	39	62	100	160	250	390	620	
Більше 50 до 80	19	30	46	74	120	190	300	460	740	
Більше 80 до 120	22	35	54	87	140	220	350	540	870	

Таблиця D.6 - Вихідні та дослідні дані

Номер настройки	Вихідні параметри, мм				Дослідні параметри, мм				
	$d_{нк}$	$d_o$	$d_n$	$t$	$d_{\partial_i}^{нмч}$	$\Delta H_i$	$\bar{\Delta} H$	$\sigma_n$	$\omega_n$
1									
2									
3									
...									
$n$									

Таблиця D.7 - Значення коефіцієнтів та показників степені у формулі для розрахунку сили  $P_y$ , для зовнішнього поздовжнього точіння

Оброблюваний матеріал	Матеріал ріжучої частини інструменту	Коефіцієнти та показники			
		$C_{P_y}$	$x_{P_y}$	$y_{P_y}$	$n_{P_y}$
Сталь конструкційна $\sigma = 75 \text{ кг/м}^2$	Твердий сплав	243	1,0	0,6	-0,3
	Швидкоріжуча сталь	125	1,0	0,75	0
Чавун сірий HB 190	Твердий сплав	54	1,0	0,75	0
Чавун ковкий HB 150		43	1,0	0,75	0

Таблиця D.8 - Формули для розрахунку коефіцієнту  $K_{M_p}$ , враховуючого механічні властивості оброблюючого матеріалу

Сталь конструкційна	Чавун	
	сірий	ковкий
$K_{M_p} = \left(\frac{\sigma_b}{75}\right)^{n_p}$	$K_{M_p} = \left(\frac{HB}{190}\right)^{n_p}$	$K_{M_p} = \left(\frac{HB}{150}\right)^{n_p}$

\* Показник  $n_p$  див у табл. D.7

Таблиця D.9 - Показник степені  $n_p$  у формулах для визначення коефіцієнта  $K_{M_p}$  при розрахунку радіальної складової сили  $P_y$

Оброблюваний матеріал	Показник степені $n_p$ при матеріалі ріжучою частини інструменту	
	з твердого сплаву	з швидко ріжучої сталі
Сталь конструкційна	1,35	2,0
Чавун сірий та ковкий	1,00	1,3

Таблиця D.10 - Поправочні коефіцієнти, враховуючі вплив геометрії інструмента на складову сили різання при точінні сталі та чавуну

Параметри		Матеріал ріжучої частини	Поправочні коефіцієнти	
Найменування	Величина		Символ	Значення
Головний кут $\gamma$ , град	30	Твердий сплав	$K_{\gamma_p}$	1,30
	45			1,00
	60			0,77
	90			0,55
	30	Швидко ріжуча сталь	$K_{\gamma_p}$	1,60
	45			1,00
	60			0,71
	90			0,44
Передній кут $\alpha$ , град	-15	Твердий сплав	$K_{\alpha_p}$	2,00
	0			1,40
	10			1,00
	10-15			Швидко ріжуча сталь
20-25	1,00			
Кут нахилу головного леза $\lambda$ , град	-5	Твердий сплав	$K_{\lambda_p}$	0,75
	0			1,00
	5			1,25
	15			1,70
Радіус при вершині $r$ , мм	0,5	Швидко ріжуча сталь	$K_{r_p}$	0,66
	1,0			0,82
	2,0			1,00
	3,0			1,14

Примітка. Для різців з швидко ріжучої сталі приймати  $K_{\lambda_p} = 1$ ; для різців з твердого сплаву  $K_{\alpha_p} = 1$ .





Таблиця D.15 - Дані дослідження залежності  $Rz = f(s)$ 

Номер досліджу	$s_i, \phi_s$ мм/об	Різниця відліків $a_i$ по окуляр-мікрометру мікроскопа МІС-11, мкм						$Rz_i$ , мкм
		$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$\bar{a}$	
1	0,05							
2	0,1							
3	0,2							
4	0,3							
5	0,4							

Таблиця D.16 - Дані дослідження залежності  $Rz = f(t)$ 

Номер досліджу	$t_i, \phi_s$ мм	Різниця відліків $a_i$ по окуляр-мікрометру мікроскопа МІС-11, мкм						$Rz_i$ , мкм
		$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$\bar{a}$	
1	0,25							
2	0,5							
3	1,0							
4	2,0							

Таблиця D.17 - Дані дослідження залежності  $Rz = f(r)$ 

Номер досліджу	$r_i$ , мм	Різниця відліків $a_i$ по окуляр-мікрометру мікроскопа МІС-11, мкм						$Rz_i$ , мкм
		$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$\bar{a}$	
1	0,5							
2	1,0							
3	2,0							
4	3,0							

Таблиця D.18 - Фокусні відстані та збільшення при вимірюванні на мікроскопі МІС-11

№ п/п	Фокусні відстані об'єктива $F'$	Збільшення об'єктива $N$	Вимірні значення $Rz$ , мкм
1	25,02	5,9	320...19
2	13,89	10,5	10...3,2
3	8,16	18	10...3,2
4	4,25	34,5	3,2...0,8

Таблиця D.19 - Матриця плану експерименту і результати експерименту

№ досліджу	Матриця експерименту						Вимірні значення висоти мікронерівностей, мкм						Дослідні значення $Rz$ , мкм
	Режим обробки			Кодові значення факторів			$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	
1	10	0,02	30	-1	-1	-1							
2	10	0,12	30	-1	+1	-1							
3	30	0,02	30	+1	-1	-1							
4	30	0,12	30	+1	+1	-1							
5	10	0,02	110	-1	-1	+1							
6	10	0,12	110	-1	+1	+1							
7	30	0,02	110	+1	-1	+1							
8	30	0,12	110	+1	+1	+1							
9	20	0,07	70	0	0	0							
10	20	0,07	70	0	0	0							

Таблиця D. 20- Значення коефіцієнтів відносного розсіювання і коефіцієнтів відносної асиметрії

Вид виробництва при відповідності обладнання заданої точності	Методи формування розмірів	Становище процесу, обладнання і забезпечення					
		Процес дуже добре відлажений. Обладнання нове. Пристосування жорсткі.		Середні умови. Обладнання не зношене.		Обладнання зношене. Пристосування не жорсткі. Процес не відлажений	
		$\lambda_i$	$\alpha_i$	$\lambda_i$	$\alpha_i$	$\lambda_i$	$\alpha_i$
1	2	3	4	5	6	7	8
Масове і багатосерійне	Координуючі розміри, які мають симетричний розподіл	0,92	0	1,15	0,1	1,30	0
	Обробка методом автоматичного одержання розмірів	0,92	0,03	1,15	0,06	1,30	0,08
	Обробка методом пробних проходів або виходжування. Вимірювання граничними калібрами	1,00	0,05	1,05	0,08	1,25	0,12

1	2	3	4	5	6	7	8
Серійне	Координуючі розміри, які мають симетричний розподіл	1,15	0	1,35	0	1,45	0
	Обробка методом автоматичного одержання розмірів	1,15	0	1,35	0	1,45	0
	Обробка методом пробних проходів або виходжування. Вимірювання універсальними інструментами	0,95	0,15	1,15	0,18	1,25	0,20

Таблиця D.21 - Розрахункові та експериментальні значення замикаючої ланки

Значення замикаючої ланки, мм	Розраховані методом		Одержані експериментальне
	"max-min"	вірогідний	
Найменше $A_{\Delta}^{нм}$			
Найбільше $A_{\Delta}^{нб}$			
Допуск $TA_{\Delta}$			

Таблиця D.22 - Паспортні дані станка 1336М

Подачі, мм/об	Число обертів шпинделя, об/хв					
	117	128	290	470	755	1160
Поздовжня	0,06	0,09	0,14	0,23	0,35	0,56
Поперечна	0,04	0,06	0,10	0,16	0,25	0,39

