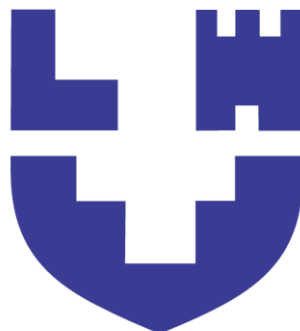


**Міністерство освіти та науки України
Луцький національний технічний університет**



ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МАШИНОБУДУВАННЯ

Методичні вказівки до лабораторних занять
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньої програми «Галузеве машинобудування»,
галузі знань 6 Інженерія, виробництво та будівництво
спеціальності 611 Машинобудування (за спеціалізаціями)
усіх форм навчання

Луцьк 2026

УДК 621.(07)

T38

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій Луцького НТУ

Директор бібліотеки _____

Н.П. Поліщук

Рекомендовано до видання вченою радою факультету транспорту та механічної інженерії ЛНТУ, протокол № _____ від «___» _____ 2026 року.

Голова вченої ради факультету транспорту та механічної інженерії _____ І.С. Мурований

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

Завідувач кафедри прикладної механіки та мехатроніки _____

Р.Г. Редько

Укладач:

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

Рецензент:

О.Ю. Повстяной, доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри
автоматизації та комп'ютерно-
інтегрованих технологій ЛНТУ

Відповідальний за
випуск:

Р.Г. Редько, кандидат технічних наук,
доцент, завідувач кафедри прикладної
механіки та мехатроніки ЛНТУ

T38

Технологічні основи машинобудування [Текст]: Методичні вказівки до лабораторних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Галузеве машинобудування» галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності G11 Машинобудування (за спеціалізаціями) усіх форм навчання / уклад. Т.Н. Гальчук. – Луцьк: ЛНТУ, 2026. – 54 с.

Методичне видання до лабораторних занять з дисципліни «Технологічні основи машинобудування»: містять теоретичні відомості, порядок виконання, вимоги до змісту звіту, довідникові матеріали.

Призначене для здобувачів вищої освіти спеціальності G11 Машинобудування (за спеціалізаціями) освітньої програми «Галузеве машинобудування».

ЗМІСТ

Тема : Продукція машинобудування	
Лабораторне заняття № 1: Склад машини	4
Тема: Виготовлення виробів різанням	
Лабораторне заняття № 2: Дослідження впливу швидкості різання і подачі на шорсткість поверхні	7
Тема: Виробничий і технологічний процес. Структура технологічної операції	
Лабораторне заняття № 3: Проектування технологічного процесу механічної обробки ступінчатого валика	12
Тема: Типи виробництва в машинобудуванні	
Лабораторне заняття № 4: Встановлення складових норм часу хронометражем	16
Тема: Базування в машинобудуванні	
Лабораторне заняття № 5: Визначення похибки закріплення заготовки в машинних лещатах	20
Тема: Точність обробки	
Лабораторне заняття № 6: Визначення розмірного зношування інструменту в залежності від шляху і швидкості різання	23
Лабораторне заняття № 7: Статистичний метод дослідження точності обробки з побудовою кривих розподілу	28
Тема: Вплив технологічної системи на точність обробки	
Лабораторне заняття № 8: Визначення жорсткості токарного верстату для обробки ступінчатого валу	36
Тема: Розмірні зв'язки та технологічність в машинобудуванні.	
Лабораторне заняття № 9: Відпрацювання на технологічність вузла	41
Технічні характеристики обладнання та вимірювальних інструментів	48

ТЕМА: ПРОДУКЦІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Лабораторне заняття №1

СКЛАД МАШИНИ

Мета - ознайомитися зі складом машини, визначити і назвати її складові частини.

Обладнання, інструменти і матеріали:

1. Складальні креслення технологічних вузлів.
2. Специфікації до складальних креслень технологічних вузлів.
3. Довідники і посібники.

Теоретичні відомості

Машина – механізм або з'єднання механізмів, які виконують певні доцільні рухи для перетворення енергії, виконання роботи або ж складання, передачі, зберігання і використання інформації.

Машина може створювати якусь продукцію, перетворюючи в неї початкові заготовки чи матеріали (верстати, трактори, комбайни, автомобілі та інше), перетворювати один вид енергії в другий (двигуни і генератори), зберігати і передавати (радіо, телевізори, магнітофони), перетворювати хімічну енергію згорання палива в механічну (двигуни внутрішнього згорання), виконувати перевезення вантажів (автомобілі, тепловози, електровози).

Усі сучасні робочі машини – це, як правило механізми (сукупність механізмів), які складаються із трьох суттєво різних частин: машини-двигуна, передавального механізму, і, решті машини-знаряддя або робочої машини.

Види машин: енергетичні, електричні, транспортні., сільськогосподарські, гірничі, підйомно-транспортні, металорізальні верстати, спеціальні машини.

Основні види рухів, які виконуються в машинах: обертальний, зворотно-поступальний, коливальний.

Стандартом встановлена структура виробів:

– деталь – це виріб виготовлений з однорідного по найменуванню матеріалу, без застосування складальних операцій;

– вузол (складальна одиниця) – це виріб, складові частини якого з’єднуються між собою на підприємстві виробнику шляхом виконання складальної операції.

Вузол, який безпосередньо входить у готовий виріб-машину, прийнято називати групою, а менший вузол, який входить в групу – підгрупою 1-го порядку. Вузол, що входить безпосередньо в підгрупу 1-го порядку, називають, відповідно, підгрупою 2-го порядку, до якої в свою чергу входять безпосередньо підгрупи 3-го порядку і т.д. Як приклад, загальна схема складальних елементів пневмоциліндра (рис.1) показана на рис. 2.

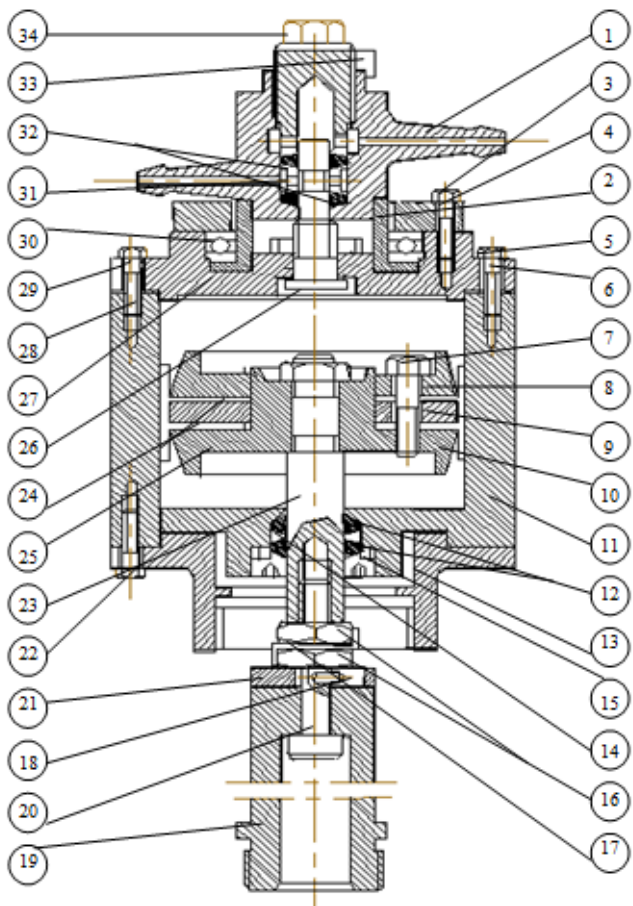


Рис.1

34	пробка	1
33	гайка	1
32	сальник	2
31	кільце	1
30	упорний підшипник	1
29	прокладка	1
28	гвинт	12
27	прокладка	1
26	палець	1
25	гайка	1
24	манжет	2
23	шток	1
22	гвинт	6
21	кільце	1
20	гвинт	1
19	гільза	1
18	штифт	1
17	шайба	1
16	гайка	2
15	гайка	1
14	кільце	1
13	планшайба	1
12	сальник	2
11	циліндр	1
10	диск	1
9	кільце	1
8	диск	1
7	гвинт	5
6	фланець	1
5	штифт	1
4	кільце	1
3	гвинт	3
2	втулка	1
1	корпус муфти	1
№ п/п	Найменування	кількість
Пневмоциліндр ескіз		

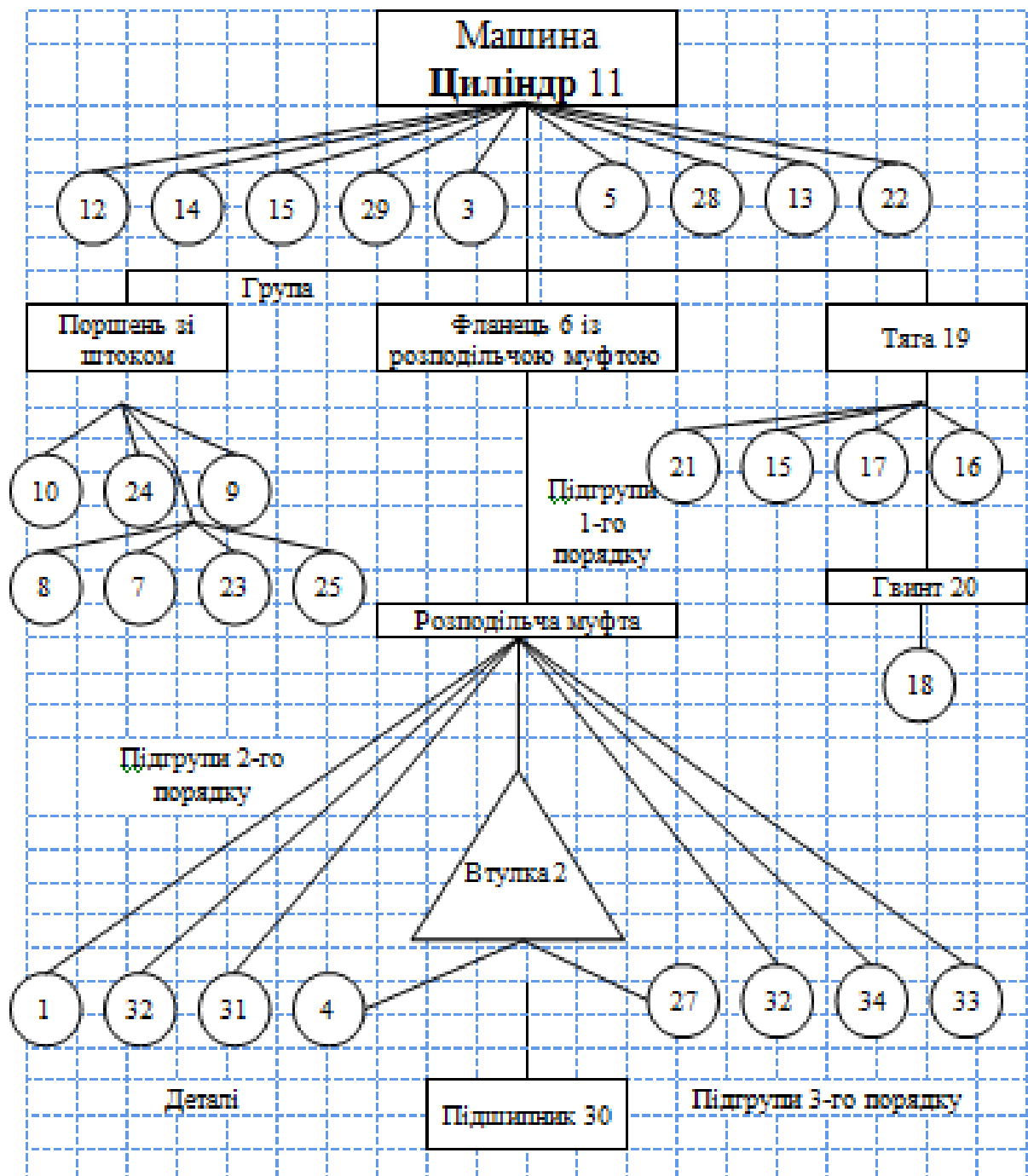


Рис. 2

Порядок виконання роботи

1. Одержати завдання від викладача для всіх етапів виконання роботи.
2. Визначити вид машини і записати його в звіт.
3. Встановити складові частини машини (деталі, вузли, групи, підгрупи).
4. Скласти схему структури машини.

Зміст звіту

1. Назва роботи.
2. Мета роботи.
3. Записати назву, вид машини, яка видана викладачем.
4. Скласти структурну схему машини.
5. Сформулювати висновки за результатами роботи.

ТЕМА: ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ РІЗАННЯМ

Лабораторне заняття №2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ І ПОДАЧІ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ

Мета - дослідження залежності чистоти обробленої поверхні від подачі та швидкості різання під час точіння.

Обладнання, інструменти і матеріали:

1. Робочі креслення деталі.
2. Зразки заготовок деталей.
3. Токарний верстат.
4. Ріжучий інструмент: прохідний різець.
5. Вимірювальний інструмент, еталони шорсткості.
6. Довідники і посібники.

Теоретичні відомості

У процесі різання разом із деформацією шару, який зрізається, відбувається деформація обробленої поверхні. Ці деформації зв'язані таким чином, що умови, які приводять до зменшення деформації шару, що зрізається, знижують деформації обробленої поверхні, а тому зменшують висоти залишкових нерівностей.

Від якості поверхні залежить багато експлуатаційних характеристик деталей машин, разом з тим стан поверхні (шорсткість) є також однією з характеристик точності обробки. Поверхня заготовки, отримана в результаті

обробки ріжучим інструментом, завжди відрізняється від ідеальної поверхні, яка зображена на кресленні.

Якість поверхневого шару характеризується шорсткістю поверхні, мікроструктурою, глибиною і величиною наклепування, залишковими напругами. Основною, найбільш опрацьованою характеристикою якості поверхні є шорсткість обробленої поверхні, яка визначається висотою залишкових нерівностей з відносно малими кроками.

Під час розрахунку висоти нерівностей не рахуються з фізичними явищами, які відбуваються в процесі утворення поверхневого шару деталі, а враховують тільки швидкість різання V , величину подачі S , і геометричні параметри ріжучого інструменту (кути φ і φ_1), які беруть участь в утворенні нерівностей (рис. 3).

Різання для швидкостей 20...30 м/хв супроводжується утворенням наросту на ріжучій крайці інструменту, який погіршує стан поверхні. В рвзы подальшого збільшення швидкості різання величина наросту зменшується і для швидкостей 60...70 м/хв якість поверхні покращується, але подальше підвищення швидкості різання зовсім незначно понижує висоту нерівностей.

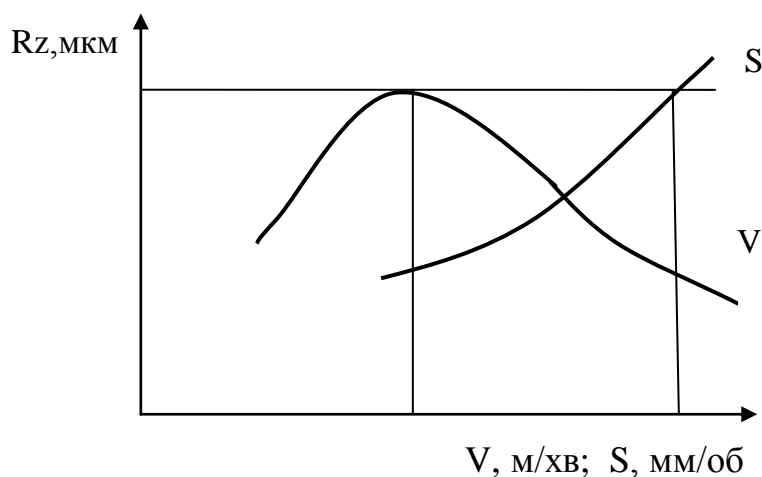


Рис. 3 – Графік залежності висоти мікронерівностей від швидкості різання і подачі

У більшій степені шорсткість поверхні залежить від величини подачі. Для великої подачі висота нерівностей пропорційна квадрату подачі. В разі зменшення подачі чистота обробленої поверхні підвищується.

Для вимірювання шорсткості поверхні застосовують спеціальні прилади (профілографи і профілометри), які дозволяють отримати профіль обробленої поверхні, який збільшений в вертикальному напрямі в декілька тисяч раз і в горизонтальному напрямі в декілька десятків раз.

Згідно з ДСТУ ISO 4287:2012 шорсткість обробленої поверхні визначається середнім арифметичним відхиленням R_a або висотою нерівностей R_z . Середнє арифметичне профілю R_a являє собою середнє значення відстаней $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ точок вимірюного профілю до його середньої лінії (рис. 4).

Під час визначення середньої лінії m на профілограмі допускається використовувати наступну умову: середня лінія повинна мати напрям вимірюного профілю і ділити його таким чином, щоб в границях базової довжини l суми площ з обох сторін цієї лінії були рівними між собою:

$$F_1 + F_3 + F_5 + \dots + F_{n-1} = F_2 + F_4 + F_6 + \dots + F_n.$$

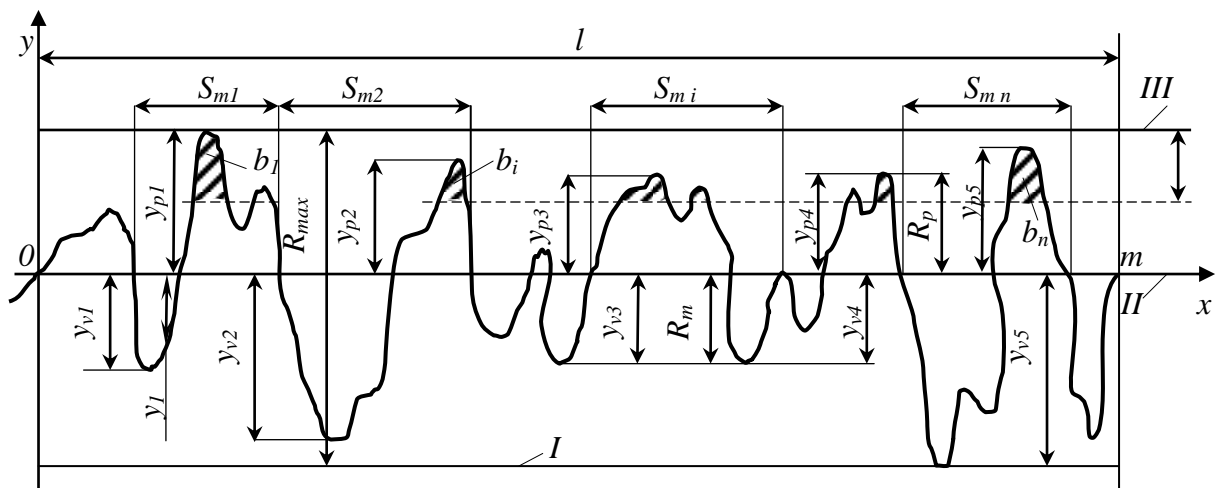


Рис. 4 – Профіль реальної поверхні: I – лінія западин; II – середня лінія; III – лінія виступів

Відстань точок профілю до середньої лінії сумують без врахування

алгебраїчного знаку:

$$R_a = \sum_{i=1}^n (y_i) / n.$$

Висота нерівностей R_z являє собою середню відстань, яка знаходиться в межах базової довжини l між п'ятьма вищими точками виступів і п'ятьма нижчими точками впадин, виміряну від лінії, яка паралельна середній лінії:

$$R_z = \frac{(h_1 + h_3 + h_9) - (h_2 + h_4 + h_{10})}{5}.$$

Значення R_a і R_z для різних класів чистоти поверхні за ДСТУ ISO 4287:2012 наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Класифікація шорсткості поверхні за розрядами

Клас чистоти поверхні	Середнє арифметичне відхилення профілю R_a , мкм			Висота нерівностей R_z , мкм			Базова довжина l , мм
	розряди						
	а	б	в	а	б	в	
	не більше						
6	2,5	2,0	1,6	10,0	8,0	-	-
7	1,25	1,0	0,8	6,3	5,0	4,0	0,8
8	0,63	0,5	0,4	3,2	2,5	2,0	-
9	0,32	0,25	0,2	1,6	1,25	1,0	-
10	0,16	0,125	0,1	0,8	0,63	0,5	0,25
11	0,08	0,063	0,05	0,4	0,32	0,25	-
12	0,04	0,032	0,025	0,2	0,16	0,125	-
13	0,02	0,016	0,012	0,1	0,08	0,063	0,08
14	0,01	0,008	0,006	0,05	0,04	0,032	-

Примітка. Для класів чистоти 6...12 основним є параметр R_a , а для класів 1...5 і 14 – параметр R_z , однак допускається (за згодою сторін) зміна шорсткості поверхонь класів 6...12 за параметром R_z і класів 1...5; 13 і 14 за параметром R_a .

Порядок виконання роботи

1. Провести дві серії дослідів при точінні заготовки з різними режимами різання (рис. 5).

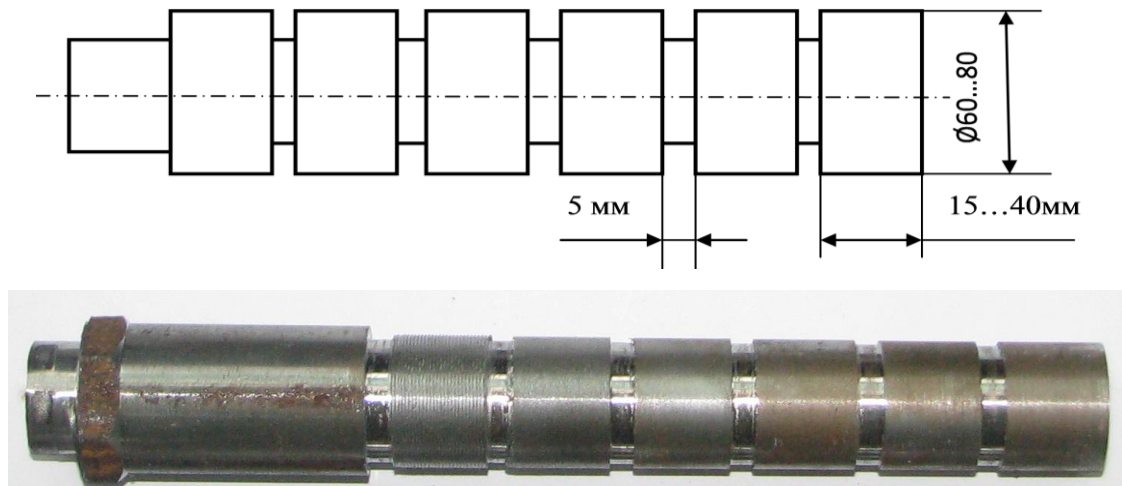


Рис. 5

Першу серію дослідів проводять для зміни швидкості різання V , зберігаючи постійним значення подачі S , і глибини різання t . Наприклад, в разі обробки заготовки із сталі 45 $S=0,12...0,20$ мм/об; $t = 0,5...1$ мм; V – величина змінна і змінюється в межах від 20 до 200 м/хв.

Другу серію дослідів проводять для зміни подачі і зберіганні постійних значень глибини і швидкості різання: $V = 50...100$ м/хв; $t = 0,5...1$ мм; S – величина змінна, змінюється в межах від 0,15 до 0,6 мм/об.

Зміст звіту

6. Назва роботи.
7. Мета роботи.
8. Дані про вимірювальні засоби: назва, ціна поділки.
9. Ескіз заготовки.
10. Назва верстату, модель, технічна характеристика.
11. Геометричні елементи ріжучого інструменту, матеріал.
12. Режими різання.
13. Визначення R_a за допомогою еталонів шорсткості.
14. Побудова графіків залежностей $R_a = f(V)$ і $R_a = f(S)$.
- 15.

ТЕМА: ВИРОБНИЧИЙ І ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС. СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ

Лабораторне заняття №3

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ СТУПІНЧАТОГО ВАЛИКА

Мета - ознайомлення із системою управління процесом обробки на токарному верстаті.

Обладнання, інструменти і матеріали:

1. Робочі креслення деталі.
2. Токарний верстат.
3. Технологічний процес обробки за переходами.
4. Ріжучий інструмент: підрізний, прохідний, канавочний і відрізний різець.
5. Вимірювальний інструмент: штангенциркуль 0–175 (ц/п=0,01 мм), мікрометр 0–50 (ц/п=0,01 мм).
6. Довідники і довідкові посібники.

Теоретичні відомості

Розробку техпроцесу проводять у спрощеному вигляді на одну операцію за переходами. Після вибору заготовки встановлюють спосіб її кріплення, намічають всі переходи із вказуванням діаметру обробки та дійсної довжини кожного переходу і вибирають інструмент. Наприклад, для деталі зображеної на рис. 6, техпроцес представлено у таблиці 2. Заготовка кріпиться за зовнішнім діаметром у трьохкулачковому патроні.

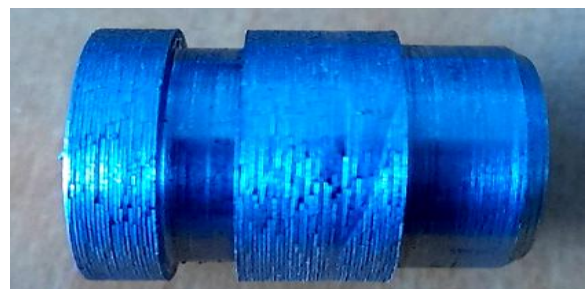
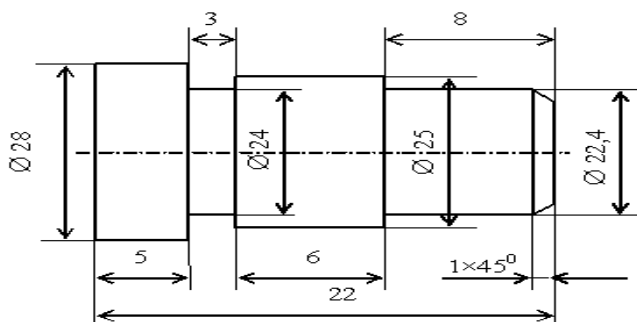


Рис. 6 – Ступінчатий валик

Таблиця 2

Переходи	Зміст переходів	Інструмент
1	Точити $\varnothing 25$ в р-р 22 мм*	№1 прохідний
2	Точити $\varnothing 28$ в р-р 12 мм	№1 прохідний
3	Точити фаску 1×45^0	№1 прохідний
4	Точити $\varnothing 22,4$ в р-р 8 мм	№2 прохідний
5	Точити канавку 3 мм, $\varnothing 24$ мм	№3 канавочний
6	Відрізати в р-р 22 мм	№4 відрізний

* З врахуванням врізання і перебігу інструмента.

Викреслюють ескіз налагодження, як на рис. 7. На ескізі необхідно повторити операційний ескіз деталі, показати виліт заготовки і патрона та величину поздовжніх переміщень супорта.

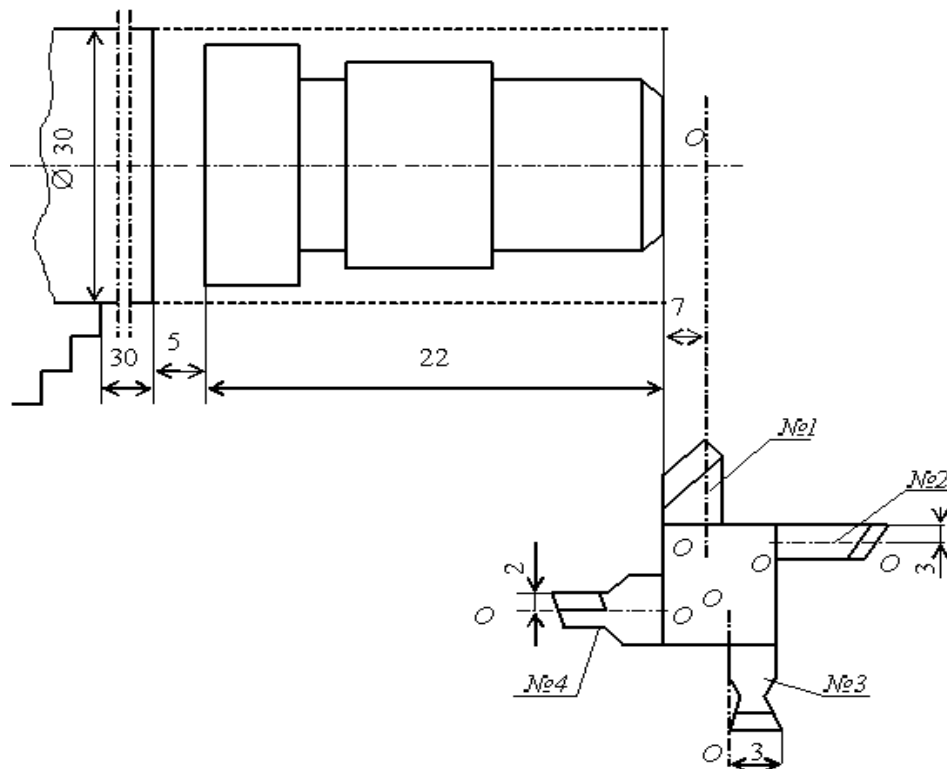


Рис. 7 – Схема налагодження

На ескізі налагодження показують розміщення різців у різцетримачі. На першій позиції завжди показують різець, що перший починає обробку

(прохідний різець №1). Через всі різці проводять початкові лінії $O-O$ із вказуванням її положення від вершини ріжучої частини. Вказують на ескізі початкове положення супорта для поздовжнього переміщення на певній відстані від торця заготовки із врахуванням величини врізання. Початкове положення поперечної подачі супорта залежить від діаметра оброблювальної заготовки і в загальному випадку визначається за формулою:

$$П = \frac{d_0}{2} + y,$$

де d_0 – діаметр заготовки, $y = 0...5$ – величина підводу різця, мм.

Розробляють схеми руху супорта. Для прикладу, що розглядається рухи будуть такими: поперечна подача супорта для точіння $\varnothing 25$ мм; поздовжня подача супорта на довжину 22 мм (рис. 8, а); відвід супорта в поперечному напрямку і знову підвід його для точіння $\varnothing 28$ мм для робочої поздовжни подачі супорта на довжину 12 мм (рис. 8, б); далі відвід у поперечному напрямку супорта на 2 мм і повернення в поздовжньому напрямку в початкове положення.

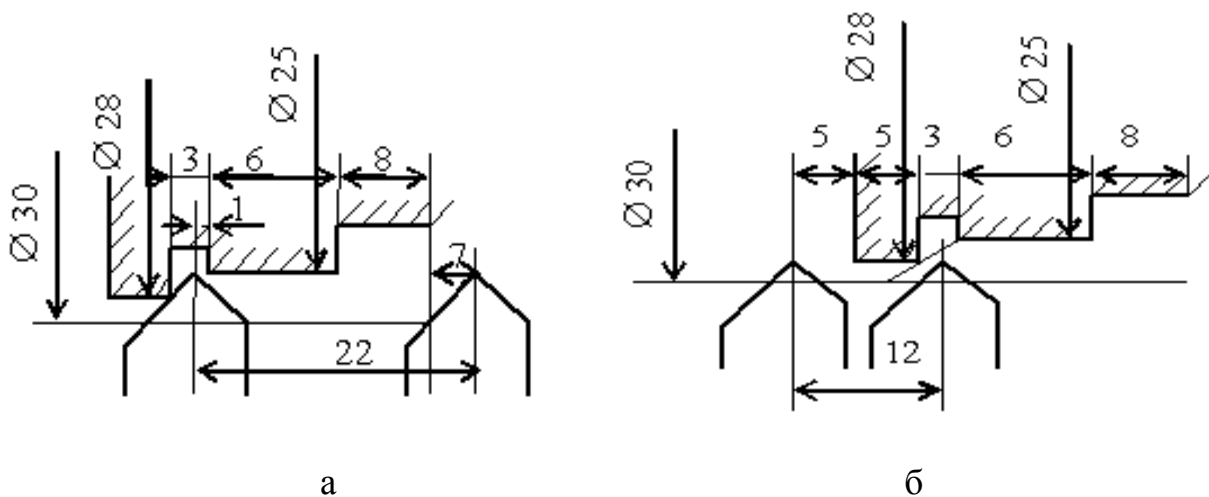


Рис. 8 – Схема положення інструменту і кінця проходу для обробки:

а – $\varnothing 25$ мм, б – $\varnothing 28$ мм

Всі ці переміщення зображають у вигляді схеми руху супорта (рис. 9). На схему наносять довжину шляху поперечної і поздовжньої подачі супорта: для

поперечної – початковий і кінцевий діаметри, для поздовжньої – пройдений шлях.

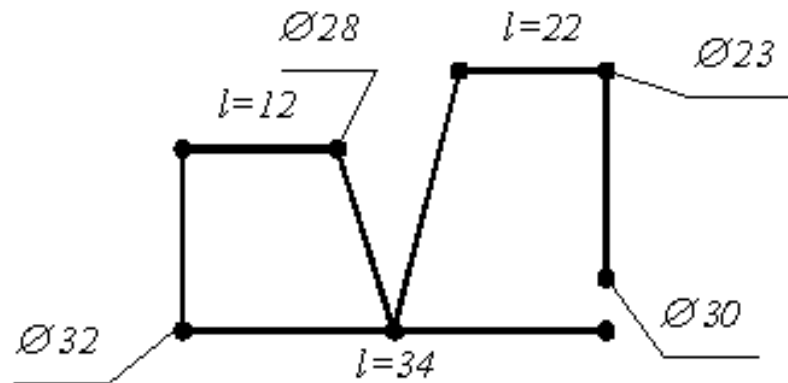


Рис. 9 – Принципова схема руху супорта

Порядок виконання роботи

1. Розробка технологічного процесу операції за переходами.
2. Ескіз заготовки і налагодження.
3. Складання схеми руху супорта.
4. Встановлення режимів різання.
5. Виконання роботи і перевірка отриманих розмірів відповідно до завдання.

Зміст звіту

1. Назва роботи.
2. Мета роботи.
3. Назва верстату, модель, технічна характеристика.
4. Ріжучий інструмент, матеріал.
5. Дані про вимірювальні засоби: назва, ціна поділки.
6. Режими різання.
7. Ескіз заготовки і деталі, матеріал.
8. Технологічний процес обробки деталі за одну операцію за переходами.
9. Схема налагодження.
10. Схема руху супорта.
11. Висновки.

ТЕМА: ТИПИ ВИРОБНИЦТВА В МАШИНОБУДУВАННІ

Лабораторне заняття №4

ВСТАНОВЛЕННЯ СКЛАДОВИХ НОРМ ЧАСУ ХРОНОМЕТРАЖЕМ

Мета - набуття практичних навиків визначення основних складових норми часу шляхом хронометражу для заданого процесу обробки.

Обладнання, інструменти і матеріали:

1. Робочі креслення деталі.
2. Зразки заготовок деталей.
3. Токарний верстат 16К20.
4. Ріжучий інструмент: прохідний та відрізний різці.
5. Вимірювальний інструмент: штангенциркуль 0...150 (ц/п =0,01 мм).
6. Хронометр (або секундомір).
7. Довідники та довідникові посібники.

Теоретичні відомості

Підготовка до хронометражу починається з поділу заданої операції на переходи і прийоми на основі фактичного спостереження за послідовністю виконання роботи. Зайві та нераціональні прийоми виключаються. При аналізі послідовності і змісту окремих етапів роботи враховується можливість поєднання прийомів з періодами автоматичного ходу верстату (основним часом).

Для замірів часу користуються двохстрілочним хронометром, проводячи запис результатів спостережень за поточним часом (спосіб неперервних замірів). Спочатку спостереження пускають хронометр від нуля, а потім при закінченні кожного послідовного прийому записують наростаюче поточне значення показів часу. В подальшому протяжність другого прийому підраховується шляхом віднімання від часу його закінчення часу закінчення першого прийому; тривалість третього прийому буде рівна різниці між часом закінчення третього і другого прийомів і т.д.

Проведені заміри часу заносять на карту хронометражу, де напроти кожного прийому є дві стрічки чисел. У верхню стрічку, позначену буквою П,

заноситься поточний час; в нижню, позначену буквою T , – тривалість прийому, яка визначається шляхом віднімання від часу закінчення прийому часу закінчення попереднього прийому.

Якщо в процесі спостереження виникають перерви у роботі, то причина їх і поточний час фіксуються в хронометражній (спостережній) карті.

Наприклад:

1) поломка різця – від 16,65 до 20,85 хв (поточний час);

2) відсутність енергії – від 22,15 до 22,75 хв (поточний час).

Число спостережень встановлюють залежно від тривалості операції (табл. 3)..

Таблиця 3

<i>Тривалість операцій, хв</i>	<i>Число спостережень</i>
Менше 2,0	20
Від 2,0 до 10,0	10
Від 10,0 до 40,0	7
Від 40,0 до 60,0	5

Отримані ряди чисел по протяжності кожного прийому уважно проглядають. Окремі числа, які різко відрізняються по своїй величині від інших чисел в тому ж ряду, виключаються. Для того, щоб встановити, які саме спостереження необхідно виключити, користуються коефіцієнтом стійкості хронометричного ряду.

Коефіцієнт стійкості хроноряду визначається за формулою $K_y = \frac{X_{MAX}}{X_{MIN}}$,

де X_{MAX} – максимальна тривалість елемента хроноряду;

X_{MIN} - мінімальна тривалість елемента хроноряду.

Щоб забезпечити необхідну точність результату хронометражу, величина K_y не повинна бути вища, ніж нормативна величина.

Значення K_y змінюються залежно від тривалості елементів операції (табл. 4).

Таблиця 4

Тривалість елементів операції, хв	Коефіцієнт стійкості хроноряду
Менше 0,1	1,8
Від 0,1 до 0,3	1,3
Більше 0,3	1,2

Примітка. При виконанні лабораторної роботи допускається використання коефіцієнта стійкості хронометричного ряду, рівного 0,8 незалежно від тривалості елементів операції.

Після виключення із хронорядів різко відмінних значень встановлюють нормальну протяжність кожного прийому, рівну середньо арифметичному для даного ряду спостережень. Додаванням тривалості окремих прийомів визначають оперативний час $T_{оп}$. На оперативний час, отриманий хронометражем, нараховують час обслуговування робочого місця і час перерв.

ХРОНОМЕТРАЖНИЙ ЛИСТ

Лицьова сторона

Підприємство		Цех		Хронометражна карта №1	
Тип виробництва				Час спостережень	
Мета хронометражу		Виріб		Год.-хв.	
Робітник		Найменування		Операція	
Прізвище І.Б.		Шифр			
Розряд		Матеріал		Устаткування	
Стаж		Маса		Інструмент	
Схема організації робочого місця				Пристаосування	
				Порядок обслуговування робочого місця: централізована заточка інструменту, налагодження виконує налагоджувач	
Результати обробки хронометражу:					
1. Прийняте число замірів:					
2. Розрахунок норми часу:					
$T_{оп}$ – оперативний час;					
$T_{об}$ – час на обслуговування;					
$T_{в}$ – відпочинок і особисті потреби – 6% $T_{оп}$;					
$T_{шт}$ – норма штучного часу;					
$N_{см}$ – норма виробітку в зміну.					
Прізвище спостерігача				Зауваження і пропозиції спостерігача (або робітника)	
Дата					
Перевірив:					

ХРОНОМЕТРАЖНИЙ ЛИСТ

Зворотня сторона

№	Елементи операції	Фізичний топит	Індикатор	Зміри (апостереження)				Сума, хв.	Середня тривалість, хв.	Коеф. стійкості	Норм. трив., хв.
				1	2	3	4				
1	Взяти і встановити деталь на станок	Рух руки до деталі (початок)	П								
		Рух руки до кнопки (кінець)	Т								
2	Включити верстат, підвести різець, включити подачу	Початок появи стружки	П								
			Т								
3	Обточити деталь	Кінець сходу стружки	П								
			Т								
4	Виключити подачу, відвести різець, виключити верстат	Рух рук до кнопки	П								
			Т								
5	Проміряти деталь	Рух рук до інструменту	П								
			Т								
6	Зняти деталь	Рух рук до деталі	П								
			Т								

Зміст звіту

1. Найменування роботи.
2. Дані про вимірювальні засоби: найменування, ціна поділки.
3. Найменування верстату, модель, технічна характеристика.
4. Ескіз заготовки, матеріал.
5. Режими різання.
6. Геометричні елементи ріжучого інструменту, матеріал.
7. Дані хронометражу і значення $T_{шт}$.
8. Висновки за результатами вимірювань.

ТЕМА: БАЗУВАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ

Лабораторне заняття №5

ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ В МАШИННИХ ЛЕЩАТАХ

Мета - визначення величини похибки встановлення під час закріплення у машинних лещатах.

Обладнання, інструмент і матеріали:

1. Робочі креслення деталі.
2. Зразки деталей.
3. Фрезерний верстат.
4. Машинні лещата, підкладки.
5. Вимірювальний інструмент: індикаторна головка (ц/п = 0,01мм) із стійкою.
6. Довідники та довідникові посібники.

Порядок виконання роботи

1. Встановити машинні лещата і стійки з індикатором на столі фрезерного верстату так, як це показано на рис. 10.

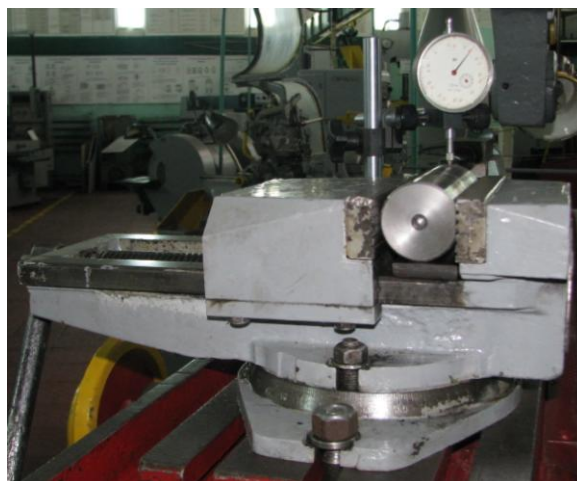
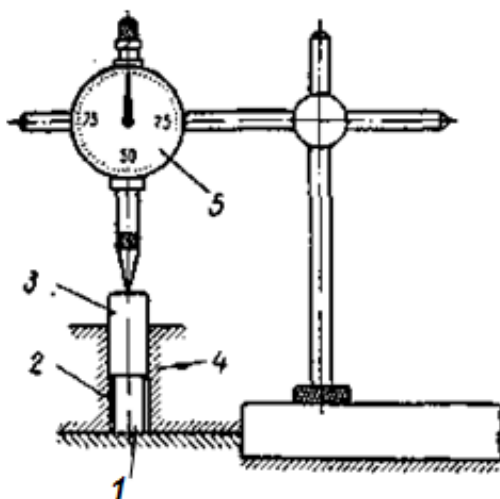


Рис. 10 – Установка заготовки в машинних лещатах для визначення похибки закріплення: а – схема установки; б – загальний вигляд;

1 – підкладка; 2 – нерухома губка; 3 – заготовка; 4 – рухома губка; 5 – індикатор

2. Встановити заготовку в лещата і рукою притиснути її до нерухокої губки лещат. В цьому положенні індикатору дати натяг 1...2 мм і встановити його стрілку на нуль.

3. Багаторазово закріпити і розкріпити заготовку в лещатах, фіксуючи кожний раз покази індикатора, для цього використати три способи встановлення і закріплення заготовки, а саме:

а) заготовка вільно кладеться на підкладку лещат і затискається від руки з довільним зусиллям затиску;

б) заготовка вільно кладеться на підкладку лещат, після чого проводиться легкий попередній затиск лещат. Потім легким постукуванням (молотком) по заготовці щільно прижимають її до підкладки і проводять перевірку щільності прилягання заготовки шляхом спроби вийняти підкладку з під неї. Якщо підкладка щільно притиснута заготовкою і не може бути вийнята, то проводять кінцевий затиск лещат;

в) заготовка щільно притискується до підкладки (як у способі “б”), після чого проводять сильний, але однаковий для всіх закріплень затиск заготовки з кінцевим затиском шляхом удару молотка по рукоятці лещат.

Кожний спосіб встановлення повторити 25...30 разів.

4. Обробити результати вимірів, скласти звіт із висновками.

Зміст звіту

1. Найменування роботи.
2. Мета роботи.
3. Дані про вимірювальні засоби: найменування, ціна поділки.
4. Ескіз схеми встановлення заготовки з постановкою розмірів.
5. Ескізи допоміжних пристроїв (лещата, підкладки і т. д.)
6. Дані про виміри за формою табл. 5..

Таблиця 5

Покази індикатора, мм	Частота показів індикатора	Частковість прийнята для побудови, %

7. Побудова і аналіз графіка осьових зміщень.

Зразок оформлення результатів досліджень

Похибки можуть бути досліджені різними методами, з яких найбільш простим і наочним є метод побудови графіка осьових зсувів заготовки залежно від способу установки в разі закріплення у машинних лещатах. Для встановлення похибки закріплення для кожного з досліджуваних способів установки покази індикатора зводяться в табл. 7, що служить надалі підставою для побудови графіка осьових зсувів заготовки. Потім будується графік осьових зсувів, де по осі ординат відкладається частота в відсотках, а по осі абсцис – осьові зсуви заготовки в міліметрах.

Так, наприклад, на рис. 11 представлено графік осьових зсувів заготовки розміром 5×30×100 для закріплення в машинних лещатах.

Таблиця 6

Покази індикатора, мм	Частота показів індикатора	Частота прийнята для побудови, %
0	2	4
0,005	5	10
0,01	20	40
0,015	10	20
0,02	9	18
0,025	1	2
0,03	2	4
0,035	0	-
0,04	1	2
	50	100

Криві 1, 2 і 3 відповідно характеризують похибки, виявлені для здійснення установки заготовки трьома способами: 1 - покладеної вільно з довільним зусиллям затиску; 2 - притиснутої до підкладки з попереднім затисненням і притиском до неї постукуванням молотка; 3 - притиснутої до підкладки й остаточно затиснутої під час удару молотка по рукоятці лещат.

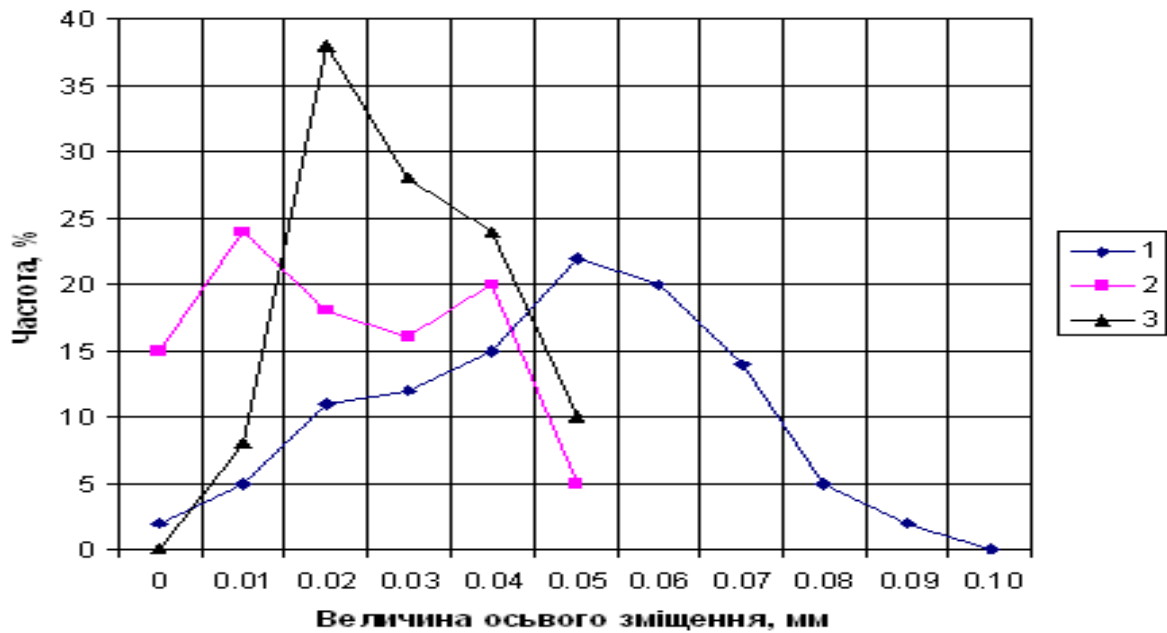


Рис. 11 – Графіки осевих зміщень заготовки при різних способах затиску

Як видно з графіка, похибка установки заготовки в машинних лещатах значно скорочується в разі підвищення ретельності встановлення заготовки, а застосування способу притиснення заготовки до підкладки молотком знижує похибку установки на 30...50% в порівнянні зі звичайним затисненням вільно покладеної заготовки від руки (криві 1 і 2).

ТЕМА: ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ

Лабораторне заняття №6

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРНОГО ЗНОШУВАННЯ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ШЛЯХУ І ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ

Мета - дослідження впливу шляху та швидкості різання на розмірне і відносне зношування різця на токарному верстаті.

Обладнання, інструменти і матеріали:

1. Токарно-гвинторізний верстат.
2. Заготовка із Ст 45.
3. Ріжучий інструмент: прохідний різець оснащений пластиною P5M6.
4. Вимірювальний інструмент: індикаторний пристрій для вимірювання розмірного зношування різця.

5. Ємність з водою для охолодження різця.

6. Довідники і посібники.

Теоретичні відомості

Неточність ріжучого інструменту (особливо типу розгорток, зенкерів, протяжок, фасонного інструменту) в багатьох випадках безпосередньо переноситься на оброблювальну заготовку і зумовлює появу систематичних похибок форми і розмірів оброблених поверхонь. В зв'язку з тим, що точність виготовлення ріжучого інструменту на спеціальних інструментальних заводах або інструментальних цехах машинобудівних заводів здебільшого досить висока, неточність виготовлення інструментів практично мало відображається на точності виготовлення деталей. Значно більший вплив на точність обробки заготовок мають похибки ріжучого інструменту, що пов'язані з його зносом.

Як відомо, зношування різця проходить в результаті тертя стружки об передню поверхню різця і тертя задньої поверхні різця поверхню оброблювальної заготовки. В цьому випадку, зношування представляє стирання мікрочастинок і вилучення їх із поверхонь дотику, а також викришування ріжучої крайки. За критерій зносу приймають деяку певну величину ділянки зносу по задній поверхні різця, виміряну по нормалі до оброблювальної поверхні (рис. 12). Похибка обробки, що спричиняється тільки зношенням дорівнює: $\Delta d = d_1 - d_2 = 2 \cdot \Delta u$.

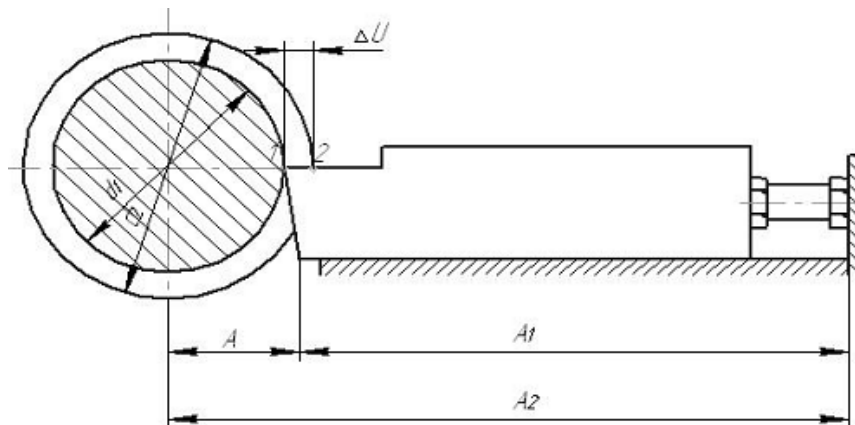


Рис.12 - Схема розмірного зношення різця

Це підтверджує розмірний ланцюг А, у якому замикаюча ланка А змінюється за рахунок зміни ланки А1 якщо $A_2 = \text{const}$.

У відповідності з загальними закономірностями зносу підчас тертя ковзання в початковий період роботи інструмента, знос найбільш інтенсивний (ділянка I) - **період початкового зносу** (рис. 13). В цей період проходить припрацювання ріжучого леза інструменту, що супроводжується викришуванням окремих нерівностей і згладжуванням штрихів-слідів заточування ріжучих граней, шорсткість обробки поверхні поступово зменшується. Початковий знос U_n і його протяжність l_n залежать від матеріалу інструменту і виробу, якості заточування, а також від доводки інструменту і режимів різання. $l_n = 500$ (для добре доведеного інструменту) до $l_n = 2000$ м (для заточеного інструменту).

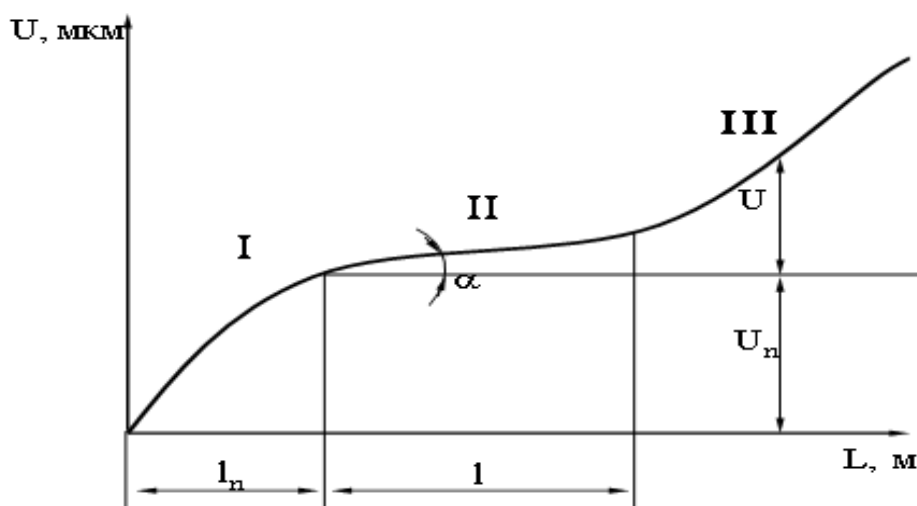


Рис. 13 – Залежність зносу інструменту від довжини шляху різання

Другий період зносу (ділянка II) характеризується **нормальним зносом** інструменту, прямо пропорційним шляху різання. Інтенсивність цього періоду зносу прийнято оцінювати відносним зносом U_g (мкм/км), що визначається за формулою:

$$U_g = 1000U / l = \text{tg}\alpha (1000M_p / M_l),$$

де U – розмірний знос на шляху різання l , мкм;

l – шлях різання в зоні нормального зносу, м;

M_p – масштаб розмірного зносу, мкм/мм;

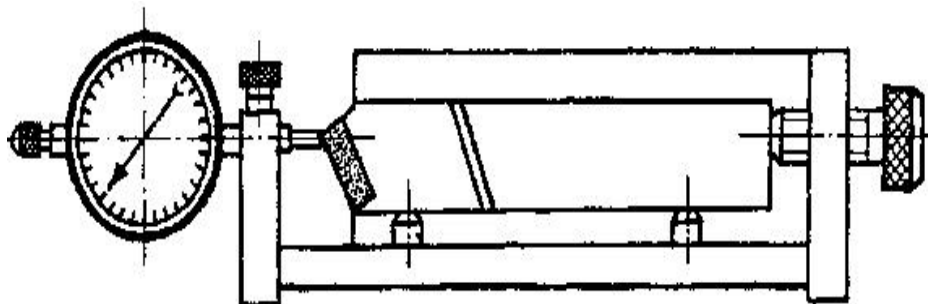
M_l – масштаб шляху різання, м/мм.

U_6 у значній мірі залежить від матеріалу ріжучої частини інструменту і режиму різання, матеріалу заготовки і жорсткості технологічної системи (ВПД). При підвищеній жорсткості технологічної системи, що сприяє зменшенню вібрацій, знос ріжучого інструменту помітно знижується.

Третій період (ділянка III) відповідає найбільш **інтенсивному катастрофічному зносу**, що супроводжується значним викривуванням та поломками інструменту, що є недопустимим для нормальної експлуатації інструмента.

Порядок виконання роботи

1. Установити та закріпити на токарному верстаті заготовку.
2. Встановити різець у вимірювальний пристрій (рис. 14), так щоб ніжка мікронного індикатора дотикалася до вершини різця. Індикатор встановити на нуль і зняти різець з пристрою.



а



б

Рис. 14 – Пристій для вимірювання розмірного зношування різця: а – схема, б – загальний вигляд

3. Встановити і закріпити різець в різцетримачі так, щоб його поздовжня вісь була перпендикулярна осі верстату.
4. Налагодити верстат на заданий режим роботи: $v=150\dots200$ м/хв ($n = \frac{1000v}{\pi D}$, об/хв),
 $S = 0,1\dots0,2$ мм/об, $t=0,1\dots0,2$ мм.
5. Провести обробку заготовки протягом 2 хв. Після чого зупинити верстат, зняти різець і охолодити. Виміряти розмірне зношування різця. Дослід повторити для 5, 10, 15 і 20 хв обробки.
6. Визначити шлях різання для всіх проміжків часу за формулою: $L = vT$, м,
де v – швидкість різання, м/хв;
 T – час роботи різця, хв.
7. Результати оформити у вигляді таблиці 7.

Таблиця 7

Параметр	Час роботи різця T , хв					
	0	2	5	10	15	20
Шлях різання від початку дослідів L , м						
Розмірне зношування різця U , мкм						

8. Побудувати графік залежності розмірного зносу від шляху різання.
9. Визначити відносне зношування різця.

Зміст звіту

1. Найменування роботи.
2. Мета роботи.
3. Найменування верстату, модель.
4. Ріжучий інструмент, марка матеріалу ріжучої частини.
5. Характеристика матеріалу заготовки.
6. Дані про вимірювальні засоби: найменування, ціна поділки.
7. Режими різання: глибина, подача, швидкість.
8. Результати вимірів і розрахунків (табл. 8).
9. Графік залежності розмірного зносу від шляху різання.

10. Розрахунок відносного зносу.

11. Висновок.

Лабораторне заняття №7

СТАТИСТИЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ З ПОБУДОВОЮ КРИВИХ РОЗПОДІЛУ

Мета - практичне ознайомлення з визначенням похибок механічної обробки на основі математичної статистики.

Обладнання, інструменти і матеріали:

1. Зразки заготовок деталей у кількості не менше 50 штук.
2. Вимірювальний інструмент – мікрометр 0–25 (ц/п =0,01мм).
3. Довідники і довідкові посібники.

Теоретичні відомості

У результаті виникнення випадкових похибок для обробки партії заготовок на налагодженому верстаті істинний розмір кожної заготовки є випадковою величиною і може приймати любі значення в межах певного інтервалу. Сукупність значень істинних розмірів заготовок, що оброблені під час незмінних умов і розміщених у порядку зростання з вказуванням частоти повторення цих розмірів або частковостей, називається розподілом розмірів заготовок. Під частковістю розуміють відношення числа заготовок одного розміру до загального числа заготовок в партії. Для різних умов обробки заготовок розсіювання їх істинних розмірів підпорядковується різним математичним законам. В технології машинобудування велике практичне значення мають наступні закони: нормального розподілу (закон Гауса); рівнобедреного трикутника (закон Сімпсона); ексцентриситету (закон Релея); закони рівної ймовірності і функції розподілу, що представляють собою композицію цих законів.

Чисельні дослідження показали, що розподіл дійсних розмірів заготовок, оброблених на налагоджених верстатах, дуже часто підпорядковується закону нормального розподілу. Результуюча похибка обробки здебільшого формується

в результаті одночасної дії великої кількості похибок, що залежать від верстата, пристосування, інструменту і заготовки і які представляють собою взаємно незалежні випадкові величини. Вплив кожної з яких на результуючу похибку має один порядок, тому розподіл результуючої похибки обробки, а значить, і розподіл дійсних розмірів оброблюваних заготовок підпорядковується закону Гауса.

Рівняння кривої нормального розподілу має такий вид:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(L_i - L_{cp})^2}{2\sigma^2}},$$

де σ — середнє квадратичне відхилення.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (L_i - L_{cp})^2 m_i}, \quad L_{cp} = \frac{1}{n} \sum L_i m_i.$$

Криву, що характеризує диференційний закон нормального розподілу, показано на рис. 15.

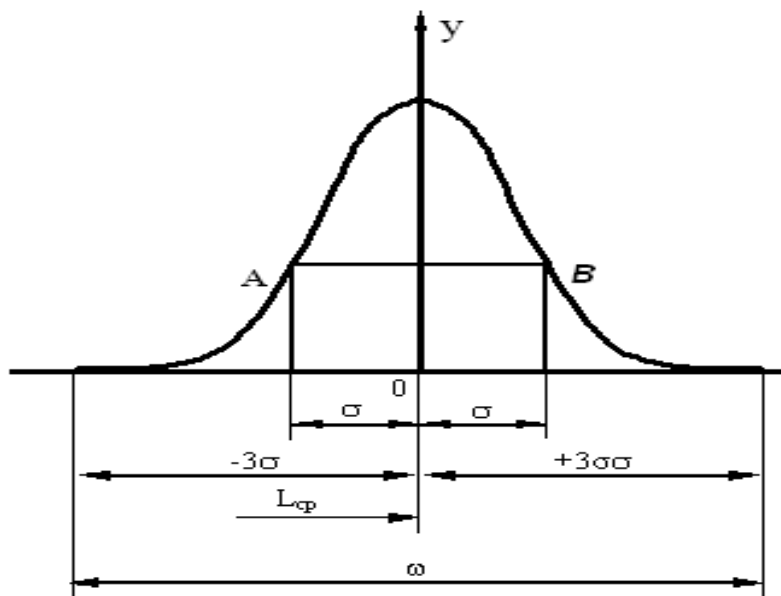


Рис.15

Середнє арифметичне L_{cp} дійсних розмірів заготовок партії характеризує положення центру групування розмірів. Крива симетрична відносно осі Y . Значенням x і $-x$ відповідають однакові ординати y .

Для $L_i = L_{cp}$ крива має максимум, який рівний:

$$y_{\max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,4}{\sigma}.$$

На відстані $\pm\sigma$ від вершини крива має дві точки перетину (А і В).

$$y_A = y_B = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi e}} = \frac{y_{\max}}{\sqrt{e}} \approx 0,6 y_{\max} \approx \frac{0,24}{\sigma}$$

В разі збільшення σ значення ординати y_{\max} зменшується, а поле розсіювання $\omega=6\sigma$ зростає (рис. 16). У результаті цього крива стає більш пологою і низькою, а це свідчить про велике розсіювання розмірів та відповідно меншу точність. Практично під впливом різних причин систематичного і випадкового характеру вершина кривої розподілу може зміщуватись, у відношенні до середини поля, в ту чи іншу сторону, а форма кривої при цьому може змінюватись — вона стає несиметричною (рис. 17).

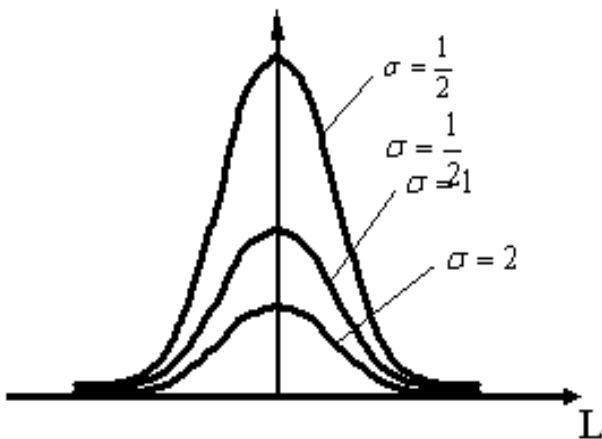


Рис. 16

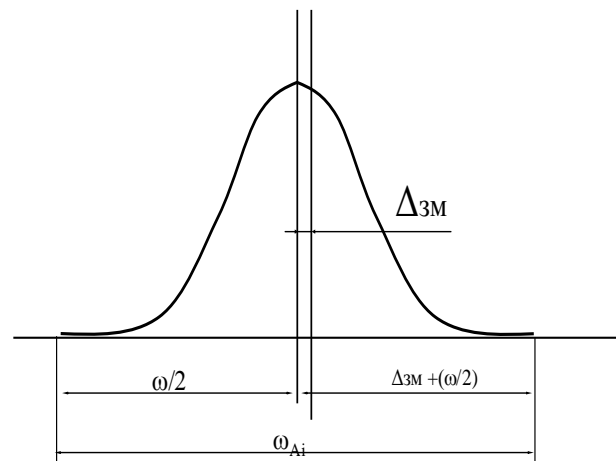


Рис. 17

Δ_{zm} в межах 0 до $\pm 0,5$ визначається дослідницьким шляхом або із таблиць. У проектних випадках, коли умови обробки не відомі приймають $\Delta_{zm} = 0$ і криву рахують симетричною. Закон Гауса в більшості випадків дійсний для механічної обробки заготовок з точністю 8,9,10 квалітетів і грубіше. Під час більш точної обробки розподіл розмірів підпорядковується іншим законам.

Розглянемо приклад побудови кривої нормального розподілу, оскільки вона дає уявлення про похибки обробки. На практиці виміряні значення істинних розмірів заготовок розбивають на інтервали таким чином, щоб ціна

інтервалу (різниця між найбільшим і найменшим розмірами у межах одного інтервалу) була дещо більша ціни поділки шкали вимірювального пристрою. Цим компенсується похибка вимірювання. Побудова кривої здійснюється на підставі даних вимірювань певного перерізу деталей партії за заданим розміром. Так після виміру 50 штук заготовок з дійсними розмірами в межах від 17,19 до 17,27 мм розподіл розмірів цих заготовок може мати вид, представлений нижче в таблиці 8.

Таблиця 8

№ інтервалу	Інтервал L, мм	Частота m, шт	Частковість m/n, %
1	17,19...17,20	2	4
2	17,20...17,21	5	10
3	17,21...17,22	8	16
4	17,22...17,23	11	22
5	17,23...17,24	10	20
6	17,24...17,25	11	22
7	17,25...17,26	1	2
8	17,26...17,27	2	4
		50	100

Розподіл вимірюваних розмірів таких заготовок можна представити у вигляді графіка рис. 18.

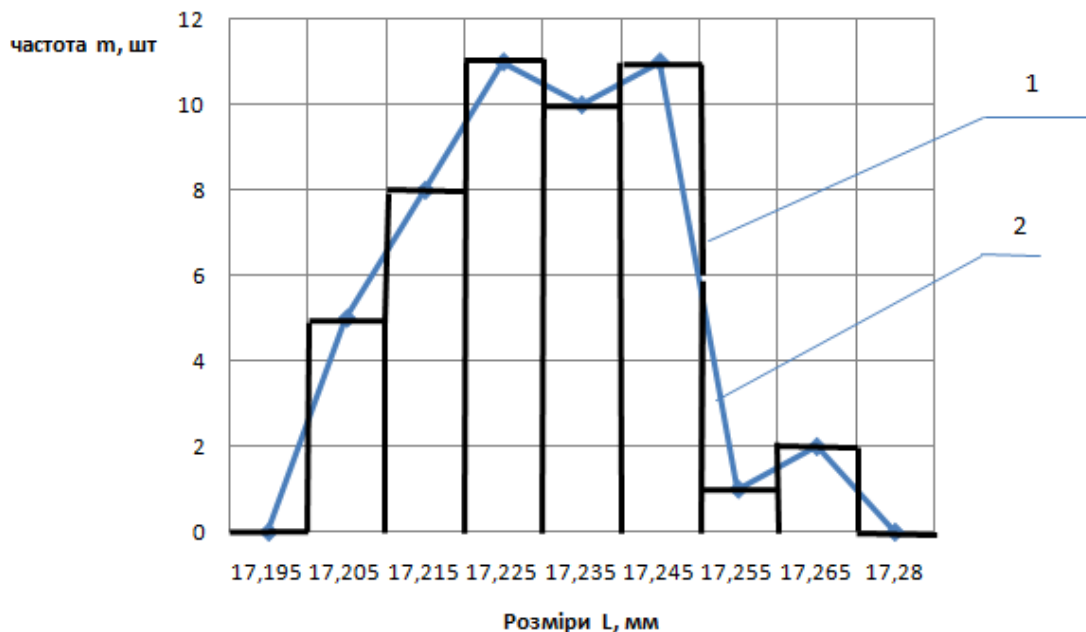


Рис. 18

Під час побудови гістограмного розподілу рекомендується вимірні розміри розбивати не менше ніж на 6 інтервалів для загальної кількості вимірів не менше 50 штук.

По осі абсцис відкладають інтервали розмірів у відповідності з таблицею 9, а по осі ординат відповідні їм частоти m . У результаті побудови отримується ступінчата лінія **1**, яка називається гістограма розподілу. Якщо послідовно з'єднати між собою точки, що відповідають середині кожного інтервалу, то отримується ламана крива **2**, яка носить назву емпірична крива розподілу. Для значної кількості заміряних заготовок і великій кількості інтервалів розмірів ламана емпірична крива наближається по формі до ламаної кривої, що називається кривою розподілу.

Розрахувавши для оброблених деталей величину σ , можна знайти поле розсіювання $\omega=6\cdot\sigma$. Враховуючи, що допуск на обробку $T \leq \omega$, стає можливим вибрати відповідний метод обробки, що забезпечує задану точність. Таким способом можна виконати вирішення й інших технологічних задач, що стосуються обробки різанням.

Порядок виконання роботи

1. За допомогою вимірювального інструменту визначити розміри усіх деталей із партії та записати їх.
2. Встановити із вибірки розмірів найбільший (L_{max}) та найменший (L_{min}) розмір. Визначити розмах вибірки: $R = L_{max} - L_{min}$, мм.
3. Визначити ширину інтервалу a : $a = R/f$, мм ($f=6\dots 8$ – число інтервалів).
4. Величину R розбити на інтервали шириною a . Перший інтервал ставить від L_{min} до $L_{min} + a = L_1$, другий від L_1 до $L_1 + a = L_2$ і т.д. В останній інтервал входить L_{max} .
5. Визначити частоту попадання розмірів m вибірки у кожен інтервал. В інтервали включаються розміри, що входять у даний інтервал включно із початком інтервалу, кінець інтервалу не враховується, оскільки він є початком наступного інтервалу. В останньому інтервалі враховуються усі значення розмірів інтервалу включно із кінцевим розміром.

6. Визначити середнє значення кожного інтервалу за формулою:

$$L_i = (L_{min} + L_{max}) / 2,$$

де L_{min} – початок інтервалу, мм;

L_{max} – кінець інтервалу, мм.

7. Результати розрахунків представити у вигляді таблиці 9.

Таблиця 9

№ групи	Інтервали розмірів, мм	Частота m	Середнє значення розміру інтервалу L_i , мм
		Σ	

8. Визначити середній арифметичний розмір за формулою:

$$L_{cp} = \frac{\Sigma(L_i m)}{n},$$

де L_i – середнє значення кожного інтервалу;

m – частота кожного інтервалу;

n – загальна кількість деталей у вибірці.

9. Визначити середнє квадратичне відхилення для кожного інтервалу за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(L_i - L_{cp})^2 m}{n}}.$$

10. Визначити координати характерних точок теоретичної кривої нормального розподілу розмірів за формулами (табл. 10).

Таблиця 10

Характерна точка	Абсциса	Ордината
<i>Вершина кривої</i>	L_{cp}	$m_i^T = \frac{0,4na}{\sigma}$
<i>Точка перегину</i>	$L_{cp} \pm \sigma$	$m_i^T = \frac{0,24na}{\sigma}$
<i>Характерна точка</i>	$L_{cp} \pm 2\sigma$	$m_i^T = \frac{0,054na}{\sigma}$
<i>Характерна точка</i>	$L_{cp} \pm 3\sigma$	$m_i^T = 0$

11. Побудувати гістограму, криву розподілу розмірів за результатами розрахунків і теоретичну криву нормального розподілу розмірів на одних координатних осях. Вісь ординат частота розмірів, вісь абсцис – інтервали розмірів. На рис. 19 наведено зразок побудови для розглянутого вище прикладу.

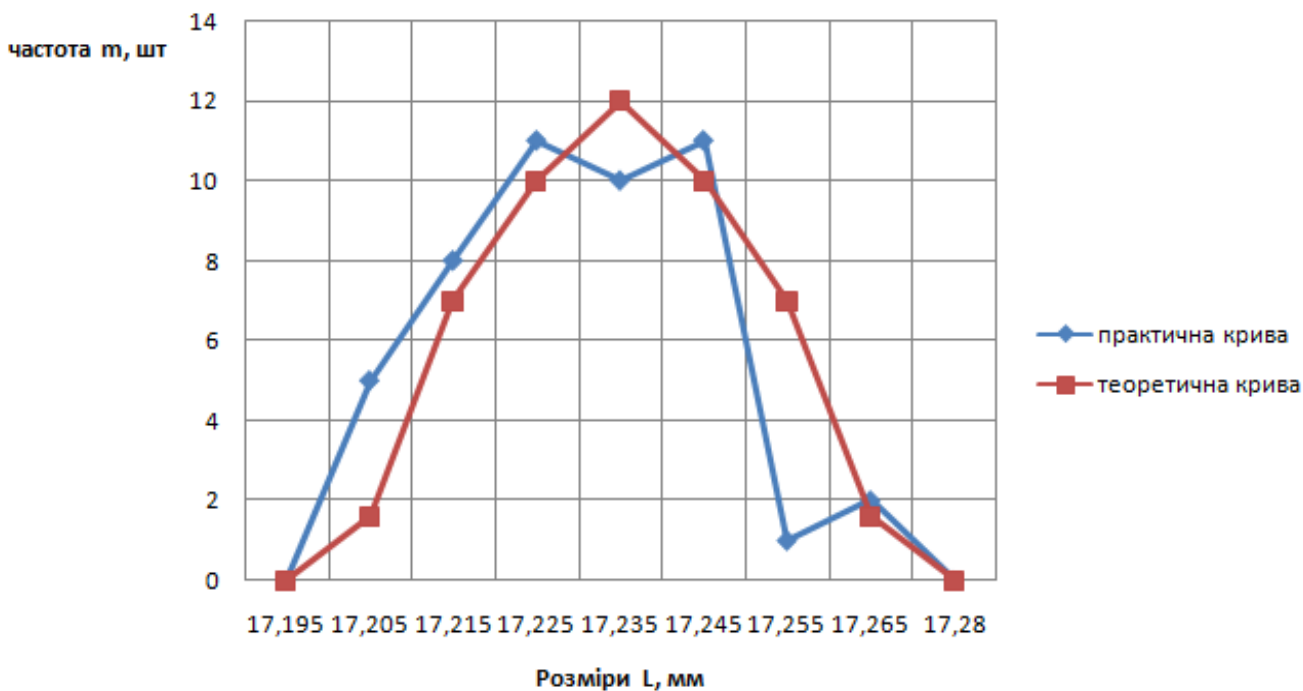


Рис.19

12. Перевірити відповідність емпіричного розподілу теоретичному за критерієм χ^2 :

$$\chi^2 = \frac{\sum(m_i - m_i^T)^2}{\sum m_i^T},$$

де m_i , m_i^T – відповідно емпірична і теоретична частота i -го інтервалу значень L_i .

Розрахунки провести з використанням таблиці 11.

Таблиця 11

Інтервали розмірів, мм		m_i	m_i^T	$ m_i - m_i^T $	$(m_i - m_i^T)^2$
від	до				
			Σ		Σ

При визначенні критерію χ^2 необхідно, щоб частота критерію була не менша п'яти. Якщо в будь-якому інтервалі частота менша п'яти, то його потрібно об'єднати із сусіднім.

Наприклад,

№ інтервалу розмірів	m_i	m_i^T	$ m_i - m_i^T $	$(m_i - m_i^T)^2$
1	1	0,3	1	4
2	2	0,6		
3	8	8	0	0
4	16	17	1	0,05
5	21	21	0	0
6	13	14	1	0,07
7	5	5	0	0
8	1	1	0	0
	$\Sigma 67$	$\Sigma 67$		

Оскільки вибірка для побудови гістограми та закону розподілу мала ($n=67$), то в інтервалах 1, 2, 8 спостерігається число влучань менше 5. Тому під час побудови теоретичного закону розподілу інтервали 1, 2 об'єднують в один.

13. Знайти коефіцієнт k за формулою: $k \geq m-p-1$,

де p – число параметрів теоретичного розподілу (для нормального розподілу $p=2$, $k = m-3$),

m – число порівнювальних частот або дослідів.

За таблицею 12 визначається ймовірність $P(\chi^2)$.

Якщо нерівність $P(\chi^2) > 0,05$ виконується, то емпіричний розподіл відповідає теоретичному і його можна використовувати для аналізу точності обробки. Якщо вказана нерівність не виконується, необхідно використовувати інший закон розподілу.

Зміст звіту

1. Найменування роботи.
2. Мета роботи.
3. Дані про вимірювальні засоби: найменування, ціна поділки.
4. Ескіз заготовки та результати вимірів.

5. Розрахунки інтервалів, частот, середнього і середнього арифметичного розміру інтервалу (табл.10), середнього квадратичного відхилення інтервалу.
6. Розрахунки координати характерних точок теоретичної кривої нормального розподілу розмірів (табл. 10).
7. Побудова гістограми, кривих розподілу розмірів за результатами розрахунків та за характерними точками.
8. Перевірити відповідність емпіричного розподілу теоретичному.
9. Висновок.

Таблиця 12

К	$P(\lambda^2)$									
	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02
1	0,004	0,016	0,064	0,148	0,455	1,074	1,642	2,71	3,84	5,41
2	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,41	3,22	4,60	5,99	7,82
3	0,352	0,584	1,005	1,424	2,37	3,66	4,64	6,25	7,82	9,84
4	0,711	1,064	1,649	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78	9,49	11,67
5	1,145	1,610	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	9,24	11,07	13,39
6	1,635	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59	15,03
7	2,17	2,83	3,82	4,37	6,35	8,38	9,80	12,02	14,07	16,62
8	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51	18,17

ТЕМА: ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ НА ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ

Лабораторне заняття №8

ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТУ ДЛЯ ОБРОБКИ СТУПІНЧАТОГО ВАЛУ

Мета - визначення впливу деформації заготовки під дією сил різання на похибку геометричної форми поверхонь обертання.

Обладнання, інструменти і матеріали:

1. Токарний верстат з трьохкулачковим патроном.

2. Заготовка із Ст 45.
3. Ріжучий інструмент: прохідний різець оснащений пластиною P5M6.
3. Вимірювальний інструмент: мікрометр 0–50 (ц/п = 0,01мм).
4. Довідники і довідкові посібники.

Теоретичні відомості

Жорсткістю j технологічної системи називають здатність цієї системи створювати опір дії деформуючих її сил.

Для визначення похибки обробки, зв'язаних з пружинними віджаттями технологічної системи, жорсткість цієї системи повинна отримати кількісне вираження. Кількісно під жорсткістю j , технологічної системи розуміють відношення нормальної складової P_y , кН(кгс), сили різання до сумарного зміщення y м, (мм), леза ріжучого інструмента відносно оброблювальної поверхні заготовки, вимірюваному в напрямку нормалі до цієї поверхні, тобто

$$j = P_y / y, \text{ кН/м (кгс/мм)},$$

$$y = y_{\text{верстата}} + y_{\text{пристрою}} + y_{\text{заготовки}} + y_{\text{інструменту}}.$$

Для визначення j переміщення завжди вимірюється в напрямку, перпендикулярному до оброблювальної поверхні і в розрахунок вводиться нормативна складова P_y зусилля різання. Однак в цьому випадку одночасно враховується вплив на y і інших складових сили різання (P_z і P_x). Дослідження показали, що пружне зміщення y , що розраховується тільки в умовах дії P_y , завжди більше (а відповідно, чисельне значення j системи менше), ніж для визначення його з врахуванням одночасної дії складових P_z і P_x .

Недостатня жорсткість пружної системи ВПД призводить до появи відхилень від заданої форми деталі. Так, для обробки валиків на токарному верстаті в разі недостатньої жорсткості окремих елементів утворюються відхилення форми у вигляді прямого й зворотного конусів, а також вигнутості для нежорстких передньої та задньої бабки верстата і бочкоподібність для нежорсткої заготовки (рис. 20). Крім того, недостатня жорсткість обумовлює появу вібрації, знижує продуктивність праці та якість обробки. Отже, зростання

жорсткості системи ВПД сприяє підвищенню точності обробки та продуктивності праці.

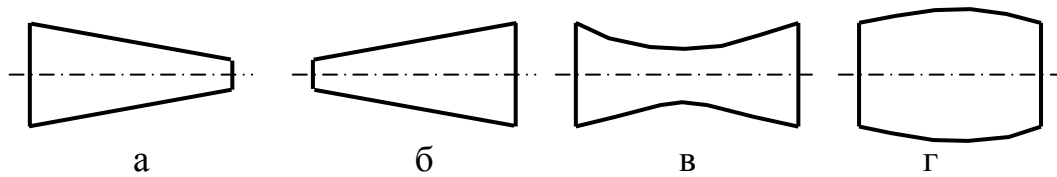


Рис. 20 – Відхилення від форми заготовки для недостатньої жорсткості окремих елементів системи ВПД: а) – передньої бабки; б) – задньої бабки; в) – передньої і задньої бабки; г) – заготовки

Методи визначення жорсткості верстатів до даного часу зберегли емпіричний характер, не дозволяє для сучасного рівня знань встановити її розрахунковим шляхом. Є два методи визначення жорсткості: статичний і виробничий метод.

Більш точні значення жорсткості, що є приємливі для розрахунків точності обробки, дає **виробничий метод**. На верстаті, що досліджується, в патроні затискають заготовку і на ній проточують два уступи з перепадом діаметрів 2...3 мм. Діаметри обох уступів вимірюють і результати заносять у журнал вимірів, після чого різець встановлюють на розмір із розрахунку обробки заготовки „під один розмір” діаметром, меншим на 2мм діаметра першого уступу ($t=1\text{мм}$) і проводять обточування обох уступів із одного установка різця.

Після обточування гладкий циліндр не отримується, так як під час обробки першого уступу віджим різця буде дещо менший, ніж під час обробки другого уступу. Валик отримується ступінчатим тільки з меншим перепадом розмірів між уступами.

Ці уступи вимірюють. Різниця розмірів діаметрів до обробки розглядається як похибка заготовки $\Delta_{\text{вих.заг}}$, а уступи, що отрималися – як похибка після обробки $\Delta_{\text{обр.заг}}$.

Співвідношення цих похибок визначає величину уточнення $E = \frac{\Delta_{\text{вих.заг}}}{\Delta_{\text{обр.заг}}}$ (рис. 21).

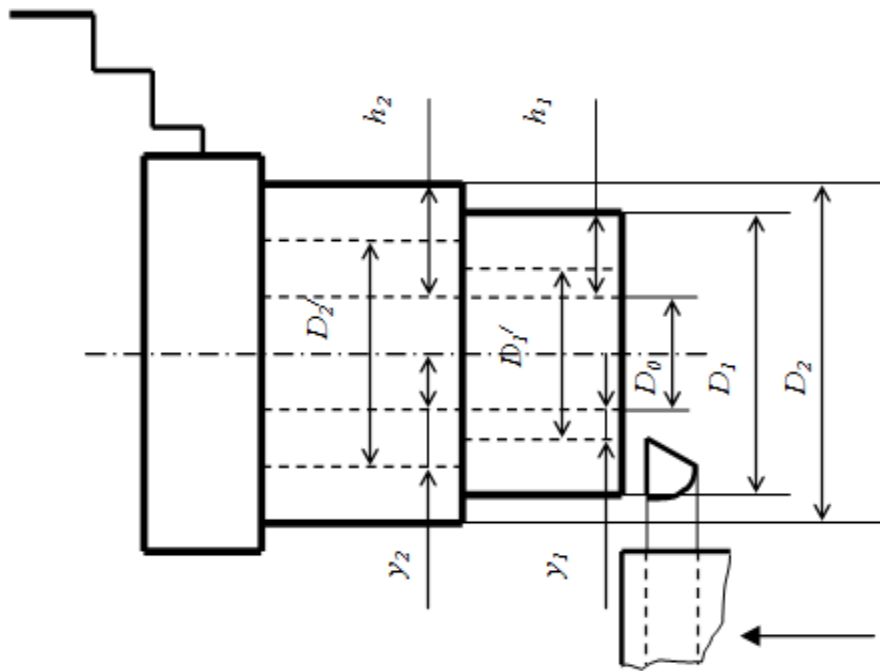


Рис. 21 – Схема уточнення за діаметральними розмірами шийок валу

Враховуючи, що $h_2 = \frac{D_2 - D_0}{2}$ мм, $h_1 = \frac{D_1 - D_0}{2}$ мм,

а $y_1 = \frac{D'_1 - D_0}{2}$ мм, $y_2 = \frac{D'_2 - D_0}{2}$ мм,

то $y_2 - y_1 = \frac{D'_2 - D'_1}{2}$ мм, а $h_2 - h_1 = \frac{D_2 - D_1}{2}$ мм.

Тоді із формули жорсткості $j = \frac{h_2 - h_1}{y_2 - y_1} \lambda C_s^{0.75}$ кг/мм.

Підставивши значення $h_2 - h_1$ і $y_2 - y_1$ в цю формулу, отримаємо:

$$j = \frac{D_2 - D_1}{D'_2 - D'_1} \lambda C_s^{0.75} \text{ кг/мм,}$$

де $\frac{D_2 - D_1}{D'_2 - D'_1} = E$ – уточнення у загальній формулі визначення жорсткості

верстата;

$\lambda=0,4$ – коефіцієнт, що характеризує відношення P_y/P_z і залежить від геометрії різця, стану ріжучої крайки і механічних властивостей оброблювального матеріалу;

C – коефіцієнт, що залежить від механічних властивостей оброблювального матеріалу, кута різання (табл. 13).

Таблиця 13 – Значення коефіцієнта C

P_y/P_z	$\sigma_b, \text{кг/мм}^2$				
	55	65	75	85	125
0,4	1,52	1,40	1,25	1,13	1,06

Порядок виконання роботи

1. Установити заготовку в патроні та закріпити.
2. Виміряти дві шийки заготовки мікрометром.
3. Встановити на верстаті задані число обертів шпинделя при $v=40$ м/хв і подачу $s=0,1$ мм/об.
4. Включити обертання шпинделя і встановити різець на глибину по меншій шийці.
5. Проточити дві шийки за один прохід.
6. Після проточування обох шийок вимкнути верстат і заміряти діаметральні розміри мікрометром.
7. За результатами вимірювань визначити жорсткість верстату.

Зміст звіту

1. Найменування роботи.
2. Найменування верстату, модель.
3. Ескіз схеми встановлення для визначення жорсткості верстату.
4. Дані про вимірювальні засоби: найменування, ціна поділки.
5. Режими різання: глибина, подача, швидкість.
6. Результати вимірів і розрахунок сумарної жорсткості верстату.

ТЕМА: РОЗМІРНІ ЗВ'ЯЗКИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ В МАШИНОБУДУВАННІ

Лабораторне заняття № 9

ВІДПРАЦЮВАННЯ НА ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ СКЛАДАЛЬНОЇ ОДИНИЦІ

Мета - оволодіння методикою відпрацювання на технологічність складальної одиниці.

Обладнання, інструменти і матеріали:

1. Складальні креслення вузлів.
2. Специфікації до складальних креслень вузлів.
3. Нормативні дані.

Теоретичні відомості

Технологічність конструкції складальної одиниці – це є сукупність властивостей, які виражаються у можливих оптимальних затратах праці, засобів, матеріалів, часу при технічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації та ремонтів і порівнянні з однотипними конструкціями. Того ж самого призначення під час забезпечення встановлених значень показників якості при прийнятих умовах (виготовлення, експлуатації і ремонту). До цих умов відносять – тип виробництва, його спеціалізацію і організацію, річна програма, повторюваність випуску, а також технологічний процес, що використовуються, особлива увага приділяється виробничій технологічності конструкції, що передбачає такі вимоги до оформлення конструкції, це можливість складання машин з однотипних складальних одиниць без повторного розбирання, максимальне використання стандартних і уніфікованих деталей та одиниць, можливість зниження трудомісткості, скорочення протяжності циклу вузлового і загального складання.

Стандартизація – це регламентування конструкції та типорозмірів, які широко використовуються для машинобудівних деталей, вузлів і агрегатів.

Степінь стандартизації:
$$\eta_{cm} = \frac{N_{cm}}{N} \cdot 100\% ,$$

де N_{ct} – число стандартних деталей;

N – загального число деталей у виробі.

Уніфікація – складається з багатократного використання в конструкції одних і тих же елементів. Це сприяє скороченню номенклатури деталей, зменшенню вартості виготовлення спрощенню експлуатації та ремонту. Уніфікація конструктивних елементів дозволяє скоротити номенклатуру елементів. Уніфікації підлягають посадочні з'єднання, різьбові з'єднання, шпонкові і шліцові з'єднання, зубчаті зачеплення і т.д. Уніфікація може бути внутрішньою і зовнішньою. Внутрішня – це коли в межах одного виробу, а зовнішня – це коли елементи запозичені з інших вузлів.

Степінь уніфікації оцінюється коефіцієнтом уніфікації. У загальному випадку це відношення кількості уніфікованих деталей до кількості усіх деталей:

$$\eta_{ун} = \frac{z_{ун}}{z} \cdot 100\% .$$

За масою – маса уніфікованих деталей до загальної маси деталей:

$$\eta_{ун} = \frac{m_{ун}}{m} \cdot 100\% .$$

За вартістю – вартість уніфікованих деталей до загальної вартості виробу:

$$\eta_{ун} = \frac{\sum C_{ун}}{C} \cdot 100\% .$$

Недоліком першого показника є те, що він не враховує питомих значень уніфікованих деталей конструкції машини. Другий показник враховує долю маси уніфікованих деталей в загальній масі машин. Третій показник є найбільш правильним, але його визначення більш складне ніж попередніх.

Степінь внутрішньої уніфікації оцінюється такими показниками:

$$1) \text{ коефіцієнт повторювання: } \eta_n = \left(1 - \frac{N_n}{N_o} \right) \cdot 100\% ,$$

де N_n – число найменувань деталей виробу;

N_o – загальне число деталей виробу.

Визначається за специфікацією і характеризує досконалість конструкції зі сторони скорочення номенклатури деталей (40...60% у хороших конструкціях).

Для диференціальної оцінки використовують такі показники:

1) степінь уніфікованих оригінальних деталей: $\eta_{\phi} = \left(1 - \frac{N_{mp.piz}}{N_{piz}}\right) \cdot 100\%$;

2) степінь уніфікації елементів конструкції: $\eta_{el} = \left(1 - \frac{N_{mp}}{N_{el}}\right) \cdot 100\%$;

де $N_{тр}$ – число прийнятих типорозмірів даних елементів;

$N_{ел}$ – загальне число даних елементів у виробі.

Наприклад: степінь уніфікації різей $\eta_{риз} = \left(1 - \frac{N_{mp.piz}}{N_{риз}}\right) \cdot 100\%$

в чисельнику число типорозмірів різей, а в знаменнику загальне число різьбових з'єднань.

Наприклад: степінь уніфікації елементів кріплення $\eta_{кр} = \left(1 - \frac{N_{mp.кр}}{N_{кр}}\right) \cdot 100\%$

в чисельнику число елементів кріплення, а в знаменнику загальне число деталей кріплення у виробі.

Порядок виконання роботи

1. Визначити степінь стандартизації вузла.
2. Визначити степінь уніфікації вузла: за масою, за вартістю.
3. Визначити степінь внутрішньої уніфікації (за специфікацією).
4. Виконати диференціальну оцінку технологічності за показники: ступенем уніфікованих оригінальних деталей, ступенем уніфікації елементів конструкції.

Зміст звіту

1. Найменування роботи.
2. Початкові дані для аналізу вузла.
3. Розрахунок кількісних показників технологічності вузла.
4. Висновки.
- 5.

Приклад виконання лабораторної роботи

Для зручності проведення розрахунків коефіцієнтів технологічності конструкції вузла складається таблиця 15 на основі виданого завдання (табл. 14).

Коефіцієнт використання стандартних елементів у вузлі:

$$K_{cm} = \frac{N_{cm}}{N_{заг}} \times 100 = \frac{36}{48} \times 100 = 75\%.$$

Коефіцієнт уніфікації:

$$\eta_{ун} = \frac{Z_{ун}}{Z_{заг}} \times 100 = \frac{42}{48} \times 100 = 87,5\%.$$

Степінь внутрішньої уніфікації:

1. Коефіцієнт повторювання

$$\eta_n = \left(1 - \frac{N_n}{N_o}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{10}{48}\right) \times 100 = 79,2\%.$$

2. Степінь уніфікації оригінальних деталей:

$$\eta_{ун.ор} = \frac{N_{ун.ор}}{N_{ор}} \times 100 = \frac{6}{12} \times 100 = 50\%.$$

3. Степінь уніфікації елементів конструкції:

а) степінь уніфікації різьб:

$$\eta_{різ} = \left(1 - \frac{N_{тр.різ}}{N_{різ}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{2}{12}\right) \times 100 = 94,4\%.$$

б) степінь уніфікації деталей кріплення:

$$\eta_{кр} = \left(1 - \frac{N_{тр.кр}}{N_{кр}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{6}{36}\right) \times 100 = 83,3\%$$

Таблиця 14

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Назва	Кіл.	Пр-ка
				<u>Документація</u>		
A1			0501.80.03.Д.06.01.00СК	Складальне креслення		
				<u>Складальні одиниці</u>		
A4		1	0501.80.03.Д.06.01.10	Розподільувач	1	
A4		2	0501.80.03.Д.06.01.20	Пневмоциліндр	1	
				<u>Деталі</u>		
A2		3	0501.80.03.Д.06.01.01	Корпус	1	
A2		4	0501.80.03.Д.06.01.02	Кришка	1	
A3		5	0501.80.03.Д.06.01.03	Призма	2	
A2		6	0501.80.03.Д.06.01.04	Важіль	1	
A4		7	0501.80.03.Д.06.01.05	Палець	1	
A4		8	0501.80.03.Д.06.01.06	Болт	2	
A4		9	0501.80.03.Д.06.01.07	Гайка	2	
A4		10	0501.80.03.Д.06.01.08	Втулка	1	
A4		11	0501.80.03.Д.06.01.09	Гвинт	1	
				0501.80.03.Д.06.01.00		
	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		
<i>Розробив</i>		<i>Петрів</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Гринюк</i>			A	1
<i>Н. контр</i>						2
<i>Затверд.</i>					ЛНТУ	
				Кондуктор		

Продовження табл. 14

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Назва	Кіл.	Пр-ка
				<u>Стандартні вироби</u>		
				Болт М12х1,25. 6dх60		
				109. 40X.016 DIN 960	8	
				Болт М16х70.58 DIN 931	4	
				Гайка М12х1,25.6Н.12		
				40X.016 DIN 934	8	
				Гайка М16.5 DIN 934	4	
				Шайба 12.01.019 DIN 125	8	
				Шайба 16.01.019 DIN 125	4	
				0501.80.03.Д.06.01.00		Арк.
						2

Таблиця 15

№	Найменування деталей	Кількість деталей у виробі					
		Загальна	Уніфікованих	Стандартних	Оригінальних	Уніфікованих оригінальних	Деталі кріплення
1.	Корпус	1	-	-	1	-	-
2.	Кришка	1	-	-	1	-	-
3.	Призма	2	2	-	2	2	-
4.	Важіль	1	-	-	1	-	-
5.	Палець	1	-	-	1	-	-
6.	Втулка	1	-	-	1	-	-
7.	Гвинт	1	-	-	1	-	-
8.	Болт М12х1,25	8	8	8	-	-	8
9.	Шайба 16.01.019	4	4	4	-	-	4
10.	Гайка М16.5	4	4	4	-	-	4
11.	Болт	2	2	-	2	2	-
12.	Гайка	2	2	-	2	2	-
13.	Болт М16х70,58	4	4	4	-	-	4
14.	Гайка М12х1,25	8	8	8	-	-	8
15.	Шайба 12.01.019	8	8	8	-	-	8
16.	Всього	48	42	36	12	6	36

Результати розрахунків представляємо у вигляді таблиці 16.

Таблиця 16

№	Найменування деталей	Коефіцієнт стандартизації, %	Коефіцієнт уніфікації, %	Коефіцієнт повторюваності, %	Степінь уніфікації оригінальних деталей, %	Степінь уніфікації елементів конструкції, %	
						різьб	деталей кріплення
1.	Болти	25	29,2				
2.	Гайки	25	29,2				
3.	Шайби	25	25				
4.	Призми	–	4,1				
5.	Загальний	75	87, 5	79, 2	50	94, 4	83, 3

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЛАДНАННЯ ТА ВИМІРЮВАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНИЙ ВЕРСТАТ 16K20



Технічні характеристики верстату 16K20 (1K62)	Параметри
Діаметр оброблення над станиною, мм	400
Діаметр оброблення над супортом, мм	220
Відстань між центрами	1000 / 1500
Клас точності за ГОСТ 8-82	H
Розмір внутрішнього конуса в шпинделі	Морзе 6 M80*
Кінець шпинделя за ГОСТ 12593-72	6K
Діаметр наскрізного отвору в шпинделі, мм	55
Максимальна маса заготовки, закріпленої в патроні, кг	300
Максимальна маса деталі, закріпленої в центрах, кг	1 300
Число ступенів частот зворотного обертання шпинделя	12
Межі частот прямого обертання шпинделя, хв-1	12,5 - 2 000
Межі частот зворотного обертання шпинделя, хв-1	19 - 2 420
Число ступенів робочих подач - повздожніх	42
Число ступенів робочих подач - поперечних	42
Межі робочих подач - повздожніх, мм/об.	0.7 - 4,16
Межі робочих подач - поперечних, мм/об.	0,035-2,08
Число нарізаних метричних різьб	45
Число нарізаних дюймових різьб	28
Число нарізаних модульних різьб	38
Число нарізаних пітчевих різьб	37
Число нарізаних різьб - Архімедової спіралі	5
Найбільший крутний момент, кНм	2
Найбільше переміщення пінолі, мм	200
Поперечний зсув корпусу, мм	±15
Найбільший перетин різця, мм	25
Потужність електродвигуна головного приводу	10 кВт
Потужність електродвигуна приводу швидких переміщень супорта, кВт	0,75 або 1.1
Потужність насоса охолодження, кВт	0,12
Габаритні розміри верстата (Д x Ш x В), мм	2 812 / 3 200 x 1 166 x 1 324
Маса верстату, кг	3 035

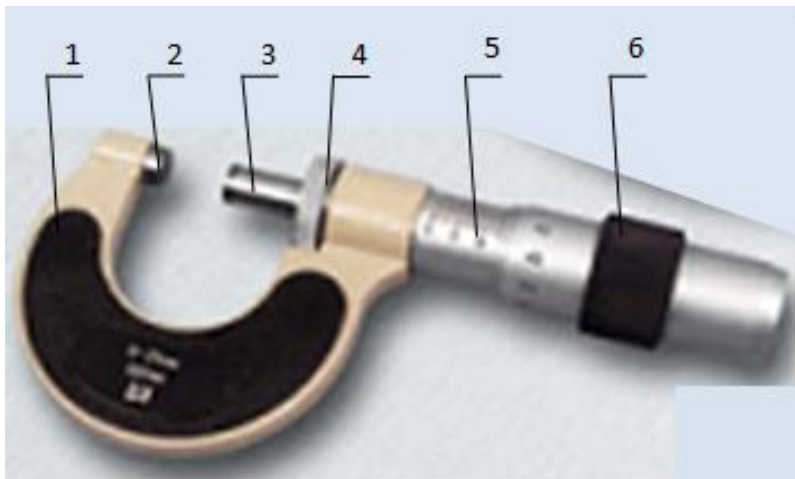
ВЕРТИКАЛЬНИЙ КОНСОЛЬНО-ФРЕЗЕРНИЙ ВЕРСТАТ 6P12



■ Технічна характеристика вертикально-фрезерного верстата 6P12, 6P13

Основні параметри	6P12	6P13
Розміри робочої поверхні столу, мм	1250x320	1600x400
Найбільше переміщення столу, мм:		
подовжнє механічне	800	1000
подовжнє ручне	800	1000
поперечне механічне	240	320
поперечне ручне	250	300
вертикальне механічне	410	410
вертикальне ручне	420	420
Найменша та найбільша відстань від торця шпинделя до столу, мм	30-450	30-500
Відстань від осі шпинделя до вертикальних напрямних станини, мм	350	420
Переміщення столу за один поділ лімба, мм	0,05	0,05
Найбільше осьове переміщення пінолі шпинделя, мм	70	80
Габарити верстата:		
довжина	2305	2560
ширина	1950	2260
висота	2020	2120
Вага верстата, кг	3120	4200

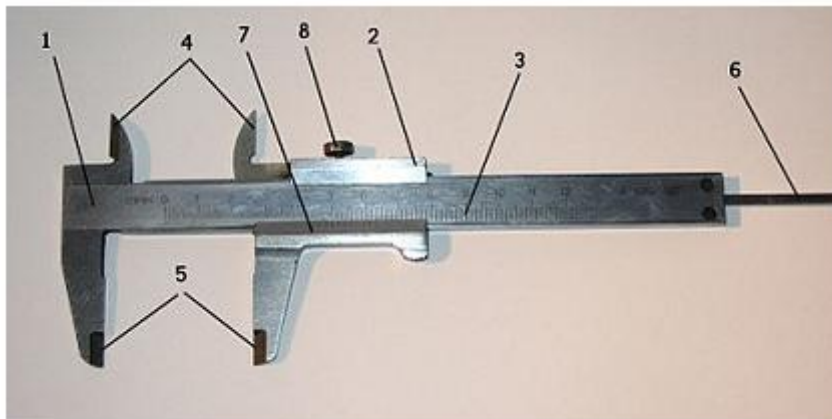
МІКРОМЕТР ГЛАДКИЙ ТИПУ МК



1 – скоба, 2 – п'ятка, 3 – ятка, 3 – мікрометричний гвинт, 4 – стопор, 6 – тріскачка (фрикціон)

Ціна поділки мікрометра мікрометра $s=0,01$ мм. Приклад позначення гладкого мікрометру з діапазоном вимірювань 25-50 мм 1-го класу точності: Мікрометр МК 50-1 ДСТУ ГОСТ 6570:2009.

ШТАНГЕНЦИРКУЛЬ



1 – штанга, 2 – рухома рамка, 3 – шкала штанги, 4 – губки для внутрішніх вимірювань, 5 – губки для зовнішніх вимірювань, 6 – лінійка глибиноміру, 7 – шкала ноніусу, 8 – гвинт для затиску рамки

Ціна поділки штангенциркулів $s = 0,1, 0,05$ мм (з ноніусом), $s = 0,1, 0,05, 0,02$ мм (з круговою шкалою відліку), крок дискретності цифрового пристрою відліку – $0,01$ мм. Приклад умовного позначення штангенциркуля типу II з діапазоном вимірювань 0-250 мм та значенням відліку по ноніусу $0,05$ мм: Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ДСТУ ГОСТ 166:2009.

НАБІР ЗРАЗКІВ ШОРСТКОСТІ



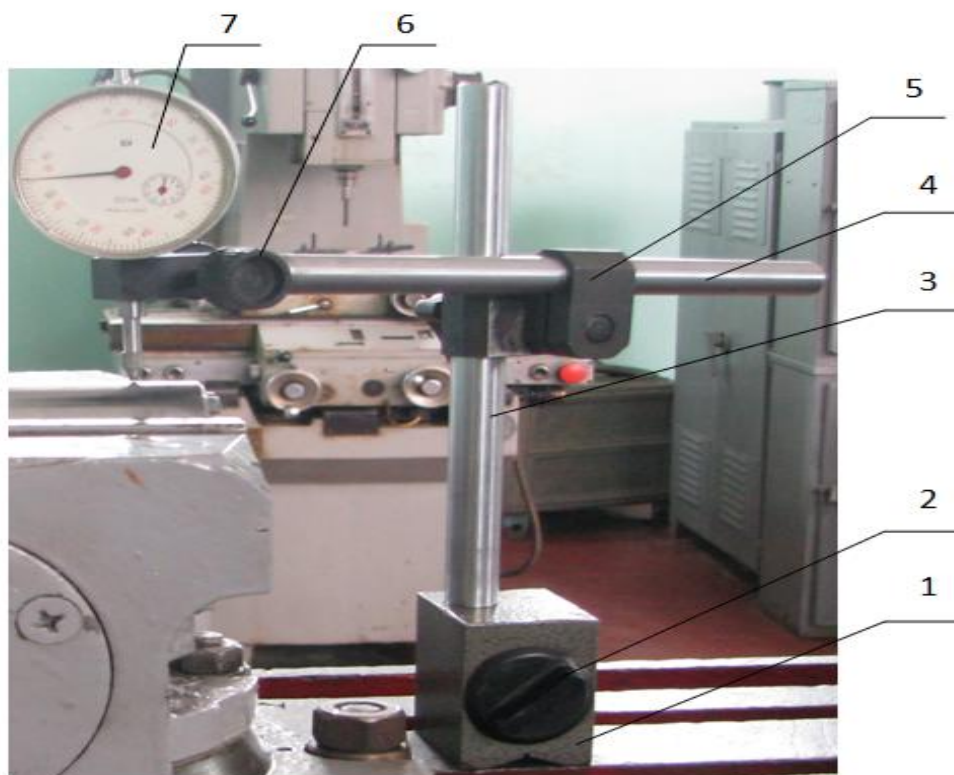
ІНДИКАТОР ГОДИННИКОВОГО ТИПУ



1 – корпус, 2 – циферблат, 3 – ободок, 4 – стрілка, 5 – покажчик, 6 – гільза, 7 – вимірювальний стрижень, 8 – вимірювальний наконечник, 9 – стопор, 10 – головка вимірювального стрижня

Ціна поділки індикаторів індикаторів $s = 0,01$ мм, $0,001$ мм. Приклад умовного позначення індикатора виконання ИЧ з діапазоном вимірювань 0-2 мм, звичайного класу точності 0: Індикатор ИЧ02 кл.0 ДСТУ ГОСТ 577:2009.

ІНДИКАТОРНИЙ ШТАТИВ



1 - основа, 2- стопорна гайка, 3 – колонка, 4 –висувна штанга, 5 –рухома колодка, 6 – гвинт, 7 – індикаторна головка

ПРИЛАДИ ДЛЯ ХРОНОМЕТРАЖНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ



Секундомір механічний "Агат"СОПр-2а-2-010 (однокноповий)

Клас точності – 2

Допустима похибка за 30 хв,с $\pm 1,0$



Таймер цифровий із секундоміром
ТФА

Максимальний час підрахунку 100 хв

Діапазон: до 99 хв 59 с

НАБІР ЕЛЕКТРОННОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ



Штангенциркуль електронний 150мм
TOPUL IACC1150
Робочий діапазон 0-150 мм
Довжина губок 40 мм
Крок вимірювання 0,02 мм



Мікрометр 0-25 мм з цифровим дисплеєм
YT-7205E-2
Діапазон вимірювання: 0-25 мм
Точність : $\pm 0,002$ мм

T38

Технологічні основи машинобудування [Текст]: Методичні вказівки до лабораторних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Галузеве машинобудування» галузі знань 6 Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності G11 Машинобудування (за спеціалізаціями) усіх форм навчання / уклад. Т.Н. Гальчук. – Луцьк: ЛНТУ, 2026. – 54 с.

Методичне видання до лабораторних занять з дисципліни «Технологічні основи машинобудування»: містять теоретичні відомості, порядок виконання, вимоги до змісту звіту, довідникові матеріали.

Призначене для здобувачів вищої освіти спеціальності спеціальності G11 Машинобудування (за спеціалізаціями) освітньої програми «Галузеве машинобудування».

Комп'ютерний набір

Т.Н. Гальчук

Редактор

Т.Н. Гальчук

Підп. до друку 13.11. 2025р.
Формат 60x84/16. Папір офс. Гарнітура Таймс.
Ум. друк. арк. 3,25. Тираж 50 прим. Зам...

Інформаційно-видавничий відділ
Луцького національного технічного університету
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75
ІВВ ЛНТУ