

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторної роботи
«Сили різання при точінні»
з дисциплін
«Теорія різання»,
«Основи теорії різання матеріалів та ріжучий інструмент»

Харків

2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторної роботи
«Сили різання при точінні»
з дисциплін
«Теорія різання»,
«Основи теорії різання матеріалів та ріжучий інструмент»

для студентів технічних спеціальностей

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол №1 від 13.02.2025 р.

Харків
НТУ «ХП»

2025

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Сили різання при точінні» з дисциплін «Теорія різання», «Основи теорії різання матеріалів та ріжучий інструмент» для студентів технічних спеціальностей / Уклад.: В. М. Доля. – Харків: НТУ «ХП», 2025. – 14 с.

Укладач В. М. Доля

Рецензент Кобець О.В.

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування» ім. М. Ф. Семка

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Мета роботи.....	5
2. Зміст роботи.....	5
3. Методика проведення експерименту.....	5
4. Графоаналітична обробка експериментальних даних.....	7
5. Охорона праці та техніка безпеки.....	10
6. Порядок виконання робота.....	10
7. Завдання для самостійного виконання роботи.....	12
8. Зміст звіту.....	12
Питання для самоперевірки.....	13
Література.....	13

Вступ

Спеціалістам у галузі машинобудування необхідно знати поняття та принципи сили різання. Для процесу різання до ріжучого інструменту необхідно додати деяку силу, яка долає опір матеріалів для утворення стружки. Сила опору є результатом впливів різних сил: пластичної та пружної деформації, тертя стружки по передню та задню поверхні, а також по поверхню, що обробляється.

Ще у 1893 році в своїй монографії «Робота та зусилля, необхідні для відділення металевих стружок», ад'юнкт-професор Харківського технологічного інституту К.О.Зворикін писав: «У науковому ж відношенні питання про роботу, необхідної для зняття стружок, питання щодо залежності роботи від поперечного перерізу стружки та інші залишаються досі не цілком вирішеними, і вимагають відповіді багато нероз'яснених явищ і протиріччя спостерігачів». Всі свої досліді К.О.Зворикін проводив на стругальному верстаті. Для вимірювання зусиль різання безпосередньо на різці він вперше застосував сконструйований ним гідравлічний динамометр, який був виготовлений у майстернях при фізичному кабінеті Харківського технологічного інституту. Принцип побудови такого приладу їм було запропоновано на початку 1890 року. Після К.О.Зворикіна гідравлічні динамометри міцно увійшли до практики досліджень динаміки сил різання. Експериментальним шляхом він встановив вплив товщини шару, що знімається, та кута різання на питомий тиск різання і довів, що витрата роботи відділення одиниці маси стружки залежить від величини параметрів стружки. Глибокі дослідження К.О.Зворикіна актуальні за своєю методикою та концентрацією наукових ідей вже багато років. Неодноразово протягом цього періоду в різних країнах вчені приходили до тих самих результатів.

Визначення сили різання на токарному верстаті має важливе значення, так як при множенні її на радіус оброблюваної деталі ми отримуємо величину, що показує, наскільки за даних умов роботи навантажений верстат і чи небезпечно це навантаження для найслабших ланок верстата. При множенні сили різання на швидкість різання знаходимо потужність, необхідну для виконання обробки. Порівнюючи цю потужність із дійсною потужністю верстата, можна судити про те, наскільки раціонально використовується верстат.

1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчення та експериментальна перевірка закономірностей зміни сили різання при точінні залежно від елементів режиму різання.

2. ЗМІСТ РОБОТИ

1. Освоєння методики експериментального визначення складових сили різання під час точіння.
2. Ознайомлення з обладнанням та приладами, які застосовуються при вимірюванні складових сили різання.
3. Набуття навичок проведення експерименту.
4. Графоаналітична обробка експериментальних даних; розрахунок складових сили різання за довідниками.
5. Оформлення звіту.
6. Порівняння результатів експериментального визначення сили різання зі своїми значеннями, отриманими при розрахунках.
7. Аналіз закономірностей зміни складових сили різання, залежно від елементів режиму різання.

3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Зв'язок між змінними умовами різання і складовими сили P_z , P_y і P_x зазвичай знаходять експериментально. Прилади, призначені для вимірювання складових сили різання, називають динамометрами.

Експерименти з визначення складових сили різання виконуються на токарно-гвинторізному верстаті 16К20. Замість різцетримача на верстаті встановлено динамометр із закріпленим у ньому різцем.

Існує велика кількість різних конструкцій динамометрів. За принципом дії вони поділяються на гідравлічні, механічні та електричні. Найбільш сучасними є електричні динамометри, оскільки вони малоінерційні, чутливі та компактні. Завдяки цьому електричні динамометри забезпечують ви-

Перетворювачі з'єднані між собою таким чином, що сигнал на виході вимірювальної схеми є алгебраїчною сумою реакції опор. Це забезпечує незалежність показань динамометра від вильоту різця.

Під впливом складових сили різання пружний елемент та приклеєний до нього тензодатчик деформуються. Це викликає зміну сили струму в електричному ланцюзі. Для посилення електричного сигналу на виході вимірювальної схеми між динамометром 1 (рис. 3.2) і щитом приладів 3 з гальванометрами або осцилографом 4 передбачений електронний підсилювач 2. Завдяки підсилювачу динамометри можуть мати більшу жорсткість пружних ланок, що підвищує загальну жорсткість і вібростійкість динамометрів і зменшує їх габарити. Розташування пружних опор і схема наклеювання датчиків майже повністю усувають вплив кожної сили на датчики, що сприймають дію інших сил.

Динамометри не дозволяють визначити безпосередньо складові сили різання; їх показання відповідають деформаціям, пропорційним чинній силі. Тому перед роботою необхідно зробити тарування динамометра. Тарування полягає в тому, що динамометр навантажують у напрямку складових сили різання спочатку зростаючими, а потім зменшуючими силами, які відомі. Покази динамометра, відповідні певним складовим сили, реєструються. На основі цих даних по середній лінії навантаження і розвантаження будують тарувальний графік, яким в подальшому користуються при розшифровці показань динамометра.

Тарувальні графіки динамометра будують у наступних координатах: по горизонталі відкладають показання динамометра в одиницях відлікового приладу в мкА, а по вертикалі – величину чинної складової сили в Н.

4. ГРАФОАНАЛІТИЧНА ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

Графоаналітична обробка полягає у побудові графіків залежностей складових сили різання від елементів режиму різання t , S , V , а також у визначенні постійної C_p та показників ступенів x_p , z_p , y_p із рівнянь (4.1...4.3).

$$P_z = C_{pz} t^{x_{pz}} S^{y_{pz}} V^{z_{pz}}, \quad (4.1)$$

$$P_y = C_{py} t^{x_{py}} S^{y_{py}} V^{z_{py}}, \quad (4.2)$$

$$P_x = C_{px} t^{x_{px}} S^{y_{px}} V^{z_{px}}. \quad (4.3)$$

Методика графоаналітичної обробки для всіх трьох складових сил P_z , P_y , P_x аналогічна, тому обмежимося побудовою та розрахунком залежностей тільки тангенціальної складової сили різання P_z .

Загальне рівняння $P_z = C_{pz} t^{x_{pz}} S^{y_{pz}} V^{z_{pz}}$ можна розбити на три окремі:

$$P_z = C_t t^{x_p} \text{ при } V = \text{const}; S = \text{const}, \quad (4.4)$$

$$P_z = C_S S^{y_p} \text{ при } V = \text{const}; t = \text{const}, \quad (4.5)$$

$$P_z = C_V V^{z_p} \text{ при } t = \text{const}; S = \text{const}. \quad (4.6)$$

Для визначення коефіцієнтів C_t , C_S і C_V , а також показників степенів x_p , y_p , z_p необхідно провести перетворення координат таким чином, щоб графіки функцій $P_z = f(t)$, $P_z = f(S)$ і $P_z = f(V)$ були б прямими лініями. Перетворення системи координат для статичних функцій полягає у заміні лінійних координат на логарифмічні. Прологарифмуємо вирази залежності сили P_z від глибини різання, подачі і швидкості різання. Отримаємо рівняння прямих ліній:

$$\lg P_z = \lg C_t + x_p \lg t, \quad (4.7)$$

$$\lg P_z = \lg C_S + y_p \lg S, \quad (4.8)$$

$$\lg P_z = \lg C_V + z_p \lg V. \quad (4.9)$$

Показники x_p , y_p , z_p у при цьому стають чисельно рівними тангенсам кутів нахилу відповідних до позитивного напрямку осі абсцис.

Для визначення невідомих коефіцієнтів та показників степенів будемо в логарифмічних координатах з однаковим масштабом по осях абсцис та ординат графіки залежності сили P_z від глибини різання, подачі та швидкості різання (рис.4.1).

Показники степенів мають вигляд:

$$x_p = \text{tg}\alpha_1, \quad y_p = \text{tg}\alpha_2, \quad z_p = \text{tg}\alpha_3, \quad (4.10)$$

де α_1 , α_2 , α_3 – кути нахилу прямих залежностей складових сили різання від глибини різання, величини подачі та швидкості різання до позитивного напрямку осі абсцис.

У зв'язку з тим, що $\alpha_3 > 180^\circ$ показник ступеня має негативне значення. Значення коефіцієнтів C_t , C_S і C_V , відповідно до рівнянь (5.4...5.6) дорівнюють силі P_z при значенні $\lg t = 0$ ($t = 1$), $\lg S = 0$ ($S = 1$), $\lg V = 0$ ($V = 1$).

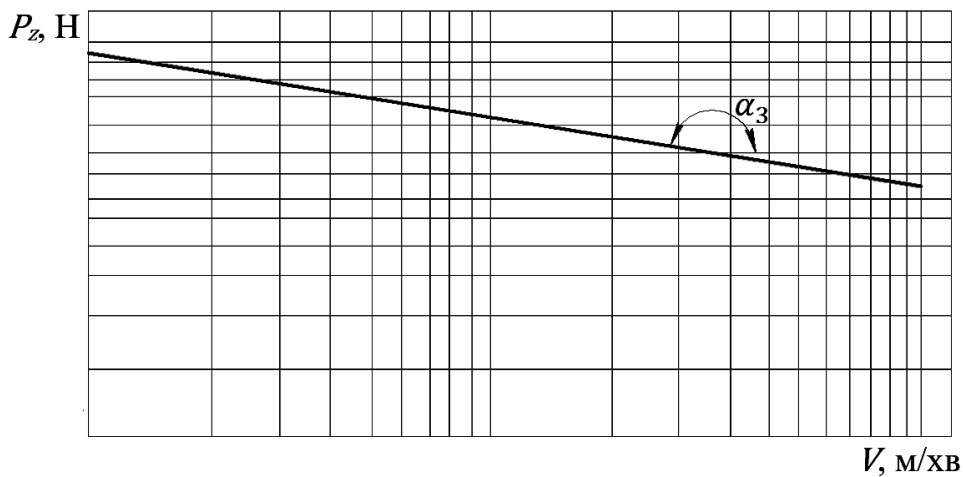
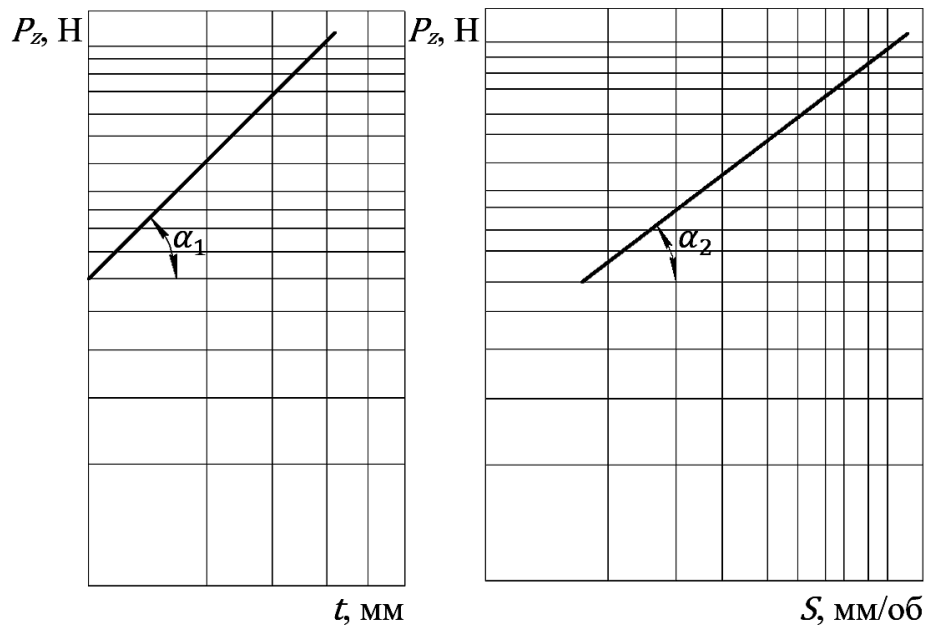


Рисунок 4.1 – Залежність складових сили різання P_z від елементів режиму різання t , S і V в логарифмічній системі координат

При необхідності екстраполюємо прямі до перетину з відповідними ординатами.

Коефіцієнт C_{pz} у формулі (4.1) визначаємо для кожної серії дослідів:

$$C_{pz1} = \frac{C_t}{S^{y_p \text{ const}} \cdot V^{z_p \text{ const}}}; \quad (4.11)$$

$$C_{pz2} = \frac{C_s}{t^{x_p \text{ const}} \cdot V^{z_p \text{ const}}}; \quad (4.12)$$

$$C_{pz3} = \frac{C_v}{t^{x_p \text{ const}} \cdot S^{y_p \text{ const}}}; \quad (4.13)$$

Внаслідок неминучих похибок експерименту величини C_{pz} , отримані для кожної серії дослідів, будуть відрізнятися один від одного. Остаточне значення постійної C_{pz} визначається як середнє арифметичне трьох значень:

$$C_{pz} = \frac{C_{pz1} + C_{pz2} + C_{pz3}}{3}. \quad (4.14)$$

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Джерелами підвищеної небезпеки при роботі на токарно-гвинторізних верстатах в першу чергу є частини, що обертаються, і стружка. Не слід нехтувати запобіжними пристроями, передбаченими конструкцією верстата, чи це щиток, екран, кожух або загородження. Заготовку слід надійно закріплювати у патроні чи центрах верстата. Вся робота на токарному верстаті та приладах проводиться навчальним майстром або викладачем, який проводить заняття. Завдання студентів – фіксувати результати дослідів.

6. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити схему та конструкцію динамометра УДМ600 та ознайомитися з процесом вимірювання сил при точінні.
2. Вивчити інструкцію з безпеки при роботі на токарних верстатах.
3. Скласти план проведення експерименту, занести його до табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вимірювання сили різання

№	Режими різання			Показання прибору, мкА			Сила різання R, Н		
	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	A _z	A _y	A _x	P _z	P _y	P _x
1	t ₁	S = const	V = const						
2	t ₂								
3	t ₃								
4	t = const	S ₁	V = const						
5		S ₂							
6		S ₃							
7	t = const	S = const	V ₁						
8			V ₂						
9			V ₃						

4. Зібрати схему (див. рис. 3.2) виміру складових сили різання на верс-

таті 16К20. Провести випробування схеми пробним різанням.

5. Зробити різання заготовки з різними значеннями глибини різання при постійних значеннях швидкості різання та подачі. Виміряти показання приладу A_z, A_y, A_x за складовими сили різання R , відповідні заданим значенням глибини різання. За допомогою тарувальних графіків перевести показання вимірювального приладу у значення складових сили різання P_z, P_y, P_x . Занести отриманні результати до табл. 5.1 і табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати вимірювання сили різання

№	Режими різання						Сила різання $R, Н$			$\lg P_z$	x_p y_p z_p	C_t C_S C_V	
	$t, мм$	$\lg t$	$S, мм/об$	$\lg S$	$V, м/хв$	$\lg V$	P_z	P_y	P_x				
Залежність $P_z = f(t)$													
1	t_1		$S = const$		$V = const$								
2	t_2												
3	t_3												
Залежність $P_z = f(S)$													
4	$t = const$		S_1		$V = const$								
5			S_2										
6			S_3										
Залежність $P_z = f(V)$													
7	$t = const$		$S = const$		V_1								
8					V_2								
9					V_3								

6. Зробити різання заготовки з різними значеннями подачі при постійних значеннях глибини різання та швидкості різання. Виміряти показання приладу A_z, A_y, A_x за складовими сили різання R , відповідні заданим значенням подачі. За допомогою тарувальних графіків перевести показання вимірювального приладу у значення складових сили різання P_z, P_y, P_x . Занести отриманні результати до табл. 5.1 і табл. 5.2.

7. Зробити різання заготовки з різними значеннями швидкості різання при постійних значеннях глибини різання і подачі. Виміряти показання приладу A_z, A_y, A_x за складовими сили різання R , відповідні заданим значенням швидкості різання. За допомогою тарувальних графіків перевести показання вимірювального приладу у значення складових сили різання P_z, P_y, P_x . Занести отриманні результати до табл. 5.1 і табл. 5.2. Режими різання кожної серії дослідів задаються викладачем.

8. Побудувати графіки $\lg P_z = f(\lg t), \lg P_z = f(\lg S), \lg P_z = f(\lg V)$.

9. Визначити величини C_{pz}, x_p, y_p, z_p .

10. Записати залежність $P_z = f(t, S, V)$ для заданих умов обробки, провести аналіз отриманих результатів.

11. Розрахувати складову силу різання P_z за експериментально визначеною залежністю та порівняти зі значенням, отриманим за розрахунково-

аналітичною формулою (4.1).

7. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись із змістом та методикою проведення роботи.
2. Вивчити систему сил різання.
3. Вивчити вплив глибини різання t , подачі S , швидкості різання V_p , на складові сили різання R .
4. Вивчити методи визначення складових сили різання.
5. Вивчити принципи дії динамометрів.
6. Вивчити конструкцію та принцип роботи динамометра УДМ600.
7. Вивчити суть графоаналітичного методу обробки результатів експерименту.
8. Виконати заміри складових сили різання при різних умовах обробки і занести ці значення до таблиці звіту з лабораторної роботи.
9. Побудувати графіки впливу глибини різання t , подачі S , швидкості різання V , на складову сили різання P_z .
10. Розрахувати складову силу різання P_z .
11. Виконати звіт з лабораторної роботи.

8. ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва роботи.
2. Мета роботи.
3. Лабораторне обладнання та вимірювальна апаратура.
4. Заповнені таблиці 5.1 та 5.2.
5. Графіки залежностей $\lg P_z = f(\lg t)$, $\lg P_z = f(\lg S)$, $\lg P_z = f(\lg V)$.
6. Розрахункові значення C_{pz} , x_p , y_p , z_p .
7. Визначення значення складової сили різання P_z залежно від заданих умов обробки. Аналіз одержаних результатів.

8. Розрахунок значення складової сили різання P_z за формулою (4.1).
9. Порівняти значення складової сили різання P_z , отримане експериментально та за формулою (4.1). Зробити висновок про причини відмінності отриманих результатів.

Питання для самоперевірки

1. Які сили називають фізичними складовими сили різання?
2. Які сили називають технологічними складовими сили різання?
3. Перелічити складові сили різання.
4. Назвати фактори, що впливають на силу різання.
5. Пояснити характер впливу t , S , V на складові сили різання.
6. Пояснити вплив кутів різання на складові сили різання.
7. Пояснити вплив розмірів шару, що зрізається, на складові сили різання.
8. Призначення, влаштування та принцип дії динамометра УДМ600.
9. У чому полягає суть графоаналітичної обробки результатів експериментального дослідження залежності $P_z = f(t, S, V)$?
10. Що характеризують собою показники ступеня у формулі (4.1)?

Література

1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 2-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ-2000, 2011. – 422 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи

«Сили різання при точінні»

з дисциплін «Теорія різання»,

«Основи теорії різання матеріалів та ріжучий інструмент»

для студентів технічних спеціальностей

Укладач ДОЛЯ Віктор Миколайович

Роботу до видання рекомендував проф. Клочко О. О.

В авторській редакції

План 2025 р., поз. 266.

Підп. до друку 10.03.2025 р. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 0,5.

Видавничий центр НТУ «ХП», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002

Свідоцтво про державну реєстрацію № 5478 від 21.08.2017 р.

Електронне видання