

Практичне заняття

Дослідження силових характеристик при токарному обробленні

Мета роботи: *Формування практичних вмінь визначати експериментальні залежності складових сили різання від складових режиму різання та геометричних параметрів різальної частини інструменту.*

Теоретична частина

Механічне оброблення різанням лезовими різальними інструментами характеризується силою взаємодії робочих поверхонь леза інструменту з шаром припуску, що зрізається, та поверхнями заготовки, що обробляються. Сила взаємодії інструменту з заготовкою складається з сили утворення стружки, що необхідна для деформування шару припуску, що зрізається, в зоні різання, сили контактної взаємодії стружки з передньою поверхнею інструменту, а також сили взаємодії задніх поверхонь інструменту з поверхнями заготовки, величина якої може суттєво зростати при зношуванні поверхонь інструменту. Дві останні складові сили різання по-суті є силами тертя. Сума вказаних складових створюють силу оброблення заданої поверхні, яка є вектором і характеризується величиною та напрямом. В процесі оброблення в результаті коливання припуску на оброблення та змінності механічних характеристик оброблюваного матеріалу величина та напрям сили оброблення змінюється, що створює додаткові труднощі розрахунку характеристик процесу різання.

Для забезпечення дослідження фізичних закономірностей різних видів оброблення різанням силу оброблення розкладають на три складові в ортогональному координатному просторі осей OZ , OY та OX . Головна вісь OZ співпадає з напрямом вектору швидкості головного руху різання. Відповідно проекцію сили оброблення на вісь OZ називають головною складовою P_z сили різання, а якщо головний рух різання обертальний, то її ще називають дотичною складовою сили оброблення.

Вісь OX співпадає з віссю головного руху різання заготовки або інструменту і називається осью складовою P_x сили різання. Остання, ортогональна координата OY направлена по радіусу заготовки, що оброблюється або радіусу різального інструменту і називається радіальною складовою P_y сили різання. Представлення сили оброблення її складовими забезпечує визначення характеристик процесу різання, а саме: потужності різання, точності оброблення, навантаження різального інструменту та його деформації, навантаження на елементи кінематичного ланцюга механізму подач, кількості теплоти, що виділяється в процесі різання тощо. Відповідно, знання силових характеристик процесу оброблення дозволяє розраховувати та прогнозувати пружні деформації ТОС, теплові деформації інструменту, заготовки чи частин верстатного обладнання, умови оброблення і робити оцінку автоколивань, що виникають у пружній ТОС.

Сила оброблення визначається впливом достатньо великої кількості факторів, які діють в процесі різання, серед яких найбільший вплив створюють режим різання: h - глибина різання, S - повздовжня подача, V - швидкість різання; геометричні параметри різальної частини інструменту; фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу; фізико-механічні характеристики інструментального матеріалу, а також характеристики змащувально-охолоджувального технологічного середовища.

Вперше глибокі наукові дослідження силових залежностей при різанні були виконані К. О. Зворикіним, за результатами яких було запропоновано математичну модель для визначення головної складової сили різання:

$$P_z = k_z b^{x_{Pz}} a^{y_{Pz}},$$

де k_z – коефіцієнт пропорціональності, який визначає вплив всіх факторів процесу оброблення за винятком ширини b та товщини a шару припуску, що зрізається. Будь-які зміни факторів процесу оброблення вимагають визначення чисельного значення цього коефіцієнта. Крім того, за заданих умов оброблення невідомими величинами в запропонованій формулі є показники степеня x_{Pz} , y_{Pz} , для визначення яких необхідно виконати експериментальні дослідження впливу ширини b та товщини a шару припуску, що зрізається, на величину складової P_z сили різання.

Для спрощення визначення складових сили різання, оброблювані матеріали були розділені на групи, для кожної з яких визначили типового представника, найбільш сприятливі умови оброблення та, на основі багаточисельних експериментальних досліджень, були встановлені нормативні значення показників степеня та коефіцієнта пропорціо-

нальності для загальної структури математичної моделі, яка визначає головну складову сили різання при токарному обробленні:

$$P_z = C_{P_z} h^{x_{P_z}} S^{y_{P_z}} V^{n_{P_z}} k_{P_z}, \quad (1.1)$$

Відмінність конкретних умов оброблення від тих, що використовувались в дослідженнях для їх встановлення, враховуються поправочним коефіцієнтом k_{P_z} , величина якого розраховується за формулою:

$$k_{P_z} = \prod_{i=1}^n (k_{P_z})_i.$$

Аналіз існуючої довідникової літератури [14] показує, що дані для розрахунків складових сили оброблення наведені не для всіх груп матеріалів та основних видів оброблення. Так, для токарного оброблення всіх груп оброблюваних матеріалів та окремих видів оброблення наведені тільки необхідні дані для розрахунку головної складової P_z сили різання. Поправочні коефіцієнти на відмінні умови оброблення наводяться дискретними значеннями, що створює труднощі їх застосування при ручних розрахунках та особливо при застосуванні формалізованих систем визначення режимів різання та характеристик процесу оброблення. Відсутність достатніх даних для розрахунків обумовлює неможливість визначити силу різання.

Експериментальні дослідження силових залежностей передбачають використання спеціальної вимірювальної апаратури, яка забезпечує вимірювання окремих складових. Певні обмеження можливостей такої апаратури (наприклад, тензометричний динамометр УДМ-600) полягають у здатності вимірювати окремі складові сили різання, а не безпосередньо силу різання. При порівнянні експериментально отриманих результатів, виникає неузгодженість між математичною моделлю сили різання та окремих складових. Така неузгодженість звичайно компенсується поправочним коефіцієнтом на змінні умови оброблення, який залежить від численних факторів – матеріалу заготовки, кутів різальної частини інструменту, матеріалу інструменту тощо.

Окрім того, у довідниковій літературі [14] часто відсутні дані для розрахунку складових P_y і P_x для окремих груп матеріалів та видів оброблення. Все це ускладнює, а іноді робить неможливим розрахунок сили різання.

Оскільки головна складова сили різання P_z може бути визначена найбільш достовірно та найбільш просто виміряна навіть без застосування спеціальної динамометричної апаратури за потужністю різання, вважається за доцільне прийняти саме цю складову за основу розрахунку сили різання та її складових при токарному обробленні. При такому підході вплив таких факторів, як матеріал заготовки, інструменту та

складових режиму різання урахується у формулі для розрахунку складової P_z , а складові P_y і P_x визначаються за їх первинним змістом, тобто як геометричні складові розкладу вектора сили різання за осями координат (рис.1.1).

Таким чином, складова P_z сили різання визначається емпіричною залежністю, яка дещо відрізняється від традиційної:

$$P_z = C_{Pz} h^{x_{Pz}} S^{y_{Pz}} V^{n_{Pz}} k, \quad (1.1)$$

де C_{Pz} – коефіцієнт, що залежить тільки від матеріалу заготовки; k – поправочний коефіцієнт, що залежить тільки від матеріалу інструменту; x_{Pz} , y_{Pz} , n_{Pz} – показники ступеня; h , S , V – складові режиму різання – глибина у мм, подача у мм/об та швидкість різання у м/хв відповідно.

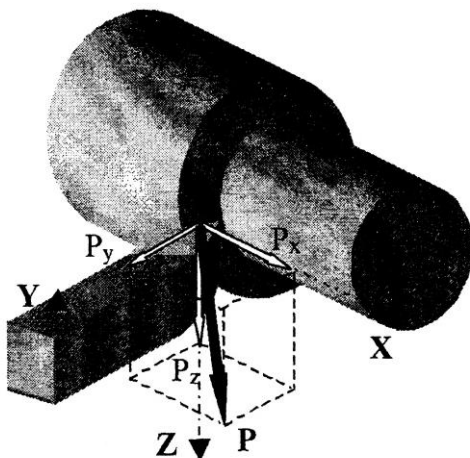


Рис.1.1. Схема розкладу сили різання на складові при поздовжньому токарному обробленні

Складові P_x і P_y є векторами розкладу складової P_{xy} , яка діє по передній поверхні інструменту у напрямку, що співпадає з напрямком сходження стружки. Модуль складової P_{xy} визначається за спрощеною залежністю [1,18]:

$$P_{xy} = 0,6P_z. \quad (1.2)$$

Для визначення напрямку сходження стружки зручно скористатися геометричними співвідношеннями рис.1.2, де представлений вид у плані зони різання. На рис.1.2 наведені два положення різальних кромок інструменту, що відрізняються одним обертом заготовки і позначені 1 і 2 відповідно на попередньому і на поточному оберті.

З трикутника ACK , висота CG визначається з рівняння:

$$S_{об} = \frac{KC}{\operatorname{tg}\varphi} + \frac{KC}{\operatorname{tg}\varphi_1}, \quad (1.3)$$

де φ і φ_1 - головний і допоміжний кути у плані різця відповідно.

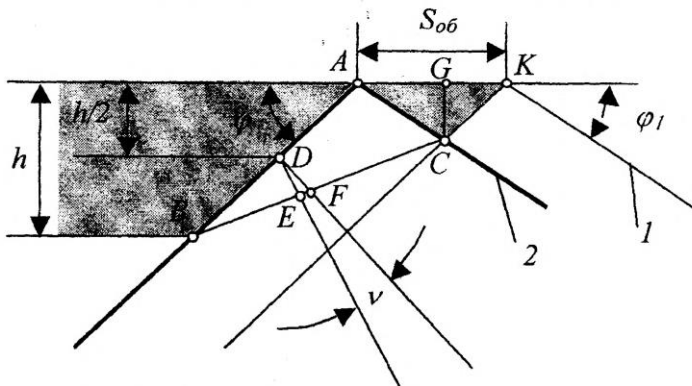


Рис.1.2. Переріз шару припуску, що зрізається, для визначення кута сходження стружки

З трикутника AGC можна знайти гіпотенузу AC :

$$AC = CK / \operatorname{Sin}\varphi_1. \quad (1.4)$$

Після підстановки виразу для CK з (1.3) в (1.4) і нескладних математичних перетворень, отримуємо:

$$AC = CK \frac{\operatorname{Sin}\varphi}{\operatorname{Sin}(\varphi + \varphi_1)}. \quad (1.5)$$

За теоремою синусів, з трикутника ABC :

$$\frac{\operatorname{Sin}\angle ABC}{\operatorname{Sin}\angle ACB} = \frac{AC}{AB}. \quad (1.6)$$

З геометричних співвідношень трикутника ABC , маючи на увазі, що $\angle ABC = \nu$, а $\angle ACB = \pi - \angle BAC - \nu = \varphi + \varphi_1 - \nu$ і крім того $AB = h / \operatorname{Sin}\varphi$, з формули (1.6) після нескладних математичних перетворень можна отримати вираз для розрахунку кута ν сходження стружки:

$$\nu = \operatorname{arctg} \left(\frac{S_{об} \operatorname{Sin}(\varphi + \varphi_1) \operatorname{Sin}^2 \varphi}{h \operatorname{Sin}(\varphi + \varphi_1) + S_{об} \operatorname{Cos}(\varphi + \varphi_1) \operatorname{Sin}^2 \varphi} \right). \quad (1.7)$$

Таким чином визначений вектор складової P_y , сили різання, модуль якого розраховується за формулою (1.2), а кут по відношенню к нормалі до головної різальної кромки – за (1.7).

Для визначення складових P_x і P_y треба розглянути вплив на них переднього кута γ і кута λ нахилу головної різальної кромки.

На рис. 1.3 представлена передня поверхня Π інструменту при передньому куті $\gamma=0$, а також $\lambda=0$ з відповідною системою координат, що прив'язана до неї: вісь N – нормальна до різальної кромки у точці прикладення сили різання, вісь T – дотична до різальної кромки і вісь Z – нормальна до неї і співпадає з напрямом вертикальної осі на рис.1.1.

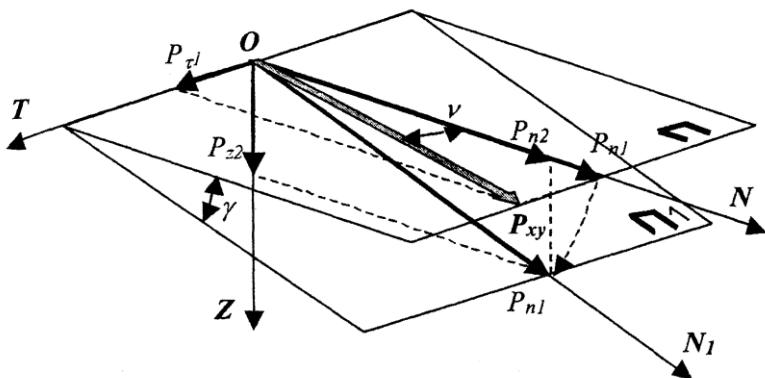


Рис.1.3. Розклад горизонтальної складової сили різання при $\gamma \neq 0$ і $\lambda = 0$

Горизонтальна складова P_{xy} сили різання може бути розкладена за осями N і T :

$$P_{n1} = P_{xy} \cos \nu; \quad P_{t1} = P_{xy} \sin \nu, \quad (1.8)$$

де ν – кут сходу стружки.

При наявності переднього кута ($\gamma \neq 0$) передня поверхня займає, наприклад, положення Π' на рис.1.3, повертаючись на кут γ навколо осі T . Складова P_{t1} розкладу (1.8) не змінюється, але складова P_{n1} повертається, чим викликає зміну складової за віссю N у горизонтальній площині, а також появу вертикальної складової P_{z2} . Таким чином, у випадку, коли $\gamma \neq 0$ і $\lambda = 0$, з геометричних співвідношень рис.1.3 дістаємо:

$$P_{n2} = P_{n1} \cos \gamma; \quad P_{t2} = P_{t1}; \quad P_{z2} = P_{n1} \sin \gamma. \quad (1.9)$$

Якщо всі кути відмінні від нуля ($\gamma \neq 0$ і $\lambda \neq 0$), то перерозподіл складових вектора P_{xy} змінюється (рис.1.4). У такому разі вважаємо, що передня площина Π з рис.1.4 разом із розташованими у ній векторами

Практична частина

Для виконання практичної частини використовується прикладна програма «Точіння», яка знаходиться на диску, а її головний інтерфейс представлений на рис.1.6. Інструкції і пояснення до роботи з прикладною програмою з'являються на додатковому інтерфейсі при натисканні кнопки Help.

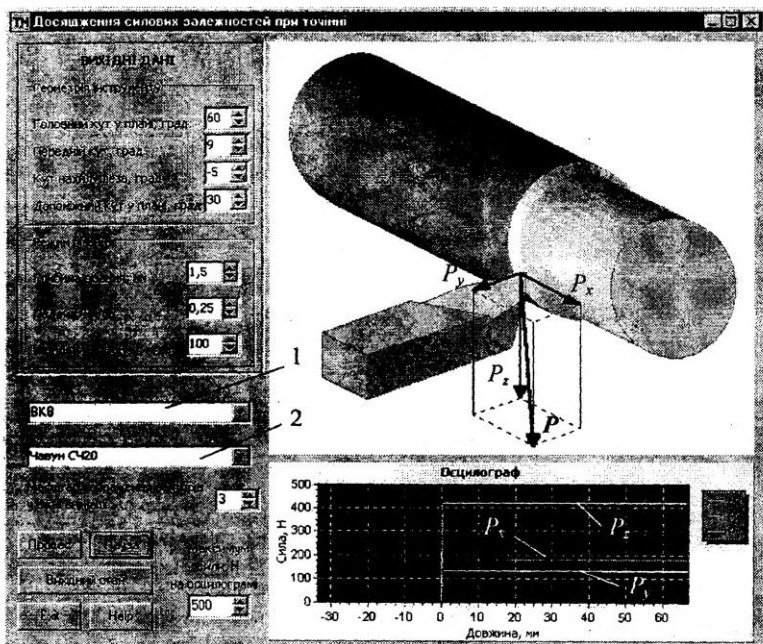


Рис.1.6. Головний інтерфейс прикладної програми «Точіння»

На головному інтерфейсі у вікнах 1 і 2 вибираються матеріал інструменту і заготовки відповідно. На анімаційному полі зображені вектори сили P різання та її складових, а на осцилографі – осцилограми складових сили різання. При зміні всіх геометричних параметрів різальної частини інструменту відповідні зміни відображаються на анімаційному полі прикладної програми.

В основу прикладної програми покладена узагальнена математична модель (1.13), яка відображає залежність складових сили різання від глибини h різання, поздовжньої подачі S , швидкості різання V , геометричних параметрів різальної частини, а саме: переднього кута γ , головного кута ϕ в плані та кута λ нахилу різальної кромки. Вплив інших геометричних параметрів різальної частини, а саме: заднього кута

α та допоміжного кута φ_1 в плані є несуттєвим і до математичних моделей їх не введено, але на графічному зображенні їхній вплив збережений.

Таким чином, адекватність моделювання обмежується тим, що у математичній моделі проігноровані процеси зношування різального інструменту, статичні і динамічні характеристики ТОС, випадкові збурення, теплові явища тощо.

У відповідності до варіанту індивідуального завдання для виконання лабораторної роботи необхідно розробити методику дослідження зміни складових сили різання з урахуванням діапазонів зміни параметрів процесу оброблення, які закладено в програму.

Глибина різання змінюється в діапазоні $a = 0,2 \dots 4,0$ мм з дискретністю $0,1$ мм; повздовжня подача – $S = 0,05 \dots 0,5$ мм/об з дискретністю $0,01$ мм/об; швидкість різання – $V = 10 \dots 200$ м/хв з дискретністю 1 м/хв; головний кут в плані – $\varphi = 30 \dots 90^\circ$; передній кут – $\gamma = 0 \dots 15^\circ$; кут нахилу різальної кромки – $\lambda = -5 \dots 5^\circ$ всі з дискретністю 1° . Допоміжний кут в плані φ_1 в дослідженнях приймається незмінним і вибирається з діапазону значень $\varphi_1 = 30-45-60^\circ$.

Для всіх варіантів індивідуального завдання, умови яких наведено в табл.1.5, необхідно провести експериментальні дослідження з метою встановлення залежностей складових сили різання P_Z , P_Y , P_X від змінних параметрів.

В парних варіантах завдання змінними параметрами процесу оброблення є *глибина різання, швидкість різання та передній кут інструменту*, відповідно незмінними – подача, головний кут в плані та кут нахилу різальної кромки.

В непарних варіантах завдання змінними параметрами процесу оброблення є *подача, головний кут в плані та кут нахилу різальної кромки*, відповідно незмінними – глибина різання, швидкість різання та передній кут.

Дослідження впливу змінних параметрів на складові сили різання здійснюється за "класичною" методикою однофакторних експериментів, а саме, послідовні дослідження виконуються при незмінних значеннях всіх інших параметрів. Діапазони зміни параметрів, у функції яких виконуються дослідження, наведені вище. Результати виконаних досліджень необхідно занести до таблиць експериментальних даних, за якими побудувати відповідні графіки залежностей складових сили різання від змінних параметрів процесу оброблення.

Порядок виконання лабораторної роботи доцільно розглянути на **прикладі**, вихідні дані для якого наведено в табл.1.1.

Таблиця 1.1. Вихідні дані прикладу

Матеріал		φ_1 , град	h , мм	V_2 , м/хв	γ , град	S , мм/об	φ , град	λ , град
заготовка	інструмент							
Чавун СЧ20	ВК8	30	1,5	100	9	0,25	60	-5

Нехай, у відповідності до завдання треба визначити експериментальні залежності складових сили різання від глибини різання, головного кута у плані і переднього кута різця.

Перед активацією прикладної програми підготувати таблиці експериментальних даних, де зазначити конкретні цифрові величини параметрів, у функції яких будуть проводитися дослідження. При цьому треба орієнтуватися на рекомендовані діапазони та кроки зміни параметрів. Після активації програми ввести вихідні дані, встановити перше значення параметру, що змінюється і послідовно провести запис осцилограм сили різання для всього запланованого діапазону. На рис.1.7. представлений інтерфейс прикладної програми наприкінці експерименту щодо визначення залежності складових сили різання від головного кута у плані різця.

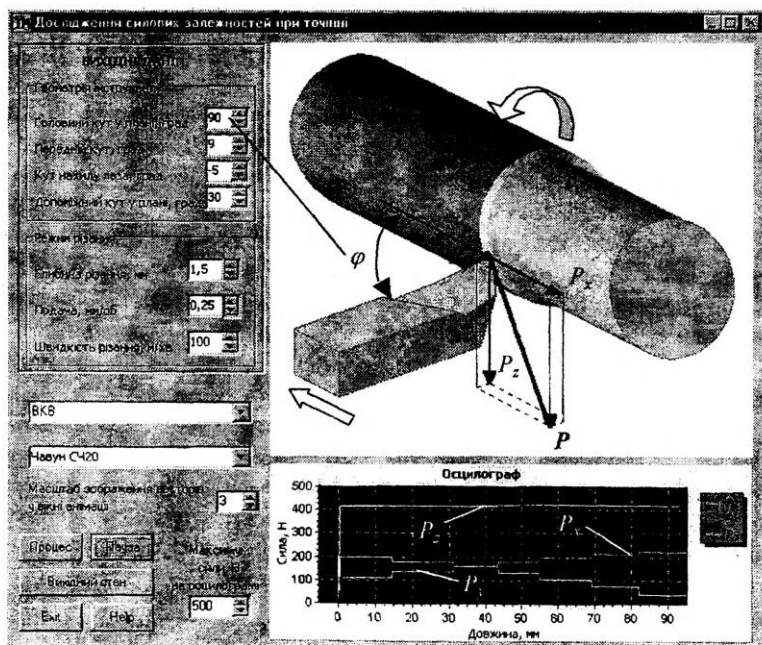


Рис.1.7. Інтерфейс програми наприкінці дослідження

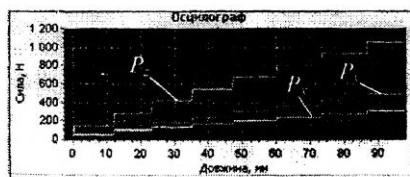
При проведенні експериментів зручно користуватися наступною методикою. Після натискання кнопки «Процес» і запису певної ділянки осцилограм, достатньої для точного вимірювання, натиснути кнопку «Пауза», змінити параметр, у функції якого проводяться дослідження, натиснути кнопку «Процес» і т.д.

На інтерфейсі рис.1.7 введені вихідні дані згідно завдання (дивись табл.1.1) а на осцилограмі можна бачити 7 ділянок запису складових, що відповідають даним таблиці 1.2.

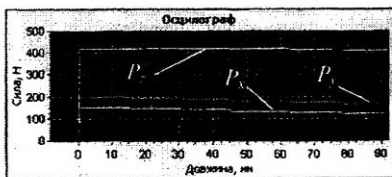
Таблиця 1.2. Залежність складових сили різання від φ

№	φ , град	P_z , Н	P_y , Н	P_x , Н
1	30	416	198	107
2	40	417	180	135
3	50	417	158	160
4	60	418	133	181
5	70	418	105	199
6	80	419	73	212
7	90	419	38	222

Аналогічно провести експеримент з визначення залежностей складових сили різання від глибини h різання і переднього кута γ різця. Результати досліджень зафіксовані на осцилограмах рис.1.8, де також зафіксовані всі сім ділянок осцилограми, а відповідні експериментальні дані за точними вимірюваннями осцилограм з використанням функції збільшення осцилографа (використовуйте кнопку „Help”) представлені у таблицях 1.3 і 1.4.



а)



б)

Рис.1.8. Осцилограми залежності складових сили різання від:
а) - глибини різання, б) - переднього кута інструменту

Таблиця 1.3. Залежність складових сили різання від глибини h

№	h , мм	P_z , Н	P_y , Н	P_x , Н	№	h , мм	P_z , Н	P_y , Н	P_x , Н
1	0,5	152	51	63	5	2,5	678	202	305
2	1,0	285	98	117	6	3,0	805	236	365
3	1,5	418	134	181	7	3,5	932	269	426
4	2,0	549	168	243	8	4,0	1058	302	485

Таблиця 1.4. Залежність складових сили різання від кута

№	γ , град	P_z , Н	P_y , Н	P_x , Н	№	γ , град	P_z , Н	P_y , Н	P_x , Н
1	0	420,5	151	200	4	9	418	134	181
2	3	420,4	145	194	5	12	415	127	174
3	6	419,5	140	188	6	15	412	121	168

За результатами експериментальних досліджень побудовані графіки відповідних залежностей (рис.1.9 – рис.1.11).

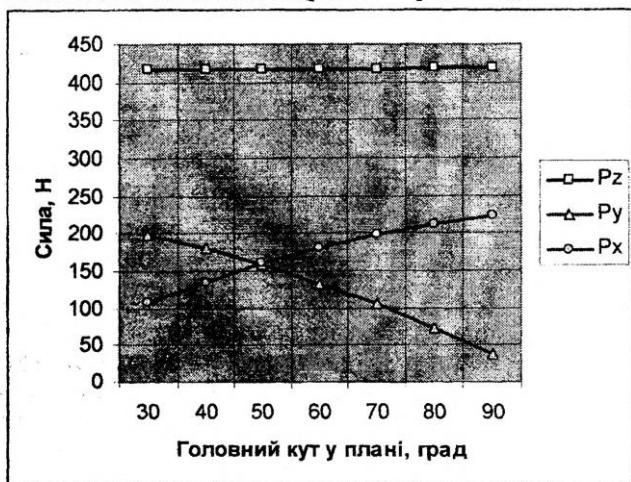


Рис.1.9. Залежність складових сили різання від кута ϕ у плані

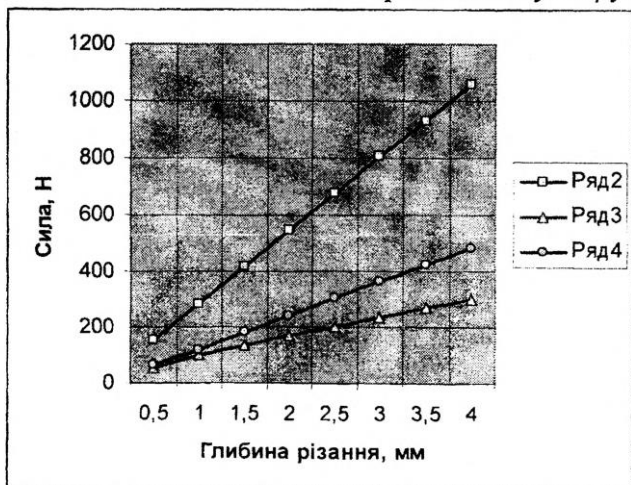


Рис.1.10. Залежність складових сили різання від глибини різання

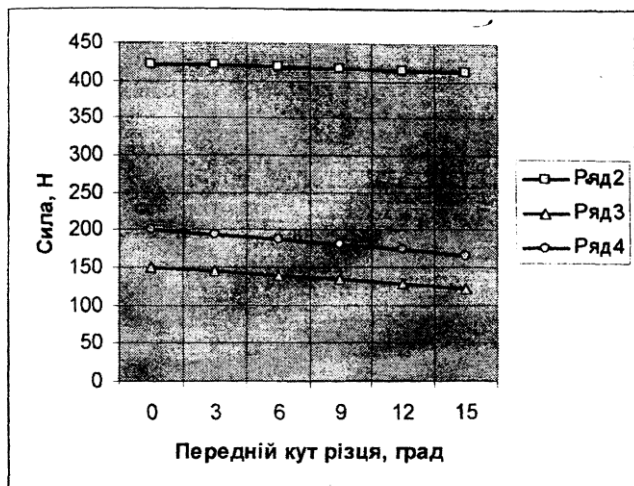


Рис. 1.11. Залежність складових сил різання від переднього кута різальної кромки

Графіки експериментальних залежностей зручно будувати з використанням пакету Excel за даними таблиць.

Аналіз експериментальних залежностей дозволяє зробити наступні висновки, що відповідають досліджуваному діапазону режиму різання для зазначених у прикладі матеріалів інструменту і заготовки:

1. Збільшення головного кута різця у плані майже не змінює силу різання, складова P_z не змінюється, складова P_y зменшується, а складова P_x збільшується. Такі зміни викликатимуть відповідні зміни складових похибки обробки з-за пружних деформацій ТОС.
2. Збільшення глибини різання викликає пропорційне збільшення сили різання та її складових майже за лінійним законом.
3. Збільшення кута нахилу головної різальної кромки викликає зменшення сили різання і всіх її складових. Це свідчить про поліпшення умов різання і зменшення енергетичних втрат на зняття припуску.

Завдання

У відповідності до варіанту підготувати таблиці експериментальних даних, спираючись на визначені діапазони зміни і крок параметрів, у функції яких проводяться дослідження, провести відповідні експерименти, побудувати графіки та зробити їх аналіз. Вихідні дані у відповідності до варіанту наведені у таблиці 1.5.

±

Таблиця 1.5. Варіанти завдань

Перша цифра	Матеріал		φ, град	h, мм	V, м/хв	γ, град	Друга цифра	S, мм/об	φ, град	λ, град
	заготовка	інструмент								
0	Сталь 50	T5K10	30	2,5	150	12	0	0,4	30	5
1	Сталь 40X	T5K12	45	2,0	125	9	1	0,3	45	0
2	Сталь 30XMA	T15K6	60	1,5	120	6	2	0,25	60	5
3	Сталь 25XГТ	ТТ7К12	60	1,25	100	3	3	0,2	75	0
4	Сталь 35XГСА	ТТ7К12	30	1,0	80	0	4	0,15	90	-5
5	Чавун СЧ20	ВК8	45	4,0	180	9	5	0,45	60	5
6	Чавун ВЧ60	ВК8	30	3,5	160	6	6	0,35	75	0
7	Чавун КЧ60-3	ВК10-ОМ	45	3,0	140	0	7	0,25	90	-5
8	Сталь 12X18Н9Т	ВК6-ОМ	60	0,75	80	3	8	0,1	45	5
9	Алюміній АМг 6	Р6М5	30	3,5	200	15	9	0,5	30	0

Зміст протоколу

У протоколі навести мету роботи, вихідні дані і завдання у відповідності до варіанту, необхідну інформацію з теоретичної частини експериментальні таблиці, копію інтерфейсу для будь-якого експерименту, графіки експериментальних залежностей. Висновки.