

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ХАРКІВСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

ОСНОВИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт з дисципліни для здобувачів
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання
за спеціальностями А5.34 «Професійна освіта (Машинобудування)»,
А5.38 «Професійна освіта (Транспорт)»

Електронний ресурс

Рецензенти:

О. А. Пермяков – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологія машинобудування та металорізальні верстати, НТУ «ХП»;

А. М. Чернюк – кандидат тех. наук, доцент, завідувач кафедри електротехніки та електроенергетики, ННІ «УПА», ХНУ імені В. Н. Каразіна.

*Затверджено до розміщення в мережі Інтернет рішенням Науково-методичної ради
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 1 від 23 жовтня 2025 року)*

Основи обробки матеріалів : методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальностями А5.34 «Професійна освіта (Машинобудування)», А5.38 «Професійна освіта (Транспорт)» [Електронний ресурс] / уклад. О. Л. Кондратюк, В. О. Скоркіна, В. В. Коваленко. – Харків : ХНУ Методичні вказівки до виконання ЛБ_ОснОбрМат_Кондратюкімені В. Н. Каразіна, 2025.– (PDF 116 с.)

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт за темами: «Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри токарних різців»; «Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри свердел»; «Дослідження впливу елементів режиму різання та геометрії різця на сили різання при точінні»; «Дослідження впливу елементів режиму різання та геометрії різця на температуру різання при точінні»; «Дослідження сил різання при циліндричному фрезеруванні».

У матеріалах представлені загальні положення, які допомагають формувати навички вибору необхідного обладнання для конкретних умов роботи та правильного його використання. Додатково передбачено виконання завдань із залученням різних джерел інформації, що сприяє активізації пізнавальної діяльності студентів, а також розвитку їхніх творчих здібностей.

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт призначено для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» денної та заочної форм здобуття освіти спеціальностей А5.34 «Професійна освіта (Машинобудування)», А5.38 «Професійна освіта (Транспорт)».

УДК 621.91.01(075.8)

© Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2025

© Кондратюк О. Л., Скоркіна В. О., Коваленко В. В., уклад., 2025

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	6
Лабораторна робота № 1 «Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри токарних різців»	7
1. Підготовка до лабораторної роботи	8
1.1. Мета роботи	8
1.2. Завдання на підготовку до лабораторної роботи	8
Рекомендована література	8
2. Загальні положення	9
2.1. Типи різців і їх конструктивні елементи	9
2.2. Поверхні й координатні площини при точінні	11
2.3. Кути токарного ріжучого інструменту	14
2.4. Статична геометрія ріжучої частини різця	15
2.5. Дійсна геометрія ріжучої частини різця	17
2.6. Устаткування, прилади і інструменти. Методика виміру кутів різця	21
2.7. Заходи безпеки	22
3. Проведення лабораторної роботи	23
3.1. Порядок проведення роботи	23
3.2. Оформлення звіту	23
3.3. Питання для перевірки знань студентів	23
Лабораторна робота № 2 «Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри свердел»	25
1.1. Мета роботи	26
1.2. Завдання на підготовку до лабораторної роботи	26
Рекомендована література	26
2. Загальні положення	27
2.1. Типи свердел і їх конструктивні елементи	27
2.2. Поверхні і координатні площини при свердлінні	37
2.3. Товщина та ширина шару, що зрізається при свердлінні отворів	39
2.4. Устаткування, прилади та інструменти. Методика виміру кутів свердла	41
2.5. Заходи безпеки	42
3. Проведення лабораторної роботи	42
3.1. Порядок проведення роботи	42
3.2. Оформлення звіту	43
3.3. Питання для перевірки знань студентів	43
Лабораторна робота № 3 «Дослідження впливу елементів режиму різання та геометрії різця на сили різання при точінні»	45
1. Підготовка до лабораторної роботи	46

1.1.	Мета роботи	46
1.2.	Завдання на підготовку до лабораторної роботи	46
	Рекомендована література	46
2.	Загальні положення	47
2.1.	Сили при точінні	47
2.2.	Методи виміру сили різання	48
2.2.1.	Устрій двокomпонентного токарного динамометру.....	50
2.3.	Вплив глибини, подачі і швидкості різання на сили різання	52
2.4.	Вплив геометричних елементів різця на сили різання	52
2.5.	Устаткування, прилади та інструменти	53
2.6.	Заходи безпеки	54
3.	Проведення лабораторної роботи	54
3.1.	Порядок проведення роботи	54
3.2.	Порядок проведення експерименту	54
3.3.	Обробка експериментальних даних	55
3.4.	Оформлення звіту	57
3.5.	Питання для перевірки знань студентів	57
	Лабораторна робота № 4 «Дослідження впливу елементів режиму різання на температуру різання при точінні»	59
1.	Підготовка до лабораторної роботи	60
1.1.	Мета роботи	60
1.2.	Завдання на підготовку до лабораторної роботи	60
	Рекомендована література	60
2.	Загальні положення	61
2.1.	Джерела утворення теплоти в зони різання і напрямки її відведення із зони обробки	61
2.2.	Температурні лани в зоні різання. Вплив умов різання на виділення і розподіл теплоти	63
2.2.1.	Вплив умов різання на виділення і розподіл теплоти	64
2.3.	Методи вимірювання температури при різанні.....	66
2.4.	Устаткування, прилади та інструменти	70
2.5.	Заходи безпеки	70
3.	Проведення лабораторної роботи	71
3.1.	Порядок проведення роботи	71
3.2.	Порядок проведення експерименту	71
3.3.	Обробка експериментальних даних	72
3.4.	Оформлення звіту	74
3.5.	Питання для перевірки знань студентів	74
	Лабораторна робота № 5 «Дослідження сил різання при циліндричному фрезеруванні»	76

1.	Підготовка до лабораторної роботи	77
1.1.	Мета роботи	77
1.2.	Завдання на підготовку до лабораторної роботи	77
	Рекомендована література	77
2.	Загальні положення	78
2.1.	Особливості процесу різання при фрезеруванні	78
2.2.	Сили, що діють на фрезу	81
2.3.	Устаткування, прилади й інструменти. Опис експериментальної установки	84
2.4.	Заходи безпеки	85
3.	Проведення лабораторної роботи	86
3.1.	Порядок проведення роботи	86
3.2.	Обробка експериментальних даних	86
3.3.	Висновок	88
3.4.	Оформлення звіту	89
3.5.	Питання для перевірки знань студентів	89
	ДОДАТОК (Бланки звітів з лабораторних робіт)	91
1.	Звіт з лабораторної роботи №1 «Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри токарних різців»	92
2.	Звіт з лабораторної роботи №2 «Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри свердел»	95
3.	Звіт з лабораторної роботи №3 «Дослідження впливу елементів режиму різання та геометрії різця на сили різання при точінні»	98
4.	Звіт з лабораторної роботи №4 «Дослідження впливу елементів режиму різання на температуру різання при точінні»	103
5.	Звіт з лабораторної роботи №5 «Дослідження сил різання при циліндричному фрезеруванні»	108

ПЕРЕДМОВА

Одним із основних завдань підготовки фахівців інженерно-педагогічного напрямку є формування у них глибокого розуміння принципів технологічних процесів обробки матеріалів різанням, а також набуття практичних умінь, що дозволяють ефективно використовувати знання у професійній діяльності. Особливе значення в цьому контексті мають лабораторні роботи, які є невід'ємною частиною освітнього процесу, спрямованого на закріплення теоретичних знань, розвиток експериментальних навичок, уміння аналізувати результати та робити обґрунтовані технічні висновки.

У даних методичних вказівках подано зміст лабораторних робіт, що охоплюють важливі теми, пов'язані з вивченням ріжучого інструменту та процесів механічної обробки, а саме:

Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри токарних різців — вивчаються основні різновиди токарного інструменту, його конструктивні особливості, функціональні елементи та геометричні параметри, що визначають ріжучі властивості інструменту.

Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри свердел — розглядаються свердла як інструмент для отримання отворів: класифікація, конструкція, форма різальних кромки та їх вплив на процес обробки.

Дослідження впливу елементів режиму різання та геометрії різця на сили різання при точінні — експериментальне вивчення залежності силового навантаження від геометричних параметрів різця, швидкості різання, подачі та глибини різання.

Дослідження впливу елементів режиму різання та геометрії різця на температуру різання при точінні — визначення факторів, що впливають на утворення тепла в зоні різання, та аналіз температурних характеристик з урахуванням зміни режимів обробки.

Дослідження сил різання при циліндричному фрезеруванні — встановлення взаємозв'язку між технологічними параметрами фрезерування та величинами сил, що виникають у процесі обробки.

Методичні вказівки спрямовані на розвиток у студентів навичок критичного мислення, технічного аналізу, обґрунтування технічних рішень, а також вміння самостійно проводити експерименти, збирати та інтерпретувати результати вимірювань.

Автори сподіваються, що ці методичні вказівки стануть ефективним інструментом для підвищення якості підготовки майбутніх фахівців у галузі машинобудування та транспорту, сприятимуть формуванню у здобувачів освіти професійної компетентності, технічної грамотності та готовності до інженерно-педагогічної діяльності у сфері професійної освіти.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ХАРКІВСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

«ОСНОВИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ПО ВИКОНАННЮ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 1

«ТИПИ, КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ТА ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ТОКАРНИХ РІЗЦІВ»

1. ПІДГОТОВКА ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1.1. Мета роботи

Метою лабораторної роботи темами «Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри токарних різців» є експериментальне підтвердження вивчених теоретичних положень, щодо конструкції токарних різців, для чого необхідно:

- ознайомлення з існуючою класифікацією різців та основами їх конструкції;
- ознайомлення з конструктивними елементами та вивчення геометричних параметрів різців;
- придбання навичок самостійної роботи із приладами для виміру геометричних параметрів різців;
- придбання вміння розраховувати величини кутів досліджуваного ріжучого інструменту.

1.2. Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Перед виконанням лабораторної роботи темами «Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри токарних різців» студенти повинні ознайомитися з існуючою інструкцією по техніки безпеки, правилами внутрішнього розпорядку, що діють у лабораторії.

До моменту проведення лабораторної роботи студенти повинні вивчити відповідний підрозділ курсу.

Робота виконується групою студентів з 5...6 чоловік. Перед початком лабораторної роботи на робочому місці підготовляються комплект різців, вимірювальні прилади на групу студентів, а також методичні вказівки й журнали лабораторних робіт на кожного студента.

Практична частина роботи виконується після вивчення теоретичної частини роботи кожним студентом самостійно. Для цієї мети групі студентів видається по колективу з п'ятьох різнотипних токарних різців.

Рекомендована література

1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, А.І.Грабченко, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосолов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазура. – 3-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ–2000, 2018. – 471 с.
2. Металорізальні інструменти: підручник / Равська Н. С. - Житомир: ЖДТУ, 2016. – 612 с.
3. Швець С.В. Металорізальні інструменти: Навчальний посібник. - Суми: Вид-во СумДУ, 2007. - 185 с.
4. Теорія різання [Електронний ресурс] : Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.
5. Основи проектування різального інструмента. Частина II.

[Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / В. І. Солодкий, О. А. Плівак. – Електронні текстові дані. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 178 с.

6. Кукляк М.Л. Металорізальні інструменти : навч. посіб. / М.Л. Кукляк, І.С. Афтаназів, І.І. Юрчишин. – Львів : вид-во НУ «Львівська політехніка», 2003. – 556 с.

7. Стискін Г.М. та ін. Інструменти для механічної обробки матеріалів. – Львів, 2000.– 497с.

8. Буц Б. Д., Приходько В. Є., Ткачов Ю. В. Розрахунок режимів різання металів: Навч. посіб.-Д.: РВВ ДНУ, 2005.-76 с.

9. Теорія різання [Електронний ресурс]: Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.

2. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Типи різців і їх конструктивні елементи

Серед багатьох способів обробки матеріалів різанням важливе місце займає обробка різцем, а саме токарна обробка різноманітних поверхонь. Різці ділять на три основні групи: токарні, стругальні й довбальні. Токарні різці використовують для отримання деталей із заготовок, з циліндричними, конічними, фасонними й торцевими поверхнями, що утворюються в результаті обертання заготовки та поступового переміщення різця вдовж осі обробленої деталі.

В загальному парку металорізальних верстатів, вміст токарних верстатів складає основну масу, тому токарні різці є найпоширенішими.

Конструктивно токарний різець складається з робочої й кріпильної частин (рис.1)

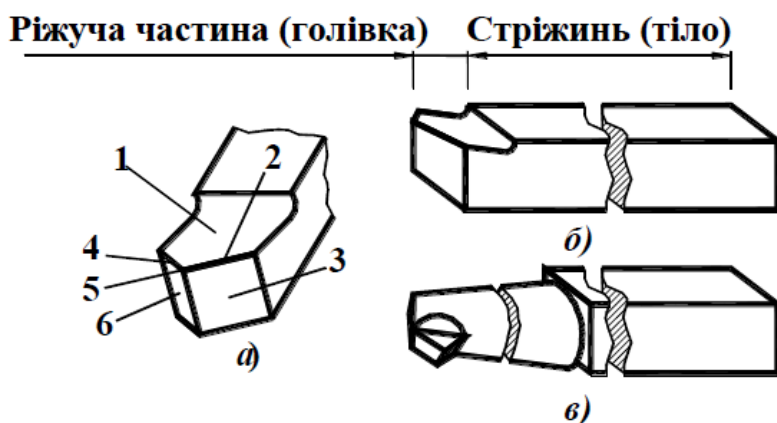


Рис. 1. – Конструктивні елементи токарних різців:

- а, в) прохідного прямого;
- б) розточувального прохідного;
- в) голівка різця (робоча частина).
- 1 – передня поверхня (A_γ);
- 2 – головна ріжуча кромка (К);
- 3 – головна задня поверхня (A_α);
- 4 – допоміжна ріжуча кромка (К');
- 5 – вершина різця; 6 – допоміжна задня поверхня ($A_{\alpha 1}$).

Робоча частина різця являє собою частину різального інструменту, що містить лезо та призначена для видалення поверхневого шару з поверхні заготовки.

Кріпильна частина різця призначена для його установки й (або) для закріплення у верстатах або пристосуваннях.

У свою чергу лезо токарного різця (робоча частина інструменту) являє собою клинчастий елемент, який призначено для проникнення в матеріал заготовки й

відділення поверхневого шару матеріалу.

На робочій частині різця розрізняють (рис. 1):

- 1 - передню поверхню леза ($A\gamma$);
- 2 - головну ріжучу кромку (K);
- 3 - головну задню поверхню ($A\alpha$);
- 4 - допоміжну ріжучу кромку (K');
- 5 - вершину різця;
- 6 - допоміжну задню поверхню ($A\alpha_1$)

Передня поверхня ($A\gamma$) являє собою поверхню різця, яка розташована під деяким кутом (значення кута буває від мінусу до плюсу) до проекції основної площини (рис. 2). Передня поверхня різця в процесі різання матеріалів контактує зі поверхневим шаром, що зрізується.

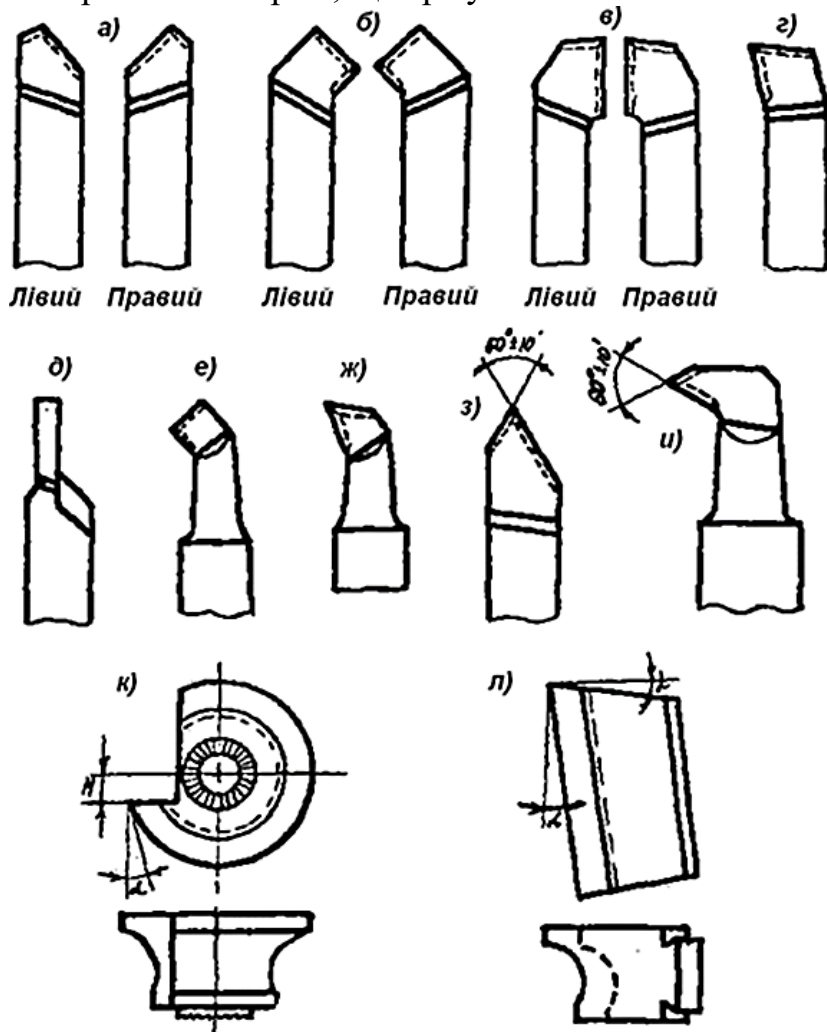


Рис. 2. - Типи токарних різців.

а) прохідний прямий з кутом 45° (лівий та правий);

б) прохідний відігнутий під кутом 45° (лівий та правий);

в) прохідний з кутом 90° (лівий та правий);

г) підрізний;

д) відрізний або прорізний;

е) розточувальний прохідний під кутом 45° ;

ж) розточувальний підрізний під кутом 90° ;

з) різбовий для зовнішньої різьби;

и) різбовий для внутрішньої різьби;

к) круглий фасонний;

л) призматичний фасонний.

Головна задня поверхня ($A\alpha$) - це поверхня інструмента, яка, звернена до поверхні різання заготовки.

У **прямих різцях** голівка і тримач розташовані на одній осі (рис. 2, а); тоді, як у **відігнутих** - робоча частина різця в плані відігнута вліво або вправо (рис. 2, б) від осі інструменту.

Різці з відтягнутою робочою частиною (рис. 2, д) мають робочу частину, ширина якої менше ширини державки різця. Робоча частина може бути розташована як симетрично щодо осі тіла різця, так і зміщена (відтягнута) щодо її вліво або

вправо.

– По розташуванню головної ріжучої кромки різці розділяються на *праві* і *ліві* (рис. 2, а...в).

Правими – називають такі різці, у яких при накладенні на них зверху долоні правої руки (так, щоб чотири пальці були спрямовані уздовж тіла різця до вершини), головна ріжуча крайка виявляється розташованою на стороні великого пальця.

Лівими – називають такі різці, у яких при аналогічному накладенні долоні лівої руки головна ріжуча крайка виявляється розташованою на стороні великого пальця.

– Залежно від матеріалу ріжучої частини різці підрозділяються на *швидкорізальні, твердосплавні, мінералокерамічні й алмазні*.

– За характером виконуваних операцій різці підрозділяють на: *чорнові й чистові*.

– За способом закріплення ріжучої частини різці поділяться на: *цільні, складові і збірні*.

Цільні різці виготовляються з однієї заготовки. **Складені різці** являють собою різальний інструмент із нероз'ємним з'єднанням його частин і елементів. Вони можуть бути *звареними, клеєними й паяними*. І нарешті, **збірні різці** являють собою різальний інструмент із роз'ємним з'єднанням його частин і елементів.

2.2. Поверхні і координатні площини при точінні

При точінні різальний інструмент і заготовка призводять робочі рухи формоутворення, а саме (рис. 3):

– **Головний рух різання (D_r)**. У загальному випадку головний рух різання являє собою прямолінійний поступовий або обертовий рух заготовки або ріжучого інструменту, що відбуває з найбільшою швидкістю в процесі різання. При точінні головний рух різання є обертовим рухом. Головний рух різання може входити до складу складного формотворного руху, наприклад, при нарізуванні різьби. Швидкість головного руху різання V , ще називають ще називають швидкістю різання;

– **Рух подачі (D_s)** являє собою прямолінійний поступовий або обертовий рух різального інструменту або заготовки, швидкість якого менше швидкості головного руху різання й призначено для того, щоб поширити відділення шару матеріалу, який

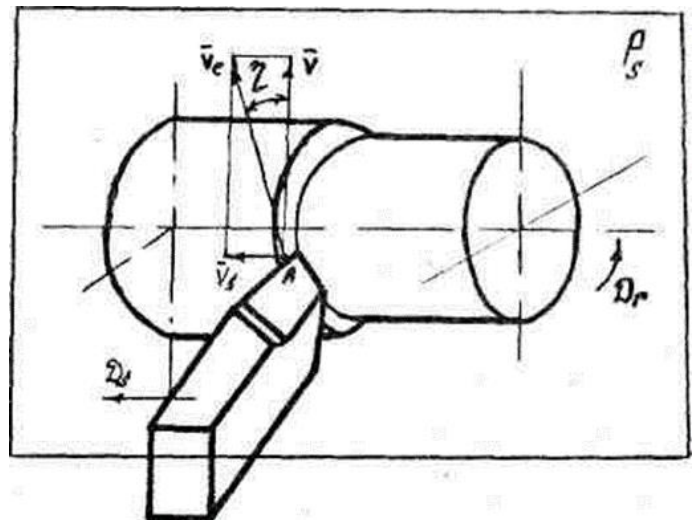


Рис. 3. – Рухи формоутворення при точінні. V_c – швидкість результуючого руху різання; V_s – швидкість руху подачі; V – швидкість головного руху різання; D_s – рух подачі; D_r – головний рух різання; P_s – робоча площина; A – обрана точка головної різальної кромки; r – кут різання.

зрізається, на всю оброблювану поверхню. Рух подачі може бути безперервним або переривчастим. Переривчастий рух подачі може відбуватися в перервах процесу різання.

В залежності від напрямку руху подачі розрізняють *поздовжню подачу*, *поперечну* та *комбіновану*. Рух подачі може входити до складу складного формотворного руху (наприклад, при шліфуванні різьблення). Швидкість руху подачі V_s являє собою швидкість розглянутої точки ріжучої кромки в русі подачі

– **Дотичний рух різання (D_k)** являє собою прямолінійний поступовий або обертовий рух різального інструменту, швидкість якого менше швидкості головного руху різання й спрямовано по дотичній до ріжучої кромки, і призначене для того, щоб поміняти контактуючі із заготівлею ділянки ріжучої кромки (наприклад, при точінні чашковими різцями). Швидкість дотичного руху являє собою швидкість розглянутої точки ріжучої кромки або заготівки в дотичному русі;

– **Результуючий рух різання (De)** являє собою сумарний рух різального інструменту щодо заготівки, що включає головний рух різання, рух подачі й дотичний рух. Швидкість результуючого руху різання Ve являє собою швидкість розглянутої точки ріжучої кромки в результуючому русі різання.

Площина, у якій розташовані напрямки швидкостей головного руху різання й руху подачі, називається робочою площиною Ps (рис. 3).

При точінні на заготівки розрізняють наступні поверхні. (рис. 4):

– **Оброблювальна поверхня**, така поверхня заготівки деталі, яка зникає в результаті зняття припуску, або видалення поверхневого шару, що зрізується;

– **Поверхня головного руху Rr** (рис. 4, 5), яка утворена ріжучою кромкою в головному русі різання;

– **Поверхня різання R** (рис. 4, а), поверхня, яка безпосередньо утворюється лезами інструменту в процесі різання. Ця поверхня є перехідною між оброблюваною і обробленою поверхнями, вона існує тільки під час різання і зникає після закінчення обробки;

– **Оброблена поверхня** - це поверхня, яку утворено на заготівки (деталі) в результаті видалення поверхневого шару, який зрізається.

Взаємне розташування поверхонь інструмента й оброблюваної деталі й буде визначати геометрію ріжучої частини інструмента. За ГОСТ 25762-83 геометричні параметри ріжучої частини інструмента розглядають в *статичній*, *кінематичній* і *настановна системах координат*.

Статична система координат - це прямокутна система координат, з початком у вершині леза або у вибраній точці головної ріжучої кромки, орієнтована щодо конструктивних елементів ріжучого інструменту, прийнятих за базу. Застосовується статична система для контролю геометричних параметрів різців після їх заточування, тобто в ній визначають фактичні значення кутів інструменту без урахування їх розташування на верстаті. Вона є в загальному випадку перехідною системою від інструментальної системи координат до кінематичної.

Кінематична система координат - це прямокутна система координат, з початком в даній точці головної ріжучої кромки, орієнтована щодо напрямку швидкості результуючого руху різання. Застосовується кінематична система для контролю геометричних параметрів різців в процесі експлуатації, тобто в ній визначають фактичні значення кутів інструменту з урахуванням їх переміщень щодо заготівки, верстата або іншої вибраної точки відлік.

Настановна система координат – це підвид кінематичної системи координат, з початком в даній точці головної ріжучої кромки, орієнтована щодо напрямку швидкості результуючого руху різання з урахуванням погрішності установки різця щодо базових поверхонь устаткування. Застосовується настановна система для контролю геометричних параметрів різців в процесі експлуатації, тобто в ній визначають фактичні значення кутів інструменту з урахуванням їх переміщень щодо заготовки.

Кожна система координат містить у собі три координати площини (рис. 2): – основну площину (P_v), площину різання (P_n), головну січну площину (P_t) і допоміжну площину.

Основною площиною (P_v) називається координатна площина, яка проведена через розглянуту точку ріжучої кромки інструмента, перпендикулярно напрямку швидкості головного або результуючого руху різання в цій точки. Розрізняють:

P_{vi} – **інструментальна основна площина** – основна площина інструментальної системи координат;

P_{vc} – **статична основна площина** – основна площина статичної системи координат;

P_{vk} – **кінематична основна площина** – основна площина кінематичної системи координат.

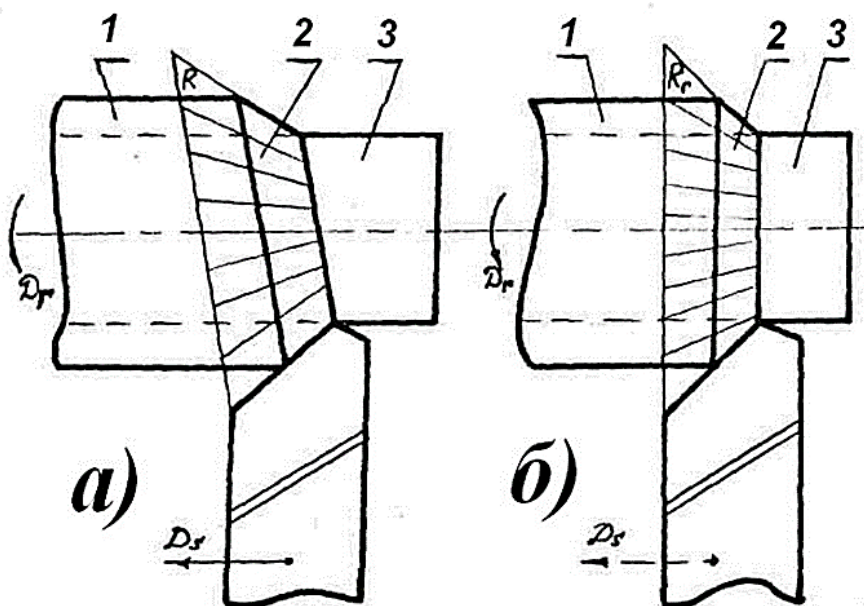


Рис. 4. – Поверхні заготовки в процесі точіння.
 а) в повздовжньому руху;
 б) без повздовжнього руху;
 1 – оброблювальна поверхня;
 2 – поверхня головного руху
 Rr або поверхня різання R ;
 3 – оброблена поверхня;
 Dr – головний рух різання;
 Ds – рух подачі

Площиною різання (P_n) називається координатна площина, в діль якої прямолінійно рухається ріжуча кромка різця.

Розрізняють такі види площин:

P_{ni} – **інструментальна площина різання**; вона перпендикулярна інструментальній основній площині;

P_{nc} – **статична площина різання**; вона перпендикулярна статичній основній площині;

P_{nk} – **кінематична площина різання**; вона перпендикулярна кінематичній основній площині.

Головною січною площиною (P_t) називається координатна площина, яка перпендикулярна лінії перетинання основної площини й площини різання. Розрізняють наступні види площин:

- *$P_{ти}$ - інструментальна головна січна площина;*
- *$P_{тс}$ - статична головна січна площина;*
- *$P_{тк}$ - кінематична головна січна площина.*

Крім розглянутих координатних площин розрізняють ще *нормальну січну площину*, що перпендикулярна ріжучій кромки в розглянутій точки.

2.3. Кути токарного ріжучого інструменту

У координатній площині XU (горизонтальна або основна площина) вимірюють слідувачі кути (рис. 5): *головний (φ) і допоміжний (φ_1) кут в плані та кут при вершині інструменту (ε).*

Головний кут в плані (φ) – кут в основній площині (P_v) між площиною різання (P_n) і робочою площиною (P_s) або напрямком подачі, рис. 5.

Допоміжний кут в плані (φ_1) – кут в основній площині (P_v) між допоміжною ріжучою кромкою і робочою площиною (P_s), або напрямком подачі, рис. 5.

Кут при вершині (ε) - кут в основній площині (P_v) між площиною різання (P_n) і допоміжною площиною (P). Величина кута при вершині не залежить від базування і закріплення різця, отже, може змінюватися тільки в статичній системі координат при заточуванні. Проте його величина істотно впливає на процес зрізу стружки, оскільки залежить від взаємозв'язку значення цього кута з деформацією шару, що зрізається, теплопровідністю і шорсткістю обробленої поверхні, тобто є суперечливою (рис. 5).

У координатній площині YZ (вертикальна площина) вимірюють слідувачі кути (рис. 6): *передній (γ), задній (α), кут загострення (β), кут різання (δ).*

Передній кут (γ) – кут в головній січній площині знаходиться між передньою поверхнею леза ($A\gamma$) і проекцією основної площини (P_s), яка проходить через вершину інструменту рис. 6. У кінематичній системі координат величина цього кута визначається залежно від знаку кута нахилу головної ріжучої кромки. Залежно від схеми базування і закріплення різця щодо подовжньої осі оброблюваної поверхні в настановній системі координат можна

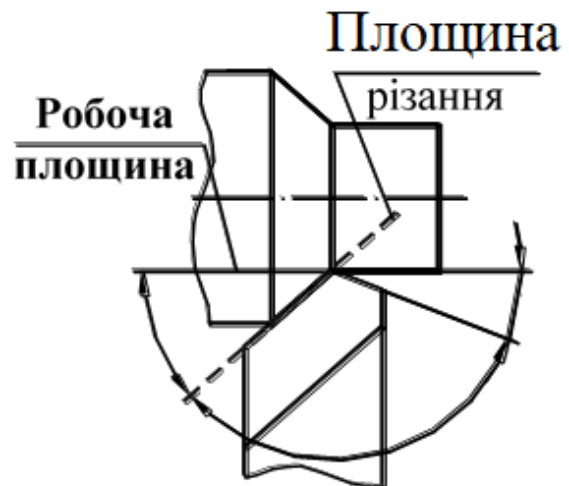


Рис. 5. – Кути різця в горизонтальній площині. φ - головний кут в плані; φ_1 - допоміжний кут в плані; ε - кут при вершині.

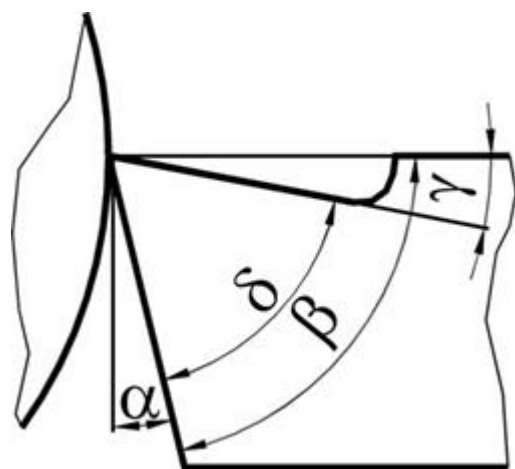


Рис. 6. – Кути різця в вертикальній площині. γ - передній, α - задній, β - загострення, δ - кут різання

зміряти і розрахувати значення робочого переднього кута. Таким чином: $+ \gamma \rightarrow 90^\circ \leq \alpha + \delta + \gamma$; тоді при $- \gamma \rightarrow 90^\circ \geq \alpha + \delta + \gamma$.

Передній кут позитивний ($+ \gamma$), якщо передня поверхня направлена вниз від площини, перпендикулярної від вертикальної координатної площини ZX , і навпаки – негативний ($- \gamma$) – якщо вгору від вказаної площини.

Задній кут (α) – кут в головній січній площині, між задньою поверхнею леза ($A\alpha$) і площиною різання (Ps) рис. 6. Зміна величини робочого заднього кута, крім цього, пов'язано з тим, що вектор швидкості різання не перпендикулярний головному лезу. Тому і при простому робочому русі цей кут не рівний куту заточування. Тільки у тому випадку, коли при простому робочому русі кут ψ буде рівний нулю,

то робочий задній кут різця α_p не відрізнятиметься від кутів заточування.

Кут загострення (β) – кут в головній січній площині, між проекцією основної площини (Ps) і задньою ($A\alpha$) поверхнею леза рис. 6. Впливає на міцність інструменту.

Сума кутів $\alpha + \beta = \delta$ або так званий **кут різання** рис. 6, розташовується між передньою ($A\gamma$) і задньою ($A\alpha$) поверхнею інструменту. Впливає на міцність ріжучого клину.

Якщо поверхня ріжучого інструменту криволінійна, то значення кутів α , γ , β , δ визначається (вимірюються) від дотичних ліній, проведених до криволінійних ліній в довільній точці ріжучої кромки, тобто значення цих кутів уздовж ріжучої кромки будуть змінними.

Кут нахилу головної ріжучої кромки (λ) – це кут, який визначає напрямок головної різальної кромки відповідно вершини різального інструменту (рис. 7).

Вимірюється величина цього кута в залежності від положення найвіддаленішої точки головної різальної кромки відносно вершини інструменту. Величина та знак кута визначаються відносно проекції основної площини, яка проходить через вершину та положення передньої поверхні різця.



Рис. 7. – Розташування кута нахилу головної ріжучої кромки відповідно вершини інструменту.

Від знаку цього кута (рис. 7) залежить напрямок сходу стружки по передній поверхні різця, що дуже важливо з міркувань техніки безпеки при обробці різноманітних матеріалів. Особливо це впливово, при обробці в'язких матеріалів, коли під час обробки виникає безперервний потік зливної стружки.

2.4. Статична геометрія ріжучої частини різця

Статична геометрія ріжучої частини різця характеризується кутами, розглянутими в статичній системі координат (рис. 8).

Головні статичні вугілля різця виміряються в перетині, утвореному головною січною площиною $P\tau$. До них ставляться передній кут γ_C , задній кут α_C , кут загострення β_C .

Статичний головний передній кут γ_C - це кут у статичній головній січній площині, вимірюваний між передньою поверхнею леза й статичною основною площиною. Він може бути позитивним, якщо розглянута крапка A ріжучої кромки є найвищою крапкою передньої поверхні; рівним нулю, якщо передня поверхня леза в розглянутій точці A збігається з основною площиною; негативним, якщо розглянута крапка A ріжучої кромки є найнижчою крапкою передньої поверхні.

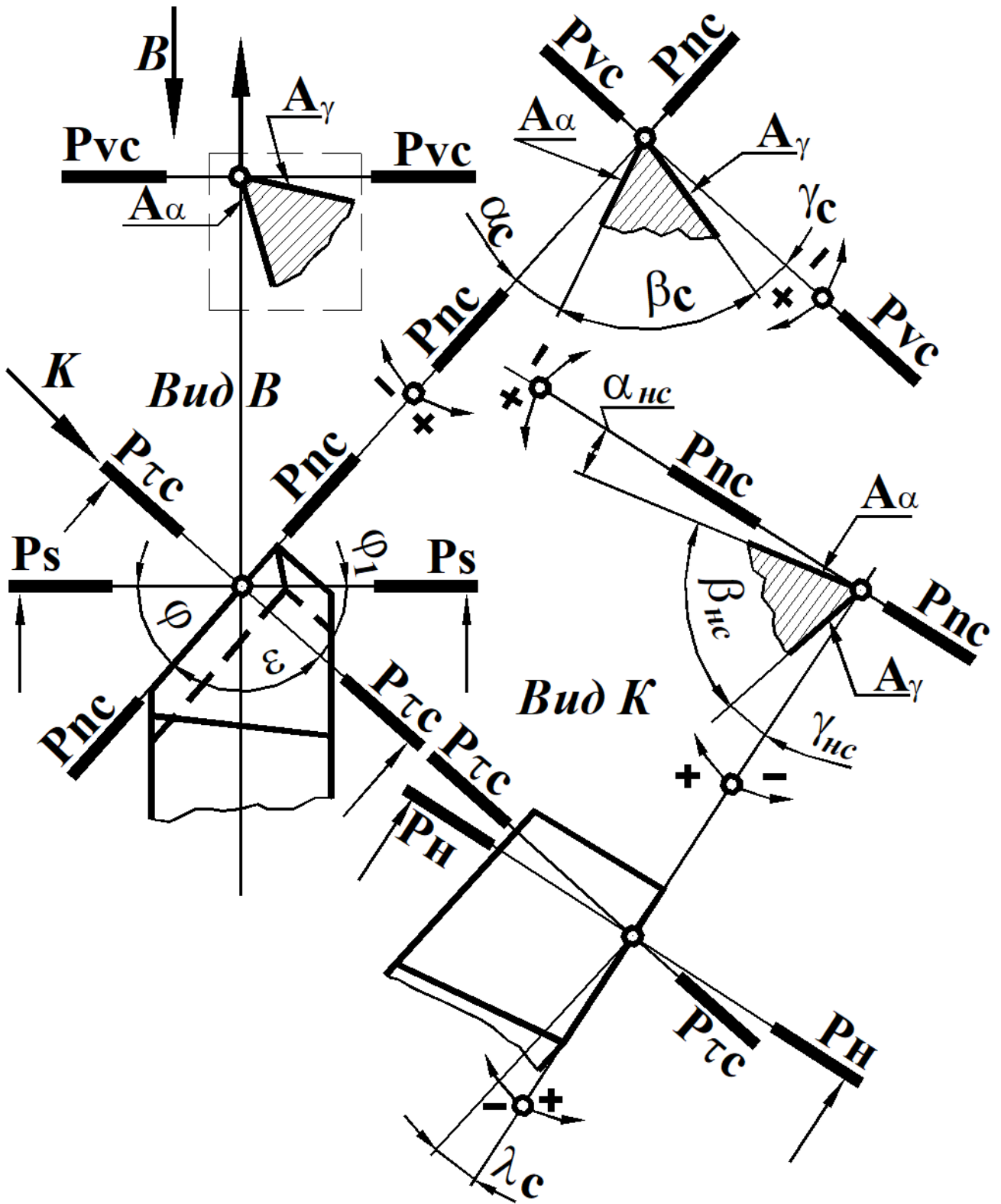


Рис. 8. – Статична система координат.

Статичний головний задній кут α_c – це кут у статичній головній січній площині, вимірюваний між задньою поверхнею леза й статичною площиною різання.

Статичний головний кут загострення ϵ_c - це кут у статичній головній січній площині, вимірюваний між передньою й задньою поверхнями леза.

Як видно з рис. 8, між кутами γ_C , α_C , ε_C , існують наступні залежності:

$$\gamma_C + \alpha_C + \varepsilon_C = 90^\circ; \quad \alpha_C + \varepsilon_C = 90^\circ - \gamma_C.$$

У ці формули значення кута γ_C підставляють зі своїм знаком "+" або "-". Допоміжні статичні кути різця вимірюються в перетині, утвореному допоміжною січною площиною $P'\pi$. До них ставляться передній кут γ_{IC} , задній кут α_{IC} і кут загострення β_{IC} , які визначаються аналогічно головним статичним кутам різця. Між ними існують аналогічні залежності.

Статичні кути різця в плані вимірюються в статичній основній площині. До них ставляться наступні кути:

– *Головний кут у плані* (φ_C) - це кут у статичній основній площині між площиною різання й робочою площиною;

– *Допоміжний кут у плані* (φ_{IC}) - це кут у статичній основній площині між допоміжною площиною різання й робочою площиною,

– *Кут при вершині різця* β_{IC} - це кут у статичній основній площині між проекціями головної й допоміжної ріжучої кромки на основну статичну площину.

На рис. 9 між кутами в плані існує залежність: $\varphi_C + \varphi_{IC} + \varepsilon_C = 180^\circ$.

Статичний кут нахилу головної ріжучої кромки λ_C вимірюється в статичній площині різання між ріжучою крайкою, і статичною основною площиною, проведеною через вершину різця. Кут може бути позитивним, якщо вершина різця є найнижчою крапкою головної ріжучої кромки; негативним, якщо вершина різця - найвища крапка ріжучої кромки; і рівним нулю, якщо ріжуча крайка лежить в основній статичній площині.

Статична геометрія інших типів токарних різців аналогічна геометрії токарного прохідного різця. Для прикладу, на рис. 9 представлена статична геометрія токарного відрізного різця, а на рис. 10 - токарного підрізного різця.

2.5. Дійсна геометрія ріжучої частини різця

У реальних умовах при різанні дійсні геометричні параметри різця φ , φ_1 , α і γ відрізняються від статичних на величину деякого кута η , який залежить від співвідношень швидкостей робочих рухів формоутворення поверхонь при точінні, а також від точності установки різця на верстаті. Розглянемо причини зміни геометричних параметрів різця У процесі різання, крім головного обертового руху заготовки, різцю повідомляється рух подачі (поздовжньої або поперечної), що викликає зміну положення координатних площин і відповідно кутів різця, які будуть тепер визначатися в кінематичній системі координат - прямокутній системі координат з початком у розглянутій точки А ріжучого леза, орієнтованого щодо напрямку швидкості результуючого руху різання.

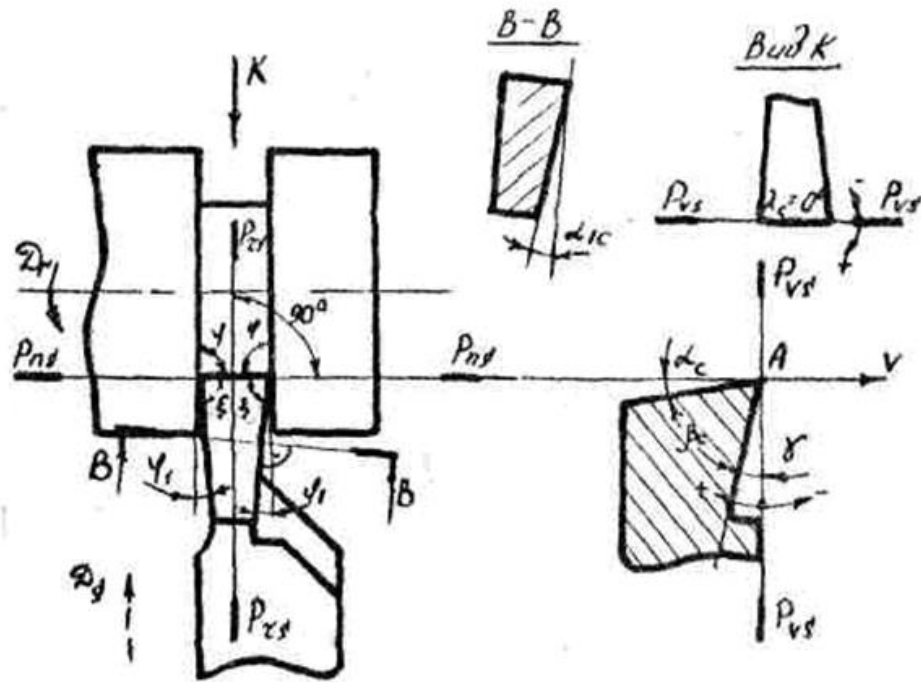


Рис. 9. - Статична геометрія токарного відрізного різця.

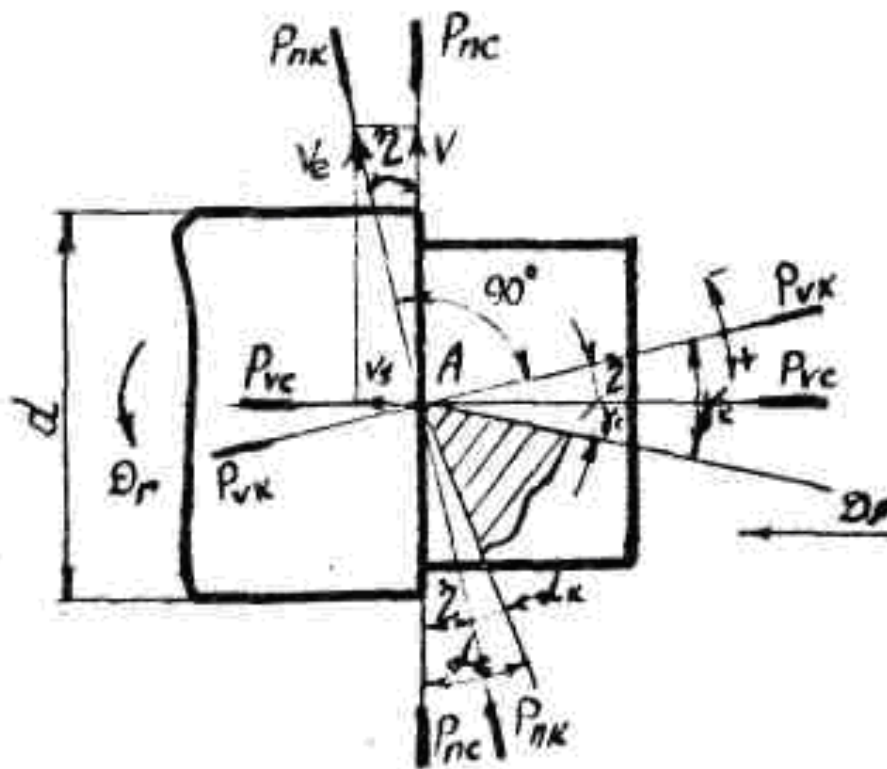


Рис. 10 – Значення переднього γ_K і заднього α_K кута при поздовжньому точінні.

Розрізняють наступні координатні площини:

– P_{vk} – основна площина кінематичної системи координат, яка проведена через розглянуту точку A ріжучої кромки перпендикулярно напрямку вектору швидкості результуючого руху різання V_e у цій точки;

– P_{nk} – площина різання кінематичної системи координат, яка дотична до ріжучої кромки в розглянутій точки A і перпендикулярна кінематичній основній площині;

– P_{TK} – головна січна площина кінематичної системи координат, яка перпендикулярна лінії перетинання кінематичної основної площини і площини різання в розглянутій точки A ріжучої кромку (див. рис. 10) збігається із площиною креслення).

Головні кінематичні кути різця вимірюються в перетині, утвореному головною січною площиною P_{TK} . Розглянемо передній γ_K і задній α_K кути при поздовжньому (рис. 11) і поперечному (рис. 12) точінні.

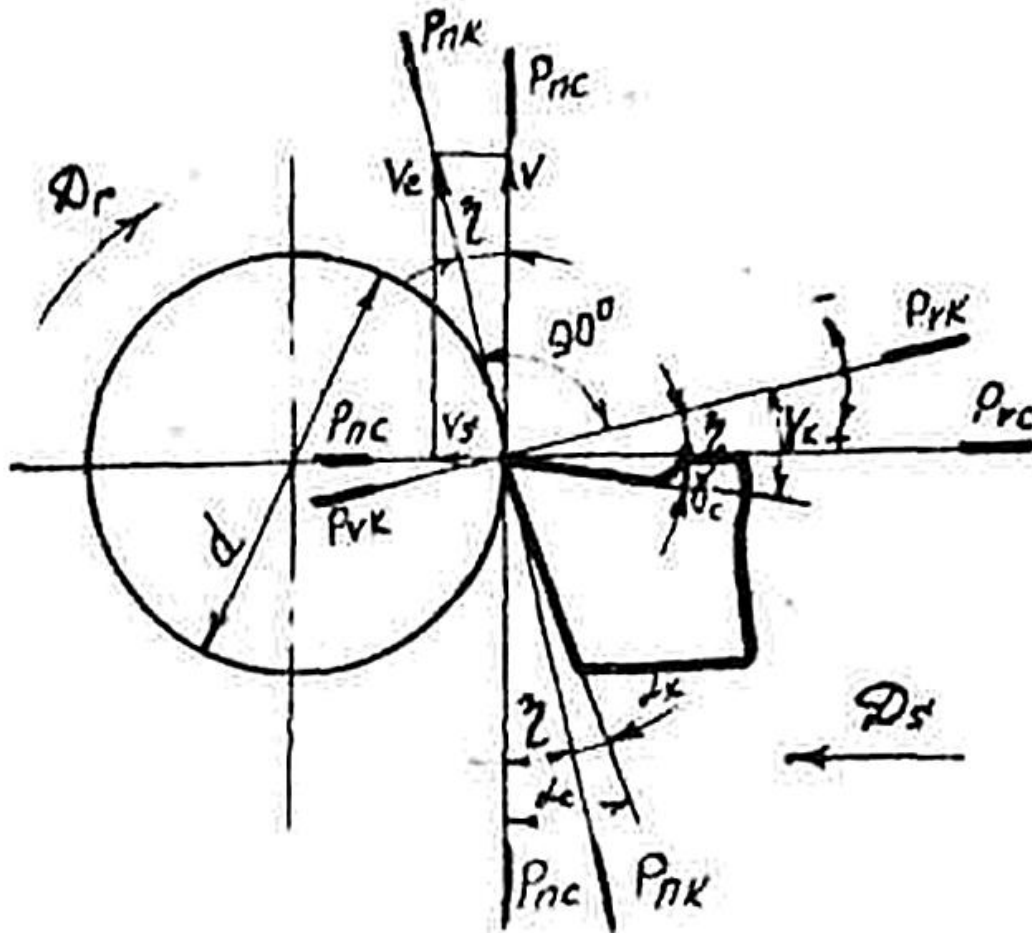


Рис. 11. – Значення переднього γ_K і заднього α_K кута при поперечному точінні.

Кінематичний головний передній кут γ_K – це кут у кінематичній головній січній площині між передньою поверхнею леза й кінематичною основною площиною.

Кінематичний головний задній кут α_K – це кут у кінематичній головній січній площині між задньою поверхнею леза й кінематичною площиною різання.

При поздовжньому (рис. 11) і поперечному (рис. 12) точінні кінематична основна площина P_{VK} і площина різання P_{TK} розгорнуті щодо статичної системи координат $P_{VC} - P_{NC}$ на кут η , значення якого визначається відношенням швидкості подачі V_s і швидкості головного руху різання V .

$$\operatorname{tg} \eta = V_s / V = (S \cdot n) / (\pi \cdot d \cdot n) = S / (\pi \cdot d),$$

де S – величина поздовжньої (поперечної) подачі, мм/об; n – частота обертання заготовки, об/хв; d – діаметр оброблюваної поверхні, мм.

Відповідно до цього зміняться величини переднього й заднього кутів, які обміряні в кінематичній системі координат, у порівнянні з їхніми статичними значеннями: $\gamma_K = \gamma_C + \eta$; $\alpha_K = \alpha_C - \eta$

При поздовжньому точінні, коли діаметр оброблюваної поверхні залишається незмінним, кут η має постійне значення під час обробки; при поперечному точінні, коли діаметр змінюється від максимального значення до мінімального, кут η збільшується в міру наближення ріжучого леза до центра заготовки, У якийсь момент часу можуть виникнути несприятливі умови різання, коли дійсне значення заднього кута α_K буде дорівнює нулю або прийме негативне значення, що може привести до поломки інструмента внаслідок затирання задньої поверхні різця об поверхню різання. Цей факт необхідно враховувати при призначенні заднього кута заточення різця, а також при призначенні величини подачі, особливо для роботи відрізними різцями.

Крім того, дійсні геометричні параметри залежать також і від точності установки різця на верстаті: якщо різець установлений на верстаті так, що його вісь не буде перпендикулярна осі заготовки (рис. 12), то значення кутів різця в плані φ_K , φ_{IK} буде відрізняться від статичної:

$$\varphi_K = \varphi_C \pm \eta; \quad \varphi_{IK} = \varphi_{IC} \mp \eta,$$

де η – кут повороту осі державки різця.

Як видно з рис. 12, зміна кутів у плані відбувається за рахунок повороту ріжучого леза різця.

Якщо ріжуче лезо різця встановлене вище або нижче лінії центрів, геометрія різця в головній січній площині буде також відрізняться від статичної (див. рис. 13):

$$\alpha_K = \alpha_C \mp \eta; \quad \gamma_K = \gamma_C \pm \eta,$$

де верхні знаки беруть при установці різця вище лінії центрів для випадку зовнішнього точіння й при установці нижче лінії центрів для випадку розточування; нижні знаки – навпаки.

Зміна геометрії різця в цьому випадку відбувається за рахунок повороту площини різання, що завжди проходить через вектор швидкості різання.

Величину угла повороту η можна визначити із трикутника 012 (рис. 12):

$$\sin \eta = 2h / d,$$

де h – величина погрішності установки різця, мм; d – діаметр оброблюваної поверхні, мм.

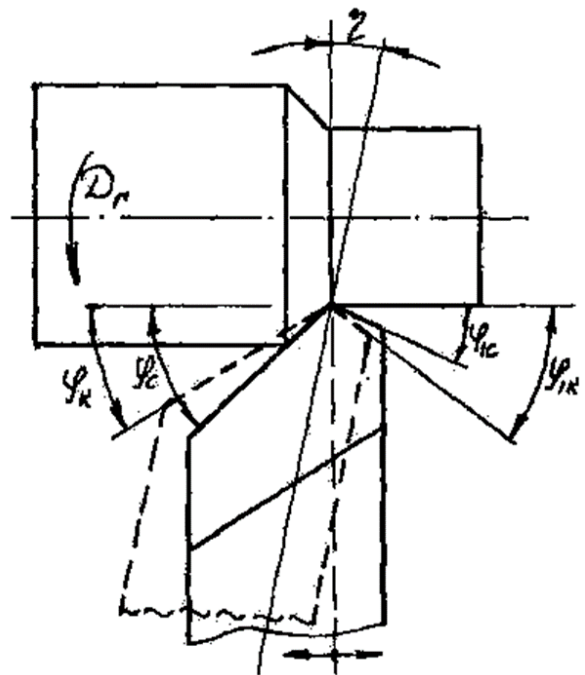


Рис. 12 - Дійсні геометричні параметри в залежності від точності установки різця на верстаті у горизонтальній площині.

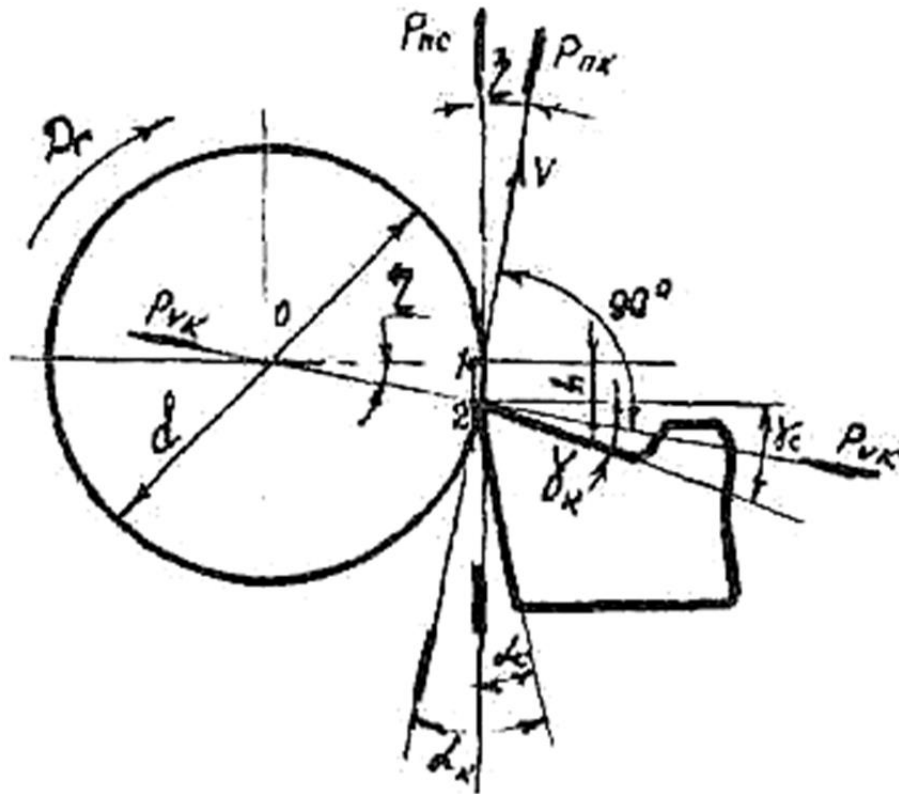


Рис. 13 - Дійсні геометричні параметри в залежності від точності установки різця на верстаті у вертикальній площині.

2.6. Устаткування, прилади й інструменти. Методика виміру кутів різця.

Для проведення лабораторної роботи «Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри токарних різців» необхідно мати:

- комплект токарних різців, що містять: прохідний, відрізний і підрізний різці з різною геометрією заточення робочої частини;
- настільний універсальний прилад для виміру значень кутів заточення різця мод. ІР-2 (рис. 14);
- кутомір конусний універсальний, конструкції Д.С. Семенова;
- штангенциркуль;
- лінійка металева.

Прилад для виміру кутів заточення токарного різця мод. ІР-2 (рис. 14) складається із круглої або прямокутної масивної підстави 1 із закріпленою в ній вертикальною циліндричною стійкою 2, поворотним столиком 3, що обертається навколо стійки 1, вимірювальної робочої частини, що має шкалу 5 і лінійки - шаблону 6 з покажчиком 7, що має можливість повороту уздовж площини шкали навколо осі 8. Для кріплення вимірювальної робочої частини в потрібнім положенні служить гвинт 9, що одночасно запобігає від повороту вимірювальної робочої частини, входячи в поздовжній паз, виконаний на вертикальній стійці. У такий спосіб вимірювальна робоча частина може переміщатися тільки уздовж вертикальної стійки.

На шкалі 5 виконана кутова градировка із ціною розподілу в 1° , в інтервалі від 0° до 45° , симетрично по обох сторони від нульової оцінки.

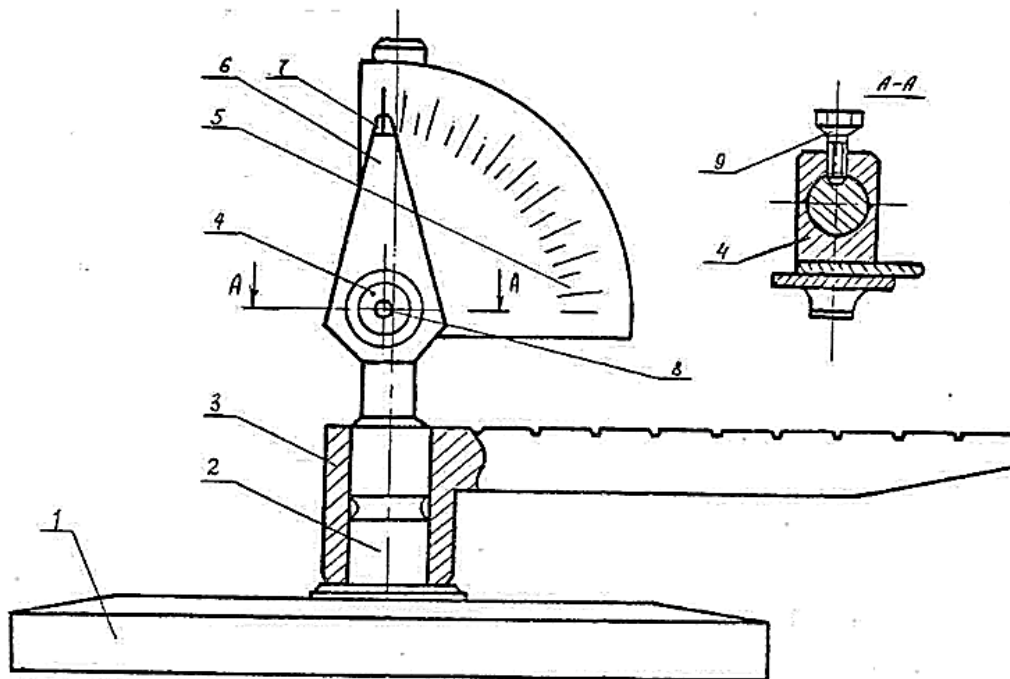


Рис. 14. - Прилад для виміру кутів заточення різця мод. IP-2.

1 – підставка; 2 – стійка; 3 – поворотний столик; 4 – хомутик; 5 – ноніус; 6 – лінійка шаблонів; 7 – покажчик; 8 – вісь; 9 – утримуючий гвинт.

На лінійці-шаблоні 6 виконані три вимірювальні лінійки: дві взаємно перпендикулярні, що утворюють кожна кут 45° з покажчиком 7 лінійки-шаблона, і одну – розташовану перпендикулярно покажчикам 7.

Кожна вимірювальна лінійка призначена для виміру зазначених на ній кутів заточення різця. При вимірі кутів заточення різець необхідно встановити на поворотному столі 3 таким чином, щоб площина шкали 5 збігалася з тією площиною, у якій виміряються конкретні кути. Так, при вимірі кутів γ_c і α_c площина шкали 5 повинна збігатися з головною січною площиною. Для цього різець установлюють на поворотному столі своєю підставкою та повертають разом зі столом доти, поки площина шкали 5 не буде головною січною площиною. Сполучають потім вимірювальну лінійку, призначену для виміру кута γ_c , з передньою поверхнею, при цьому отримуємо на шкалі 5 значення переднього кута. При цьому кут γ_c буде позитивним, якщо покажчик 7 розташований нижче 0° і негативним – якщо він розташований вище. Аналогічно вимірюється величина заднього кута.

При вимірі кутів у плані різець установлюють на поворотному столі бічною стороною державки, потім повертають зі столом доти, поки площина шкали 5 не збіжиться з основною площиною, після чого роблять вимір кутів φ або φ_1 .

2.7. Заходи безпеки

При виконанні лабораторної роботи необхідно виконувати правила техніки безпеки відповідно до проведеного викладачем інструктажу. На додаток слід зазначити, що при роботі з кутоміром IP-2 (див. рис. 14) і його передачі яруг другові прилад варто брати за підставу 1 і в жодному разі не можна брати за вимірювальну

робочу частину 4

3. ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

3.1. Порядок проведення роботи

На початку заняття проводиться контроль підготовленості студентів до виконання лабораторної роботи. У зв'язку із цим студентам варто вивчити:

- конструктивні елементи різців і ознайомитися з основними типами різців;
- поверхні й координатні площини в статиці і кінематиці;
- геометричні параметри заданих типів різців у статичній системі координат;
- зміни кутів заточення різця в процесі різання й залежно від точності установки на верстаті;
- вимірювальні прилади і опанувати методикою вимірів геометрії заточення різця;

Після ознайомлення із приладами необхідно:

- зробити вимір кутів заточення заданих типів різців (не менш трьох разів), результати вимірів занести в таблицю журналу;
- розрахувати значення кутів ε_c і заданих типів різців; результати занести в таблицю журналу ;
- вимірювати габаритні розміри $B \times H \times L$ заданих типів різців;
- результати вимірів занести в таблицю журналу;
- зробити висновок про виконану роботу;
- оформити звіт.

3.2. Оформлення звіту

Звіт про лабораторну роботу «Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри токарних різців» оформляється в журналі лабораторних робіт встановленого зразка (бланк-журнал видається кожному студентові) і повинен містити:

- повну класифікацію заданих типів різців;
- таблицю геометричних параметрів заданих різців;
- ескіз заданого різця і його геометричні параметри в статичній системі координат;
- висновок про виконану роботу.

Для одержання зарахування по лабораторній роботі студент повинен мати оформлений відповідно звіт і відповіді на контрольні питання.

Матеріали звіту можуть бути використані студентом при підготовці до заліку або іспиту.

3.3. Питання для самоперевірки знань

1. Назвіть типи різців і приведіть їхню класифікацію?
2. Назвіть головні елементи токарного різця?
3. Назвіть кути різця в горизонтальній площині?
4. Назвіть кути різця в вертикальній площині?

5. Наведіть, які існують координатні площини у статичній системі координат?
6. Наведіть, які існують координатні площини у кінематичній системі координат?
7. Наведіть, що називають переднім кутом?
8. Наведіть, що називають заднім кутом?
9. Наведіть, що називають головним кутом в плані?
10. Наведіть, що називають допоміжним кутом в плані?
11. Наведіть, що називають кутом при вершині.
12. Наведіть, що називають кутом нахилу головної різальної кромки?
13. Наведіть, що називають кутом загострення?
14. Наведіть, що називають кутом різання?
15. З яких елементів складається ріжуча частина різця?
16. Як змінюються кути різця в кінематичній системі координат у порівнянні зі статичної?
17. Як змінюються кути різця залежно від погрішності установки в горизонтальній площині?
18. Як змінюються кути різця залежно від погрішності установки в вертикальній площині?
19. Чим відрізняються між собою конструкції токарних різців для зовнішнього та внутрішнього точіння?
20. Які інструментальні матеріали використовуються для токарних різців?

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ХАРКІВСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

ОСНОВИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ПО ВИКОНАННЮ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 2

**«ТИПИ, КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ТА
ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ СВЕРДЕЛ»**

1. ПІДГОТОВКА ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1.1. Мета роботи

Метою лабораторної роботи «Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри свердел» є експериментальне підтвердження вивчених теоретичних положень, щодо конструкції свердел, для чого необхідно:

- ознайомлення з існуючою класифікацією свердел та основами їх конструкції;
- ознайомлення з конструктивними елементами та вивчення геометричних параметрів свердел;
- придбання навичок самостійної роботи із приладами для виміру геометричних параметрів свердел;
- придбання вміння розраховувати величини кутів досліджуваного ріжучого інструменту.

1.2. Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Перед виконанням лабораторної роботи студенти повинні ознайомитися з існуючою інструкцією по техніки безпеки, правилами внутрішнього розпорядку, що діють у лабораторії.

До моменту проведення лабораторної роботи студенти повинні вивчити відповідний підрозділ курсу.

Робота виконується групою студентів з 5...6 чоловік або індивідуально. Перед початком лабораторної роботи на робочому місці підготовляються комплект свердел, вимірювальні прилади, а також методичні вказівки і журнали лабораторних робіт на кожного студента.

Практична частина роботи виконується після вивчення теоретичної частини роботи кожним студентом самостійно. Для цієї мети групі студентів видається по комплекту з п'ятьох різнотипних свердел.

Рекомендована література

1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, А.І. Грабченко, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосолов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазура. – 3-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ–2000, 2018. – 471 с.
2. Металорізальні інструменти: підручник / Равська Н. С. - Житомир: ЖДТУ, 2016. – 612 с.
3. Швець С.В. Металорізальні інструменти: Навчальний посібник. -Суми: Вид-во СумДУ, 2007. - 185 с.
4. Теорія різання [Електронний ресурс] : Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.
5. Основи проектування різального інструмента. Частина II. [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / В. І. Солодкий, О. А. Плівак. – Електронні текстові дані. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 178 с.

6. Кукляк М.Л. Металорізальні інструменти : навч. посіб. / М.Л. Кукляк, І.С. Афтаназів, І.І. Юрчишин. – Львів : вид-во НУ «Львівська політехніка», 2003. – 556 с.
7. Стискін Г.М. та ін. Інструменти для механічної обробки матеріалів. – Львів, 2000.– 497с.
8. Буц Б. Д., Приходько В. Є., Ткачов Ю. В. Розрахунок режимів різання металів: Навч. посіб.-Д.: РВВ ДНУ, 2005.-76 с.
9. Теорія різання [Електронний ресурс]: Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.

2. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Типи свердел і їх конструктивні елементи

В загальному парку металорізальних верстатів, свердлильні верстати займають друге місце по використанню, після токарних, тобто свердла - відносяться до най поширених ріжучих інструментів. Тому серед багатьох способів обробки матеріалів різанням важливе місце займає обробка свердлом, а саме свердлення отворів в різноманітних матеріалах.

Свердління - осьова обробка свердлом. Свердлення застосовується для отримання отворів в суцільному матеріалі, а також для розсвердлювання на більший діаметр вже наявних отворів і отримання центрувальних отворів. Свердленням забезпечується 11...12 квалітети точності і шорсткість обробленої поверхні $Rz=80...20$ мкм. Процес різання при свердленні багато в чому аналогічний точінню, але має ряд особливостей, обумовлених: змінністю переднього кута, що набуває малих і навіть негативних значень у поперечної кромки, що приводить до підвищення деформації шару, що зрізається, сили і температури різання; зміною швидкості різання по довжині ріжучої кромки, що позначається на зміні деформації в суміжних елементах; погіршенням відведення стружки і утрудненням проникнення ЗОТС в зону різання; відсутністю задніх кутів на допоміжних ріжучих кромках, що підвищує сили тертя.

Свердла використовують для отримання в заготовках отворів, які виконані наскрізь або глухі. Отвори утворюються в результаті обертання заготовки та поступового переміщення свердла вдовж осі обробленої заготовки, або обертанням свердла та його поступовим переміщенням вдовж осі обробленої заготовки, або іншими кінематичними схемами обробки отворів (дивись лекції).

Свердла поділяють на три основні групи: стандартні, спеціалізовані і спеціальні.

До стандартних свердел, відносять свердла, конструктивні елементи та геометричні параметри, яких обговорені умовами стандарту, та пристосовані для обробки широкого кола матеріалів, тобто універсальні. Наприклад: шнекові; перові; гвинтові або спіральні свердла.

До спеціалізованих свердел, відносять свердла, які перероблені із стандартних, шляхом переточування та пристосовані для обробки окремих видів матеріалів або малих груп матеріалів. Наприклад: спіральні свердла з елементами дроблення стружки, що пристосовані для обробки кольорових металів (алюмінію), або для безвивідного глибокого свердлення (за один прохід).

До спеціальних свердел відносять свердла, які мають значні пристосування для обробки отворів зі різноманітними технологічними ускладненнями (глибокі отвори, обробка неметалічних матеріалів та інше). Наприклад: перові свердла; кільцеві свердла; одно-, двох- та багатостороннього різання; свердла ВТА; алмазні свердла (для обробки скла) та інші.

Крім розглянутого вище розподілу свердел, існує поділ по типам конструкцій: спіральні; шнекові; перові; свердла одностороннього і багатостороннього різання та інші.

– **спіральні свердла** (рис. 1) є основним типом свердел (двостороннього різання), найбільш широко поширеним в промисловості. Це двозубий ріжучий інструмент, робоча частина якого складається з циліндрової частини, що направляє, уздовж якої йдуть дві гвинтові канавки для відведення стружки, і ріжучої частини. Вони мають дві головні ріжучі кромки, утворені перетином передніх гвинтових поверхонь канавок свердла, по яких сходять стружка, із задніми поверхнями, зверненими до поверхні різання; поперечну ріжучу кромку (перемичку), утворену перетином обох задніх поверхонь, і дві допоміжні ріжучі кромки, утворені перетином передніх поверхонь з поверхнею стрічки. Свердла виконуються з циліндричним та конічним хвостовиком, а також з правим або лівим напрямом обертання канавки.

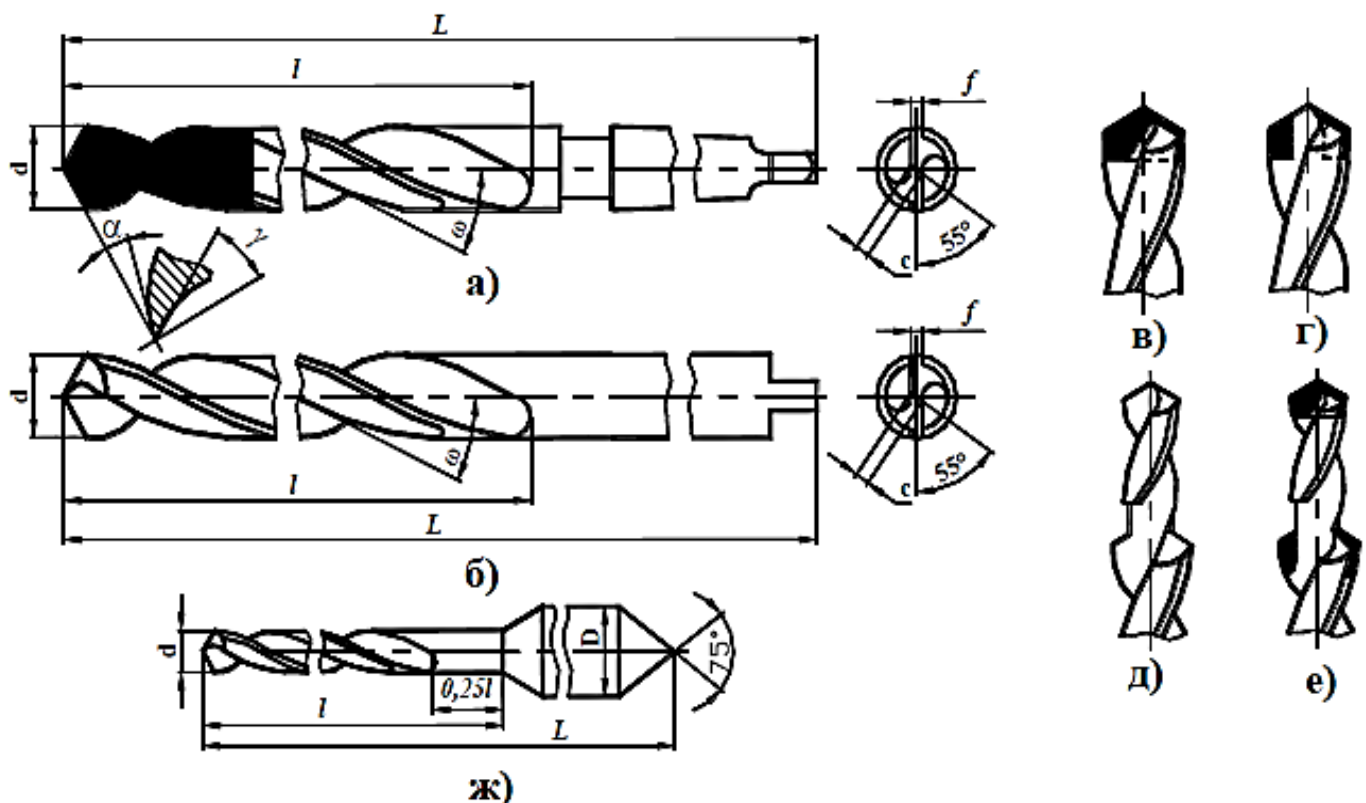


Рис. 1. - Стандартні спіральні свердла: а) зварне з конічним хвостовиком; б) цілісне з циліндричним хвостовиком; в) з цілісною напаяною твердосплавною пластинкою; г) з напаяними роздільними твердосплавними пластинками; д) ступінчасте з швидкорізальної сталі; е) ступінчасте з напаяними твердосплавними пластинками; ж) з потовщеним циліндровим хвостовиком. d - діаметр свердла; L - довжина інструменту; l - довжина робочої частини; α - задній кут; γ - передній кут; ψ - кут нахилу перемички, $\psi = 55^\circ$; f - ширина допоміжної стрічки; ω - кут нахилу гвинтової канавки; c - довжина перемички (товщина серцевини інструменту); d - діаметр хвостовика.

Різновидом спіральних свердел є **шнекові свердла** (рис. 2), які відрізняються тільки кутом нахилу стружкової канавки.

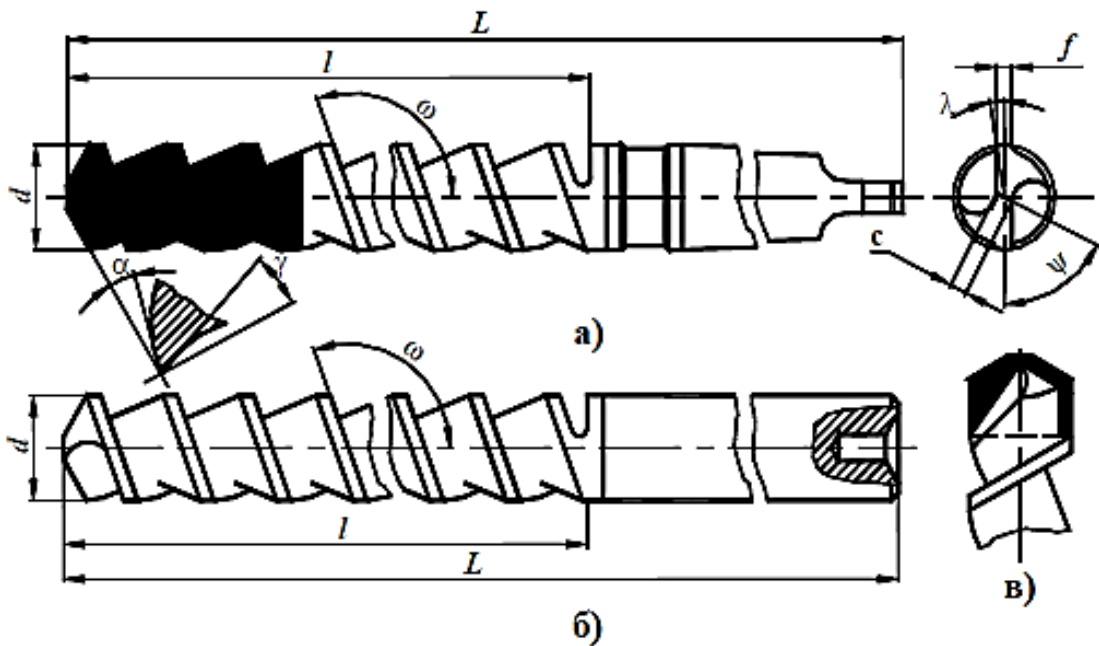


Рис. 2. - Геометричні параметри і конструктивні елементи шнекового свердла. а) зварне з конічним хвостовиком; б) цільне з циліндричним хвостовиком; в) з напаяною твердосплавною пластинкою. d - діаметр; L - довжина; l - довжина робочої частини; α - задній кут; γ - передній кут; λ - кут нахилу ГРК; ψ - кут нахилу перемички; f - ширина допоміжної стрічки; ω - кут нахилу гвинтової канавки; c - довжина перемички (товщина серцевини інструменту).

Спіральні та шнекові свердла призначені для свердлення отворів в сталях підвищеної і високої оброблюваності твердістю 159...229 НВ, вуглецевих і легованих сталях твердістю 179...321 НВ, вуглецевих інструментальних сталях твердістю 179...269 НВ, сірих і ковких чугунах твердістю 170...210 НВ.

– **перові свердла**, є найбільш простими по конструкції (див. рис. 3). Перове свердло (друга назва - перка) є особливою плоскою пластиною з виконаними на ній ріжучими елементами у вигляді спеціального заточування робочої частини, яка механічно закріплюється в спеціальній оправці (для свердел великого діаметру, рис. 4), або припаюється до неї (для свердел малого діаметру, рис. 3).

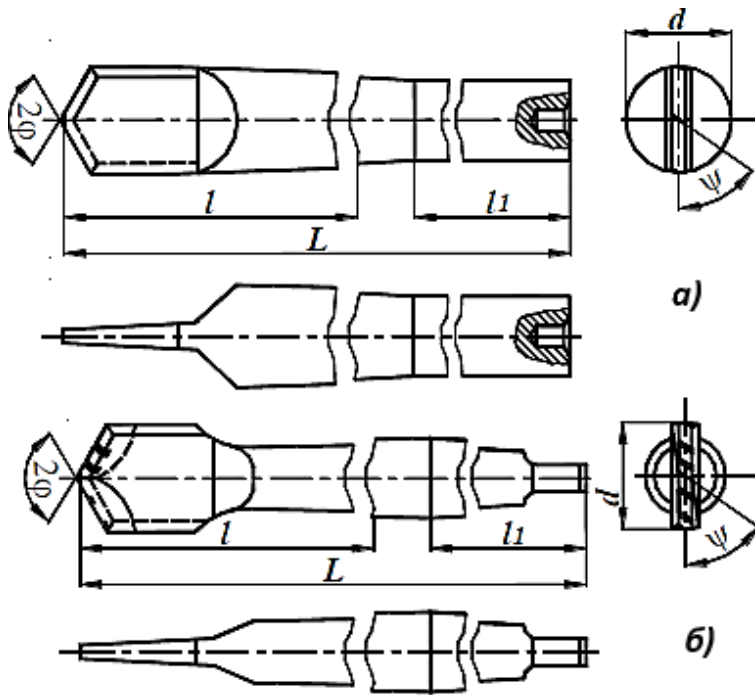


Рис. 3. – Конструкція цілісного (зварного або напаяного) перового свердла з швидкорізальної сталі:

а) з циліндровим хвостовиком без стружколомаючих канавок по ГОСТ 21420-75;

б) з конічним хвостовиком із стружколомаючими канавками.

L - довжина свердла;

l_1 - довжина ріжучої частини;

l_2 - довжина хвостовика.

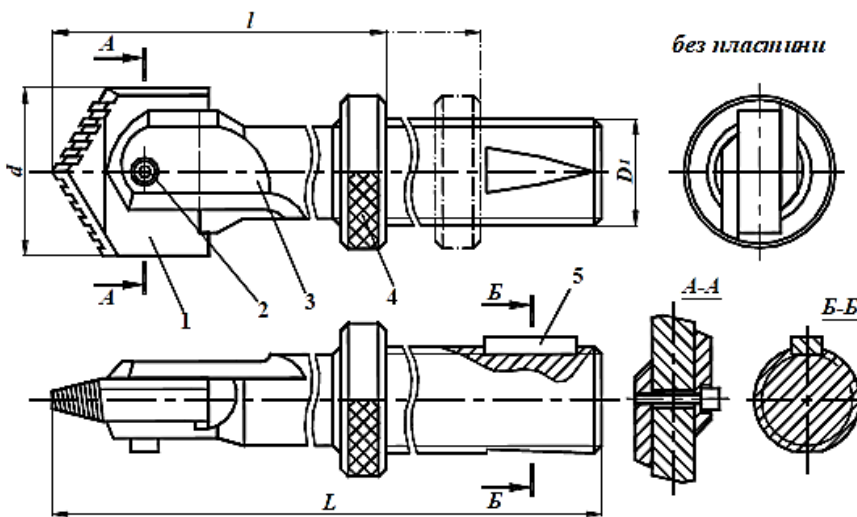


Рис. 4. – Збірне перове свердло з циліндровим хвостовиком по ГОСТ 25524-82.

d - діаметр свердла;

l - довжина робочої частини;

L - довжина свердла;

$D1$ - посадочний діаметр;

1 - ріжуча пластина;

2 - фіксуючий гвинт;

3 - оправка;

4 - регульовальна гайка;

5 - шпонка.

Вони застосовуються при обробці твердих поковок, а також ступінчастих і фасонних отворів.

– **свердла однобічного різання** (рис. 5, 6). Свою назву цей ріжучий інструмент отримав із-за своєрідності конструкції свердла, тобто в його конструкції виконано тільки один зуб, на якому розташовано по одна головна ріжуча кромка і стрічка, відносної осі свердла (звідси і назва). Головна ріжуча кромка залежно від діаметру свердла може бути безперервною або розірваною на дві або більш за частини. ГРК і вершина інструменту розташовані симетрично, або несиметрично, щодо осі свердла, вершина зміщена, що вимагає обов'язкового напрямку. Для напрямку в каналі отвору і компенсації осьової сили різання, що діє на головній ріжучій кромці, головка виконується з цілісними опорними поверхнями або з направляючими елементами у вигляді напаяних або механічно закріплених пластин з різних матеріалів (тверді породи деревини, пластмаси, твердий сплав і ін.). Окрім цього у свердла відсутня поперечна ріжуча кромка (перемичка), а передня поверхня розташована на 0,05...0,2 мм нижче за вісь інструменту, що різко знижує осьову складову сили різання, запобігає появі «нульової» швидкості різання у осі свердла.

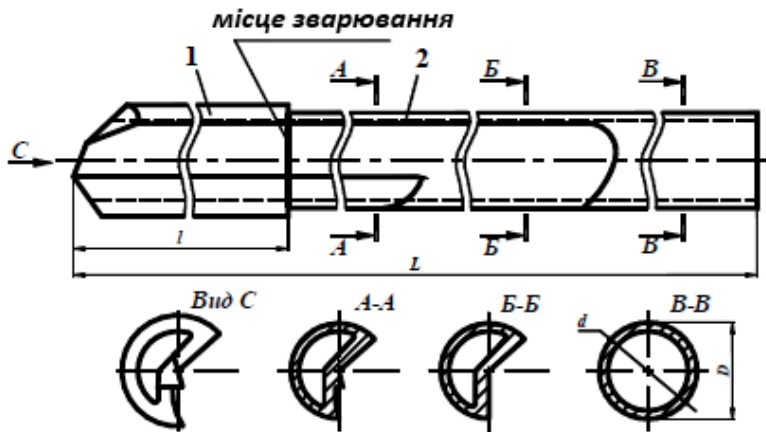


Рис. 5. – Рушничне свердло.

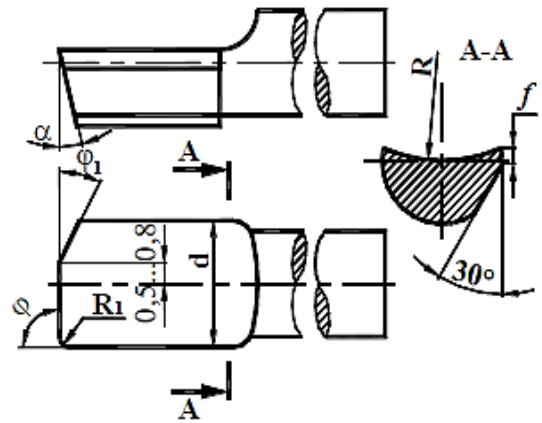


Рис. 6. – Гарматне свердло.

Ріжучий інструмент одностороннього різання для суцільного свердлення глибоких отворів має ще ряд інших назв, проте принцип роботи і різновиду конструкцій цих свердел принципово однакові. Основні відмінності між конструкціями цих інструментів виявляються: за формою заточування (*лопаточні і рушничні*), виконання (*лопаточні, трубчато-лопатні, рушничні і гарматні*), по оброблюваному діаметру (*рушничні і гарматні*). Окрім цього залежно від способу підведення ЗОТС і відведення пульпи (фрагментів стружки з паро-рідинною ЗОТС) бувають: зовнішнє підведення ЗОТС і внутрішнє відведення пульпи (*лопатки*); внутрішнє підведення ЗОТС і зовнішнє відведення пульпи (*трубчато-лопатні і рушничні*); із зовнішнім підведенням ЗОТС і відведенням пульпи (*гарматні і лопатні*).

Свердла розглянутих конструкцій дозволяють свердлити глибокі отвори в деталях з високолегованої сталі в відпалювальному стані, із застосуванням наступних режимів різання: $v_0 = 60 \dots 80 \text{ м/хв}$; $s_0 = 0,08 \dots 0,12 \text{ мм/об}$, що відповідає годинній продуктивності $s_{\text{ч}} = 2,3 \dots 4 \text{ м/год}$.

– **свердла багатобічного різання.** До свердел багатокромкового різання необхідно віднести такі види ріжучих інструментів, які призначені для обробки глибоких і надглибоких отворів, і в конструкції таких інструментів, передбачена наявність декількох головних ріжучих кромки на одному ріжучому елементі (швидкозмінному різці або напаяної пластині). Головні ріжучі кромки розташовані залежно від використовуваної схеми різання або виконання ріжучого інструменту. Отже, загальна ГРК розташована на одному швидкозмінному різці або напаяної пластині в конструкціях цих свердел, розділена на декілька окремих ріжучих кромки (за що свердла і отримали назву), за допомогою розділових стружкових канавок або уступів.

Залежно від розташування ріжучих елементів (різців або пластин) в конструкції ріжучого інструменту, розрізняють наступні види цих свердел: з напаяними пластинками (так зване – **одно різцеве з напаяною пластинкою**, див. рис. 7), з одним (одно різцеве, див. рис. 8), двома (**двох різцеве**) і більш змінними різцями (**трьох різцеве**, див. рис. 9) і так далі. Окрім цього, до даної групи свердел необхідно віднести цілісний ріжучий інструмент (**багатокромкове**), у якого головна ріжуча кромка розділена на декілька ріжучих кромки за допомогою розділових стружкових канавок або уступів.

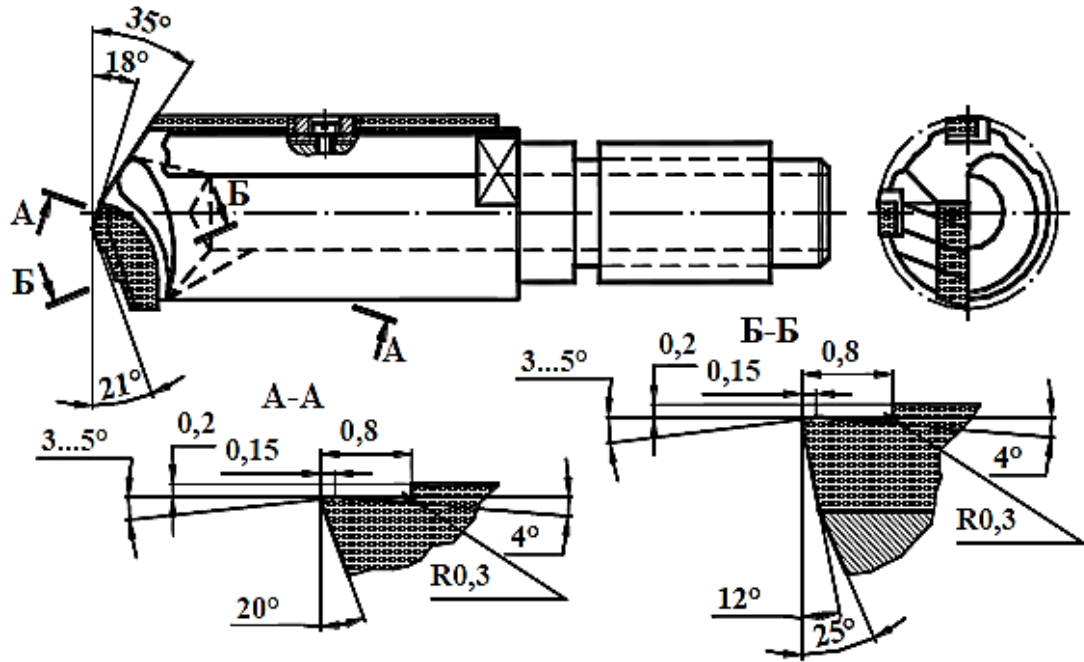


Рис. 7. – Одно різцеве свердло з напаяною ріжучою пластиною з твердого сплаву.

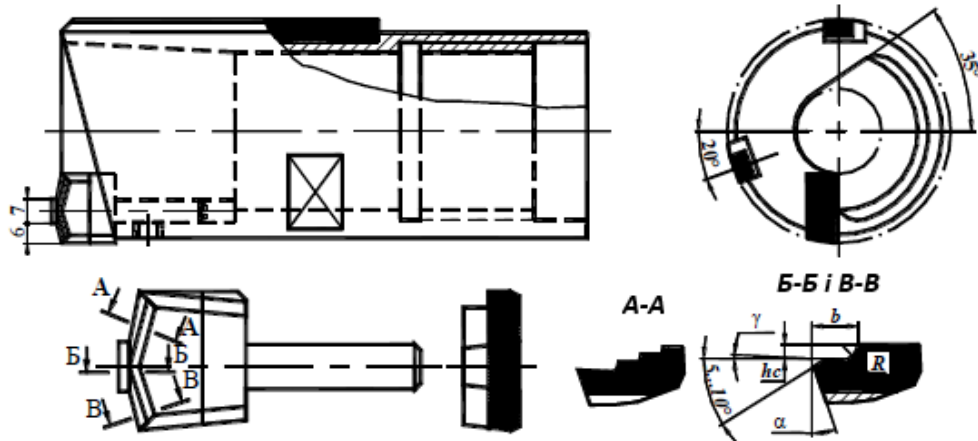


Рис. 8. – Одно різцеве свердло зі змінним різцем.

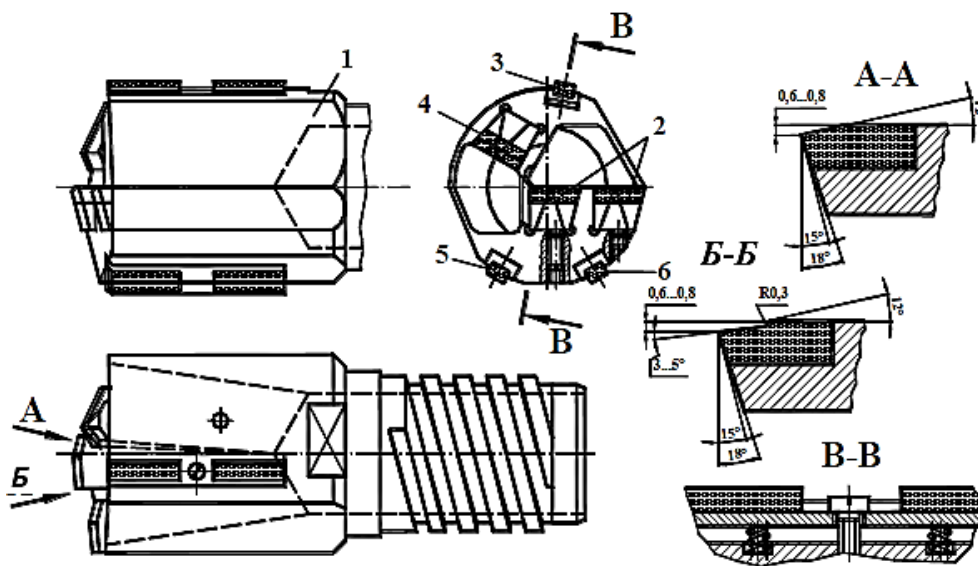


Рис. 9. – Трьох різцеве свердло зі змінними різцями. 1 - корпус; 2, 4 - різці; 5, 6 - жорсткі напрямні; 3 - підпружинені напрямні.

Свердла багатокромкові відрізняються великою різноманітністю конструкцій,

особливо ріжучий інструмент для суцільного свердлення з внутрішнім відведенням стружки, тоді як конструкції свердел для кільцевого свердлення із зовнішнім відведенням менш різноманітні.

Конструкції багатокромкових ріжучих інструментів у виробничих умовах із-за їх особливостей отримали назви **свердло-головка** або **свердло-коронка** (рис. 10) для кільцевого свердлення. Вибір таких назв свердел пов'язаний з особливостями відданої переваги до схеми кріплення головки ріжучого інструменту до стебла.

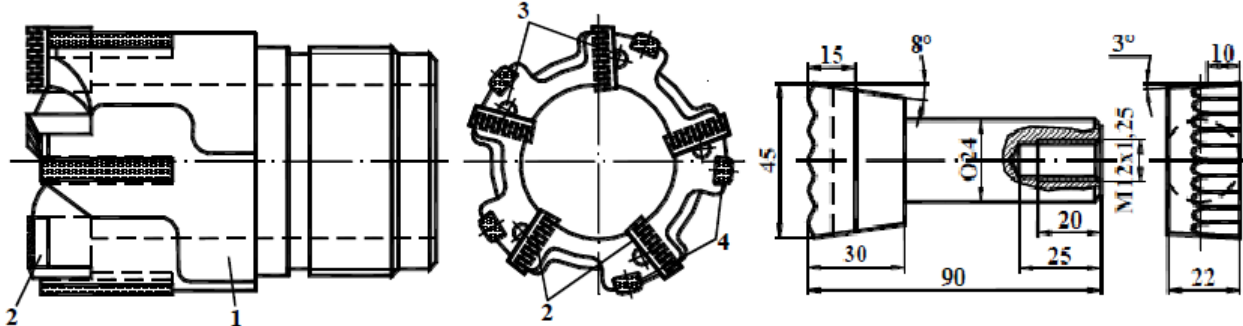


Рис. 10. – П'яти різцеве свердло-коронка типу ТСТ (НМ) Ruco MBL \varnothing 290 мм із зовнішнім відведенням стружки для кільцевого свердлення, що працює за принципом ділення ширини стружки, урівноважене. 1 - корпус; 2 - різці; 3 - клини; 4 - направляючі елементи.

До **конструктивних елементів** свердел необхідно віднести такі елементи, які не змінюються в процесі експлуатації і можуть бути змінені тільки в процесі виготовлення ріжучого інструменту, або змінюються в процесі експлуатації небагато. Отже, до них можна віднести наступні елементи:

- По-перше, саму конструкцію ріжучого інструменту (рис. 11, а, б), яка передбачає умовне ділення на окремі частини: хвостовик (що складається з настановного конуса, або циліндра і лапки), робочу частину (ріжучу частину або головку і стебло), шийку (у деяких конструкціях ріжучих інструментів може бути відсутньою). Ділення робочої частини на головку, і стебло застосовується в основному для складених або збірних конструкцій ріжучого інструменту;

- По-друге, конструкція інструменту умовно розділяється на довжини, що втрачаються (рис. 11, а, б): запас на переточування (I); глибину свердлення (II); довжину корпусу кондуктора з кондукторною втулкою (III); довжину люнету (люнетів) для підтримки і напряму свердла при великих довжинах інструменту (IV); довжину хвостовика (V);

- По-третє, до конструктивних елементів ріжучого інструменту необхідно віднести наступні елементи, які властиві всім видам свердел: передню (Ау) і задню (Аа) поверхню леза (зуба); головну (К), допоміжну (К') або поперечну (КП) ріжучі кромки; форму поперечної перетину; вершину леза; кут загострення (β). Або характерні тільки для окремих видів свердел: кут нахилу гвинтової канавки (ω); товщина серцевини свердла (с); ширина пера (В); кут нахилу поперечної ріжучої кромки (ψ); крок гвинтової лінії стружкових канавок (Н).

- По-четверте, залежно від кількості ріжучих лез конструкція свердел розділяється на одно- (рис. 11, б) двох- або багатолезові (рис. 11, а). Зокрема стандартні свердла відносять тільки до багатолезових інструментів, тоді як спеціальні – як до одне-, двох-, так і до багатолезових.

Конструктивно свердло складається з робочої (стебла, ріжучої частини, шийки) та кріпильної частини (хвостовик та лапка) (рис. 11, а), або голівки, стебла та хвостовика (рис. 11, б).

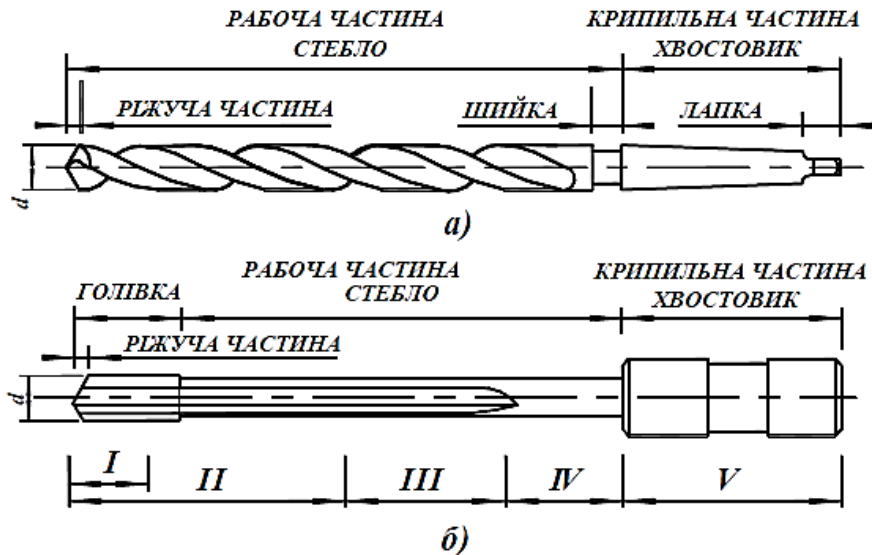


Рис. 11. – Конструктивні елементи різноманітних ріжучих інструментів для свердлування: а) спіральне або гвинтове свердло; б) свердло одностороннього різання. d – діаметр свердла; I – запас на переточку; II – глибина свердлування; III – довженна корпусу кондуктора с кондукторною втулкою; IV – довженна люнета (люнетів) для підтримання и направлення свердла; V – довженна хвостовика.

Робоча частина свердла (ріжуча частина, стебло та шийка, голівка і стебло) являє собою частину різального інструменту, що містить декілька ріжучих лез та призначена для видалення поверхневого шару матеріалу з поверхні заготовки.

Кріпильна частина свердла (хвостовик) призначена для його базування та закріплення у верстатах або пристосуваннях.

Лапка – призначена для передавання моменту, що крутить. Вона також служить для вибивання свердла з шпинделя після закінчення роботи. В конструкціях свердел де відсутня лапка на хвостовику виконується лиска, яка виконує ту ж мету.

У свою чергу кожне лезо свердла (ріжуча частина інструменту), як і токарного різця, являє собою клинчастий елемент, який призначено для проникнення в матеріал заготовки й відділення поверхневого шару матеріалу.

На ріжучій частині свердел різноманітної конструкції, розрізняють наступні елементи (рис. 12): *передня поверхня (Аγ)*; *допоміжна задня поверхня (А'а) бо стрічка*; *поперечна ріжуча кромка (КП)*; *головні ріжучі кромки (К)*; *задня поверхня (Аα)*; *допоміжні ріжучі кромки (К')*; *вершина зуба*; *спинку зуба*; *направляючі елементи*.

На рис. 12 (а) зображено місце переходу ріжучої частини свердла в частину, що направляє.

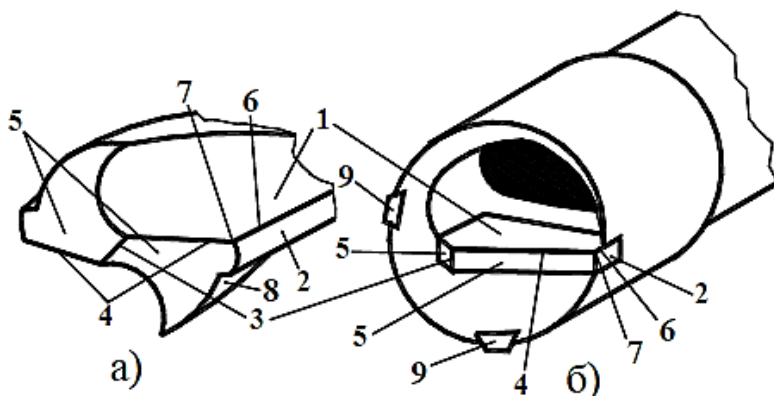


Рис. 12. – Поверхні робочої частини спірального (а) і одно кромкового (б) свердла. 1 - передня поверхня (Аγ); 2 - допоміжна задня поверхня (А'а) або стрічка; 3 - поперечна ріжуча кромка (КП); 4 - головні (К) ріжучі кромки; 5 - задня поверхня (Аα); 6 - допоміжні ріжучі кромки (К'); 7 - вершина зуба; 8 - спинка зуба; 9 - направляючі елементи.

Передня поверхня 1 є лінійчатою гвинтовою поверхнею, що плавно сполучається з криволінійною гвинтовою поверхнею неробочої частини стружкової канавки. Задня поверхня 2 може бути конічною поверхнею, лінійчатою гвинтовою поверхнею або площиною. Найбільше розповсюдження знайшли свердла, у яких задня поверхня є частиною конічної поверхні з віссю, що перехрещується з віссю свердла під деяким кутом. Допоміжна задня поверхня 3 (стрічка) є частиною конічної поверхні з дуже малою конусністю, вісь якої співпадає з віссю свердла. Для зменшення тертя між свердлом і стінкою отвору спинка свердла 7 занижена щодо стрічки. Головне лезо свердла 4 з достатньою точністю можна вважати прямою лінією. В результаті перетину задніх поверхонь утворюється лезо 5, зване поперечним лезом або перемичкою. Якщо задні поверхні свердла обкреслені конічними поверхнями, то поперечне лезо є лінією двоякої кривизни. Допоміжне лезо 6 є конічною гвинтовою лінією з дуже малою конусністю. Таким чином, свердло має по дві передні, задні і допоміжні задні поверхні, два головних і допоміжних леза і поперечне лезо.

На рис. 12 і 13 показані наступні конструктивні елементи робочої частини спірального (а) і з однією кромкою (б) свердел. Поверхня 1 називають передньою поверхнею ($A\gamma$), по якій в процесі обробки каналу отвору, сходять стружка, що видаляється. Поверхня 5 називають задньою поверхнею ($A\alpha$), ця поверхня примикає безпосередньо до поверхні різання (Pn). Передня і задня поверхня леза в поперечній січній площині утворює кут загострення β . Поверхня 2 називають допоміжною задньою поверхнею ($A\alpha$) ріжучого інструменту, тобто в процесі різання вона звернена до обробленої поверхні. Для зменшення вірогідності заклинювання свердла в каналі отвору і поліпшення проникаючої здатності ЗОТС по допоміжній задній поверхні ($A'\alpha$) виконують заниження або так звану спинку зуба 8. Передня і задня поверхні інструменту можуть бути увігнутими, опуклими або плоскими поверхнями, а також їх комбінаціями. Перетин передньої і задньої поверхонь утворює головну ріжучу кромку 4 (K), а перетин задніх поверхонь - допоміжне лезо, або перемичку 3 (Kn). Між головною і допоміжною поверхнями розташовується перехідна допоміжна ріжуча кромка 6 (K), яка утворена перетином передньої поверхні 1 і допоміжною задньою поверхнею 2. Для простоти виготовлення інструменту допоміжна задня поверхня 2 обкреслюється дугою кола або прямою лінією. Головні 4 і допоміжні 6 ріжучі кромки перетинаються в крапці, званою вершиною зуба 7 (леза).

Форма профілю інструменту в поперечному перетині (щодо його осі) (див. рис. 12, практично повністю визначає вид робочої частини спірального свердла. Тому вона робить прямий вплив на осьову складову P_0 і момент $M_{кр}$, що крутить, умови утворення стружки і її транспортування із зони різання, стійкість, жорсткість і міцність інструменту. Виходячи з цього, до конструкції профілю свердла пред'являють наступні вимоги: з одного боку площа поперечного перетину інструменту повинна забезпечувати достатню міцність і жорсткість свердла при його вантаженні за рахунок зусиль різання, з іншого боку площа поперечного перетину стружкових канавок має бути достатньою для ефективного видалення стружки. Пошук і вибір компромісного рішення, що задовольняє цим суперечливим вимогам, є основою сучасного підходу до конструювання спіральних свердел.

Кут нахилу стружкової канавки (ω) рис. 13. Це кут розташований між дотичною до гвинтової лінії стружкової канавки і віссю свердла. Значення даного кута прямо пропорціональне впливає на значення переднього кута, отже, він зв'язаний кутом γ кінематичне, або зміна величини кута ω автоматично веде за собою зміну кута γ за рахунок конструктивних особливостей конструкції спірального свердла.

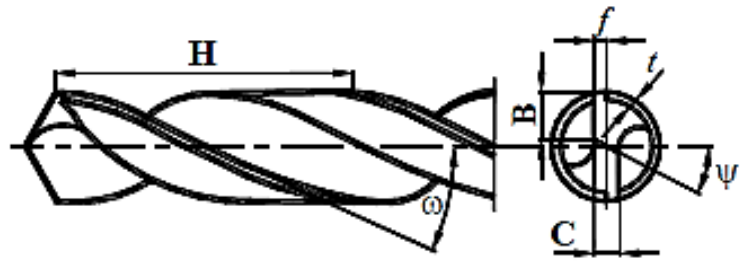


Рис. 13. – Конструктивні елементи і геометричні параметри робочої частини спірального свердла. H – крок гвинтової стружкової канавки; ω – кут нахилу гвинтової канавки; B – довжина головної ріжучої кромки; f – ширина стрічки; z – товщина серцевини; t – висота заниження по спинці зуба; ψ – кут нахилу перемички

Крок стружкової канавки

(H) див. рис. 13, насамперед впливає транспортування стружки, тобто на силу тертя пов'язану з цим явищем а, отже, більшому ступеню на момент, що крутить, чим на осьову складову сили різання. Виходячи з того, що крок стружкової канавки насамперед залежить від кута нахилу стружкової канавки, в другу від діаметру свердла.

Товщина серцевини свердла (c) див. рис. 13, робить великий вплив на міцність спіральних свердел, проте його вплив при обробці отворів суперечливий. Із зростанням товщини серцевини з одного боку збільшується приріст статичної крутильної жорсткості інструменту, але викликає великий приріст моменту, що крутить, з іншої – мала товщина серцевини полегшує урізування свердла в оброблюваний матеріал, але значно знижує його стійкість. Тому вибір товщини серцевини повинен задовольняти наступним критеріям.

Висота заниження по спинці зуба (t) рис. 13, впливає на осьову складову сили різання і момент, що крутить, не безпосередньо, а над силу тертя. Цей вплив виражається через ширину направляючих стрічок і вірогідність заклинювання невеликих фрагментів стружки і частинок оброблюваного матеріалу, вирваного з поверхні A_u отвору.

До геометричних параметрів (див. рис. 13 і 14) свердел необхідно віднести, такі параметри, які змінюються в процесі експлуатації або в процесі заточування. Отже, до них можна віднести наступні параметри (дані наведені стосовно спіральних свердел): φ – головний кут в плані (або 2φ – подвійний кут); γ – передній кут; α – задній кут; φ_1 – допоміжний кут в плані; ψ – кут нахилу поперечної ріжучої кромки; λ – кут нахилу головної ріжучої кромки; f – ширина стрічки; і так далі.

Подвійний кут в плані (2φ) див. рис. 14, є кут між проекціями головних лез на площину, що проходить через вісь свердла, паралельно головним лезам. У стандартних свердел величина подвійного кута в плані $2\varphi \approx 120^\circ$. У свердел спеціальних, проєктованих для певної операції, величина кута 2φ залежить від твердості і міцності матеріалу оброблюваної, зростаючи при збільшенні останніх. В цьому випадку кут 2φ може коливатися в межах $90...140^\circ$.

Допоміжний кут в плані (ϕ_1) рис. 14, призначено для того, щоб виключити можливість затискання свердла в отворі, для чого частину, що направляє роблять із зворотною конусністю, що становить у межах 0,04...0,1 мм на 100 мм довжини свердла. Тому допоміжні леза утворюють з площиною, паралельній осі свердла, допоміжний кут в плані ϕ_1 . Величина кута ϕ_1 дуже мала і не перевищує 10'.

Кут нахилу поперечної кромки (ψ) утворюється перетином задніх поверхонь (рис. 14). Довжина поперечної кромки також обумовлюється товщиною серцевини (c). Товщина серцевини забезпечує міцність свердла. У стандартних спіральних свердел з швидкорізальної сталі, товщина серцевини складає: (0,20...0,25) d для свердел діаметром 6...10 мм, (0,13...0,16) d для свердел діаметром понад 10 мм.

Передній кут (γ) див. рис. 14 спірального свердла вимірюють в плоскості, нормальній до головного леза. Кут розташований між плоскістю, дотичною до передньої поверхні (A) γ , і плоскістю (Ps), що проходить через головне лезо паралельно осі свердла. Передній кут на кресленнях спіральних свердел не про ставляють, оскільки форму і положення передньої поверхні визначають крок і кут нахилу стружкової канавки. Проте величину статичного переднього кута в різних точках головного леза необхідно знати для визначення робочих передніх кутів свердла.

Заднім кутом (α) рис. 14, називають кут між плоскістю, дотичною до задньої поверхні, і плоскістю, перпендикулярною до осі свердла. При конічному заточуванні свердла по задній поверхні кут α в різних точках головного леза є змінним.

Кут нахилу головної ріжучої кромки (λ) див. рис. 14, розташований між плоскістю, перпендикулярною вектору швидкості різання V , і головною ріжучою кромкою. Кут нахилу головної ріжучої кромки (λ) у конструкціях стандартних свердел на кресленнях не вказується і кількісно не задається. Проте значення і знак цього кута, є істотним для процесу освіти і напрямку сходу потоку стружки по передній поверхні інструменту.

Довжина головної ріжучої кромки (B) див. рис. 14, для спіральних свердел залежно від форми заточування буде різна. Кількісно на кресленні не задається і не проставляється.

2.2. Поверхні і координатні площини при свердлуванні

При обробці глибоких отворів осьовими різноманітними ріжучими

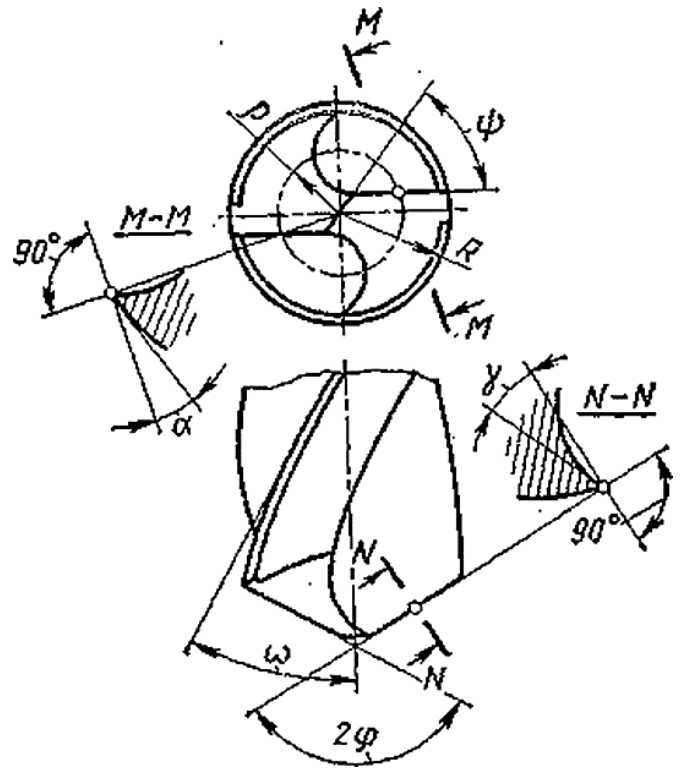


Рис. 14 – Геометричні параметри спірального свердла.

інструментами розрізняють два види систем координат: статична і кінематична. Використання двох систем координат пов'язане з конструктивними особливостями осьових інструментів і їх схемами базування і закріплення на устаткуванні. Розглянемо особливості кожної системи координат залежно від геометричних параметрів свердел, що змінюються.

Статична система координат (див. рис. 15) – це прямокутна система координат, з початком у вершині леза або у вибраній точці головної ріжучої кромки, орієнтована щодо конструктивних елементів ріжучого інструменту, прийнятих за базу. Застосовується статична система для контролю геометричних параметрів осьового інструменту після їх заточування, тобто в ній визначають фактичні значення кутів інструменту.

Кінематична система координат (див. рис. 16) – це прямокутна система координат, з початком в даній точці головної ріжучої кромки, орієнтована щодо напрямку швидкості результуючого руху різання. Застосовується кінематична система для контролю геометричних параметрів осьового інструменту в процесі експлуатації, тобто в ній визначають фактичні значення кутів інструменту з урахуванням їх переміщень щодо заготовки, верстата або іншої вибраної точки відліку.

Геометричні параметри спірального свердла в статичній системі координат зображені на рис. 15, і ті ж параметри інструменту в кінематичній системі на рис. 16. З рисунків виходить, що значення основних кутів ріжучого інструменту в різних системах координат не відповідають один одному, за рідкісним виключенням (кут в плані), через те, що в кінематичній системі кути вимірюються з урахуванням напрямку переміщення свердла, тому необхідно розглянути особливості їх впливу і розташування з погляду статичного і кінематичного їх розташування.

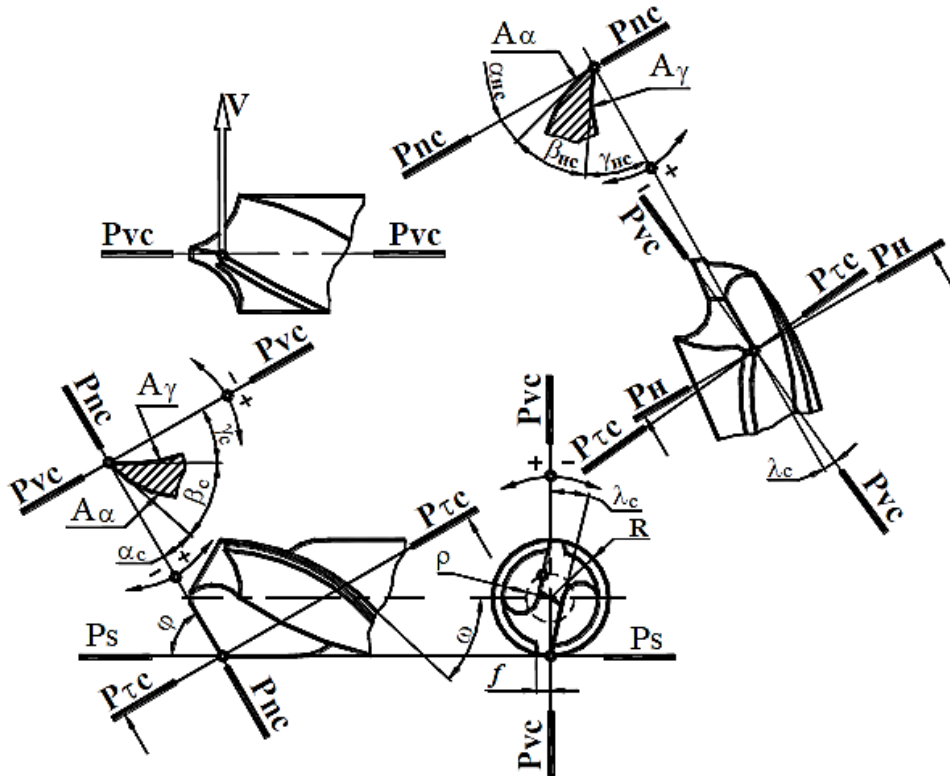


Рис. 15. – Геометричні параметри стандартних спіральних свердел в статичній системі координат згідно ГОСТ 25762-83: γ_c – статичний передній кут; α_c – статичний задній кут; β_c – головний статичний кут загострення; λ_c – статичний кут нахилу кромки; φ – кут в плані; ω –

кут нахилу стружкової канавки; P_S – робоча плоскість; P_{nc} – плоскість різання; P_{vc} – основна плоскість; P_{π} – головна січна плоскість; $A\alpha$ - задня поверхня; $A\gamma$ - передня поверхня.

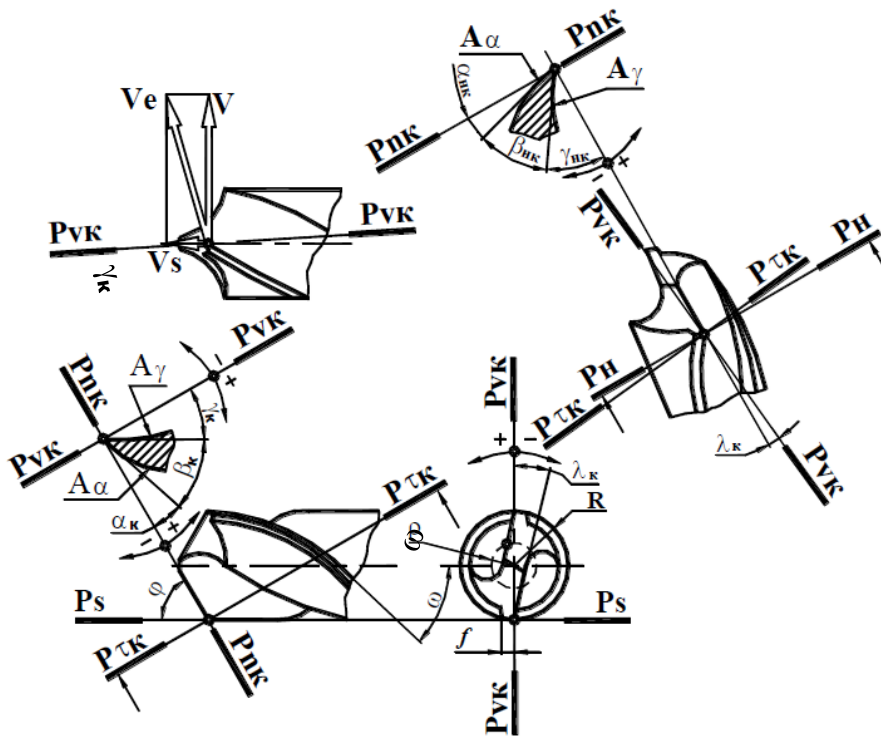


Рис. 16. – Геометричні параметри стандартних спіральних свердел в кінематичній системі координат згідно ГОСТ 25762-83: γ_k – кінематичний передній кут; α_k – кінематичний задній кут; β_k – головний кінематичний кут загострення; λ_k – кінематичний кут нахилу кромки;

φ - кут в плані; ω - кут нахилу стружкової канавки; P_S – робоча плоскість; P_{nc} – плоскість різання; P_{vc} – основна плоскість; P_{π} – головна січна плоскість; $A\alpha$ - задня поверхня; $A\gamma$ - передня поверхня

2.3 Товщина та ширина шару, що зрізається при свердленні отворів

Товщина і ширина шару, що зрізається, при свердленні, розсвердлюванні отворів осьовим ріжучим інструментом позначається буквою (a) і визначається в кожній точці ріжучого леза, як відстань між двома подальшими положеннями головної ріжучої кромки, займаними через один цикл головного руху, в напрямі, перпендикулярному головної ріжучої кромки в даній точці. Якщо головна ріжуча кромка прямолінійна (рис. 17), то товщина шару, що зрізається, є висотою паралелограма і розраховується за формулами:

– для спірального свердла:

$$\alpha_z = S_z \sin \varphi = \frac{S}{2} \sin \varphi,$$

де a_z – товщина зрізаного шару одним зубом ріжучого інструменту, в мм;

S_z - подача на зуб, в мм/об;

φ - кут нахилу головної ріжучої кромки в плані;

S - подача, в мм/об;

– для свердла однокромкового, або різця багатокромкового свердла:

$$\alpha_z = S_z \sin \varphi = \frac{S}{Z} \sin \varphi,$$

де Z – кількість зубів або різців ріжучого інструменту.

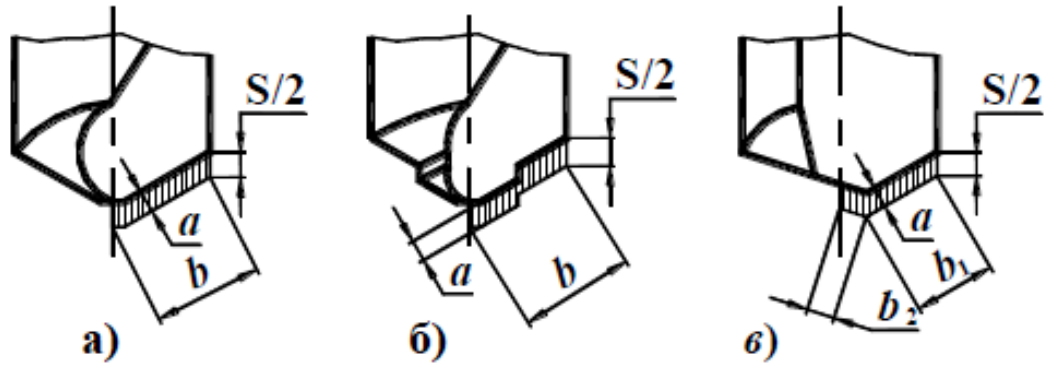


Рис. 17. – Схеми шару, що зрізається при свердлінні отворів в залежності від форми заточування вершини різальної частини інструменту: а) стандартне свердло; б) стандартне свердло з елементами дроблення стружки; в) свердло однокромкове.

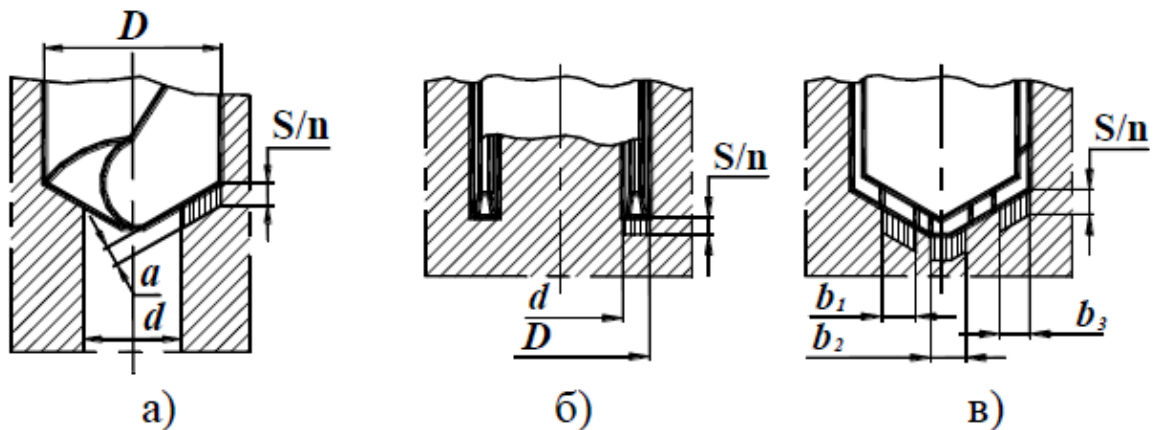


Рис. 18 - Схема зрізуваного шару при: (а) розсвердленні, (б) кільцевому свердлінні та (в) багатокромковому свердлінні

Ширина шару, що зрізається, позначається буквою (b) і визначається як довжина сторони перерізу шару, що зрізається, утвореною ріжучою кромкою.

При свердлінні через характерні особливості конструкцій спіральних і спеціальних свердел площа поперечного шару, що зрізається, відмінна від показаної на рис. 17. Це викликано тим, що в різних відмінних один від одного точках головної ріжучої кромки значення переднього, заднього кута і швидкості різання різні. Отже, коефіцієнт деформації стружки на початку та наприкінці ГРК буде різним. Крім цього, нові форми заточування вершини різальної частини свердла - поділяють безперервний потік стружки на кілька потоків, що також впливає на площу шару, що зрізається. Тому розглянемо ці значення по відношенню до різних конструкцій ріжучих інструментів, що застосовуються при обробці отворів з прямолінійними та криволінійними головними ріжучими кромками. Ширина шару, що зрізається в залежності від виду обробки визначається за формулами:

- для спірального свердла з прямолінійними ріжучими кромками в загальному вигляді:

$$b = b_n + b_r,$$

де b_n – довжина поперечної ріжучої кромки, в мм;

b_r – довжина ГРК, в мм.

Знаходимо:

$$b_n = 0,5c_1 \operatorname{tg} \psi,$$

c_1 – товщина серцевини інструменту, в мм;

ψ – кут нахилу перемички.

Довжина прямолінійної ГРК приблизно визначається по формулі:

$$b_r = \frac{D}{2 \sin \varphi},$$

де D - діаметр свердла, в мм.

- для інструменту з криволінійними ріжучими кромками, виходячи з формули, отимуємо:

$$b = 0,5c_1 \operatorname{tg} \psi + \frac{\pi R k}{180 \sin \varphi},$$

де b_n – довжина поперечної ріжучої кромки визначається по попередній формулі, а довжина головної ріжучої кромки знаходиться з розрахункової схеми, представленій на рис. 19, по формулі:

$$b_r = \frac{\pi R \alpha}{180 \sin \varphi},$$

де R - радіус опуклості ГРК, $R=(2...3)d$; κ - центральний кут сектора, для нашого випадку при різних діаметрах свердел $\kappa = 10^\circ 40''$ (див.рис.19).

Для свердлення ріжучим інструментом з нерівномірним поділом припуску (рис. 17, в) між ріжучими лезами, ширина шару, що зрізується визначається по формулі, виходячи з схеми приведеною на рис. 17, б:

$$b = (b_1 + b_2 + \dots + b_n) k_1,$$

де b_1, b_2, b_n – ширина шару, що зрізається, на кожному окремому зубі (ріжучій крайці) відповідно, в мм; k_1 – коефіцієнт перекриття між зубами свердла.

Як видно з формул ширина шару, що зрізається, насамперед залежить від значення кута в плані, в другу - товщини зрізу (тобто від подачі), по-третє - від кількості зубів інструменту.

2.4 Устаткування, прилади й інструменти. Методика виміру кутів свердла

Для проведення лабораторної роботи «Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри свердел» необхідно мати:

- комплект свердел, що містять: спіральне та шнекове свердло з різною геометрією заточення робочої частини;
- універсальний кутомір УН (рис. 20) тип 2, мод. 1005;
- інструментальний кутомір типу 2УРІ по ТУ 2-034-617-84;
- штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1, або ШЦ-III-160-0,05 ГОСТ 166-89;
- лінійку металеву.

Для вимірювання кутів ріжучого інструменту широко використовуються універсальні та інструментальні кутоміри з ноніусом.

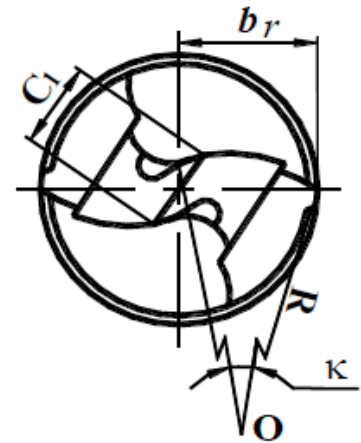


Рис. 19 – Схема для розрахунку довжини криволінійних ріжучих кромок спіральних спеціалізованих свердел. R - радіус округлення головних ріжучих кромок; c_1 - товщина серцевини; κ - кут сектора.

Найбільшого поширення набув кутомір тип 2, УН мод. 1005 конструкції заводу «Мікрон» (рис. 20). Він побудований за принципом кругової шкали і дозволяє вимірювати кути в межах: зовнішні від 0° до 320° , внутрішні від 40° до 150° .

На Дузі 2 кутoměру, на одному кінці якої укріплена планка 7, що вимірює, нанесені поділки шкали в градусах. По дузі рухається сектор, на якому укріплена скошена дугова планка 1, що має ділення ноніуса від 0 до 60° . До кутoměра додаються косинці 3 і лінійка 6 з скошеною гранню, що вимірює, а також два хомутики 4 і 5 для кріплення косинця і лінійки до кутoměра.

У зібраному вигляді (з косинцем і лінійкою) універсальний кутoměр УН) тип 2, мод. 1005 дає можливість проводити вимірювання кутів від 0 до 50° . Якщо видалити лінійку 6 і хомутик 5, що кріпить її, межа вимірювання кутів зміниться від 140 до 230° . Якщо ж встановити на місце косинця лінійку, що вимірює, то вимірювання кутів можна проводити в межах від 50 до 140° . Нарешті, кутoměр без косинця і лінійки дозволяє вимірювати кути від 230 до 320° . Точність відліку але ноніусу на цьому кутoměрі $2'$.

Кутoměр типу 2УРІ (ТУ 2-034-617-84) (рис. 21) призначений для вимірювання переднього і заднього кутів багатолезового інструменту з прямолінійними і спіральними зубами, з рівномірним кроком від 5 до 75 мм і з прямолінійною ділянкою по передній і задній гранях не менше 1 мм.

Кутoměр типу 2УРІ (рис. 21) складається з сектора з шкалою переднього і заднього кутів і дуги з шкалою чисел зубів у інструменту, що перевіряється. До правого торця дуги прикріплена змінна лінійка: з вузькою вимірювальною поверхнею – для вимірювання фрез і плоских протяжок; з широкою вимірювальною поверхнею - для вимірювання круглих протяжок. По пазу планки, закріпленої на секторі, переміщається ніж, що встановлюється на певну висоту залежно від висоти зубів вимірюваного інструменту.

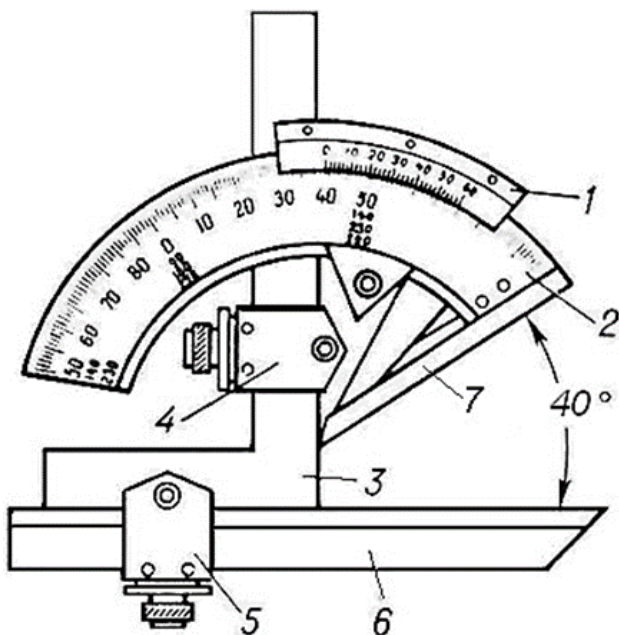


Рис. 20. – Універсальний кутoměр УН тип 2, мод. 1005. 1 – дугова планка; 2 – сектор (дуга кутoměру); 3 – косинець; 4, 5 – хомутики; 6 – лінійка; 7 – планка, що вимірює.



Рис. 21. – Кутoměр інструментальний типу 2УРІ по ТУ 2-034-617-84.

Штангенциркулі тип ШЦ (ГОСТ 166-89), призначені для вимірювання зовнішніх і внутрішніх розмірів.

Тип ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89і – з двостороннім розташуванням губок, для вимірювання зовнішніх і внутрішніх розмірів і для розмітки. Штангенциркуль ШЦ-I-125 забезпечений глибиноміром для вимірювання глибин і уступів.

Тип ШЦ-III-160-0,05 ГОСТ 166-89– з одностороннім розташуванням губок, для вимірювання зовнішніх і внутрішніх розмірів.

2.5 Заходи безпеки

При виконанні лабораторної роботи необхідно виконувати правила техніки безпеки відповідно до проведеного викладачем інструктажу.

3. ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

3.1. Порядок проведення роботи

На початку заняття проводиться контроль підготовленості студентів до виконання лабораторної роботи. У зв'язку із цим студентам варто вивчити:

- конструктивні елементи свердел і ознайомитися з основними типами свердел;
- поверхні й координатні площини в статиці й кінематиці для даного типу ріжучого інструменту;
- геометричні параметри заданих типів свердел у статичній системі координат;
- зміни кутів заточення різця в процесі різання й залежно від точності установки на верстаті;
- вимірювальні прилади й опанувати методикою вимірів геометрії заточення свердла.

Після ознайомлення із приладами необхідно:

- зробити вимір кутів заточення заданих типів свердел (не менш трьох разів), результати вимірів занести в таблицю журналу;
- розрахувати значення кутів ϵ_C і заданих типів свердел; результати занести в таблицю журналу;
- вимірювати габаритні розміри $D \times l \times L$ заданих типів свердел; результати вимірів занести в таблицю журналу;
- зробити висновок про виконану роботу;
- оформити звіт.

3.2 Оформлення звіту

Звіт про лабораторну роботу «Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри свердел» оформляється в журналі лабораторних робіт встановленого зразка (бланк-журналу видається кожному студентові) і повинен містити:

- повну класифікацію заданих типів свердел;
- таблицю геометричних параметрів заданих свердел;
- ескіз заданого свердла і його геометричні параметри в статичній системі координат;
- висновок про виконану роботу.

Для одержання зарахування по лабораторній роботі студент повинен мати оформлений відповідно звіт і відповіді на контрольні питання.

Матеріали звіту можуть бути використані при підготовці до заліку або іспиту.

3.3. Питання для перевірки знань студентів

1. Назвіть типи свердел і приведіть їхню класифікацію?
2. Назвіть головні елементи спірального свердла?
3. Назвіть кути спірального свердла в горизонтальній площині?
4. Назвіть кути спірального свердла в вертикальній площині?
5. Наведіть, які існують координатні площини у статичній системі координат?
6. Наведіть, які існують координатні площини у кінематичній системі координат?
7. Наведіть, що називають переднім кутом?
8. Наведіть, що називають заднім кутом?
9. Наведіть, що називають головним кутом в плані?
10. Наведіть, що називають допоміжним кутом в плані?
11. Наведіть, що називають кутом при вершині.
12. Наведіть, що називають кутом нахилу головної різальної кромки?
13. Наведіть, що називають кутом загострення?
14. Наведіть, що називають кутом різання?
15. Наведіть, що називають кутом нахилу стружкової канавки?
16. Наведіть, що називають кроком стружкової канавки?
17. Наведіть, що називають кутом нахилу перемички спірального свердла?
18. З яких елементів складається різуча частина свердла?
19. Як змінюються кути різця в кінематичній системі координат у порівнянні зі статичної?
20. Як змінюються кути різця залежно від погрішності установки в горизонтальній площині?
21. Як змінюються кути різця залежно від погрішності установки в вертикальній площині?
22. Чим відрізняються між собою конструкції спірального та шнекового свердла?
23. Які інструментальні матеріали використовуються для свердел?
24. Для чого призначено універсальний кутомір УН (рис. 20) тип 2, мод. 1005?
25. Для чого призначено штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89?

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ХАРКІВСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

ОСНОВИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ПО ВИКОНАННЮ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 3

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕМЕНТІВ РЕЖИМУ
РІЗАННЯ ТА ГЕОМЕТРІЇ РІЗЦЯ НА СИЛИ РІЗАННЯ
ПРИ ТОЧІННІ»**

1. ПІДГОТОВКА ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1.1. Мета роботи

Метою лабораторної роботи «Дослідження впливу елементів режиму різання та геометрії різця на сили різання при точінні» є вивчення впливу елементів режиму різання (глибини, подачі, швидкості) і геометрії різця на сили різання при точінні. Ознайомлення з методикою виміру сил різання.

1.2. Завдання на підготовку до лабораторної роботи

До моменту проведення лабораторної роботи «Дослідження впливу елементів режиму різання та геометрії різця на сили різання при точінні» студенти повинні вивчити від повідний розділ курсу, ознайомитися з інструкцією з техніки безпеки, що діє в лабораторії.

При підготовці до проведення експериментальної частини студенти можуть використати конспект лекцій, дану інструкцію, стенди, плакатний матеріал, що наявний у лабораторії.

Робота виконується групою. Перед початком лабораторної роботи на робочому місці підготовляються верстат, комплект вимірювальних приладів, а також методичні вказівки і журнали лабораторних робіт на кожного студента.

Практична частина роботи виконується після вивчення теоретичної частини роботи кожним студентом самостійно.

Рекомендована література

1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, А.І. Грабченко, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосолов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазира. – 3-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ–2000, 2018. – 471 с.

2. Теорія різання [Електронний ресурс] : Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.

3. Буц Б. Д., Приходько В. Є., Ткачов Ю. В. Розрахунок режимів різання металів: Навч. посіб.-Д.: РВВ ДНУ, 2005.-76 с.

4. Теорія різання [Електронний ресурс]: Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.

2. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Сили при точінні

Опір матеріалу заготівки відділенню з її поверхні шару, що зрізається (стружки) переборюється силою різання, що якимось спрямована в просторі. Для цілей практики важливо знати не значення самої сили різання, а дію її складових частин (рис. 1), що впливають на різні вузли металорізального верстата, ріжучий інструмент і заготівку під обробки:

P_Z - **окружна (тангенціальна) складова сили різання (головна складова)** або сила, яка діє по дотичній до площини різання, співпадаючи з проекцією вектору швидкості різання. Складова P_Z рівна сумарній дії сил опору матеріалу шару, що зрізається, пластичної деформації стружкоутворення, руйнування, пов'язаного з утворенням нових поверхонь, вигину стружки і сил тертя. Значення цієї сили потрібно знати для перевірки на міцність ріжучого інструмента і для розрахунку деталей механізму головного руху; по ній визначають момент, що крутить і потужність при різанні;

P_Y - **радіальна складова сили різання**, яка діє по радіусу обробленої заготівки, тобто перпендикулярно осі її обертання. Дія сили P_Y , що становить, може служити причиною зниження точності обробки довгомірних заготовок, а також викликати небажані вібрації, що діє в горизонтальній площині перпендикулярно обробленої поверхні. Вона віджимає різець від заготівки, обумовлює прогин виробу й тому впливає на точність обробки;

P_X - **осьова складова сили різання**, яка діє протилежному напрямку вектору подачі «S». Складова P_X рівна силі опору оброблюваного матеріалу впровадженню ріжучого інструменту в поверхню заготівки і діючої в цьому напрямі сили тертя. Значення складової P_X необхідно знати для розрахунку на міцність опор шпинделя і механізму подач верстата.

Рівнодіюча трьох складових сили різання або просто сила різання (P) розраховується по формулі:

$$P = \sqrt{P_Z^2 + P_Y^2 + P_X^2}$$

При точінні різцем з геометричними параметрами: $\varphi = 15^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\gamma = 15^\circ$, співвідношення між силою P та її складовими P_Z , P_Y , P_X наступні: $P = (1,1...1,18)P_Z$; $P_Y = (0,4...0,5)P_Z$; $P_X = (0,3...0,4)P_Z$

На співвідношення між складовими сили різання впливають елементи режиму різання, геометричні параметри ріжучого інструменту, величина його зношування і фізико-механічні властивості матеріалу заготівки.

Розрахунок величини складових

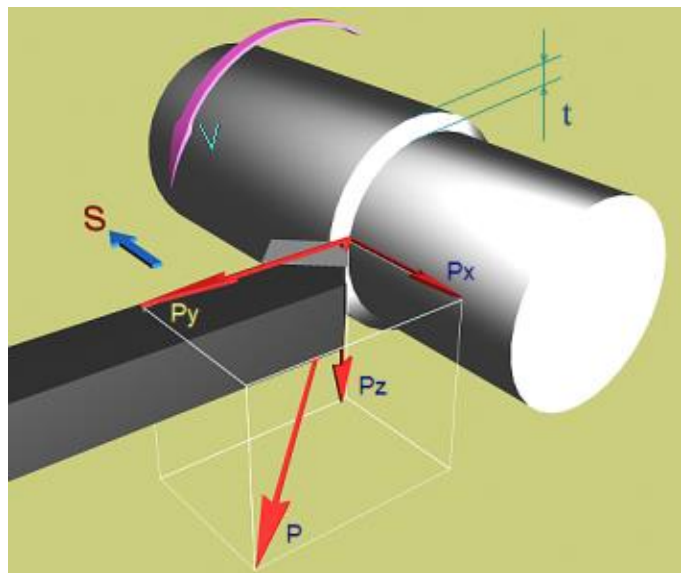


Рис. 1. – Дія сили різання та її складових при точінні. P – сила різання (рівнодіюча складових сили різання); P_Z – складова сили різання або тангенціальну силу; P_Y – складова сили різання або радіальна сила; P_X – складова сили різання або осьова сила.

сили різання для практичних цілей ведеться з використанням даних довідкової літератури по емпіричних формулах:

– для окружної складової сили різання P_Z :

$$P_Z = C_{Pz} \cdot t^{x_{Pz}} \cdot S^{y_{Pz}} \cdot V^{z_{Pz}} \cdot K_{Pz};$$

– для осьової складової P_X :

$$P_X = C_{Px} \cdot t^{x_{Px}} \cdot S^{y_{Px}} \cdot V^{z_{Px}} \cdot K_{Px};$$

– для радіальної складової P_Y :

$$P_Y = C_{Py} \cdot t^{x_{Py}} \cdot S^{y_{Py}} \cdot V^{z_{Py}} \cdot K_{Py};$$

де C_P – константа, залежна від властивостей оброблюваного матеріалу, по суті своїй представляє питому силу різання, що доводиться на одиницю площі поперечного перетину зрізу, $H/мм$.

Константа C_P визначається залежно від напрямку дії сили різання, що становить, повздовж певної осі, на що указує її індекс (x, y, z); K_P – загальний коефіцієнт, що є твором приватних коефіцієнтів, що враховують конкретні умови різання, який розраховується по формулі:

$$K_P = K_M \times K_\varphi \times K_\gamma \times K_r \times K_\sigma \times K_\delta,$$

де:

K_M – коефіцієнт, який враховує фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу;

K_φ – коефіцієнт, який враховує величину головного кута в плані;

K_γ – коефіцієнт, який враховує величину переднього кута;

K_r – коефіцієнт, який враховує величину радіусу перехідного леза;

K_σ – коефіцієнт, який враховує дію вживаної ЗОТС;

K_δ – коефіцієнт, який враховує ступінь зношеності задньої поверхні різця.

Загальний коефіцієнт K_P визначається залежно від напрямку дії сили різання, що становить, уздовж певної осі, на що указує його індекс (x, y, z); t – глибина різання, в мм; S – подача, в мм/об; V (V_P) – швидкість різання, в м/хв; x_P, y_P, z_P – показники ступеня при глибині різання, подачі і швидкості різання. Показники ступеня x_P, y_P, z_P визначаються залежно від напрямку дії сили різання, що становить, уздовж певної осі, на що указує їх індекс (x, y, z).

2.2 Методи виміру сили різання

Відомо багато методів виміру складових сили різання P_Z, P_Y, P_X . Найбільше часто застосовуються наступні методи:

Метод зрівноважування. Сила P_Z , що діє на різець I (див.рис. 2), яка змушує інструмент виконувати поворот відносно точки опори "А", тобто створює обертовий момент $M_1 = P_Z \times l_1$.

Одночасно на протилежному кінці різця під дією пристосування 4 , що врівноважує, через масштабний пристрій 3 , створюється протидіюча сила, що врівноважує складову сили P_Z , обертаючий момент від якої $M_2 = P_Z \times l_2$. протидіє моменту M_1 відносно опори А.

Пристосування (динамометр) 4 через пристрій 3 , що компенсує, створюють таку величину протидії складової сили різання P_Z , при якій наступить рівність

моментів M_1 і M_2 , щодо опори A , тобто наступить рівновага різця **1** та він залишиться нерухомим, у цьому випадку буде дотримана умова:

$$M_1 - M_2 = P_Z \times l_1 - P_Z \times l_2 = 0$$

На точність виміру по даному методі буде впливати тільки тертя в шарнірах вимірювального пристрою, що можна зменшити ретельної таріровкой системи або створенням більше зробленої конструкції приладу.

Метод гальмування – полягає у вимірі моменту, що крутить, за допомогою гальмових пристроїв. Вимір роблять у два прийоми:

– спочатку роблять різання, реєструючи при цьому, за допомогою амперметра силу струму j в обмотках електродвигуна верстата;

– потім, на шпиндель установлюють гальмо із силувимірювальним пристроєм. Не міняючи швидкості обертання шпинделя, гальмо навантажують доти, поки амперметр, включений у ланцюг електродвигуна, не покаже теж значення струму, що і у попередньому процесі різання. Після цього, по відліковому пристрої сило вимірника обчислюють момент, що крутить, при гальмуванні $M_{ГАЛ}$, прийнявши, що $M_{ГАЛ} \approx M_{РІЗ}$.

Перевага цього методу полягає в простоті його застосування. Недоліком є неточність виміру, тому що момент, який крутить від дії сили різання $M_{РІЗ}$ на шпинделі в процесі різання й момент, що крутить $M_{ГАЛ}$ від дії сил тертя при гальмуванні всетаки відрізняється друг від друга, оскільки при вимірі $M_{ГАЛ}$ не враховується дія складових сили різання P_Y і P_X .

Метод визначення сили різання по потужності, що витрачається. За допомогою вольтметра вимірюють потужність, яка споживана верстатом за виконану роботу. По витраченій потужності визначають потужність різання $N_{РІЗ}$, як різниця потужності верстата $N_{ВЕР}$ і потужності холостого ходу верстата $N_{ХХ}$. Знаючи $N_{РІЗ}$, обчислюють силу P_Z . Для цього необхідно знати К.К.Д. верстата $\eta_{ВЕР}$ і електродвигуна $\eta_{ДВ}$ на різних режимах роботи.

Достоїнством методу є простота, а недоліками – можна визначати тільки силу P_Z дає приблизні результати виміру.

Метод пластичної деформації зразка – полягає в тім, що між передавальною системою динамометра, що кінчається сталеві кулькою і його опорою із площиною вставляють еталонну пластинку з відносно м'якого металу (цинк, свинець, мідь). Під час випробування сила різання переміщає або повертає передавальну систему і кулька, вдавлюючись, залишає свій відбиток на еталонній

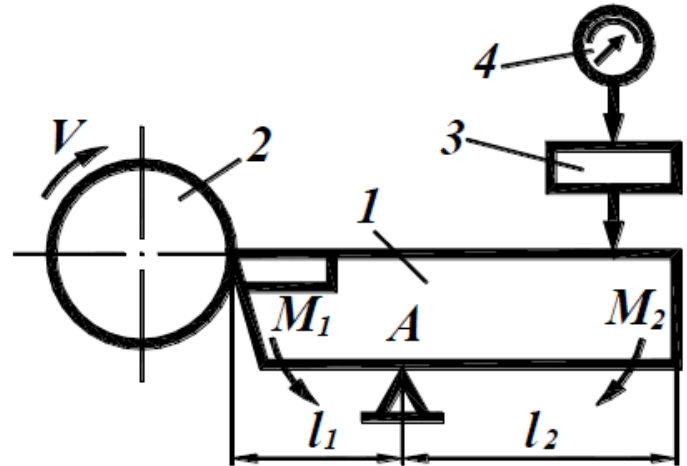


Рис. 2. – Схема дії сили і моментів, що крутить при визначенні складової сили різання методом зрівноваження. 1 – різець; 2 – заготовка; 3 – компенсуючий пристрій; 4 – динамометр.

пластині. Потім, вимірюючи цей відбиток, визначають ступінь пластичної деформації еталона, по якій і обчислюють шкідливіше значення сили різання.

Даний метод доцільно застосовувати у випадках, коли при різанні зберігається сталість сили різання, наприклад, при свердлінні.

Метод пружної деформації – заснований на вимірі пружних деформацій робочого (пружного) елемента динамометра під дією прикладеної до нього сили.

Вимір складові сили різання здійснюється за допомогою різних пристроїв і приладів з використанням усіляких засобів механізації і автоматизації, що обробляють одержувану інформацію (результати виміру). Все це називається вимірювальним комплексом, що повинен відповідати ряду вимог:

- високою чутливістю та безінерційністю;
- досить високою точністю і стабільністю показань;
- простотою конструкції та зручністю експлуатації і ін.

Структурна схема вимірювального комплексу складається з наступних елементів (див. рис. 3): **1** – механічна частина (динамометр); **2** – датчик, перетворювач сили; **3** – підсилювач; **4** – пристрій, що реєструє.

Складові сили різання сприймаються різальним інструментом і оброблюваною заготовкою. Тому в динамометрі може кріпитися різальний інструмент або оброблювана заготовка.

Динамометр повинен забезпечувати незалежний вимір складових сили різання, тобто повинне бути виключене вплив однієї складової на іншу. У цьому випадку вимірювальний пристрій, який не навантажено окремою складовою сили, повинен фіксувати нульове значення цієї складової.

Сприйнята динамометром **1**, сила передається на датчик перетворювач сили різання **2** (рис. 3), де складова сили різання перетвориться у відповідний сигнал певної інтенсивності залежно від типу датчика, який перетворює силу.

Типовими перетворювачами сили різання, що застосовуються в цей час є: гідравлічні месдозы; п'єзоелектричні месдозы; пружно деформовані перетворювачі з датчиками, що працюють на різних електричних принципах, та служать для виміру малих переміщень прогинів або пружних деформацій поверхневого шару (найпоширеніші серед них датчики: ємнісні, індуктивні та омичні опори).

Головне призначення датчика - перетворювати виникаюче під дією складової сили різання зсув пружного робочого елемента у величину зручну для виміру. Існує багато способів конструктивного виконання цієї ідеї. Один з них розглянемо нижче.

2.2.1. Устрій двокомпонентного токарного динамометру

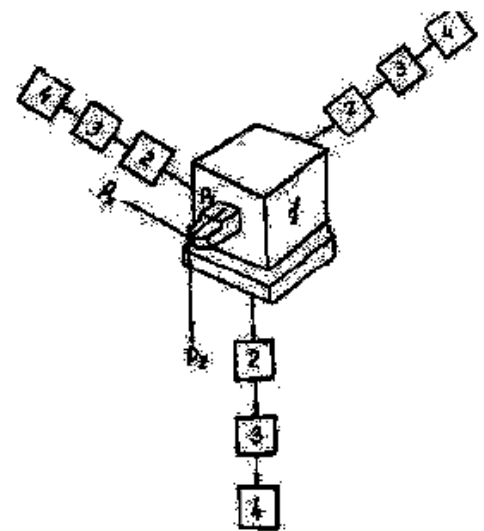


Рис. 3. – Структурна схема вимірювального комплексу.

- 1* – динамометр;
- 2* – перетворювач сили;
- 3* – підсилювач;
- 4* – контрольний пристрій.

Динамометр, який використано у лабораторній роботі для виміру зусиль різання, представлений на рис. 4.

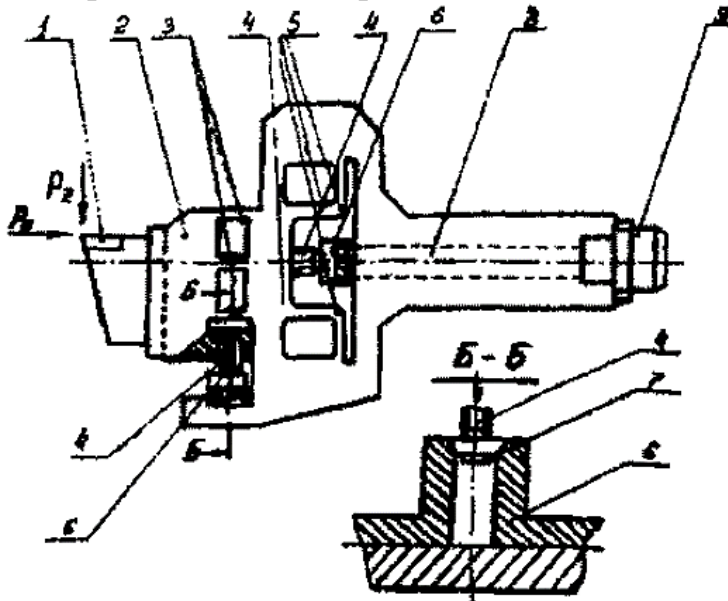


Рис. 4. – Устрій токарного динамометра.

1 - різець; 2 – корпус;
3, 5 – пружні елементи корпусу; 4 – натискні гвинти; 6 – пружні вимірювальні елементи;
7 – робочі датчики;
8 – канал; 9 – штигельний роз'єднувач.

За допомогою даного динамометра можна вимірювати відразу дві складові сили P_z , P_y , P_x . Прилад складається з корпусу 2, у передній частині якого кріпиться різець 1. При дії складової сили різання внаслідок того, що перетин корпусу динамометра в декількох місцях ослаблено вікнами, має місце пружне переміщення корпусу в напрямку дії сили. Це переміщення через гвинти 4 передається на пружні вимірювальні елементи 6.

Пружний вимірювальний елемент являє собою рамку (рис. 4), де на внутрішній стороні однієї із пластин наклеєні дровові тензодатчики. Дрововий датчик являє собою рамку з тонкого дроту з високим питомим опором, наклеєним на тонкий папір. Датчик приклеєний до поверхні пружного тіла, після чого він буде відчувати ті ж деформації, що і поверхня. Розтягання і стиск дротів решіток приводить до зміни омичного (Ω , Ом.) опору датчика. Датчики R_2 і R_3 включено в схему "Напівміст" (див. рис. 5) і підключено до підсилювача УТЧ-1.

Зміна опору датчиків під дією складових сили різання приводить до зміни в діагоналі мосту струму, що вимірюється мікро амперметром М266М. переклад показань мікроамперметра у величини складової сили різання P_z і P_y (в кгс) здійснюється за допомогою тарувального графіка (рис. 6).

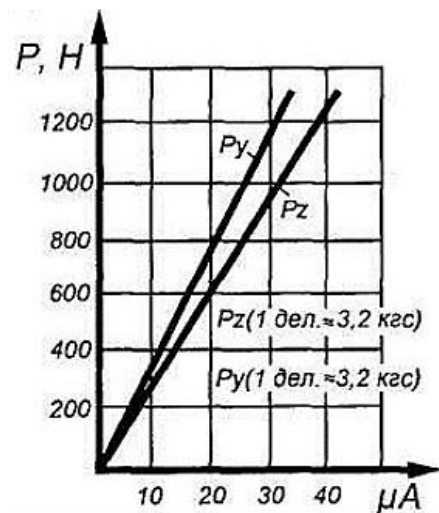
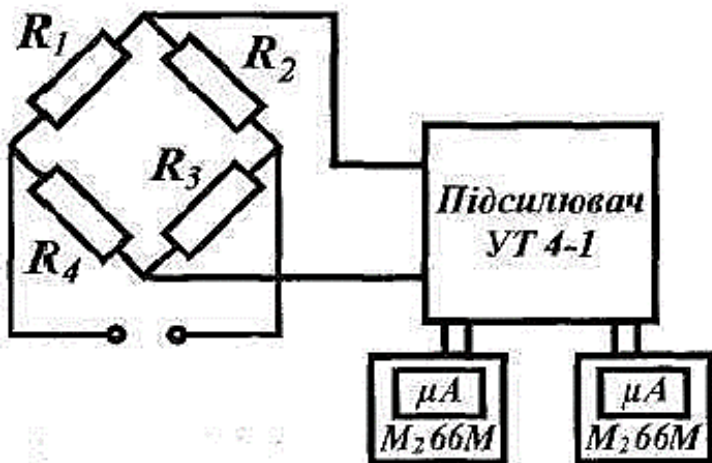


Рис. 5. - Електрична структурна схема токарного динамометра

Рис. 6. – Тарувальний графік для переводу показників мікро амперметрів

2.3 Вплив глибини, подачі й швидкості різання на сили різання

Експериментальними дослідженнями встановлена залежність сили різання від параметрів процесу різання:

$$P_z = C_{P_z} t^{x_p} S^{y_p} V^{z_p} K_{p_{P_z}}$$

Наприклад, при точінні стали твердосплавним різцем з геометричними параметрами ($\gamma = 10^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $r = 10^\circ$, $\lambda = 0^\circ$) без охолодження, формула взаємозв'язку має вигляд:

$$P_z = 300 \cdot t^{0,9} \cdot S^{0,75} \cdot V^{0,15} \cdot K_{P_z}$$

Формули зв'язку складових P_X і P_Y сили різання із елементами режиму різання ідентичні.

Найбільший вплив на складову силу P_Z робить глибина різання. Пропорційно збільшенню глибини збільшується ширина шару, що зрізається, а також зростає об'єм видаленого матеріалу, тоді як значення середньої деформації в стружці не змінюється. Тому складова сили різання росте пропорційно збільшенню глибини різання. Трохи менший вплив, на зміну складової сили різання робить подача. При її збільшенні, росте товщина шару, що зрізується, що приводить до зменшення величин середньої деформації в стружці. Тому ступінь впливу подачі на силу різання менше, ніж ступінь впливу глибини.

При збільшенні швидкості різання складова сила P_Z зменшується, тому що при цьому зростає температура в зоні різання і знижуються механічні властивості оброблюваного матеріалу, а також змінюється умови тертя стружки по передній поверхні різця (рис. 7).

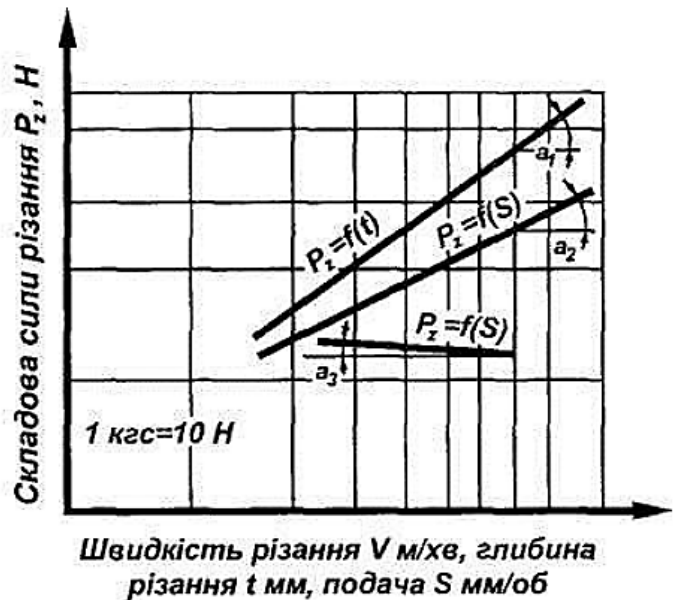


Рис. 7. – Залежність складової сили різання P_Z тів режиму різання.

2.4. Вплив геометричних елементів різця на сили при різанні

Найбільший вплив з геометричних параметрів на силу різання роблять передній кут (γ), головний кут у плані (φ) і радіус закруглення при вершині різця (r). Чим менше значення переднього куту, тим важче різцю врізатися в заготовку, та тим більше деформація шару, що зрізається, при перетворенні його в стружку, отже, і зростає значення складової сили різання P_Z (рис. 8). Одночасно із складовою сили P_Z будуть збільшуватися й складові сили різання, які не розглядаються P_X і P_Y . Причому вони ростуть швидше складової P_Z .

На рисунку 9 показано залежність значення P_Z від φ при обробці стали: при «затиснутим» різанні різцем з $r > 0$ зі зміною φ від 30 до 60° складова P_Z

зменшується; подальше збільшення φ , супроводжується зростанням P_Z . Інший характер має залежність $P_Z = f(\varphi)$ при роботі з різцями з $r = 0$, а також при вільному різанні. Складну залежність $P_Z = f(\varphi)$ для різців з $r > 0$ може бути пояснено спільним впливом двох факторів: зміною товщини шару, що зрізається (з ростом φ та при збільшенні товщини шару, що зрізається, деформації зменшуються), і зміні довжини криволінійної ділянки активної частини ріжучої кромки, збільшення якої викликає зростання сили різання (рис. 9).

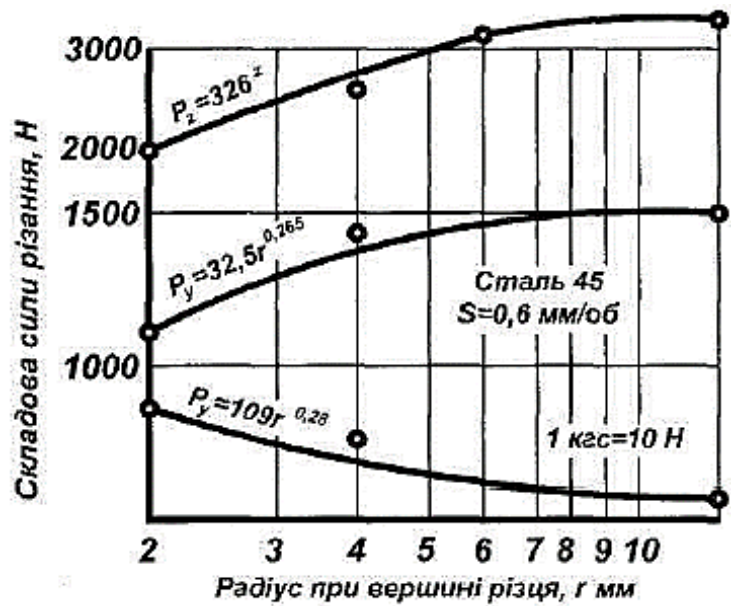
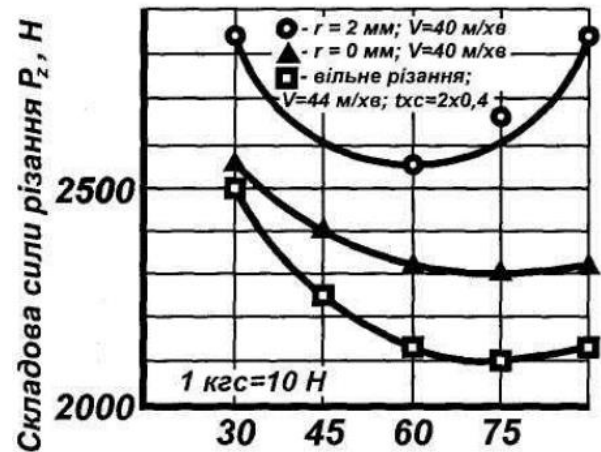
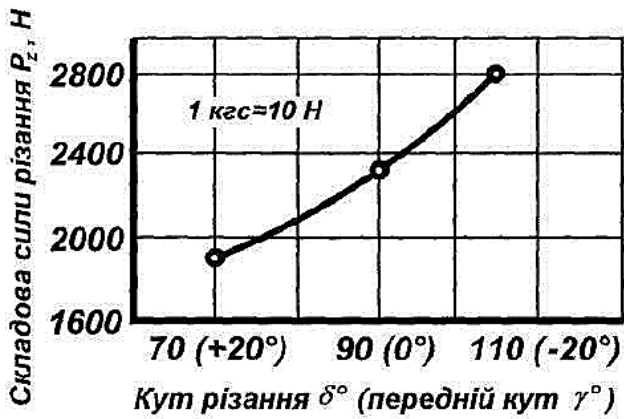


Рис. 8. – Вплив кута різання δ° (переднього кута γ°) на складову сили різання.

Рис. 9. – Залежність складової сили різання P_Z від значення головного кута в плані (φ).

Істотний вплив на значення P_z і P_y робить радіус округлення при вершині різця (r). Збільшення його значення веде до росту довжини криволінійної ділянки ріжучої кромки, що обумовлює збільшення роботи деформації і складових сил різання P_z і P_y . Оскільки з ростом r для точок криволінійної ділянки ріжучої крайки φ зменшується значення складової сили різання P_x зменшується (див. рис. 10).

Рис. 10. – Вплив радіуса закруглення при вершині різця r на складові сили різання P_z , P_y і P_x .

Інші значення геометричних параметрів ріжучого інструменту (задній кут різця α , допоміжний кут плані φ_1 , передній кут γ на допоміжній ріжучій крайці) у межах застосовуваних для них величин при зовнішнім точінні значного впливу на силу різання не роблять.

2.5 Устаткування, прилади й інструменти

Для проведення лабораторної роботи необхідно мати наступне устаткування: токарно-гвинторізний верстат моделі К62, токарський двокомпонентний динамометр; електричний підсилювач УТ4-1, мікро амперметри М266М; набір різців зі значеннями переднього кута $\gamma = +20, 0, -15^\circ$, матеріал ріжучої частини інструменту твердий двох карбідний сплав Т5К10, набір різців зі значеннями головного кута в плані $\varphi = 30, 45, 75^\circ$, набір різців зі значеннями радіуса закруглення при вершині $r = 2, 4, 6, 8$, матеріал заготовки – сталь 45.

2.6. Заходи безпеки

При виконанні лабораторної роботи необхідно виконувати правила техніки безпеки відповідно до проведеного викладачем інструктажу. На додаток слід зазначити, що при роботі з токарно-гвинторізним верстатом необхідно мати окуляри, що захищають, закриті або прибрати волосся.

3. ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

3.1 Порядок проведення роботи

На початку заняття проводиться контроль підготовленості студентів до виконання лабораторної роботи. У зв'язку із цим студентам варто вивчити:

- ознайомитися зі складовими силами різання, що виникають при обробці;
- ознайомитися з експериментальними методами виміру сили різання;
- вивчити характер впливу глибини подачі й швидкості різання на складові сили різання;

–вивчити характер впливу геометричних параметрів різця: переднього кута (γ), головного кута в плані (φ) і радіуса закруглення при вершині (r) на складові сили різання

Після ознайомлення із приладами необхідно:

- провести експериментальне дослідження;
- зробити обробку отриманих експериментально досліджених даних;
- зробити висновок про виконану роботу;
- оформити звіт.

3.2 Порядок проведення експерименту

Досліджені дані отримують при точінні заготовки на токарно-гвинторізному верстаті мод. 1К62. Складові P_z і P_y виміряються двокомпонентним динамометром (див. рис. 4). Переклад показання міліамперметрів, що входять у схему виміру сил, здійснюється за допомогою тарувального графіка (див. рис. 6).

Досліди проводяться в шість серій:

–1-я серія, проводилась для визначення залежності зміни складових сили різання від глибини різання t (при проведенні дослідів цієї серії змінюється тільки глибина різання, всі інші фактори залишаються постійними);

–2-я, це серія дослідів - устанавлення залежності зміни складових сили різання від значення подачі S (змінюється величина подачі, інші фактори постійні);

–3-я серія дослідів – устанавлення залежності зміни складових сили різання від швидкості V (змінюється швидкість різання, інші фактори постійні);

–4-я серія дослідів – устанавлення залежності зміни складових сили різання від значення переднього кута γ (застосовують різці з різними передніми кутами, інші фактори постійні);

–5-я серія дослідів – устанавлення залежності зміни складових сили різання від значення головного кута в плані φ (беремо різці з різними значеннями кутів, інші фактори постійні);

–6-я серія дослідів – устанавлення залежності зміни складових сили різання від значень радіуса закруглення різця при вершині r (беремо різці з різними величинами радіуса закруглення при вершині, сталеві фактори постійні).

Для кожного з параметрів варто визначити не менш чотирьох значень складових сили різання, при різних значеннях змінного параметра. Результати дослідів заносяться в журнал звіту.

3.3 Обробка експериментальних даних

3.3.1 Однієї з кінцевих цілей даної роботи є складання емпіричних формул:

$P_z = C_{Pz} \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^z$, $P_y = C_{Py} \cdot t^{x_1} \cdot S^{y_1} \cdot V^{z_1}$, $P_x = C_{Px} \cdot t^{x_2} \cdot S^{y_2} \cdot V^{z_2}$, що представляють собою функції від трьох змінних $P_z = f(t, S, V)$, $P_y = f(t, S, V)$ і $P_x = f(t, S, V)$. Для того, щоб скласти емпіричні формули, необхідно визначити параметри: x, y, z, C_{Pz} – для складової сили різання P_z ; x_1, y_1, z_1, C_{Py} – для складової P_y ; x_2, y_2, z_2, C_{Px} – для складової P_x .

Коефіцієнти C_{Pz} , C_{Py} і C_{Px} виражають вплив на складові сили різання P_z, P_y і P_x фізико-механічних властивостей матеріалу оброблюваного виробу, геометричних параметрів ріжучого інструмента та інших факторів.

Коефіцієнти $x, y, z, x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2$ вказують на ступінь впливу глибини різання t , подачі S та швидкості різання V на складові сили різання P_z, P_y і P_x .

3.3.2 Згідно вказівок розділу 5 даної інструкції (див. 1...3 серії дослідів), ми одержали кількісні залежності складових сили різання P_z, P_y і P_x від одного із трьох змінних факторів (два інших під час досвіду ми приймали постійними). Результати дослідів, записані нами в у журналі лабораторних робіт, виражають функціональні залежності типу: $P_z = f(t)$, $P_z = f(S)$, $P_z = f(V)$, $P_y = f(t)$, $P_y = f(S)$, $P_y = f(V)$, $P_x = f(t)$, $P_x = f(S)$, $P_x = f(V)$ які можна представити у вигляді:

$$\begin{aligned} P_Z &= C_{Pz}(t), & P_Z &= C_{Pz}(S), \\ P_Y &= C_{Py}(t), & P_Y &= C_{Py}(S), \\ P_X &= C_{Px}(t), & P_X &= C_{Px}(S), \end{aligned}$$

Наведені формули являють собою рівняння параболи, побудова яких й подальші дії з ними сполучені зі складністю побудови кривих і надзвичайно більшими погрешностями.

Завдання сильно спрощується, якщо ми про логарифмуємо отримані емпіричні формули:

$$\begin{aligned} \lg P_Z &= \lg C_{Pz1} + x \lg t, & \lg P_Z &= \lg C_{Pz1} + x \lg t, \\ \lg P_Y &= \lg C_{Py1} + x \lg t, & \lg P_Y &= \lg C_{Py1} + x \lg t, \\ \lg P_X &= \lg C_{Px1} + x \lg t, & \lg P_X &= \lg C_{Px1} + x \lg t, \end{aligned}$$

У результаті отримано рівняння прямих ліній, які не проходять через початок

координат, якщо на осях координат відкласти значення десяткових логарифмів P_Z ,

P_Y , P_X , t , S , V . Для цієї мети використаємо прямокутну систему координат з логарифмічними шкалами.

Для прикладу побудуємо графік впливу глибини різання (t) на складову сили різання (P_Z). (рис. 11):

$$\lg P_Z = \lg C_{Pz1} + x \lg t$$

При побудові графіку варто завжди пам'ятати, що побудована на графіку пряма повинна по можливості проходити через максимально можливе число точок, що перебувають на графіку. Точки, які не попадають на проведену пряму, повинні розташовуватися симетрично (по обох сторони) цієї прямої. При цьому, сума відхилень точок розташованих вище прямої, повинна бути приблизно рівні сумі відхилених точок розташованих нижче цієї прямої.

З рівняння видно, що параметр x є кутовим коефіцієнтом даній прямої, який ми знаходимо із графіка (див. рис. 11): $x = \operatorname{tg} \alpha_1 = a/b$.

Для визначення коефіцієнта C_{Pz1} скористаємося знанням того, що логарифм 1 дорівнює нулю. Підставляємо в дане рівняння значення в рівняння $t = 1$ і отримаємо:

$$\lg P_Z = \lg C_{Pz1} + 0$$

Тому значення C_{Pz1} ми можемо знайти прямо з побудованого нами графіка, для цього знаходимо на осі глибини різання точку зі значенням $t = 1$. У цій точці значення P_Z дорівнює значення C_{Pz1} (рис. 11).

У такий спосіб ми одержимо чисельні значення C_{Pz1} і x .

Даним методом із графіків $P_Z = f(t)$, $P_Z = f(S)$, $P_Z = f(V)$, $P_Y = f(t)$, $P_Y = f(S)$, $P_Y = f(V)$, $P_X = f(t)$, $P_X = f(S)$, $P_X = f(V)$ точно також знаходимо значення: C_{Pz2} ,

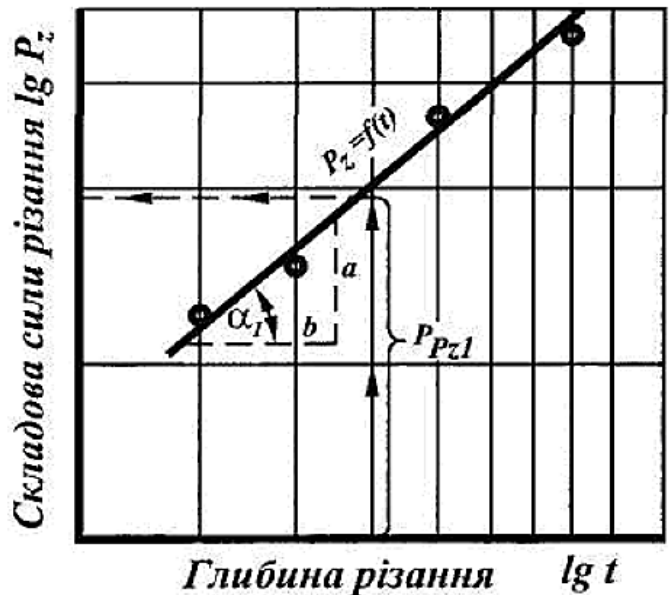


Рис. 11. – Графік впливу глибини різання (t) на складову сили різання (P_Z).

$y, C_{Pz3}, z; C_{Py1}, x, C_{Py2}, y, C_{Py3}, z, i$ т.п.

Розглянемо методи визначення величини коефіцієнта C_{Pz} . У першому наближенні ми можемо визначити її як середнє арифметичне число із приватних значень $C_{Pz1}, C_{Pz2}, C_{Pz3}$:

$$C_{Pz} = \frac{C_{Pz1} + C_{Pz2} + C_{Pz3}}{3}$$

Для більш точного визначення величини C_{Pz} варто користуватися іншим способом заснованим на визначенні величини C_{Pz} з формули:

$$P_Z = C_{Pz} \cdot t^{x_{Pz}} \cdot S^{y_{Pz}} \cdot V^{z_{Pz}}$$

Сутність цього методу полягає в тому, що на графіках залежностей $P_Z = f(t), P_Z = f(S), P_Z = f(V)$ (див. рис. 12) по довільно взятій величині складової сили різання P_Z (наприклад, $P_Z = 1800 \text{ Н}$) знаходимо значення t, S, V і їхні параметри:

$$x = \operatorname{tg} \alpha_1, y = \operatorname{tg} \alpha_2, z = \operatorname{tg} \alpha_3.$$

$$\text{Тоді: } C_{Pz} = \frac{P_Z}{t^x \cdot S^y \cdot V^z}$$

Підставивши в отриману формулу знайдені по рис. 12 (а, в, с) значення x, y, z, t, S, V і P_Z , визначаємо величину C_{Pz} .

Знаючи чисельні значення параметрів x, y, z , і коефіцієнта C_{Pz} , ми підставляємо їх у формулу: $P_Z = C_{Pz} \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^z$, і одержуємо в результаті емпіричну залежність даної серії дослідів.

Точно також одержуємо емпіричну залежність для P_y і P_x .

3.4 Оформлення звіту

Звіт про лабораторну роботу оформляється в журналі лабораторних робіт встановленого зразка (бланк-журнал видається кожному студентові) і повинен містити:

- ціль роботи;
- схему устрою динамометра для виміру зусиль і його структурну електричну схему включення;

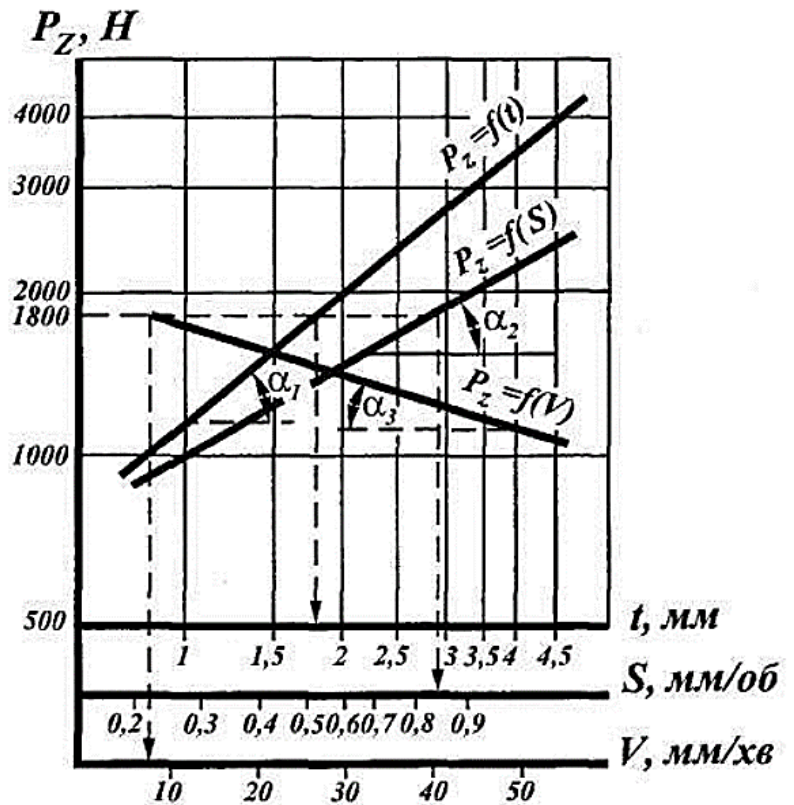


Рис. 12. – Залежність складової сили різання (P_Z) від глибини різання (t), подачі (S) та швидкості різання (V).

- схему сил, що діють на різець;
- таблицю результатів дослідів;
- графік впливу глибини, подачі, швидкості різання на сили P_z , P_y і P_x ;
- графік впливу значень переднього кута (γ), головного кута в плані (ϕ) і радіуса при вершині (r) на силу P_z ;
- розрахунки коефіцієнтів x , y , z , C_{Pz} , C_{Py} і C_{Px} та підсумкові формули;
- висновок про виконану роботу.

Для одержання зарахування по лабораторній роботі студент повинен мати оформлений відповідно звіт і відповіді на контрольні питання.

Матеріали звіту можуть бути використані студентом при підготовці до іспиту.

3.5. Питання для перевірки знань студентів

1. В яких межах здійснюється деформація шару матеріалу, що зрізається?
2. При руйнуванні наросту, куди попадають його частини?
3. Яка поверхня інструменту перегороджує шлях потоку стружки?
4. Чи виконує нарост функцію різального клину?
5. Які існують методи вимірювання сили різання?
6. Яку назву носить сила, яка тисне на шар, що зрізається?
7. В яких випадках фізичне явище «нарост» є корисним?
8. Як діють складові сили різання на інструмент?
9. Скільки існує зон в яких здійснюється деформація та зрізання стружки?
10. Які існують види вібрацій при різанні матеріалів?
11. Яку форму має стружка при різанні в'язких матеріалів?
12. Причинами виникнення автоколивань є?
13. Плоска спіраль стружки утворюється при якому виді різання?
14. Наведіть визначення, що мають на увазі під терміном «потужність різання»?
15. Гвинтова спіраль стружки утворюється при якому виді різання?
16. Наведіть визначення, що називають автоколиваннями?
17. Вплив умов різання на дію складових сили різання?
18. Наведіть визначення, що називають усадкою стружки?
19. Які існують види усадки стружки?
20. Якими методами вимірюють усадку стружки?
21. Наведіть визначення, що називають силою різання?
22. Основними чинниками, що впливають на усадку стружки, є?
23. Наведіть визначення, що називають складовими сили різання?
24. Від чого залежить сила різання?
25. Вплив умов різання на дію складових сили різання?
26. Наведіть визначення, що називають коефіцієнтом тертя?
27. Наведіть визначення, що називають наростом?
28. Як впливає величина радіусу закруглення при вершині різального інструменту на силу різання?
29. Визначить, де розташовуються нарост під час процесу різання?
30. В скільки раз нарост твердіше від обробленого матеріалу?
31. Як впливає швидкість різання на силу різання?

32. Наведіть визначення, що називають усадкою стружки?
33. Якими формою та розмірами характеризується наріст?
34. Як впливає знос інструменту на силу різання?
35. Чи є наріст стабільним тілом?
36. Які необхідні наступні умови для утворення наросту?
37. Яку назву носить сила, яка тисне на шар, що зрізається?
38. Які складові сили тертя повинні за виникнення та ріст наросту?
39. Наведіть визначення, що таке метод вібраційного управління процесом різання?
40. Якої умови необхідно досягнути для припинення росту наросту?

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ХАРКІВСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

ОСНОВИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ПО ВИКОНАННЮ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 4

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕМЕНТІВ
РЕЖИМУ РІЗАННЯ ТА ГЕОМЕТРІЇ РІЗЦЯ НА
ТЕМПЕРАТУРУ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ»**

1. ПІДГОТОВКА ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1.1. Мета роботи

Метою лабораторної роботи є експериментальне підтвердження теоретичних положень залежності температури різання при точінні від умов різання, що включає наступне: вивчення впливу елементів режиму різання (подачі, глибини і швидкості різання) і геометричних параметрів різця на температуру різання; ознайомлення з методикою вимірювання температури різання та обробки результатів експериментального дослідження температури різання і отриманням емпіричних залежностей для розрахунку температури.

1.2. Завдання на підготовку до лабораторної роботи

До моменту проведення лабораторної роботи студенти повинні вивчити відповідний розділ курсу, ознайомитися з загальною інструкцією з техніки безпеки, що діє в лабораторії по лабораторній роботі, що виконується.

При підготовці до проведення експериментальної частини студенти повинні використати конспект лекцій з даної дисципліни, ці методичні вказівки, стенди, плакатний матеріал, що є наявним у лабораторії.

Завдання на проведення лабораторної роботи «Дослідження впливу елементів режиму різання та геометрії різця на температуру різання при точінні» видаються викладачем, що проводить заняття. Робота виконується групами по 4-6 студентів.

Перед початком лабораторної роботи на робочому місці підготовляються токарний верстат, комплект вимірювальних приладів, а також методичні вказівки і журнали лабораторних робіт на кожного студента.

Експериментальна частина роботи виконується після вивчення необхідного теоретичного матеріалу. Завдання видаються викладачем, провідним заняття, та виконується безпосередньо під керівництвом завідуючим лабораторії різання.

Практична частина роботи виконується після виконання експериментальної частини роботи кожним студентом самостійно.

Рекомендована література

1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, А.І. Грабченко, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазура. – 3-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ–2000, 2018. – 471 с.

2. Теорія різання [Електронний ресурс] : Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.

3. Буц Б. Д., Приходько В. Є., Ткачов Ю. В. Розрахунок режимів різання металів: Навч. посіб.-Д.: РВВ ДНУ, 2005.-76 с.

4. Теорія різання [Електронний ресурс]: Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.

2. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Джерела утворення теплоти в зоні різання і напрямки її відведення із зони обробки

Процес різання матеріалів супроводжується значним тепловиділенням в результаті того, що велика частина механічної роботи, яка направлена на зрізання поверхневого шару матеріалу, переходить в теплову енергію. Експериментами Ребіндера П.А. і Єпіфанова Г.І. встановлено, що при різанні конструкційних матеріалів велика частина від роботи різання (до 99,5%) переходить в теплоту. Таким чином, якщо робота різання може бути виражена в кгсм/хв, то відповідна їй кількість теплоти визначається по формулі: $Q_i = E_i / 427$ ккал/хв; де $1/427$ – відношення витраченої одиниці роботи до одиниці теплоти; E_i – механічний еквівалент теплоти від джерела i , кгм/хв.

На підставі цього і з урахуванням розглянутої вище формули відношення роботи різання до кількості теплоти, визначаємо: $E_i = E_d + E_{ТП} + E_{ТЗ}$, де E_d – величина роботи сили різання, яка направлена на деформацію поверхневого шару, що зрізається; $E_{ТП}$ – величина хвилиної роботи сили тертя по передній поверхні ріжучого інструменту; $E_{ТЗ}$ – величина хвилиної роботи сили тертя по задній поверхні. Таким чином, визначимо, що кількість теплоти, яка утворюється при різанні, можна визначити за допомогою формули: $Q = Q_d + Q_{ТП} + Q_{ТЗ}$, де Q_d – кількість теплоти, яка виділилася від деформації поверхневого шару, який зрізається, в ккал; $Q_{ТП}$ – кількість теплоти, яка виділилася від хвилиної роботи сили тертя по передній поверхні, в ккал; $Q_{ТЗ}$ – кількість теплоти, яка виділилася від хвилиної роботи сили тертя по задній поверхні, в ккал.

Розташування джерел утворюваної теплоти в процесі різання поверхневого шару матеріалу представлено на рис. 1. Теплота від деформації Q_d , яка утворюється в зоні зрушень на умовній площині зрушення; теплота $Q_{ТП}$, яка утворена від дії сили тертя на передній поверхні в межах майданчика контакту між стружкою і інструментом шириною C_1 ; теплота $Q_{ТЗ}$, яка утворена від дії сили тертя на задній поверхні, в межах майданчика контакту між поверхнею різання і інструментом шириною C_2 .

Тобто, основними джерелами виникнення теплоти в зоні різання є (рис. 2):

1. Внутрішнє тертя між частинками шару, що зрізається, в результаті його пластичної деформації при утворенні стружки ($Q_{ДС}$ і $Q_{ДЕТ}$);
2. Тертя стружки об передню поверхню інструменту ($Q_{ТП}$);
3. Тертя поверхні різання і обробленої поверхні по задніх поверхнях інструменту ($Q_{ТЗ}$).

Теплота, яка утворилася, і розповсюджується від зони теплоутворення до холодніших областей, розподіляється між стружкою, деталлю і інструментом по існуючим законам термодинаміки.

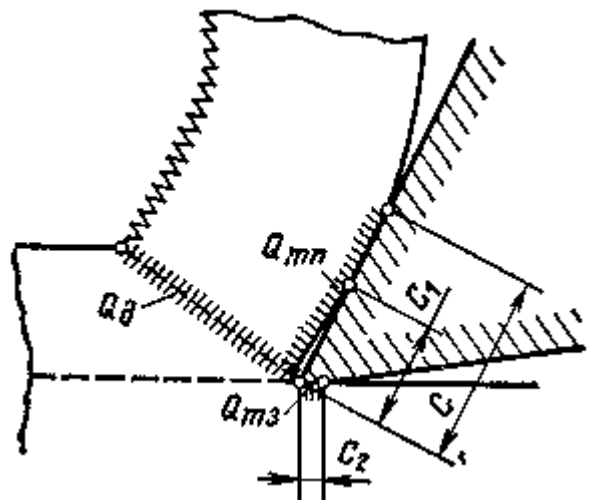


Рис. 1. – Джерела утворення теплоти в зоні різання.

Кількість створеної теплоти при різанні матеріалів можна також розрахувати по формулі:

$$Q = \frac{P_Z \cdot V}{E}, \text{ ккал/хв};$$

де, P_Z – робота різання, кгм/хв; E – механічний еквівалент теплоти, кгм/хв.

Оскільки при обробці крихких матеріалів (чавун, бронза та ін.) робота по деформації поверхневого шару менша (оскільки значення сили P_Z при обробці менше), то і кількість теплоти, яка утворилася при обробці цих видів матеріалів, буде менша. З урахуванням роботи і сили P_X у напрямі вектору подачі:

$$Q = \frac{P_Z \cdot V}{E} + \frac{P_X \cdot S \cdot n}{1000 \cdot E}, \text{ мм/хв.}$$

Між стружкою, деталлю і інструментом встановлюються наступні теплові потоки (рис. 2).

Найбільш інтенсивне виділення тепла відбувається у області стружкоутворення, прилеглою до площини сколювання в цій області, теплота виділяється в результаті двох одночасно діючих процесів, які протікають:

–по-перше, в результаті пластичної деформації зрушення елементів стружки, яка утворюється, по площині

–по-друге, в результаті пластичної деформації стиснення і частково пластичної деформації того, що зім'яло тонкого шару оброблюваного матеріалу, який примикає до

площини сколювання з боку припуску, що зрізається. Цей шар показаний на рис. 1. і виділений вертикальним штрихуванням. Частина теплоти від деформації $Q_{ДС}$ по умовній площині зрушення переходить в стружку. Із зони контакту на передній поверхні в стружку переходить частина теплоти, яка утворена від дії сили тертя, яке дорівнює, $Q_{ТП} - Q_{П}$, де $Q_{П}$ – кількість теплоти, яка йде в ріжучий інструмент. Таким чином, температура стружки визначається сумарним тепловим потоком:

$$Q_C = Q_{ДС} + Q_{ТП} - Q_{П}, \text{ ккал.}$$

Частина теплоти, яка йде від деформації $Q_{ДДЕТ}$ – по умовній площині зрушення переходить деталь, в ккал. Туди ж із зони контакту по задній поверхні переходить частина теплоти, яка утворена від дії сили тертя, яке дорівнює, де Q_3 – кількість теплоти, яка йде в ріжучий інструмент, в ккал. В результаті цього інтенсивність теплового потоку в деталь визначається по формулі:

$$Q_{ДЕТ} = Q_{ДДЕТ} + Q_{ТЗ} - Q_3, \text{ ккал.}$$

Температурне поле ріжучого клину інструменту встановлюється в результаті дії сумарного теплового потоку $Q_{И}$ з інтенсивністю: $Q_{И} = Q_{П} + Q_3$, ккал.

Всі розглянуті дії утворюють напрями стоку теплоти, які можуть бути проінсталювані в часі, що дає розповсюдження відповідної температури за всім

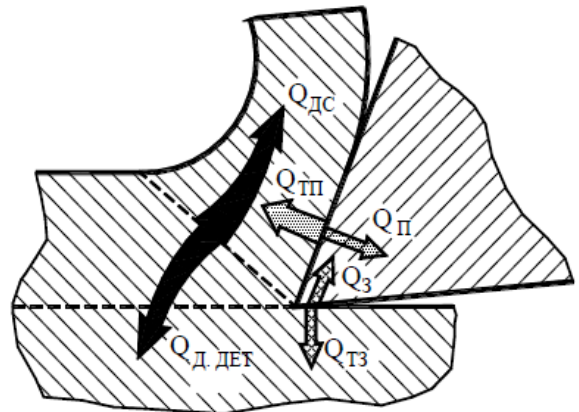


Рис. 2. – Схема розподілу первинних теплових потоків при різанні матеріалів.

обсягом заготівки, інструменту і стружки за окремою проміжок часу і носить назву – *температурних ланів*.

Теплота, яка виділилася в процесі різання, розповсюджується від крапок з вищою температурою до крапок з менш низькою температурою (закон про теплову конвенцію або тепловий баланс).

Тепловий баланс (рис. 2) може бути виражений наступним рівнянням:

$$Q = Q_C + Q_H + Q_3 - Q_{СЕР}, \text{ ккал.}$$

де, Q_C – кількість теплоти, яка відноситься із стружкою, $Q_C = 60...80\%$ від загальної кількості теплоти, причому, чим вище швидкість різання, тим вище % відведення теплоти, в ккал; Q_H – кількість теплоти, яка перейшла до ріжучого інструменту, $Q_H = 10...40\%$, в ккал; Q_3 – кількість теплоти, яка поступила до оброблюваної заготівки; $Q_3 = 3...9\%$, в ккал; $Q_{СЕР}$ – кількість теплоти, яка поступає в що оточує середовище шляхом випромінювання, $Q_{СЕР} = 1\%$, в ккал.

Оскільки кількість теплоти, що утворилася, пропорційно здійснюваній роботі, отже, кількість одержаної теплоти залежить від роду і механічних властивостей матеріалу оброблюваної, геометричних параметрів ріжучого інструменту і режиму різання. На процентне ділення теплоти між стружкою, деталлю і інструментом головний вплив роблять механічні і теплофізичні властивості матеріалу деталі і швидкість різання. У 1915 р. Усачев Я.Г. встановив, що найбільша кількість теплоти переходить в стружку, складаючи при обробці стали від 60 до 85% від загальної кількості теплоти, що утворилася. Із збільшенням швидкості різання кількість теплоти, яка йде в стружку збільшується, а її середня температура росте. Дослідження останніх років показали, що процентне ділення теплоти, яка утворилася, сильно залежить від роду матеріалу оброблюваної.

Співвідношення кількості теплоти, яка відводиться із стружкою в деталь, в інструмент і навколишнє середовище залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу заготівки, режиму різання, геометрії ріжучого інструменту і зовнішніх умов, в якій здійснюється різання.

На початку обробки температура в зоні різання росте до якогось певного значення і встановлюється постійною, відповідною стаціонарному тепловому режиму, при якому виділення тепла дорівнює відведенню його по перерахованих напрямках. Для практичних цілей найбільший інтерес представляє температура робочої частини інструменту і оброблюваної заготівки. Тепло, перехідне в заготівку, збільшує її температуру і викликає температурну зміну її розмірів і викривлення, яка часом є причинами браку деталі.

2.2 Температурні поля в зоні різання. Вплив умов різання на виділення і розподіл теплоти

Вимірюваннями встановлено, що теплота в зоні різання розподіляється нерівномірно. Найбільша температура діє на передній поверхні ріжучого інструменту при видаленні від його головної ріжучої кромки на 1/3 довжини контакту стружки з передньою поверхнею. Сукупність миттєвих значень температури в різних точках зони різання називається **температурним полем**.

Температурне поле дає найбільш яскраву і повну картину розповсюдження теплоти, як діючої температурної обстановки в зоні різання.

Як у стружці, так і ріжучому інструменті теплота розподіляється нерівномірно, що викликає різну температуру в окремих точках контакту. У шарах, розташованих ближче до передній поверхні, температура стружки значно вища, ніж в шарах віддалених від передньої поверхні. Це пояснюється нерівномірністю деформацій уздовж товщини зрізу, при стисненні ріжучим інструментом, і додатковою деформацією пласту стружки від сили тертя при зміні кута деформації шару, що зрізається, із-за наявності наросту на передній поверхні інструменту.

Інтенсивність температурних полів в заготівці знижується у міру видалення від поверхні різання (рис. 3), причому найвища температура зосереджена в місцях безпосереднього контакту інструменту із заготівкою.

У різця найвища температура в межах майданчиків контакту із стружкою і заготівкою (поблизу вершини інструменту).

Інтенсивність температури в місцях, віддалених від основних точок контакту (рис. 4), визначається фізичним явищем – теплопровідністю або тепловою конвенцією.

Зі всієї зони контакту стружки з передньою поверхнею інструменту (зокрема для різця) найвища температура буде в центрі тиску стружки на різець.

Точки на передній і задній поверхні різця, рівно віддалені від ріжучої кромки (рис. 4), мають різну температуру нагріву. Менший нагрів задніх поверхонь різця пояснюється тим, що вони стикаються з поверхнею різання і поверхнею оброблюваної значно менше, чим передні, так процес теплопередачі розтягнутий сильно в часі, отже, менше нагріваються. Окрім цього по задніх поверхнях відбуваються менші пластичні деформації, чим в передніх поверхнях із стружкою.

Приток теплоти до передньої поверхні походить як від розігрітої стружки, так і від роботи сили тертя стружки об передню поверхню, яка викликає вищу температуру нагріву.

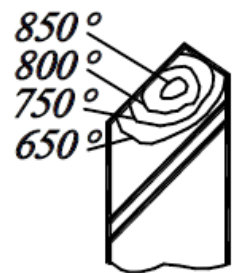


Рис. 3. – Температурні поля на передній поверхні різця.

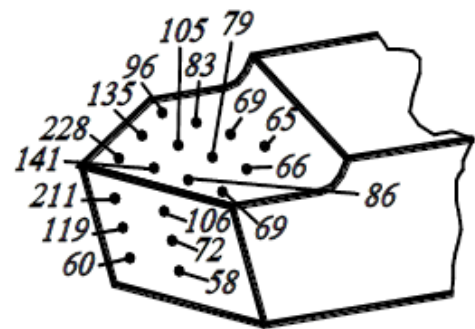


Рис. 4. – Температура в точках контакту по передній і задній поверхні різця.

2.2.1 Вплив умов різання на виділення і розподіл теплоти

На температуру різання при точінні робить вплив: фізичні властивості матеріалу оброблюваної і інструментальної, t , S , V , геометрія ріжучої частини, ЗОТС.

Чим вище межа міцності (σ_B) і твердість (НВ) матеріалу оброблюваної заготівки, тим більше витрачається роботи на подолання цих перешкод, отже, більше кількість теплоти, що утворюється і вище температура в зоні різання. Крім того, при різанні загартованих сталей стружка стикається з передньою поверхнею різця на меншій площі, чим при різанні м'яких матеріалів. Це погіршує тепловідвод і підвищує тиск на одиницю поверхні контакту інструменту. Все в цілому підвищує

температуру різання. Теплопровідність і теплоємність матеріалу діє у зворотний бік – температура в поверхневих шарах менша.

Швидкість різання. Із зростанням швидкості різання значення сили різання, що становить, падає, але в меншій мірі, чим збільшення швидкості утворення теплоти. Наприклад, при зростанні $V = 5$ разів, тоді як P_Z падає в 1,3 рази, а утворення теплоти збільшується теж в п'ять разів. Тому із зростанням V найвища температура поверхні різця росте: $Q = C_1 V^z$, де $z = 0,26...0,72$.

Подача. Із зростанням подачі росте сила і тепловиділення, але приріст теплоти буде менше приросту подачі. Крім того, із зростанням «а» покращати тепловідвід.

Ця залежність визначається по формулі: $Q = C_2 S^x$, де $x = 0,13...0,45$.

Глибина різання. Ще менше вплив на температуру різання робить глибина різання «t». Із зростанням t росте сила, то пропорційно поліпшується тепловідведення, тому приріст температури незначний: $Q = C_3 t^y$, де $y = 0,1$.

Повне рівняння впливу на теплоту режимів різання (подача та швидкість) і глибини різання має вигляд: $Q = C \times t^y \times S^x \times V^z$. (1)

Геометрія ріжучої частини інструменту. Найбільший вплив на температуру роблять передній кут (γ) і кут різання (δ), головний кут в плані (ϕ) і радіус закруглення при вершині різця (r).

Передній кут (γ) – робить складний вплив на температуру при різанні (рис. 5). Із зменшенням значень переднього кута збільшується робота, витрачена на те, що зрізає поверхневого шару, отже, росте тепловиділення, але центр тиску стружки відсовується від головної ріжучої кромки і поліпшується тепло відведення. Пов'язаний з переднім кутом і кут різання, який також впливає на температуру неоднозначно. На першій ділянці температура росте небагато, тоді, як на другому ($\delta > 75^\circ$) тепловиділення помітно перевищує тепло відведення.

Головний кут в плані (ϕ) – впливає прямо пропорційно по такій залежності, ніж більше значення кута, тим більше значення температури (рис. 6). При цьому відбувається наступне, із зростанням значень ϕ росте товщина шару, що зрізається, який видаляє центр тиску від ГРК, збільшуючи площу контакту стружки і різця, але при цьому зменшується довжина активної частини ріжучої кромки. Ці події є такими, що визначають, але при цьому тепло відведення значно погіршується.

Радіус закруглення при вершині різця в плані (r) – робить вплив на виділення теплоти і на її відведення по такій залежності (див. рис. 7). Чим більше значення радіусу, тим більше пластичної деформації шару, що зрізається, отже, більше роботи, що витрачається, але при цьому збільшується довжина активної головної ріжучої кромки і здійснюється більший об'єм головки різця, отже, переважає в цьому випадку явище тепло відведення.

ЗОТС – при подачі в зону обробки в об'ємі від 8...12 до 20 л/хв, охолоджуючого середовища зменшується температура в зоні різання та обробки на 100...150° С в

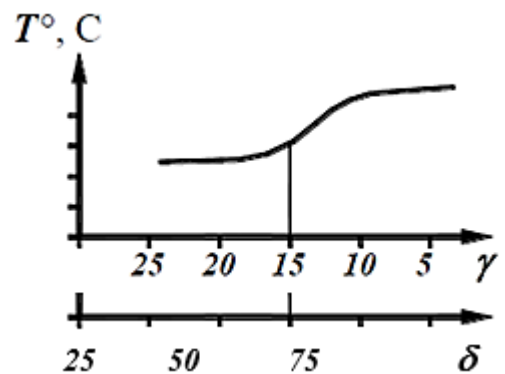


Рис. 5. – Залежність температури від значень переднього кута.

хвилину в порівнянні з такою же обробкою, тільки на суху. Зниження температури відбувається за рахунок відведення певної кількості теплоти, окрім цього зменшує вплив сили тертя за рахунок ефективного змазування контактних поверхонь. Найефективніше застосування ЗОТС у вигляді розпорскнування струменя (туманом) при тиску 1,5...2 кг/см².

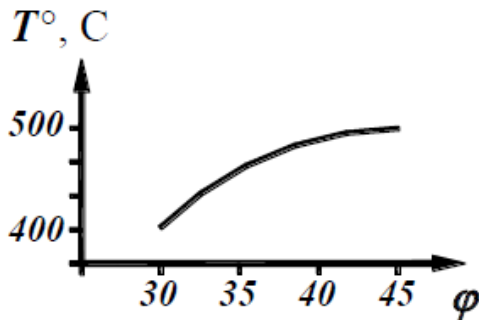


Рис. 6. – Залежність температури від значень головного кута в плані.

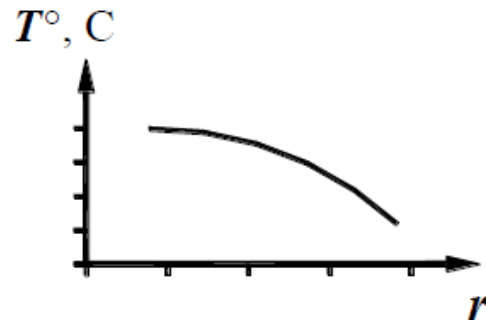


Рис. 7. – Залежність температури від значень радіусу закруглення при вершині різця.

2.3. Методи вимірювання температури при різанні

Для вимірювання температури і кількості виникнення теплоти застосовуються різноманітні методи, які дозволяють визначити температуру стружки, заготовки, інструменту в процесі різання в окремих місцях або їх середню температуру.

Найбільш поширеними є наступні методи: калориметричний; термоелектричний емісії (природною, напів штучної, штучної термопарами і такою, що біжить); оптичний; мікро структурного аналізу, теплочутливих фарб та ін.

Калориметричний метод. Дозволяє визначити середню кількість теплоти, яка переходить в стружку. На рис. 8 зображена схема установки для визначення кількості теплоти Q , перехідної при точінні в стружку і різець, і їх середніх температур. Внизу, перед передньою поверхнею різця, встановлений калориметр 1 з сіткою 2 для збору стружки і ртутним термометром 3.

Для забезпечення кращого попадання стружки в калориметр різання проводять при лівому обертанні шпинделя. Середню температуру стружки або різця ($\bar{\theta}$) можна визначити по формулі:

$$\bar{\theta} = \theta_{CM} + \frac{G_B(\theta_{CM} - \theta_B)}{cG}, \text{ град};$$

де θ_{CM} – температура суміші (води в калориметрі після виконання процесу різання) у град; G_B – маса води в калориметрі в гр; θ_B – початкова температура води в калориметрі в град; G – маса стружки в гр; c – теплоємність стружки в ккал.

Кількість тепла Q , яке перейшло в стружку, визначають по формулі:

$$Q = (c_r \cdot \theta_{CM} - c_H \cdot \theta_H)G, \text{ град};$$

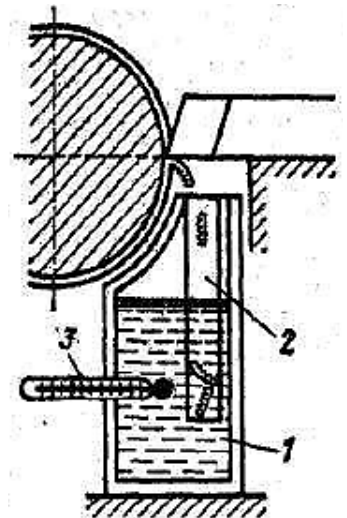


Рис. 8. – Схема вимірювання температури калориметричним методом.

де c_p – теплоємність гарячої стружки в кал; c_H – теплоємність не нагрітої стружки в кал; Θ_H – початкова температура стружки або різця, в град.

Метод термоелектричної емісії. Для вимірювання середньої температури на контактних поверхнях інструменту в різних точках контактних майданчиків, застосовують багатообразні термопари (*природну, напівштучну, штучну термопари, таку, що біжить*). Хромель-алюмельові і хромель-копелеві термопари прийнято називати штучними термопарами; утвореними з копелевого або константанового дроту і інструментального або оброблюваного матеріалів – напівштучними термопарами; утвореними з матеріалів заготовки і інструменту – природними термопарами.

На рис. 9 зображений метод підведеної (штучною) термопари, запропонований Усачевим Я.Г. Різець, використовуваний в дослідах, є корпусом 1, до якого притиснута ріжуча пластинка 2 з швидкорізальної сталі або твердого сплаву.

У корпусі виконаний отвір, в який вставлена ізоляційна трубка 3. Стандартна термопара 4 (констант міді, хромель-алюмель і ін.) з гальванометром 5, підключеним до її кінців, вставлена в ізоляційну трубку так, що її спай стосується нижньої площини пластинки 2. Спай термопари реєструє температуру опорної площини пластинки. Великою гідністю методу є можливість використання стандартних термопар з відомими термоелектричними характеристиками, а тому що не потребують спеціальної таріровки. Розташовуючи отвори в різних точках передньої і задньої поверхонь, можна скласти уявлення про температурне поле в ріжучому клині інструменту. Проте методу властиві і серйозні недоліки, які обмежують область його застосування. Вимірювана термопарою температура нижче за температуру на контактних поверхнях інструменту, і різниця температур залежить від відстані спаю термопари від вказаних поверхонь, збільшуючись при збільшенні товщини ріжучої пластинки. Практично не вдається використовувати товщину пластинки менше 1,5...2 мм, а тому із-за великого градієнта температур вимірювана температура на 50...80° С нижче дійсною. При довготривалому різанні в результаті зносу передньої і задньої поверхонь інструменту відстань між спаєм термопари і контактними поверхнями скорочується, що приводить до безперервного зростання температури. Нарешті, метод підведеної термопари важко використовувати при різанні інструментом, який обертається.

Вимірювання температури *напівштучною термопарою* (рис. 10). Для вимірювання температури різця Я.Г. Усачев застосовував також напівштучну термопару. Одним термоелектродом цієї термопари протягнута дріт з копеля або константана через отвір, просвердлений в різці. Від корпусу різця дріт ізолюється, наприклад, керамічною трубкою. Другим термоелектродом служить швидкорізальна пластинка. Обидва електроди взаємно стискаються і зварюються, утворюючи, робочий (гарячий спай) кінець термопари. Холодний електрод знаходиться при кімнатній температурі і закріплюється на клемі 4 вольтметри. Щоб не виникали паразитні термопари, викликані нагрівом швидкорізальної пластинки при різанні по

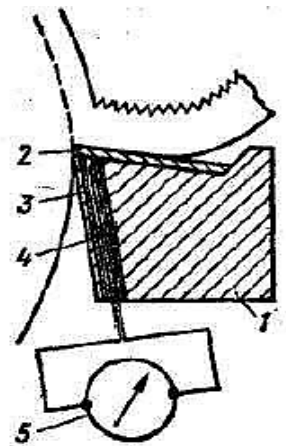


Рис. 9. – Метод штучної термопари. 1 – різець; 2 – ріжуча пластинка; 3 – ізоляційна трубка; 4 – термопара; 5 – гальванометром.

всій її довжині, в крапці 2 до неї приварюється подовжувальний дріт з швидкорізальної сталі тієї ж марки, що і сама пластина. Тоді холодний кінець термоелектрода знаходиться також при кімнатній температурі на клемі 3 вимірювальної прилади. Термоелектрорушійна сила, яка фіксується цим приладом, пропорційна температурі робочого спаю термоелектродів.

Простішим і здійсненим є метод *природної термопари*, запропонований Гербертом Е. і Готвейном Д. Метод заснований на тому, що в процесі різання (рис. 11) в місці зіткнення передньої поверхні інструменту із стружкою і задньої поверхні з поверхнею різання природним чином створюються термопари, електродами яких є матеріал оброблюваної, і матеріал ріжучої частини інструменту. Методом термопари, яка природно утворюється, вимірюють не максимальну, а деяку середню контактну температуру на передній і задній поверхнях інструменту. На основі

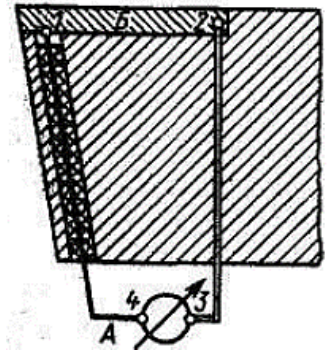


Рис. 10. – Метод напівштучної термопари.

принципу супер позиції напруга U гальванометра, включеного в ланцюг, для будь-якої кількості термоелементів визначається виразом:

$$U = \sum_1^n eg / \sum_1^n g;$$

де $g = 1/R$ - провідність термоелемента.

Схема вимірювання температури при точінні методом *природної термопари* зображена на рис. 11. Заготівка 1 ізольована від патрона 3 і центру задньої бабці ебонітовими прокладками і пробкою 5. Цілісний різець 2 з швидкорізальної сталі або з твердого сплаву ізольований від різцетримача ебонітовими прокладками 5. Різець роблять цілісним для того, щоб в місці приварювання або припаювання ріжучої пластинки до корпусу різця не утворилися паразитні термопари. Болванка мідним провідником 10 сполучена з гнучким валом 6, закріпленим в ебонітовій втулці, встановленій на кінці шпинделя верстата 4. Контактний наконечник 7 гнучкого валу опущений у ванну з ртуттю 8. Мілівольтметр 9 однією клемою сполучений з торцем різця, а другим з ртутним струмознімач. Болванку ізолюють від верстата для усунення впливу паразитних термопар, які можуть виникнути між окремими деталями верстата. Перевагою методу термопари, яка природно утворюється, є те, що його легко здійснити не тільки при точінні, але і при свердленні, нарізуванні різьб мітчиком, струганні, фрезеруванні, простяганні і інших видах робіт. Для перекладу свідчень мілівольтметра в градуси Цельсія термопара, яка природно утворюється винна, бути заздалегідь піддана спеціальному таруванню.

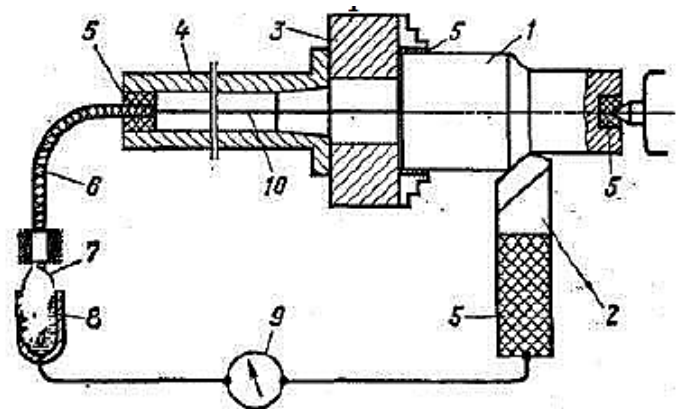


Рис. 11. – Метод природної термопари. 1 - заготівка; 2 - різець; 3 - токарний патрон; 4 - шпиндель верстата; 5 - ебонітові прокладки; 6 - дріт; 7 - контактний наконечник; 8 - ванну з ртуттю; 9 - мілівольтметр; 10 - мідний провідник.

Різновидом методу природної термопари є «метод двох різців» (рис. 12), який зводиться до різання одночасно двома різцями, виготовленими з різних матеріалів. Цей метод дозволяє виключити хворобливий процес градування термопари для кожного виду матеріалу оброблюваної; термопара градується один раз, і одержана градувальна крива, яка використовується для всіх матеріалів, що обробляються.

Метод вимірювання температури термопарою, що «біжить» (рис. 13). Для безпосереднього спостереження за зміною температури при різанні в контактних шарах стружки, і при переміщенні її по довжині контакту може застосовуватися термопара, яка умовно «біжить». Суть цього методу полягає в тому, що в заготовку штучно закладаються декілька термопар, які будучи перерізані ріжучим лезом інструменту утворюють спай термопари. У момент утворення спаю термопари вимірюється безпосереднє значення температури в зоні різання. Оскільки термопар встановлюють велику кількість і їх перерізання виконуються послідовно, то за допомогою цих термопар утворюється вимірювання температури в процесі того, що зрізає шаруючі стружки, яке як би біжить за ріжучим інструментом (що і привело до появи такої назви).

Оптичний метод (див. рис. 14) заснований на принципі фокусування інфрачервоних променів, які випускаються нагрітим тілом, за допомогою системи лінз 1, через діафрагму 2 на місце спаю термоелектрода 3, таким методом можна зміряти температуру стружки, заготовки і інструменту в різних крапках на поверхні. Недоліки складність тарування і налаштування приладів.

Метод мікро структурного аналізу (по Б.П. Костецкому) заснований на аналізі фазових і мікро структурних змін в поверхневих шарах ріжучої частини інструменту або заготовки під впливом теплоти, що отримуються в процесі різання різних матеріалів.

Для користування методом необхідно знати початкову мікроструктуру матеріалів оброблюваної і інструменту і їх фазовий стан. Після проведення процесу різання мають місце мікро структурні перетворення, по зміні яких визначають температуру дії теплоти на дану ділянку. Недолік складність металографічних досліджень.

Метод теплочутливих фарб (метод побержалостей) – полягає в тому, що температуру поверхні інструменту за межами зони його контакту з виробом

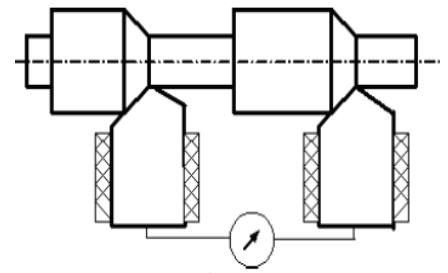


Рис. 12. – Схема вимірювання термопари методом «двох різців».

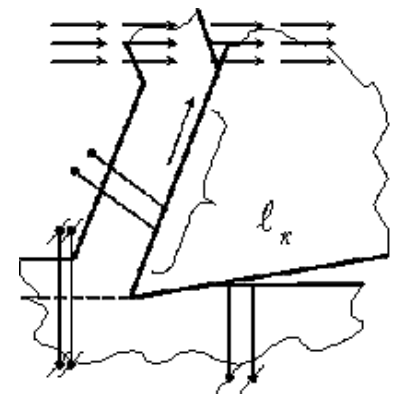


Рис. 13. – Методу вимірювання температури на передній і задній поверхнях інструменту методом термопари, що біжить.

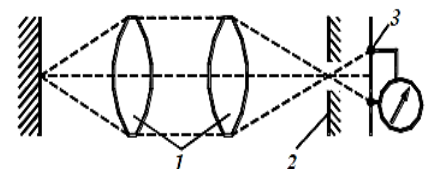


Рис. 14. – Оптичний метод.

оброблюваної або стружкою можна визначити за допомогою фарб, які змінюють свій колір при нагріванні до певної температури.

2.4. Устаткування, прилади і інструменти

Для проведення лабораторної роботи необхідно мати наступне обладнання: токарно-гвинторізний верстат моделі К62, природну термопару (принцип дії, якої показано на рис. 11); електричний підсилювач сигналів УТ4-1, мікроамперметри М266М; набір з трьох різців (зі значеннями переднього кута $\gamma = +20^\circ$, $\gamma = 0^\circ$ і $\gamma = -15^\circ$), останні досліджувані кути цього набору мають середні значення для параметрів ϕ і r ; набір з трьох різців зі значеннями головного кута в плані ($\phi = 30^\circ$, $\phi = 45^\circ$ і $\phi = 75^\circ$), останні досліджувані кути цього набору мають середні значення для параметрів γ і r ; набір з трьох різців зі значеннями радіуса закруглення при вершині ($r = 2$, $r = 4$ і $r = 6$ мм), останні досліджувані кути цього набору мають середні значення для параметрів ϕ і γ ; матеріал ріжучої частини інструменту твердий двох карбідний вольфрамо-кобальтовий сплав **T5K10**; матеріал заготовки – **сталь 45**.

2.5. Заходи безпеки

При виконанні лабораторної роботи необхідно виконувати правила техніки безпеки відповідно до проведеного викладачем інструктажу.

2.5.1 Вимоги безпеки до початку роботи

1. Правильно одягнути спецодяг і головний убір.
2. Перевірити надійність кріплення захисного кожуха пасової передачі.
3. Оглянути, чи надійно закріплено захисне заземлення до корпусу верстата.
4. Прибрати з верстака всі сторонні предмети, інструменти розкласти на встановлені місця.
5. Перевірити кріплення різального інструмента.
6. Перевірити роботу верстата на холостому ході, а також справність пускової коробки, вмикаючи і вимикаючи її кнопки.
7. Перед самим початком роботи надягнути захисні окуляри.

2.5.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт

1. Не нахиляти голови близько до верстата.
2. Не приймати і не передавати предметів через верстат, що працює.
3. Замірювати оброблювану поверхню деталі тільки після повної зупинки її.
4. Не зупиняти верстат, гальмуючи рукою оброблювану деталь.
5. Не відходити від верстата, не вимкнувши його.
6. У випадку вимкнення струму у мережі негайно вимкнути верстат.

2.5.3 Вимоги безпеки після закінчення роботи

1. Зупинити верстат.
2. Покласти на свої місця інструменти.
3. Прибрати з верстата стружку за допомогою щітки. Не здувати стружку ротом, не змітати її рукою.

3. ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

3.1. Порядок проведення роботи

Пристаюючи до виконання лабораторної роботи студент повинен знати мету і зміст майбутньої роботи, порядок її виконання, методи вимірювання температури різання, основні теоретичні положення, що характеризують вплив умов різання на температуру різання.

На початку заняття проводиться контроль підготовленості студентів до виконання лабораторної роботи. У зв'язку із цим студентам варто вивчити:

- причини появи теплових явищ, що виникають в процесі різання;
- ознайомитися з експериментальними методами виміру температури;
- вивчити характер впливу подачі, глибини й швидкості різання на температуру різання;
- вивчити фізичну суть впливу подачі, глибини і швидкості різання, геометричних параметрів ріжучої частини різця (переднього кута (γ), головного кута в плані (φ) і радіусу закруглення при вершині в плані (r)) на температуру різання.

Після ознайомлення із принципами дії приладів необхідно:

- провести експериментальне дослідження;
- зробити обробку отриманих експериментально досліджених даних;
- зробити висновок;
- оформити звіт.

3.2. Порядок проведення експерименту

Досліджені дані отримують при точінні заготовки на токарно-гвинторізному верстаті мод. 1К62. Температура Q в зоні різання вимірюється методом природної термопари (див. рис. 11), тобто за допомогою різця та заготовки. Переклад показань міліамперметра, що входить у комплект вимірювальної апаратури, здійснюють за допомогою тарувального графіка (рис. 15).

У даній лабораторній роботі температура в зоні різання вимірюється за допомогою природної термопари (див. рис. 11), у якій термоелектродами служать різець і деталь (виготовлені з різнорідного по хімічному складу матеріалу), а спаєм є місце контакту різця із стружкою і заготовкою. В процесі різання місце контакту нагрівається і виникає термоелектрорушійна сила, пропорційна температурі. Ця термоелектрорушійна сила вимірюється міліамперметром або мілівольтметром.

Для визначення температури по величині термоелектрорушійної сили термопара тарується таким чином. Кінці термоелектродів різець - деталь поміщають разом з протарованою контрольною термопарою в пісочну або сурмову ванну або в муфельну піч. Потім змінюють температуру ванни (або печі) і фіксують показання міліамперметрів або мілівольтметрів, включених у ланцюг природної і контрольної термопар. За зафіксованими показаннями контрольної термопари і міліамперметра природної тарованої термопари будується тарувальний графік.

Для експериментальної установки, що використовується в даній роботі, по

приведеній методиці побудований тарувальний графік (рис. 15).

Вимірювання проводяться в три серії:

– перша серія дослідів - дослідження залежності температури різання Q від впливу глибини різання t . При проведенні дослідів цієї серії змінюється тільки глибина різання t , решта всіх чинників (S і V) залишається незмінними;

– друга серія дослідів - дослідження залежності температури різання Q від впливу значень подачі S . При проведенні дослідів цієї серії змінюється тільки величина подачі S , решта чинників (t і V) залишається незмінними.

– третья серія дослідів - дослідження залежності температури різання Q від впливу значень швидкості різання V . При проведенні дослідів цієї серії змінюється швидкість різання V (шляхом зміни частоти обертання заготовки n), решта чинників (S і t) залишаються незмінними.

У кожній серії дослідів слід брати п'ять значень змінного чинника (подачі, глибини або швидкості різання). Вимірювання температури різання для кожної комбінації параметрів S , t і V повторювати п'ять разів. Результати дослідів слід занести в журнал спостережень.

3.3. Обробка експериментальних даних

Кінцевою метою даної роботи є складання емпіричних формул, тобто визначення значень постійного коефіцієнту C_Q , та показників ступеню: x , y і z в емпіричній залежності, що бути виконане графоаналітичним методом.

Відповідно до рівнянь (пункт 3.2, 1...3 серії досліджень), отримуємо кількісні залежності температури різання Q від одного з трьох змінних чинників t , S і V (два інших під час досвіду залишали незмінними). Результати дослідів, записані в таблиці журналу лабораторних робіт, виражають функціональні залежності типу $Q = f(t)$, $Q = f(S)$ і $Q = f(V)$ які можна представити у вигляді: $Q = C_{Q1} t^x$; $Q = C_{Q2} S^y$; і $Q = C_{Q3} V^z$.

Приведені залежності є рівнянням параболи, побудова якої вимагає великого числа точок експерименту, що подовжує час його проведення, а її обробка зв'язана з складністю побудови кривих і надзвичайно великими погрішностями. Завдання сильно спрощується, якщо про логарифмувати вказані емпіричні залежності:

$$\lg Q = \lg C_{Q1} + x \lg t, \quad \lg Q = \lg C_{Q2} + y \lg S \quad \text{і} \quad \lg Q = \lg C_{Q3} + z \lg V$$

В результаті ми отримали рівняння прямих ліній типу $y = b + kx$ координат, що не проходять через початок, і побудованих в логарифмічних шкалах. Для прикладу побудуємо пряму вигляду (рис. 16):

$$\lg Q = \lg C_{Q1} + x \lg t. \quad (2)$$

Слід пам'ятати, що побудована на графіці пряма винна, по можливості, проходити через максимально можливе число точок. Точки, які не потрапляють на

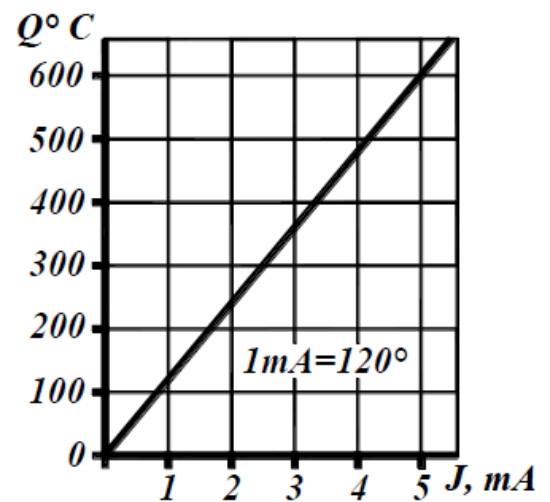


Рис. 15. – Тарувальний графік для переведення показань міліамперметра в градуси (°C).

пряму, що проводиться, повинні розташовуватися симетрично (по обидві сторони) цієї прямої. При цьому сума відхилень точок, розташованих вище за пряму, має бути приблизно рівній сумі відхилень точок, розташованих нижче за цю пряму.

Порівнюючи рівняння (2) з рівнянням $y = b + kx$, можна зробити вивід, що параметр x є кутовим коефіцієнтом даної прямої, тобто:

$$x = K = \operatorname{tg} \alpha = a / b \quad (3)$$

Змірявши лінійкою довжини катетів a і b прямокутного трикутника, побудованого довільно на графіці, по формулі (3) розраховуємо чисельне значення показника ступеня x .

Для визначення коефіцієнта C_{Q1} скористаємося знанням того, що логарифм 1 дорівнює нулю. З цією метою підставляємо в дане рівняння значення $t = 1$ і отримуємо: $\lg Q = \lg C_{Q1} + x \lg 1, \lg Q = \lg C_{Q1} + 0$.

Звідси витікає, що величину C_{Q1} можна знайти прямо з побудованого графіка, для цього беремо на осі глибини різання і точку із значенням $t = 1$. У цій крапці значення Q дорівнює значенню (рис. 16). Таким чином, ми набули чисельних значень C_{Q1} і x для залежності $Q = f(t)$.

Використовуючи графоаналітичний метод, з графіків $Q = f(S)$ і $Q = f(V)$ так само знаходимо значення показників ступеня y, z і постійні коефіцієнти C_{Q2} і C_{Q3} .

Для отримання шуканої залежності (I) необхідно ще визначити значення постійного коефіцієнта C_Q . Для цього на графіках залежностей $Q = f(t); Q = f(S)$ і $Q = f(V)$ по довільно прийнятій температурі різання (наприклад $Q = 150^\circ$) знаходимо значення елементів режиму різання t, S і V , відповідні даній температурі (рис. 17).

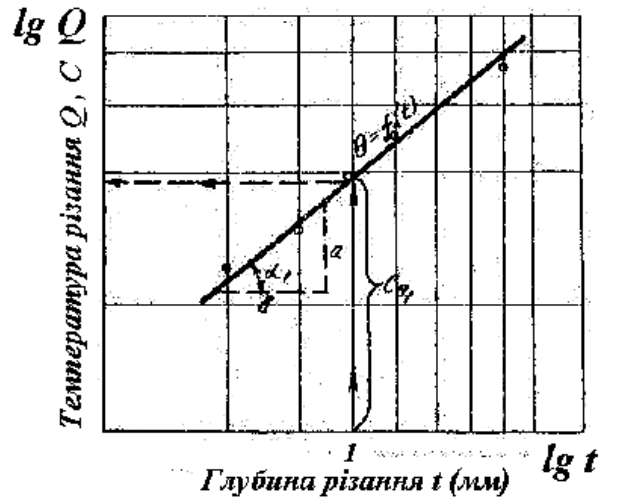
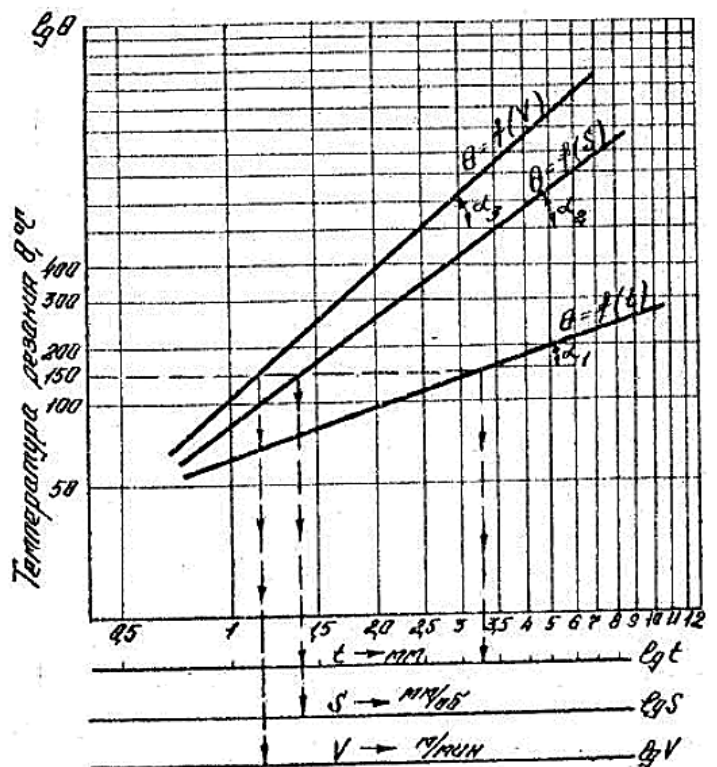


Рис. 16. – Графік залежності температури різання від глибини різання.



Підставляючи вибрані значення температури різання і відповідні нею значення елементів режиму різання t , S і V у формулу (I), можна розрахувати чисельне значення коефіцієнта C_Q слідуючим чином:

$$C_Q = \frac{Q}{t^x \cdot S^y \cdot V^z}.$$

Знаючи чисельні значення коефіцієнта C_Q і показників ступеня x , y , z , записуємо отриману залежність. Наприклад:

$$Q = 210 \times t^{0,11} \times S^{0,28} \times V^{0,55}.$$

Рис. 17. – Залежність температури різання від подачі, глибини і швидкості різання.

3.4. Оформлення звіту

Звіт про лабораторну роботу оформляється в журналі лабораторних робіт встановленого зразка (бланк-журнал видається кожному студентові) і повинен містити:

- ціль роботи;
- схему устрою динамометра для виміру зусиль і його структурну електричну схему включення;
- схему сил, що діють на різець;
- таблицю результатів дослідів;
- графік впливу глибини, подачі, швидкості різання на сили P_z , P_y і P_x ;
- графік впливу значень переднього кута (γ), головного кута в плані (φ) і радіуса при вершині (r) на силу P_z ;
- розрахунки коефіцієнтів x , y , z , C_{Pz} , C_{Py} і C_{Px} та підсумкові формули;
- висновок про виконану роботу.

Для одержання зарахування по лабораторній роботі студент повинен мати оформлений відповідно звіт і відповіді на контрольні питання.

Матеріали звіту можуть бути використані студентом при підготовці до іспиту.

3.5. Питання для перевірки знань студентів

1. В яких межах здійснюється деформація шару матеріалу, що зрізається?
2. При руйнуванні наросту, куди попадають його частини?
3. Яка поверхня інструменту перегороджує шлях потоку стружки?
4. Чи виконує нарост функцію різального клину?
5. Які існують методи вимірювання сили різання?
6. В яких випадках фізичне явище «нарост» є корисним?
7. Скільки існує зон в яких здійснюється деформація та зрізання стружки?
8. Які існують види вібрацій при різанні матеріалів?
9. Яку форму має стружка при різанні в'язких матеріалів?
10. Причинами виникнення автоколивань є?
11. Плоска спіраль стружки утворюється при якому виді різання?

12. Гвинтова спіраль стружки утворюється при якому виді різання?
13. Наведіть визначення, що називають автоколюваннями?
14. Вплив умов різання на дію складових сили різання?
15. Наведіть визначення, що називають усадкою стружки?
16. Які існують методи вимірювання сили різання?
17. Від чого залежить дія сили різання?
18. Які існують види усадки стружки?
19. Якими методами вимірюють усадку стружки?
20. Які методи застосовують для визначення складових сили різання?
21. Суть методу зважування при визначенні усадки стружки полягає?
22. Як впливає глибина різання на силу різання?
23. Суть методу порівняння при визначенні усадки стружки полягає?
24. Наведіть визначення, що називають силою різання?
25. Суть методу зважування при визначенні усадки стружки полягає?
26. Наведіть визначення, що називають складовими сили різання?
27. Від чого залежить сила різання?
28. Вплив умов різання на дію складових сили різання?
29. Як впливає значення подачі на силу різання?
30. Як впливає величина переднього кута на силу різання?
31. Як впливає величина головного кута в плані на силу різання?
32. Наведіть визначення, що називають наростом?
33. Визначить, де розташовуються нарост під час процесу різання?
34. В скільки раз нарост твердіше від обробленого матеріалу?
35. Як впливає швидкість різання на силу різання?
36. Наведіть визначення, що називають усадкою стружки?
37. Як впливає знос інструменту на силу різання?
38. Чи є нарост стабільним тілом?
39. Які складові сили тертя повинні за виникнення та ріст наросту?
40. Наведіть визначення, що таке метод вібраційного управління процесом різання?

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ХАРКІВСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

ОСНОВИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ПО ВИКОНАННЮ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 5

**«ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ
ЦИЛІНДРИЧНОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ»**

1. ПІДГОТОВКА ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1.1. Мета роботи

Мета лабораторної роботи – експериментально одержати залежності сили різання (складових сили різання) від умов різання, для чого необхідно:

- ознайомитися з особливостями процесу й елементами режиму різання при циліндричному фрезеруванні; із дією сил різання, які впливають на циліндричні фрези з гвинтовим зубом та заготовку (проаналізувати вплив умов різання на сили); з методикою і приладами для виміру сил різання при фрезеруванні;

- дослідити вплив глибини різання і подачі на сили різання при циліндричному фрезеруванні;

- придбати навички самостійної роботи по обробці результатів експерименту і отриманню емпіричних залежностей.

1.2. Завдання на підготовку до лабораторної роботи

До моменту проведення лабораторної роботи студенти повинні вивчити відповідний підрозділ курсу, ознайомитись з інструкцією по техніки безпеки і правилами внутрішнього розпорядку, що діють у лабораторії.

Приступаючи до виконання лабораторної роботи, студент повинен:

- знати мету і задачі майбутньої роботи, порядок її виконання, основні теоретичні положення, що розкривають її зміст;

- уміти використовувати вимірювальні прилади й інструменти, а також вміти виконувати обробку результатів експерименту відповідно до методики, що рекомендується по проведенню лабораторної роботи.

При виконанні роботи необхідно використовувати конспект лекцій, навчально-методичні посібники та методичні вказівки, а також відповідний наглядний плакатний матеріал, який розташовано у лабораторії.

Рекомендована література

1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, А.І. Грабченко, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосолов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазира. – 3-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ–2000, 2018. – 471 с.

2. Теорія різання [Електронний ресурс] : Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.

3. Буц Б. Д., Приходько В. Є., Ткачов Ю. В. Розрахунок режимів різання металів: Навч. посіб.-Д.: РВВ ДНУ, 2005.-76 с.

4. Теорія різання [Електронний ресурс]: Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.

2. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Особливості процесу різання при фрезеруванні

Процес утворення стружки при фрезеруванні супроводжується тими ж фізичними явищами, що і в процесі стружкоутворення при точінні (деформації, тепловиділення, наростоутворення, знос інструмента й ін.), з аналогічними причинами їхнього виникнення. Однак процес фрезерування має свої особливості в порівнянні з точінням:

– процес різання при фрезеруванні здійснюється багатозубим різальним інструментом – фрезою, тому в роботі одночасно беруть участь кілька зубців, причому їхнє число є непостійним, що безупинно змінюється на ± 1 зуб;

– при фрезеруванні зуб за один оборот фрези знаходиться під дією стружки відносно малий час. Велику частину оберту він не бере участь у різанні. При цьому в даному секторі зуб охолоджується, що позитивно позначається на його фізико-механічних властивостях. Однак при кожному обороті фрези окремий зуб повинний знову врізатися в поверхневий шар, що зрізується, тобто це супроводжується ударом лека. Ударне навантаження приводить до зниження стійкості зуба фрези і в окремих випадках його повному руйнуванню;

– товщина шару a , що зрізується, кожним зубом, є перемінної по довжині дуги контакту (рис. 1.1). Для фрез із гвинтовим зубом перемінної буде і ширина шару b , що зрізується.

Періодичність роботи зуба фрези, перемінні значення товщини і ширини зрізу (а отже і перемінна площа поперечного переріза зрізу), а також непостійне число зубів, що одночасно знаходяться в роботі, визивають постійну зміну значення сили різання, моменту і потужності, що робить процес фрезерування більш складним у порівнянні з процесом різання при точінні, свердлінні, та висувають додаткові вимоги до конструкцій фрез, їх геометричних параметрів і установки, відносно заготовки для забезпечення більш плавної роботи ріжучого інструменту.

Процес різання при фрезеруванні характеризується наступними елементами режиму різання і геометрії шару, що зрізується, (див. рис. 1.1):

Швидкість різання – швидкість обертання фрези, m/xv :

$$V = \frac{\pi \cdot D_{\phi} \cdot n_{\phi}}{1000},$$

де D_{ϕ} – діаметр фрези, mm ; n_{ϕ} – частота обертання фрези, xv^{-1} ;

Глибина різання – відстань між оброблюваною й обробленою поверхнями, виміряна перпендикулярно до обробленої поверхні, mm ;

$$t = H_z - H_{\partial},$$

де H_z – висота заготовки, mm ; H_{∂} – висота деталі, mm ;

Подача – вертикальне, повздовжнє або поперечне переміщення заготовки, або теж переміщення тільки ріжучого інструменту. При фрезеруванні розрізняють три види подач:

Подача на оберт: $S_o = S_z \cdot z$, $mm/об$;

Подача на зуб: S_z , $mm/зуб$;

Хвилинна подача: $S_{xв} = S_o \cdot n = S_z \cdot z \cdot n_{\phi}$, мм/хв.

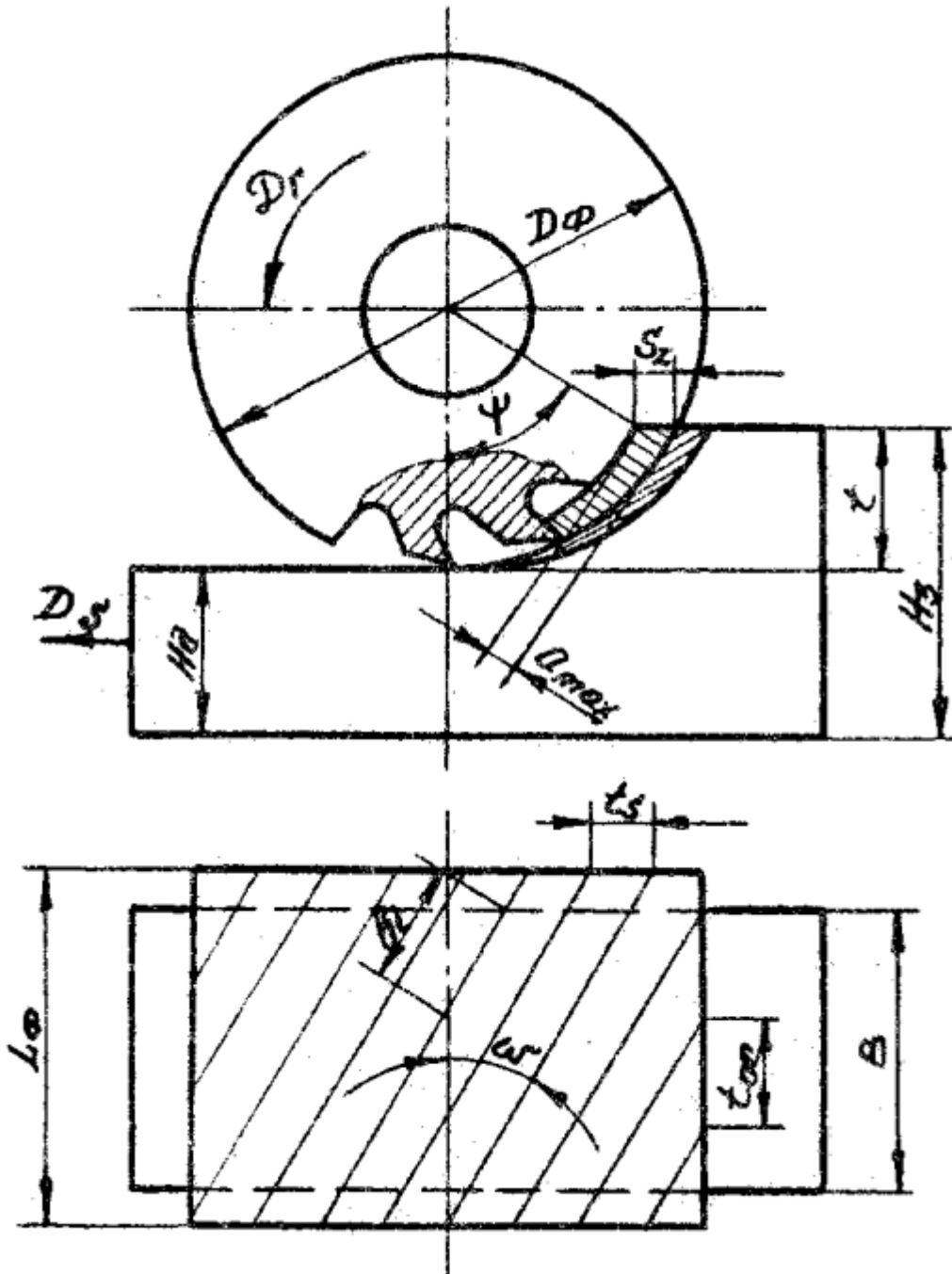


Рис. 1.1 – Елементи режиму різання при циліндричному фрезеруванні фрезою з гвинтовим зубом

Товщиною шару a , що зрізується, називається довжина нормалі до поверхні різання, проведеної через точку ріжучої кромки, що розглядають, обмежена перетином шару, що зрізується. Значення товщини шару, що зрізується, для кожного зуба фрези за період його роботи на довжині дуги контакту ψ змінюється від 0 до a_{max} при зустрічному фрезеруванні, та від a_{max} до 0 – при попутному фрезеруванні.

З рис. 1.1 видно, що максимальна товщина зрізу: $a_{max} = S_z \cdot \sin \psi$, мм.

Товщина зрізу при роботі гвинтозубою фрезою підраховується по тій же формулі, що і при роботі прямозубою фрезою; але ця товщина буде перемінною як уздовж довжини дуги контакту, так і уздовж усїєї довжини активної частини зуба.

Шириною шару, що зрізується \mathbf{v} , називається довжина сторони перетину шару, що зрізується, утвореною поверхнею різання. Вона виміряється уздовж кромки, що ріже, і являє собою довжину зіткнення зуба фрези з заготовкою. Для прямозубої фрези $\mathbf{v} = \mathbf{B}$. Для фрези з гвинтовим зубом ширина шару, що зрізується, для кожного зуба, що знаходиться в даний момент у роботі, переміна й обчислюється в такий спосіб:

$$v_i = \frac{\pi \cdot D_\phi}{360^\circ} \cdot \frac{\psi_i}{\sin \omega},$$

де ψ_i – миттєвий кут контакту ділянки ріжучої кромки фрези з заготовкою, *град*;

ω – кут нахилу гвинтового зуба фрези, *град*.

Площа шару, що зрізується, знімаючи одним зубом циліндричною фрезою з прямим зубом, є величиною змінною, і визначається по формулі:

$$f_i = a_i \cdot v = S_z \cdot \sin \psi_i \cdot \mathbf{B}, \text{ мм}^2$$

де \mathbf{B} – ширина фрезерування, *мм*.

Площа шару, що зрізується, гвинтовим зубом, – також величина перемінна, визначається за формулою:

$$f_i = \frac{D_\phi \cdot S_z}{2 \sin \omega} (\cos \psi_1 - \cos \psi_2), \text{ мм}^2$$

де ψ_1 та ψ_2 – відповідно найменший та найбільший кути контакту гвинтового зуба з заготовкою.

Число зубців, що знаходяться у роботі одночасно складає:

– для прямозубої фрези: $m = \frac{\psi \cdot z}{360^\circ}$;

– для фрези з гвинтовим зубом: $m = \frac{\psi \cdot z}{360^\circ} + \frac{\mathbf{B} \cdot z}{\pi \cdot D_\phi \cdot \text{ctg} \omega}$.

Сумарна площа поперечного переріза зрізу для фрези з гвинтовим зубом:

$$f_\Sigma = \frac{D_\phi \cdot S_z}{2 \sin \omega} \sum_1^m (\cos \psi_1 - \cos \psi_2)$$

Зміна площі шару, що зрізується, одним зубом циліндричної фрези, а також числа одночасно працюючих зубів приводить до коливання сили різання, що погіршує рівномірність процесу фрезерування. Відношення найбільшого сумарного перетину шару, що зрізується, до його середнього значення при незмінних умовах роботи називається коефіцієнтом нерівномірності:

$$\mu = \frac{f_{\max \Sigma}}{f_{\text{ср} \Sigma}}.$$

При фрезеруванні циліндричною фрезою з гвинтовим зубом можна підібрати такі умови обробки, при яких сумарна площа шару, що зрізується, буде не змінною,

тобто коефіцієнт нерівномірності $\mu = 1$. Це можливо в тому випадку, якщо ширина фрезерування дорівнює чи кратна осевому кроку t_{oc} ціле число раз:

$$B = \kappa \cdot t_{oc},$$

де κ – ціле число (1, 2, 3...).

$$\text{Насправді з рис. 1.1 видно: } t_{oc} = t_s \cdot \text{ctg } \omega = \frac{\pi D}{z} \text{ctg } \omega.$$

Тоді остаточна умова рівномірного фрезерування буде наступною:

$$\kappa = \frac{B \cdot z}{\pi \cdot D \cdot \text{ctg } \omega}.$$

2.2. Сили, що діють на фрезу

У процесі різання внаслідок опору шару, що зрізується, його деформування і руйнування, виникають сили, що діють на фрезу, заготовку і верстат. Ця сила має назву рівнодіючої сили різання P (або звичайно вона має назву сила різання P), яку розкладають на три складові: окружну P_Z , осьову P_X і радіальну P_Y .

Для прямозубої циліндричної фрези рівнодіючу силу різання P можна розкласти на окружну P_Z і радіальну P_Y . При фрезеруванні фрезою з гвинтовим зубом додатково будуть діяти осьова сила P_X , напрямком якої залежить від напрямку гвинтового леза фрези, що ріже.

Схема сил, що діють на циліндричну фрезу з гвинтовим зубом, представлена на рис. 1.2. Як видно з рисунка, рівнодіюча P_I сил P_Z і P_Y може бути розкладена на горизонтальну P_H і вертикальну P_V складової сил різання.

Сила P_Z є головної складової сил різання і здійснює основну роботу. По її величині підраховується потужність, яка необхідна для виконання процесу різання, момент на шпинделі верстата, що крутить, а також виконується розрахунок на міцність механізму головного руху фрезерного верстата.

P_Y – радіальна сила, спрямована по радіусу фрези. Вона дорівнює величині $(0,6...0,8)P_Z$, та натискає на опори шпинделя фрезерного верстата, тобто викликає згин оправки фрези.

P_H – горизонтальна сила, що навантажує механізм подачі верстата, а також елементи кріплення деталі і пристосування.

P_V – вертикальна сила, прагне при зустрічному фрезеруванні відірвати заготовку від столу верстата, а при попутному фрезеруванні – притиснути.

Величину сил P_H і P_V можна визначити з наступних співвідношень:

– при зустрічному фрезеруванні:

$$P_H = (1...1,2)P_V \text{ і } P_V = (0,2...0,3)P_Z;$$

– при попутному фрезеруванні:

$$P_H = (0,8...0,9)P_Z \text{ і } P_V = (0,75...0,80)P_Z.$$

На сили різання при фрезеруванні впливають властивості оброблюваного матеріалу, конструктивні елементи та геометричні параметри фрези, елементи

режиму різання, наявність змащувально-охолоджуючого технологічного середовища (ЗОТС), знос зубів фрези і ін. Між силами і фізичними явищами існує наступна емпірична залежність, застосовувана на практиці для визначення величини сили P_Z :

$$P_Z = C_P \cdot B \cdot z \cdot t^{x_P} \cdot S_z^{y_P} \cdot D^{-q_P} \cdot K_P,$$

де C_P – постійний коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного й інструментального матеріалів і інші умови процесу фрезерування, для яких установлені значення показників ступеня x_P , y_P , q_P ;

x_P , y_P , q_P – показники ступеня, що характеризують ступінь впливу глибини різання, подачі і діаметра фрези на силу P_Z ;

K_P – поправочний коефіцієнт, що враховує відмінність умов різання від тих умов, при яких визначені значення C_P , x_P , y_P , q_P .

При аналізі представленої емпіричної залежності і значень показників ступеня x_P , y_P і q_P , які приведені у довідковій літературі для різних умов фрезерування, установлене наступне:

– сила P_Z при фрезеруванні змінюється прямо пропорційно ширині фрезерування B , оскільки з ростом останньої прямо пропорційно зростає сумарна площа перетину шару, що зрізується.

Сила P_Z змінюється прямо пропорційно числу зубів фрези z , тому що з ростом числа z прямо пропорційно росте число одночасне працюючих зубів, а також величина сумарної площі перетину шару, що зрізується.

Подача S_z впливає на силу P_Z у меншому ступені, ніж глибина фрезерування t , причому вплив подачі таке ж, як і при точінні, про що свідчить величина показника $y_P = 0,65...0,8$. Що ж стосується глибини різання, то при фрезеруванні ця залежність є більш складною, тому що зміна глибини t викликає зміну як довжини дуги контакту, так і величини середньої товщини шару, що зрізується. По мірі збільшення глибини t товщина шару, що зрізується, a_{cp} збільшується, отже, при $S_z = const$ питома сила різання трохи знижується. Однак збільшенню a_{cp} не пропорційно зростанню t . Наприклад, при збільшенні t у 5 разів a_{cp} збільшується тільки в 2,24 рази. Це відносне зменшення a_{cp} , а також зниження питомої сили різання трохи знижує (у порівнянні з точінням) інтенсивність впливу t на силу різання P_Z , що характеризується значенням $x_P = 0,83...0,86$.

Зі збільшенням діаметра фрези, за інших рівних умов, значення сили P_Z буде зменшуватися, тому що зменшується число одночасне працюючих зубів, товщина зрізу, а отже, і сумарна площа зрізу.

При обробці фрезою діаметром D , з числом зубів z , заготовки шириною B рівняння зв'язку сили P_Z з елементами режиму різання, виконується по формулі:

$$P_Z = C_P \cdot t^{x_P} \cdot S_z^{y_P},$$

де C_p – коефіцієнт, чисельне значення якого залежить від дії усіх факторів, що характеризують процес фрезерування, крім t та S_z .

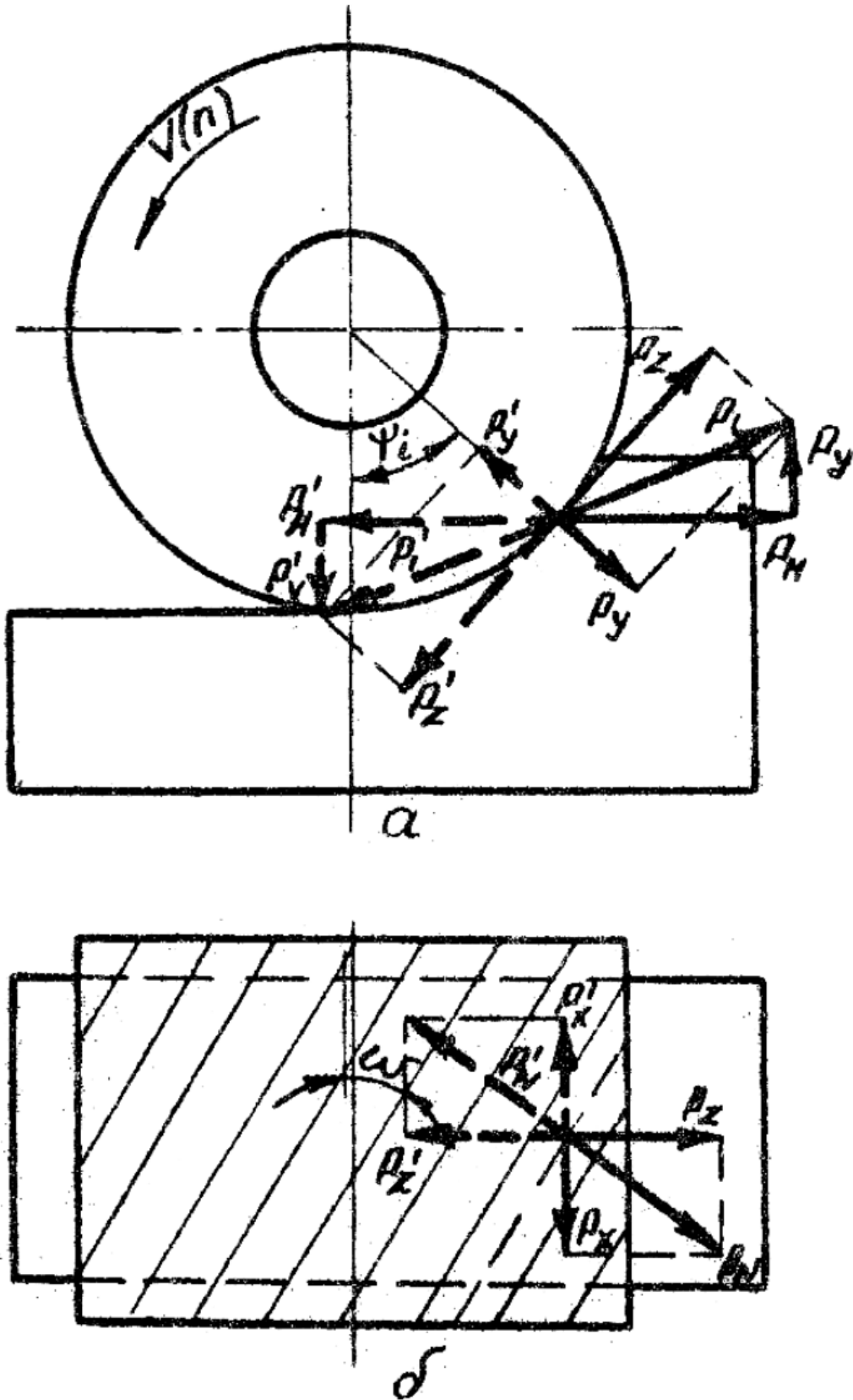


Рис. 1.2. – Сили різання при циліндричному фрезеруванні фрезою з гвинтовим зубом: а – сили P_z , P_y , P_x , що діють на заготовку; б – сили P'_z , P'_y , P'_x , що діють на фрезу.

2.3. Устаткування, прилади та інструмент. Опис експериментальної установки

Для проведення лабораторної роботи використовуємо:

- горизонтально-фрезерний верстат моделі 6Н80М;
- універсальний динамометр УДМ 600;
- заготовка зі сталі 45;
- фреза циліндрична з гвинтовим зубом, яка виготовлена зі швидкорізальної сталі;
- штангенциркуль.

Універсальний динамометр конструкції УДМ 600 дозволяє вимірювати середнє значення складових сил різання в трьох взаємно перпендикулярних напрямках по приладах, що реєструють, а миттєві значення – при реєстрації вихідного сигналу на осцилографі. Величина вимірюваних сил різання не залежить від точки його прикладення, що досягається конструкцією самого динамометра, представленої на рис. 1.3.

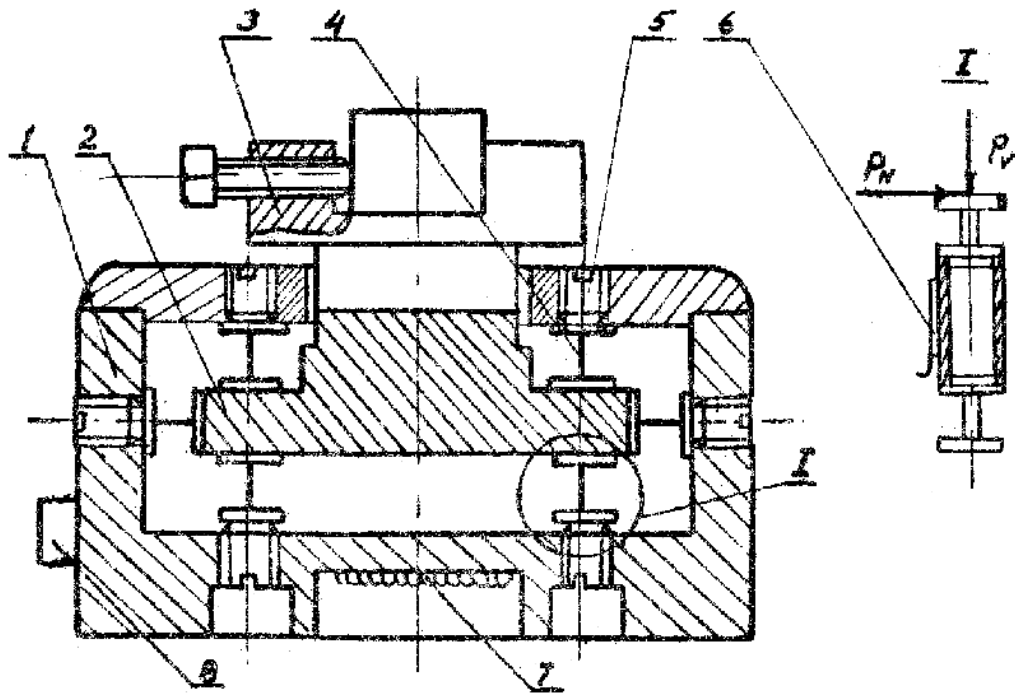


Рис. 1.3. – Устрій універсального динамометра УДМ600. 1 – корпус; 2 – державка; 3 – столик; 4 – пружні опори; 5 – гвинти, що регулюють; 6 – тензодатчики.

У корпусі *1* розміщена державка *2*, виконана у виді квадратної пластини з круглим фланцем на верхній частині. Круглий фланець призначений для закріплення на динамометрі змінних пристосувань: різцедержавки чи столика *3*. Державка встановлена в корпусі на шістнадцятьох пружних опорах *4*. Кожна опора складається з тонкостінної втулки і двох ножів, що утворюють два пружних шарніри. Конструкція опори забезпечує велику жорсткість у напрямку її осі і малу жорсткість у напрямку, перпендикулярному осі. Завдяки цьому, опори сприймають навантаження лише в осьовому напрямку. Для усунення зазорів і контактних деформацій кожна з опор має попередній натяг, створюваний гвинтами *5*. На втулці опор наклеєні датчики опорів *6* з базою 10 мм і опором 100 (Ом). Проводу датчиків

виведені на панель 7, де вони з'єднуються у вимірювальні схеми. Проводи від вимірювальних схем виводяться на рознімне шасі 8, до якого приєднаний кабель від підсилювача ТА-5.

Схема з'єднання пристроїв, що входять у комплект динамометра, представлена на рис. 1.4.

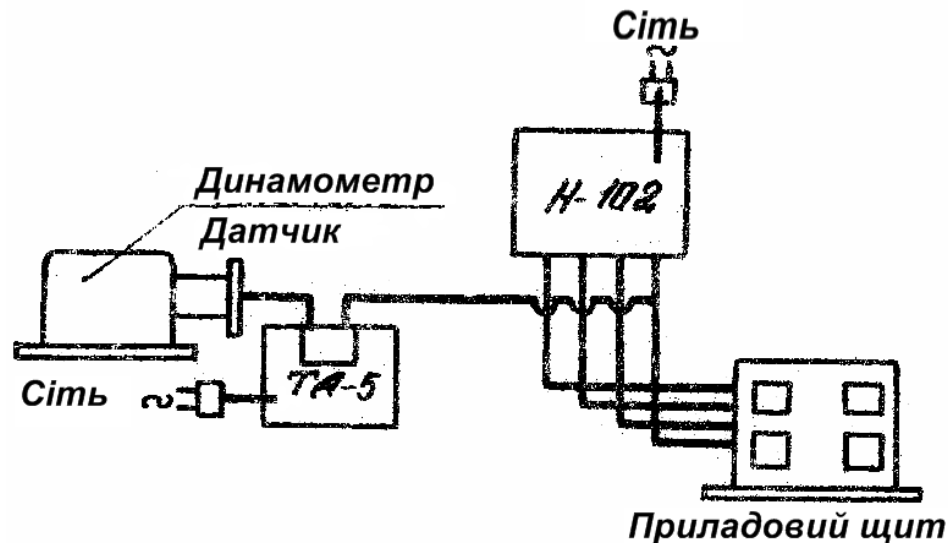


Рис. 1.4. – Блок-схема експериментальної установки.

При фрезеруванні циліндричними фрезами з гвинтовим зубом динамометр дозволяє вимірити вертикальну P_V і горизонтальну P_H складові сил різання. Принцип роботи динамометра полягає в наступному. Під дією сил різання деформуються в основному опори як найменш жорсткі деталі динамометра. Наприклад, при навантаженні вертикальною силою P_V деформуються вертикальні опори. Сигнал у вимірювальній схемі пропорційний сумі деформацій верхніх і нижніх опор. Далі сигнал підсилюється на підсилювачі ТА-5 і передається на паралельно з'єднаний мікро-амперметр М 266 і осцилограф.

Робота динамометра при вимірі сили P_H аналогічна.

Робота з динамометром повинна вестися в наступному порядку:

- динамометр установити на верстаті і закріпити на ньому столик;
- з'єднати екранованими проводами динамометр із підсилювачем, а підсилювач із приладовим щитом;
- уключити підсилювач у мережу і зробити витримку 15...20 хв для прогріву апаратури;
- зробити налаштування підсилювача згідно інструкцій з його експлуатації;
- установити величину посилення, обертаючи перемикач підсилювача;
- ручками "Регулювання нуля" підсилювача установити нульові показання відлікових приладів;
- зробити фрезерування заготовки і зареєструвати показання приладів.

2.4 Заходи безпеки

При виконанні лабораторної роботи необхідно виконувати правила техніки безпеки відповідно до проведеного викладачем інструктажу. Особливо обрати увагу на працю з метало ріжучими верстатами.

3. ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

3.1. Порядок проведення роботи

На початку заняття проводиться контроль підготовленості студента до виконання лабораторної роботи.

Лабораторну роботу необхідно виконувати в наступній послідовності:

- усвідомити особливості процесу різання при фрезеруванні, елементами режиму різання;
- вивчити сили різання, що діють на зуби фрези; характер впливу глибини, подачі й інших умов різання на сили різання при фрезеруванні;
- ознайомиться з експериментальною установкою для визначення сил різання;
- провести експериментальне дослідження складових сили різання P_H і P_V від дії різних факторів;
- обробити експериментальні дані й одержати кінцеві результати;
- зробити висновок про виконану роботу;
- оформити звіт.

Експериментальне дослідження складових сили різання P_H і P_V здійснюється при фрезеруванні заготовки зі сталі 45 циліндричною фрезою з гвинтовим зубом, виготовленої зі швидкорізальної сталі. Заготовка закріплюється на столику динамометра, встановленого на стіл фрезерного верстата моделі 6Н80М. Перед початком дослідів слід ознайомиться з конструкцією фрези і визначеними параметрами. Потім вибрати діапазон подач, глибину різання й інші необхідні фактори.

Дані занести в таблицю в бланку звіту.

Досліди провести з двох серій:

1-я серія – установлення залежності сил різання від глибини різання. При проведенні дослідів цієї серії змінюється тільки глибини різання, всі інші фактори залишаються постійними. Кожен досвід проводиться 3 рази.

2-я серія – установлення залежності сил різання від подачі. При проведенні дослідів цієї серії змінною величиною є подача, всі інші фактори залишаються постійні. Кожен досвід проводиться 3 рази.

Результати дослідів занести в таблицю в бланку звіту.

У кожній серії варто обрати п'ять значень зміряного фактора (глибини чи подачі).

3.2. Обробка експериментальних даних

На підставі показань мікро амперметрів визначають чисельні значення складових сили різання P_H і P_V (Н):

$$P_H = K_2 \cdot P'_H; \quad P_V = K_1 \cdot P'_V$$

де K_1 – ціна поділки шкали мікро амперметра для виміру сили P_V , μa , $K_1 = 12,0$;

K_2 – ціна поділки шкали мікро амперметра для виміру сил P_H , μa , $K_2 = 10,0$;

P'_V , P'_H – показання мікро амперметра для виміру складових сили різання P_H , P_V ;

Для подальших розрахунків варто знайти середнє арифметичне значення складових сили різання P_H , P_V ; і по трьом отриманим значенням цієї складових сили визначаємо значення рівнодіючої сили P_I , по формулі:

$$P_I = \sqrt{P_V^2 + P_H^2}$$

Користуючись відношенням $P_Z = \frac{P_I}{1,22}$, обчислюють окружну силу при фрезеруванні. *Результати обчислювань заносять у таблицю звіту.*

Згідно п. 2.1 після проведення зазначених обчислень, одержують кількісні залежності складової сили різання P_Z від глибини різання (при $V = \text{const}$ і $S = \text{const}$) і від подачі (при $V = \text{const}$ і $t = \text{const}$), які можна представити у виді:

$$P_Z = C_{Pz1} \cdot t^{X_P}; \quad P_Z = C_{Pz2} \cdot S_Z^{Y_P}.$$

Приведені формули являють собою степені залежності, побудова й обробка якої сполучені з труднощами і приводять до великих похибок. Задача спроститься, якщо прологарифмувати ці рівняння:

$$\lg P_Z = \lg C_{Pz1} + X_P \lg t; \quad \lg P_Z = \lg C_{Pz2} + Y_P \lg S_Z.$$

Знову отримані залежності – це рівняння прямих, що не проходять через початок координат, побудованих у подвійних логарифмічних координатах. При відсутності спеціального міліметрового папера з логарифмічною розміткою нанесення шкал десяткових логарифмів на координатні осі роблять за допомогою шкал, нанесених на движку логарифмічної лінійки. При цьому необхідно пам'ятати, що для обох координатних осей повинна використовуватися та сама шкала.

Після нанесення експериментальних даних у вигляді точок на графік студент повинний провести через них пряму таким чином, щоб вона, по можливості, проходила через максимальне число цих точок, або як найближче до них. Інші точки необхідно розташувати щодо проведеної прямої так, щоб сума відхилення вище розташованих точок була приблизно дорівнює сумі відхилень нижче розташованих точок, як це показано на рис. 2.1.

З рівнянь, що описують дані прямі, впливає, що тангенси кутів нахилу цих прямих дорівнюють значенням показників ступенів x_P і y_P .

$$\text{З графіка (рис. 2.1):} \quad \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{b_1}{a_1} = x_P; \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{b_2}{a_2} = y_P.$$

Значення постійних коефіцієнтів C_{Pz1} і C_{Pz2} можна визначити безпосередньо з графіка. Дійсно, при $t = 1$ мм: $\lg P_Z = \lg C_{Pz1}$, тому що добуток $X_P \lg t = 0$, оскільки $\lg 1 = 0$ отже, чисельне значення коефіцієнта C_{Pz1} дорівнює чисельному значенню сили P_Z при $t = 1$. Аналогічно $C_{Pz2} = P_Z$ (при $S_Z = 1$). Після визначення коефіцієнтів C_{Pz1} і C_{Pz2} і показників ступеня X_P і Y_P записують у чисельному вираженні емпіричні залежності $P_Z = f(t)$ і $P_Z = f(S_Z)$, що відображають вплив даного параметра на силу P_Z . Для одержання залежності, що

враховує спільний вплив досліджуваних параметрів t і S_Z на силу P_Z , необхідно попередньо визначити чисельно е значення коефіцієнта C_{Pz} з формули:

$$P_Z = C_{Pz} \cdot t^{x_P} \cdot S_Z^{y_P},$$

звідки:

$$C_{Pz} = \frac{P_Z}{t^{x_P} \cdot S_Z^{y_P}}.$$

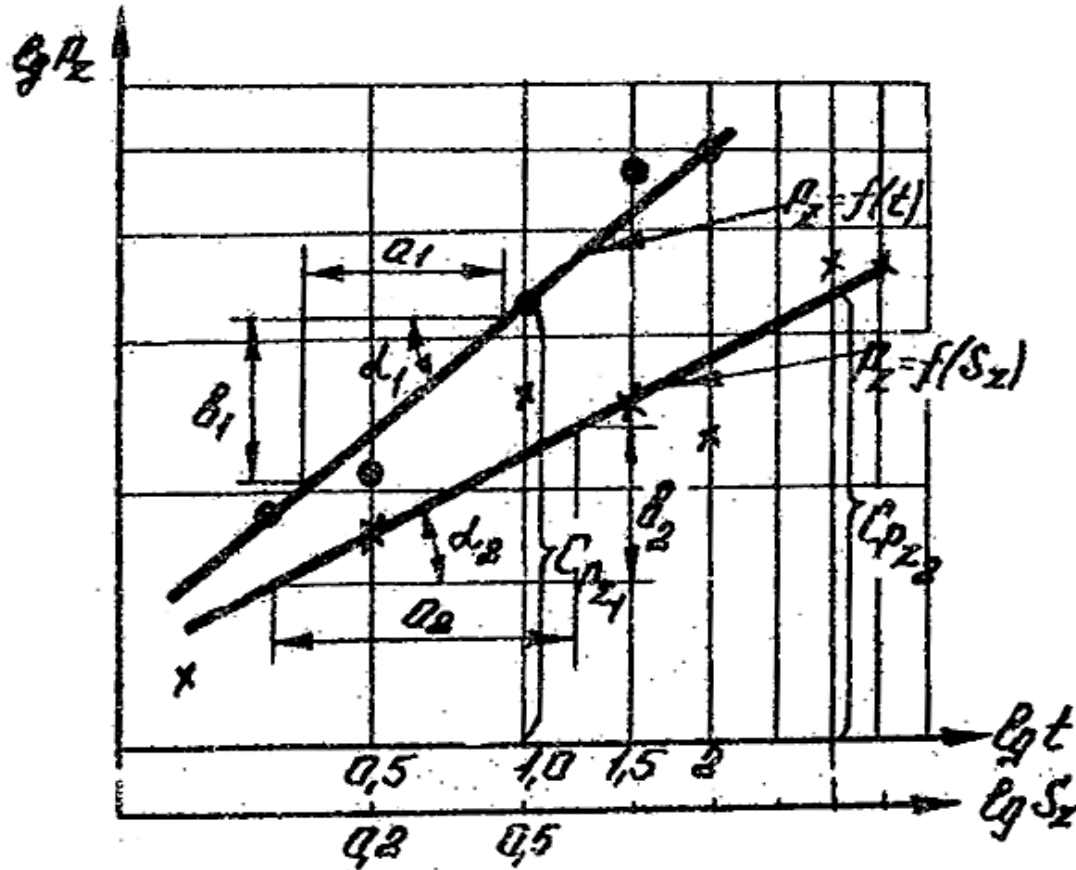


Рис. 2.1. – Залежність складової сили різання від глибини різання і подачі в подвійних логарифмічних координатах.

У повну залежність варто підставити значення t і S_Z , що відповідають тому самому значенню сили P_Z і отримані з графіка (рис. 2.1). Значення x_P і y_P були визначені раніше.

Після цього записують результуючу формулу з чисельними значеннями C_{Pz} , x_P і y_P .

3.3 Висновок

Аналізуючи отримані числові значення показників ступеня x_P і y_P , а також постійного коефіцієнта C_{Pz} , варто зробити висновок про характер і величину впливу параметрів t і S_Z на складову сили різання P_Z . У випадку, якщо отримані значення C_{Pz} , x_P і y_P не відповідають існуючим поняттям про характер і величину

впливу параметрів t і S_z на складову силу різання P_z , необхідно експеримент повторити.

3.4. Оформлення звіту

Звіт про лабораторну роботу «Вплив елементів режиму різання та геометрії різця на сили різання при точінні» оформляється в журналі лабораторних робіт встановленого зразка (бланк-журнал видається кожному студенту) і повинен містити:

- дані про фрезерний верстат, конструктивні елементи і геометричні параметри фрези;
- конструктивну схему динамометра й блок-схему схему з'єднання пристроїв експериментальної установки;
- схему складових сили різання, що діють на заготовку;
- таблицю результатів вимірів;
- графіки впливу глибини фрезерування і подачі на окружну силу P_z ;
- розрахунки коефіцієнтів C_{Pz} , x_P і y_P та підсумкові формули;
- висновок про виконану роботу.

Для одержання зарахування по лабораторній роботі студент повинен мати оформлений відповідно звіт і відповіді на контрольні питання.

Матеріали звіту можуть бути використані студентом при підготовці до заліку й іспиту.

3.5. Питання для перевірки знань студентів

1. Назвіть мету даної роботи?
2. Наведіть визначення, що називають стружкою?
3. Що розуміють під глибиною різання і подачею при фрезеруванні?
4. Наведіть визначення, що позначає літера «Р» в марках швидкорізальних сталей?
5. Як визначити ширину шару, що зрізується, при циліндричному фрезеруванні прямозубої і гвинтозубої фрезами?
6. Яку назву носить зосереджена сила, з якою передня поверхня інструменту тисне на шар, що зрізається?
7. Яку назву має сила, з якою оброблюваний матеріал чинить опір впровадженню до нього ріжучого інструмента?
8. Перелічите особливості процесу різання при фрезеруванні.
9. Як впливають діаметр фрези D і число зубів z на сили різання?
10. Як впливають елементи режиму різання t , S , V на сили різання?
11. Чому графіки $P_z = f(t)$ і $P_z = f(S)$ раціонально будувати в логарифмічних координатах?
12. Як визначити ступінь впливу глибини різання і подачі на силу P_z ?
13. Яку назву має площина, по якій відбувається найбільша деформація шару, що зрізається?
15. Які існують види фрезерування в залежності від виду інструменту?
16. Які бувають види подачі при фрезеруванні?
17. Від чого залежить геометрія шару, що зрізається?

18. Які виникають деформації при різанні матеріалів?
19. Наведіть визначення, що називається товщиною шару, що зрізається?
20. Яка поверхня інструменту перегороджує шлях потоку стружки?
21. Як діє радіальна складова сили різання « P_y » при фрезеруванні?
22. Як діє осьова складова сили різання « P_x » при фрезеруванні?
23. Як діє головна складова сили різання « P_z » при фрезеруванні?
24. Наведіть визначення, що мають на увазі під терміном «потужність різання»?
25. Вплив умови різання на дію складових сили різання?
26. Як впливає глибина різання на силу різання?
27. Наведіть визначення, що називають силою різання?
28. Наведіть визначення, що називають складовими сили різання?
29. Наведіть визначення, що мають на увазі під терміном «момент, що крутить» в теорії різання?
30. Як впливає значення подачі на силу різання?
31. Чи існує нарід при фрезеруванні?
32. Як впливає змащувально-охолоджуюче технологічне середовище (ЗОТС) на силу різання?
33. Як впливає швидкість різання на силу різання?
34. Як впливає знос інструменту на силу різання?
35. Наведіть визначення, що позначає літера «М» в марках швидкорізальних сталей?
36. Які існують види фрезерування за напрямком обертання фрези?
37. Для чого призначається динамометр?
38. З яких елементів складається динамометр?
39. За допомогою яких пристроїв вимірюють силу різання?
40. Які існують конструкції циліндричних фрез?

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»

Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

Звіт з лабораторної роботи №1

**«Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри токарних
різців»**

з навчальної дисципліни

«ОСНОВИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ»

Виконав: студент (ка) ___ курсу,

групи _____

_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальності:

Перевірив: _____

Оцінка _____

м. Харків – 20_____ рік

«ТИПИ, КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ТА ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ТОКАРНИХ РІЗЦІВ»

- Типи різців (виконати креслення інструментів та привести класифікацію різців по отриманим зразкам). При цьому вказати групу до якої відносять інструмент, вид обробки, що виконується ним, форму й розташування робочої частини щодо стрижня інструменту, головної ріжучої кромки, матеріал ріжучої частини, характер виконання операції:

- Виконати виміри трьох різців за вказівкою викладача з отриманих зразків. Результати вимірів геометричних параметрів та конструктивних елементів різців занести в таблицю:

$\alpha, ^\circ$	$\gamma, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	$\delta, ^\circ$	$\alpha_1, ^\circ$	$\varphi, ^\circ$	$\varphi_1, ^\circ$	$\varepsilon, ^\circ$	$\lambda, ^\circ$	$B, \text{мм}$	$H, \text{мм}$	$L, \text{мм}$

- Навести статичну систему координат для обраного одного різця (дати вид у плані й вид на площину різання, побудувати перетини в головній і допоміжній січних площинах, указати буквені значення всіх кутів і лінійних розмірів):

- Висновок:

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В.Н. КАРАЗІНА
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

Звіт з лабораторної роботи №2
«Типи, конструктивні елементи та геометричні параметри свердел»
з навчальної дисципліни
«ОСНОВИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ»

Виконав: студент (ка) ____ курсу,
групи _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальності:

Перевірив: _____

Оцінка _____

м. Харків – 20____ рік

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

**«ТИПИ, КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ТА ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ
СВЕРДЕЛ»**

2.1. Типи свердел (виконати креслення інструментів та привести класифікацію свердел по отриманим зразкам). При цьому вказати групу до якої відносять інструмент, вид обробки, що виконується ним, форму й розташування робочої частини щодо стрижня інструменту, головної ріжучої кромки, матеріал ріжучої частини, характер виконання операції:

2.2. Виконати виміри трьох свердел за вказівкою викладача з отриманих зразків. Результати вимірів геометричних параметрів та конструктивних елементів свердел занести в таблицю. Значення перемінних кутів вказати по середині головної ріжучої кромки:

$\alpha, ^\circ$	$\gamma, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	$\delta, ^\circ$	$2\varphi, ^\circ$	$\varphi_1, ^\circ$	$\psi, ^\circ$	$\omega, ^\circ$	$f, \text{мм}$	$c, \text{мм}$	$D, \text{мм}$	$L, \text{мм}$	$l, \text{мм}$

2.3. Навести статичну систему координат для обраного свердла (дати вид у плані й вид на площину різання, побудувати перетини в головній і допоміжній січ-них площинах, укапати буквені значення всіх кутів і лінійних розмірів):

2.4. Висновок:

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В.Н. КАРАЗІНА
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»

Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

Звіт з лабораторної роботи №3

**«Дослідження впливу елементів режиму різання та геометрії різця на
сили різання при точінні»**

з навчальної дисципліни

«ОСНОВИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ»

Виконав: студент (ка) ___ курсу,

групи _____

_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальності:

Перевірив: _____

Оцінка _____

м. Харків – 20_____ рік

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

«ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ РЕЖИМУ РІЗАННЯ ТА ГЕОМЕТРІЇ РІЗЦЯ НА СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ»

3.1. Мета роботи:

3.2. Обладнання, прибори та інструмент:

3.3. Схема експериментальної установки:

3.4. Таблиця експериментальних даних від значення подачі $P_i = f(S)$

№ п/п	D , мм	S , мм/об	$n_{хв},^{-1}$	V , м/хв	t , мм	m_Q , мв	P_z, H	P_z, H	m_y , мв	P_y, H	P_y, H
1.											
2.											
3.											
4.											
5.											
6.											
7.											
8.											
9.											
10.											

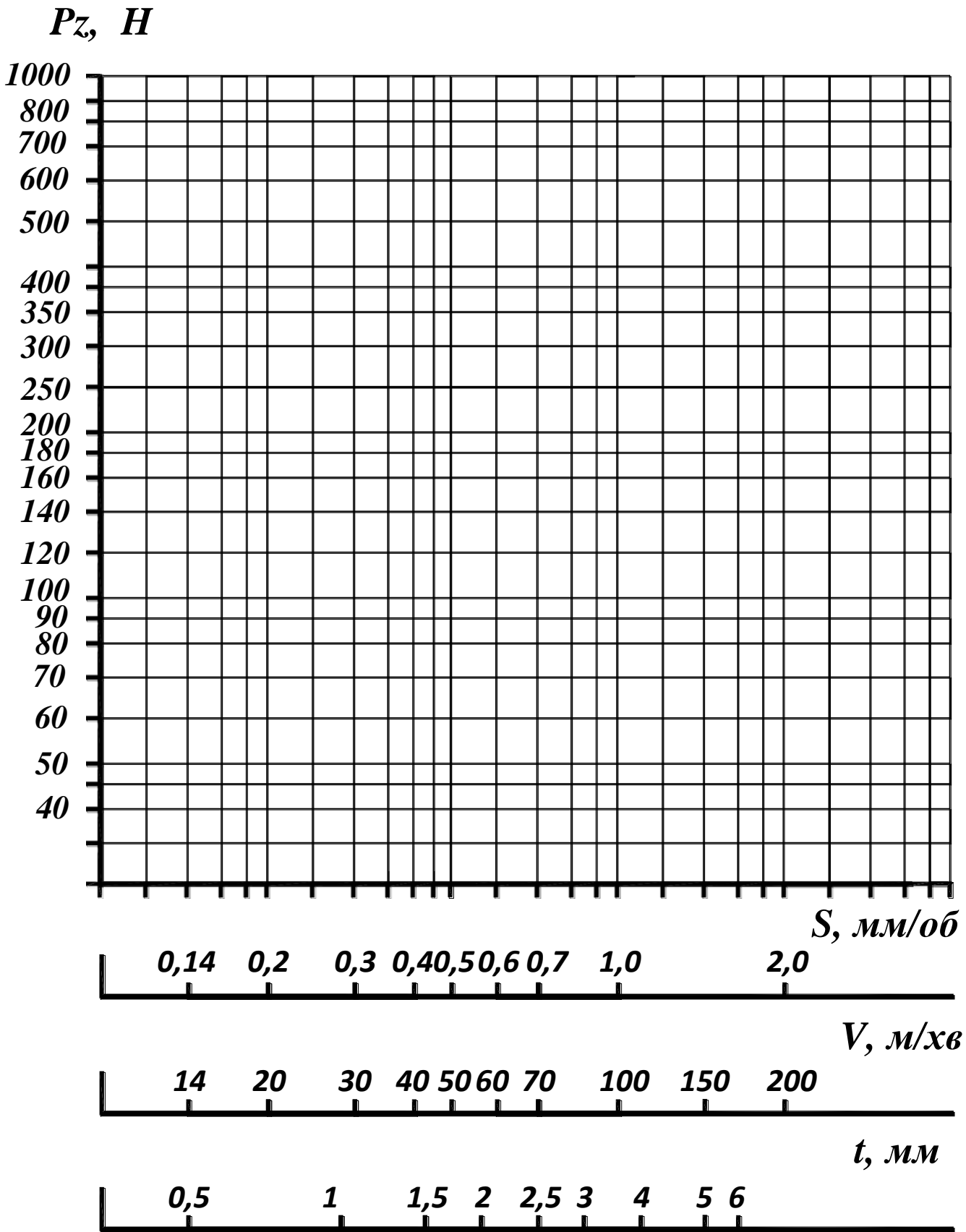
3.5. Таблиця експериментальних даних від значення глибини різання $P_i = f(t)$

№ п/п	D , мм	S , мм/об	$n_{хв},^{-1}$	V , м/хв	t , мм	m_Q , мв	P_z, H	P_z, H	m_y , мв	P_y, H	P_y, H
1.											
2.											
3.											
4.											
5.											
6.											
7.											
8.											
9.											
10.											

3.6. Таблиця експериментальних даних від значення швидкості різання $P_i = f(V)$

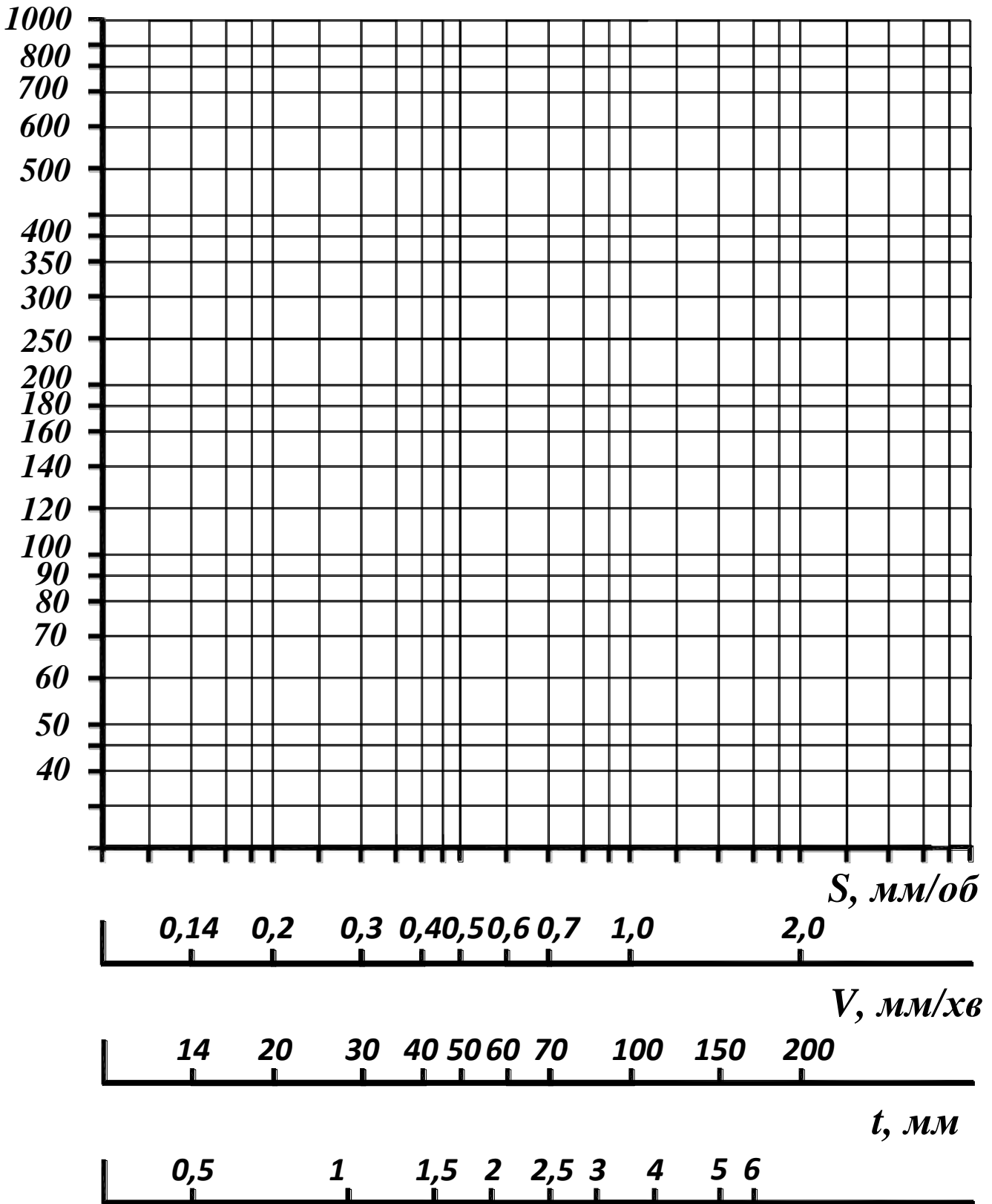
№ п/п	D , мм	S , мм/об	$n_{хв},^{-1}$	V , м/хв	t , мм	m_Q , мв	P_z, H	P_z, H	m_y , мв	P_y, H	P_y, H
1.											
2.											
3.											
4.											
5.											
6.											
7.											
8.											
9.											
10.											

3.1. Графік зміни сили різання $P_z(H)$ в залежності від значення: швидкості різання $P_i = f(V)$, подачі $P_i = f(S)$ та глибини різання $P_i = f(t)$.



3.2. Графік зміни сили різання $P_y (H)$ в залежності від значення: швидкості різання $P_i = f(V)$, подачі $P_i = f(S)$ та глибини різання $P_i = f(t)$.

Py, H



3.3. Розрахунки поправочних коефіцієнтів:

3.4. Підсумкова формула:

3.5. Висновок:

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В.Н. КАРАЗІНА
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

Звіт з лабораторної роботи №4
«Дослідження впливу елементів режиму різання та геометрії
різця на температуру різання при точінні»
з навчальної дисципліни
«ОСНОВИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ»

Виконав: студент (ка) ____ курсу,
групи _____

_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальності:

Перевірив: _____

Оцінка _____

м. Харків – 20____ рік

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

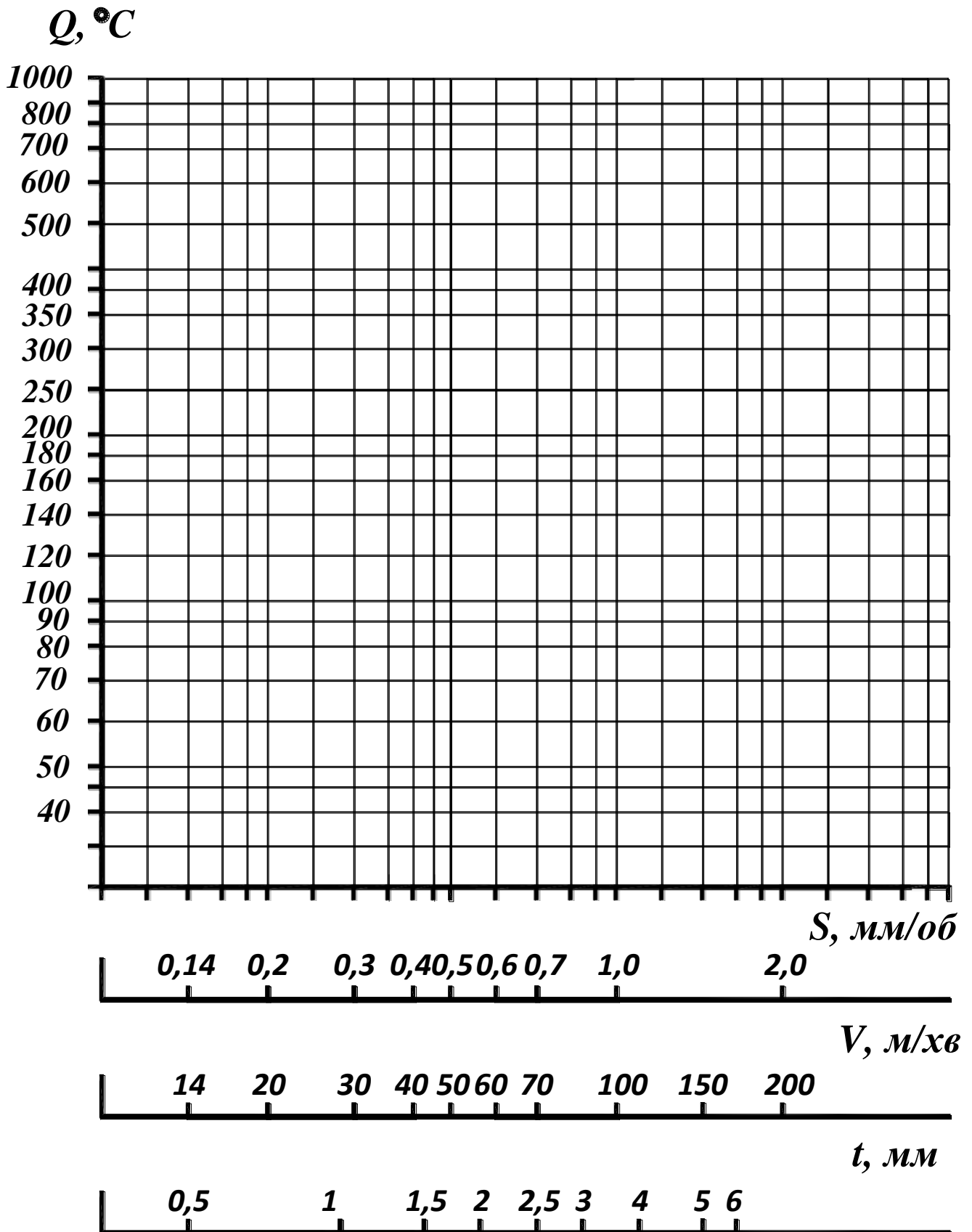
**«ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕМЕНТІВ РЕЖИМУ РІЗАННЯ НА
ТЕМПЕРАТУРУ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ»**

4.1. Мета роботи:

4.2. Обладнання, прибори та інструмент:

4.3. Конструктивна схема токарного динамометра:

4.7. Графік зміни температури різання в залежності від значення: подачі $Q = f(S)$, швидкості різання $Q = f(V)$ та глибини різання $Q = f(t)$.



4.8. Розрахунки поправочних коефіцієнтів:

4.9. Підсумкова формула:

4.10. Висновок:

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В.Н. КАРАЗІНА
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

Звіт з лабораторної роботи №5
«Дослідження сил різання при циліндричному фрезеруванні»
з навчальної дисципліни
«ОСНОВИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ»

Виконав: студент (ка) ____ курсу,
групи _____

_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальності:

Перевірив: _____

Оцінка _____

м. Харків – 20____ рік

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

**«ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ЦИЛІНДРИЧНОМУ
ФРЕЗЕРУВАННІ»**

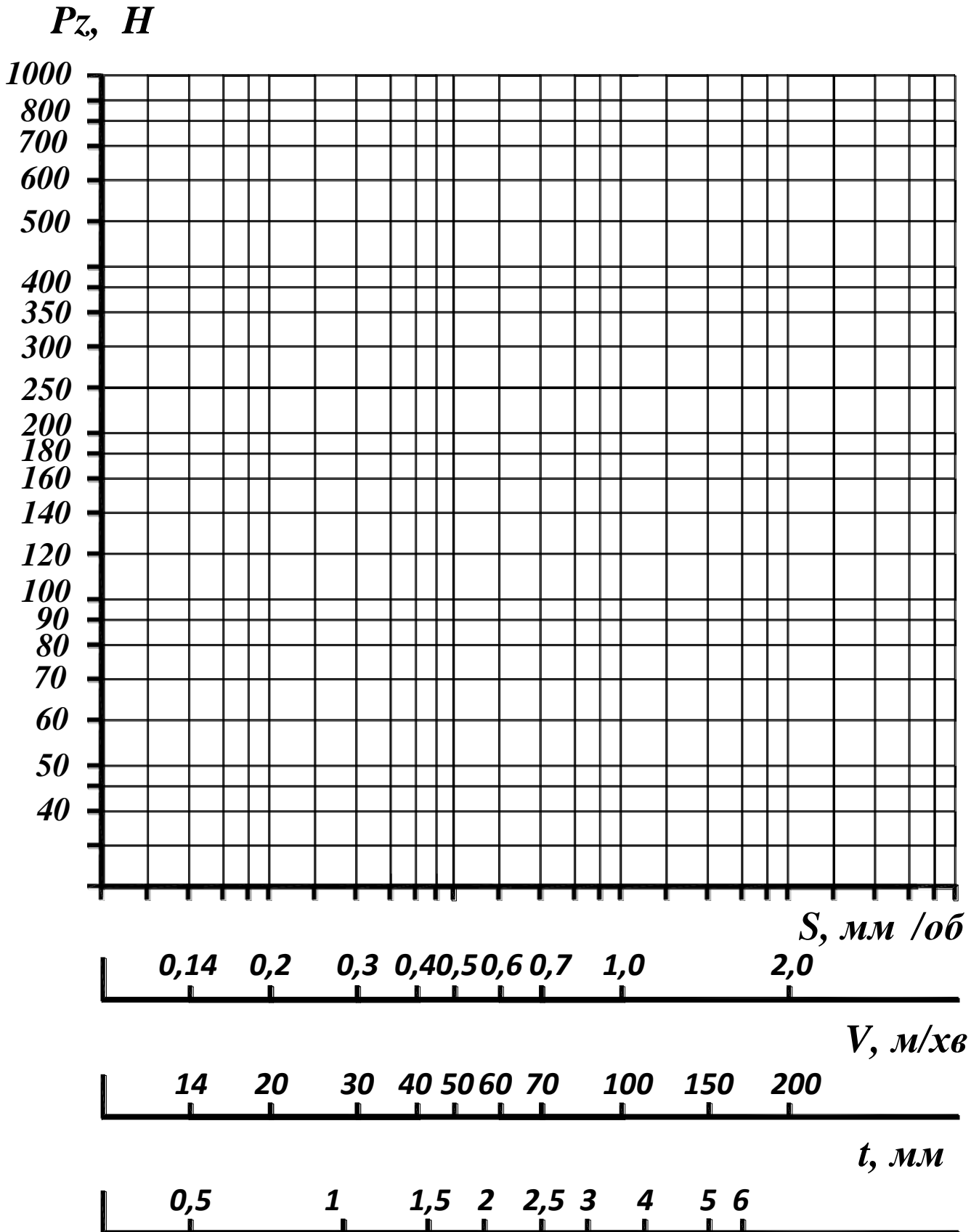
5.1. Мета роботи:

5.2. Обладнання, прибори та інструмент:

5.3. Конструктивна схема універсального динамометра:

5.4. Електрична структурна схема динамометру:

5.6. Графік зміни сили різання $P_z (H)$ в залежності від значення: швидкості різання $P_i = f(V)$, подачі $P_i = f(S)$ та глибини різання $P_i = f(t)$.



5.7. Розрахунки поправочних коефіцієнтів:

5.8. Підсумкова формула:

5.9. Висновок:

Електронне навчальне видання комбінованого використання
Можна використовувати в локальному та мережному режимі

Кондратюк Олег Леонідович
Скоркіна Валентина Олександрівна
Коваленко Володимир Васильович

ОСНОВИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

Методичні вказівки

до виконання лабораторних робіт з дисципліни для здобувачів
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання
за спеціальностями А5.34 «Професійна освіта (Машинобудування)»,
А5.38 «Професійна освіта (Транспорт)»

В авторській редакції

Підписано до розміщення .10.2025. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 5,73. Обсяг 6,799 Мб. Зам. № 362/25.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна