

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

*до виконання  
ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ  
з навчальних дисциплін:  
«Технологія металів і матеріалознавство» та  
«Основи обробки металів»*

*для студентів першого (бакалаврського) освітнього рівня  
зі спеціальностей:*

- 131 «Прикладна механіка»**
- 133 «Галузеве машинобудування»**
- 142 «Енергетичне машинобудування»**
- 274 «Автомобільний транспорт»**
- 132 «Матеріалознавство»**
- 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»**
- 022 «Дизайн»**
- 015 «Професійна освіта»**

**(денна форма навчання)**

**КИЇВ – 2018**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

*до виконання  
ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ  
з навчальних дисциплін:  
«Технологія металів і матеріалознавство» та  
«Основи обробки металів»*

*для студентів першого (бакалаврського) освітнього рівня  
зі спеціальностей:*

- 131 «Прикладна механіка»**
- 133 «Галузеве машинобудування»**
- 142 «Енергетичне машинобудування»**
- 274 «Автомобільний транспорт»**
- 132 «Матеріалознавство»**
- 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»**
- 022 «Дизайн»**
- 015 «Професійна освіта»**

**(денна форма навчання)**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

*на засіданні навчально-методичної Ради  
Національного транспортного університету  
протокол № 11 від 16 листопада 2017 р.  
Перший проректор \_\_\_\_\_ М.О.Білякович*

**КИЇВ – 2018**

*Технологія металів і матеріалознавство та Основи обробки металів.* Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів першого (бакалаврського) освітнього рівня зі спеціальностей: 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», 142 «Енергетичне машинобудування», 274 «Автомобільний транспорт», 132 «Матеріалознавство», 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», 022 «Дизайн», 015 «Професійна освіта» / Посвятенко Е.К., Сушко О.В., Мельник О.В., Аксьом П.А. – К.: НТУ, 2018 – 120 с.

Методичні вказівки складено з метою найбільш повного забезпечення самостійної та аудиторної роботи студентів при вивченні дисциплін «Технологія металів і матеріалознавство» та «Основи обробки металів». Теми лабораторних робіт відповідають навчальній програмі дисциплін «Технологія металів і матеріалознавство» та «Основи обробки металів».

## Зміст

Теми лабораторних робіт:	
<i>Лабораторна робота №1</i> Мікроскопічний метод дослідження структури металів та сплавів.....	4
<i>Лабораторна робота №2</i> Визначення твердості металів.....	13
<i>Лабораторна робота №3</i> Дослідження мікроструктури і твердості вуглецевих сталей.....	19
<i>Лабораторна робота №4</i> Вивчення мікроструктури та властивостей чавунів.....	25
<i>Лабораторна робота №5</i> Вплив швидкості охолодження на структуру і властивості вуглецевих сталей.....	30
<i>Лабораторна робота №6</i> Відпускання загартованої вуглецевої сталі.....	37
<i>Лабораторна робота №7</i> Класифікація, маркування легованих сталей і спеціальних сплавів.....	39
<i>Лабораторна робота №8</i> Структура, склад і властивості пластмас.....	43
<i>Лабораторна робота №9</i> Переробка пластмас у виробі.....	48
<i>Лабораторна робота №10</i> Вивчення конструкції токарно–гвинторізального верстату.....	56
<i>Лабораторна робота №11</i> Вивчення конструкції та геометрії багатолезових різальних інструментів.....	61
<i>Лабораторна робота №12</i> Вивчення геометричних параметрів токарного різця.....	68
<i>Лабораторна робота №13</i> Робота з ділильною головкою і настроювання універсально–фрезерного верстату на нарізання зубчастого колеса з гвинтовим зубом.....	72
<i>Лабораторна робота №14</i> Дослідження впливу елементів режиму різання на шорсткість обробленої поверхні при точінні.....	77
<i>Лабораторна робота №15</i> Визначення усадки стружки.....	83
<i>Лабораторна робота №16</i> Дослідження впливу елементів режиму різання на силу різання при точінні.....	87
<i>Лабораторна робота №17</i> Дослідження впливу елементів режиму різання на температуру різання.....	91
<i>Лабораторна робота №18</i> Заточування і доводка різальних інструментів.....	95
Список рекомендованої літератури.....	107
Додаток А.....	109
Додаток Б.....	115
Додаток В.....	117

# Лабораторна робота №1

## МІКРОСКОПІЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

**Мета роботи** – ознайомлення з металографічним мікроскопом і методикою проведення мікроаналізу.

### *1.1. Основні положення і зміст роботи*

Для дослідження структури металів і сплавів найчастіше застосовуються два методи: макроаналіз і мікроаналіз.

Дослідження будови металів і сплавів неозброєним оком або при невеликих збільшеннях (до 60 разів), яке проводиться на зламах або за допомогою спеціально виготовлених зразків, так званих макрошліфів, називається **макроскопічним** аналізом або **макроаналізом**.

Для збільшення при макроаналізі використовуються лупи та біноклярні мікроскопи.

Макрошліфи готуються в три етапи: вирізання, шліфування, травлення.

За допомогою макроаналізу можна дослідити порушення суцільності металу (тріщини, пори), дендритну будову, ліквіацію сірки, фосфору й вуглецю, волокнистість; вид зламу, наявність поверхневого гартування або хіміко-термічної обробки. Макроаналіз застосовується в промисловості при розробці технології лиття, кування, штампування, зварювання та для контролю якості виробів і встановлення причин руйнування деталей.

**Мікроскопічний** метод дослідження структури металів і сплавів, або **мікроаналіз**, проводиться за допомогою мікроскопу та мікрошліфів. Структура металів і сплавів, яка визначається при мікроаналізі, називається мікроструктурою.

Мікрошліфи готуються в 4 етапи: вирізання, шліфування, полірування, травлення. Мікрошліфи, як правило, мають діаметр 12 мм для циліндричного зразка, 12x12 мм – для зразка прямокутної форми. Висота зразків 10–15 мм.

Зразок вирізається з тієї частини деталі або заготовки, яка в даному дослідженні являє собою найбільший інтерес. Зразки вирізають фрезою, різцем, алмазним кругом або електроіскровим способом. В процесі вирізання зразків не допускається значний нагрів, тому, що він може визвати структурні зміни металу. Якщо деталі мають невеликі розміри, для виготовлення шліфа їх затискують в спеціальні струбцини, або заливають в оправках легкоплавкими матеріалами (сплав Вуда, пластмаси, епоксидні смоли).

Для шліфування і полірування використовуються абразивні матеріали, які поділяють на природні (алмаз, корунд, наждак) і штучні (електрокорунд, карбід кремнію, карбід бору, синтетичні алмази).

Найчастіше при виготовленні мікрошліфів для шліфування використовується наждак ( $Al_2O_3$  – основа, 20–25%  $Fe_3O_4$ ). В залежності від розміру абразивних часток позначення наждачного паперу згідно стандарту є

слідуючим: для шліфзерен – 200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16; шліфпорошків – 12, 10, 8, 6, 5, 4.

Зернистість шліфзерен і шліфпорошків означає як 0,1 від розміру сторони комірки сита у світлі (мкм), на якому затримуються зерна основної фракції під час їх просіювання.

Шліфування виконують на абразивних кругах або наждачному папері різних номерів, поступово зменшуючи зернистість (рис.1.1, а, б).

Поліруванням виправляють дрібні дефекти поверхні і риски, які залишаються після шліфування. Застосовується механічне, хіміко-механічне та електрохімічне полірування. Механічне полірування виконують на крузі, що обертається, з натягнутим на нього полірувальним матеріалом (фетр, оксамит, тонке сукно), на який періодично наносять абразивну речовину з частинками малих розмірів 1–5 мкм (оксид хрому, оксид алюмінію, мікропорошки із синтетичних алмазів). Полірування вважається закінченим, якщо поверхня зразка набуває дзеркального блиску.

При дослідженні поверхні металу під мікроскопом після полірування можна виявити на загальному світлому фоні темні крапки. Це – неметалічні включення (оксиди, сульфід, нітриди, графіт), наявність яких погіршує якість металу (рис.1.1, в).

Після перевірки стану мікрошліфа після полірування він підлягає травленню – останній стадії для виявлення мікроструктури.

Для протравлення мікрошліфів застосовують різні реактиви (реактив Іжевського – пікринова кислота+етиловий спирт; «царська горілка» – соляна кислота+азотна кислота та ін.), наприклад, для протравлення вуглецевих сталей і чавунів найбільш поширений реактив – 4–5% спиртовий розчин  $\text{HNO}_3$  (рис.1.1, г).

При протравленні кислоти розчиняють пограничні зони, які мають підвищений електрохімічний потенціал, що сприяє виникненню мікрорельєфу. Світлові промені, які попадають на мікрошліф, розсіюватимуться у канавках (рис.1.2, а) – і в полі зору мікроскопа пограничні канавки здаватимуться темними, а саме зерно – світлим (рис.1.2, б).

Травлення дозволяє визначити число, розміри, форму, орієнтацію зерен, тощо.

Готові мікрошліфи зберігаються в екзикаторах – скляні посудини з притертою кришкою, в які засипається просушений силікагель. Таким чином, в екзикаторі зберігається суха атмосфера, що позитивно впливає на час зберігання мікрошліфа.

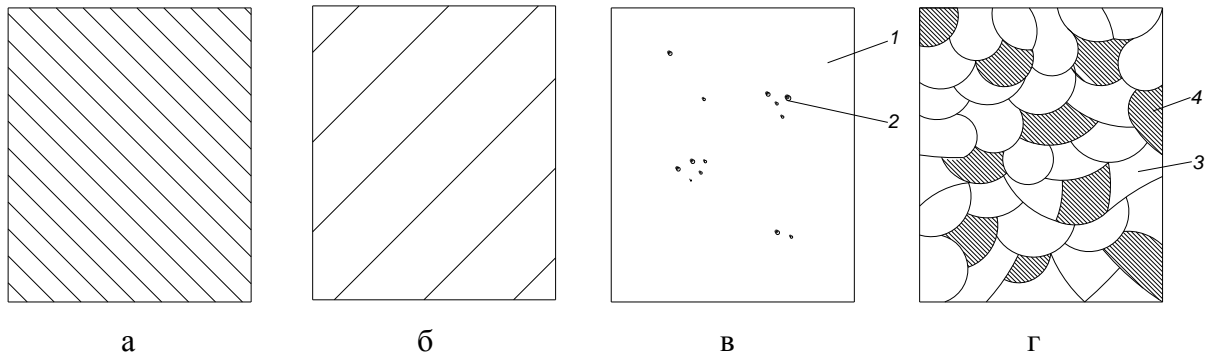


Рисунок 1.1 – Етапи підготовки мікрошліфа:

а) грубе шліфування, яке відповідає шліфуванню з розміром абразивних часток приблизно 50 мкм; б) тонке шліфування, яке відповідає шліфуванню з розміром абразивних часток приблизно 5 мкм; в) полірування – світле поле – 1 – невідома металева основа, темні крапки – 2 – неметалічні включення; г) травлення реактивом 4-5%  $\text{HNO}_3$ .

Структура сталі: 3 – зерна фериту; 4 – зерна перліту

Для мікроскопічного дослідження структури металів і сплавів використовують **металографічні мікроскопи**. Вони відрізняються від біологічних головним чином тим, що металічні шліфи непрозорі для світлових променів, тому їх досліджують не в прохідному, а у відбитому світлі (рис.1.2).

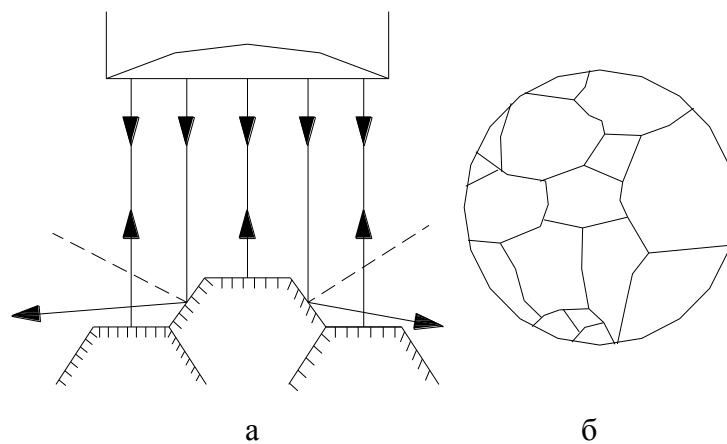


Рисунок 1.2 – Схема відбивання променів від протравленої поверхні мікрошліфа (а); мікроструктура протравленого мікрошліфа (б)

Металографічні мікроскопи бувають **оптичними** та **електронними**. Електронні мікроскопи за своїм призначенням поділяють на **просвічуючі** (ПЕМ) та **растрові** (РЕМ).

Сучасні вертикальні та горизонтальні металографічні світлооптичні мікроскопи дають збільшення від 50 до 2000 разів. Електронний мікроскоп завдяки високій роздільній здатності (більш ніж на два порядки вище в порівнянні зі світловим мікроскопом) дозволяє спостерігати тонкі особливості та деталі структури мікрооб'єктів на атомно-молекулярному рівні.

Оптичний мікроскоп призначений для спостереження та фотографування структури. Основні системи мікроскопа: *освітлювальна* (джерело світла, конденсор, світлофільтри, діафрагми); *оптична* (об'єктив, окуляр, дзеркала, лінзи, призми) (рис.1.3); *механічна* (штатив, тубус, макро- та мікрогвинти тощо) (рис.1.4).

**Об'єктив** являє собою систему лінз, які розміщені в одній оправі і звернені до об'єкта. Об'єктив дає зворотне збільшене справжнє зображення об'єкта.

**Окуляр** – це система лінз, які розміщені в одній оправі і звернені до ока спостерігача. Окуляри виправляють оптичні дефекти і дають уявне збільшене зображення, яке одержується об'єктивом.

На практиці робоче збільшення встановлюється комбінацією змінних окулярів та об'єктивів у відповідності з таблицею, що додається до мікроскопа.

Загальне збільшення мікроскопа дорівнює добутку збільшень об'єктива і окуляра:

$$V_m = V_{ok} \cdot V_{об}$$

де  $V_m, V_{ok}, V_{об}$  – збільшення відповідно мікроскопу, окуляра та об'єктива. Розмір збільшень окулярів і об'єктивів вказаний на їх металічній оправі.

При користуванні оптичним мікроскопом МИМ–7 можна вибирати збільшення від х60 до х650 (табл.1.1).

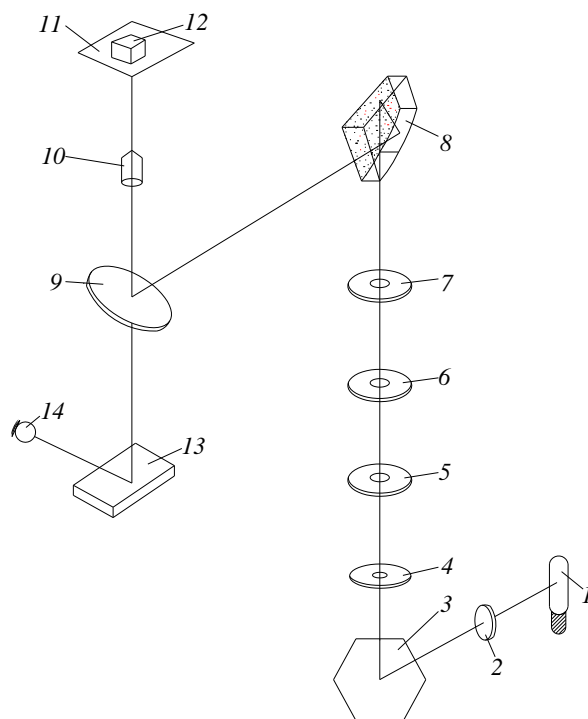
Таблиця 1.1. – Таблиця визначення збільшень для оптичного мікроскопу МИМ–7, крат

Об'єктиви	Окуляри			
	7 <sup>x</sup>	10 <sup>x</sup>	15 <sup>x</sup>	20 <sup>x</sup>
8,6 (F=23,2; A=0,17)	х60	х90	х130	х170
14,4 (F=13,89; A=0,30)	х100	х140	х200	х300
24,5 (F=8,16; A=0,37)	х170	х240	х360	х500
32,5 (F=6,16; A=0,62)	х250	х320	х500	х650



Рисунок 1.3 – Схема  
металографічного  
мікроскопа МИМ-7:

1 – лампа; 2 – колектор; 3 –  
дзеркало; 4,6 – лінзи; 5 – апертурна  
діафрагма; 7 – польова діафрагма; 8  
– пентапризма; 9 – напівпрозора  
пластинка; 10 – об'єктив; 11 –  
предметний столик; 12 – мікрошліф;  
13 – дзеркало; 14 – окуляр



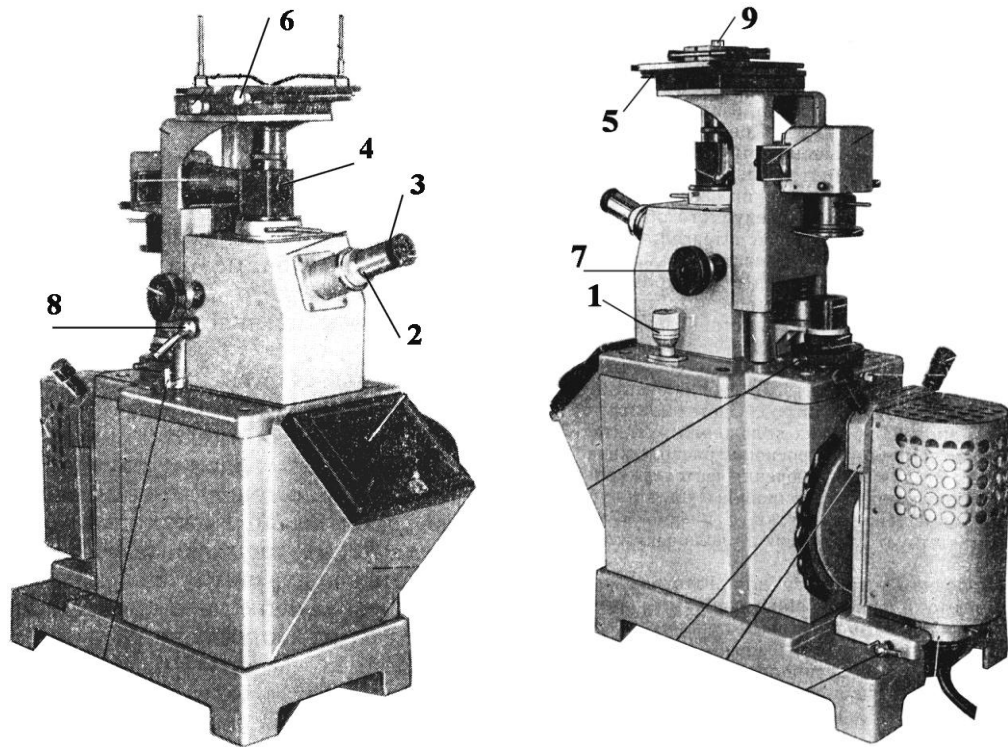
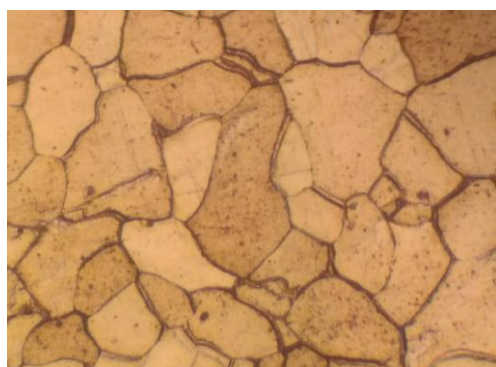


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд мікроскопа МИМ-7:

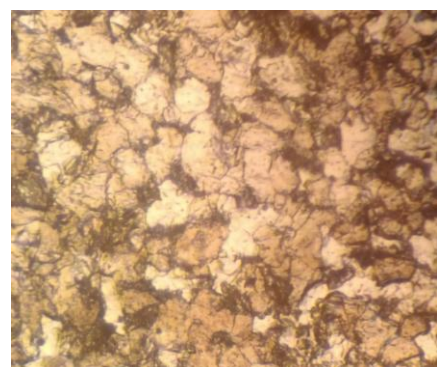
1 – мікрогвинт; 2 – візуальний тубус; 3 – змінний окуляр; 4 – ілюмінаторний тубус зі змінним об'єктивом; 5 – предметний столик; 6 – гвинти переміщення столика; 7 – макрогвинт; 8 – фіксуєчий гвинт; 9 – зразок

Для роботи на мікроскопі необхідно:

- вибрати збільшення та встановити відповідні об'єктив та окуляр,
- встановити предметний столик у такому положенні, щоб об'єктив знаходився в центрі отвору кільця;
- розмістити досліджуванний шліф на столик полірованою поверхнею донизу;
- при спостереженні в окуляр 3 та обертанні макрогвинта 7 провести грубе наведення на фокус та закріпити столик гвинтом 8. Точне фокусування здійснити обертанням в тому чи іншому напрямку мікрогвинта 1;
- дослідити структуру в різних ділянках шліфа, для чого перемістити предметний столик за допомогою гвинтів 6 (рис.1.5).



а



б

Рисунок 1.5 – Мікроструктури армко заліза (а) та сталі 20 (б) при дослідженні на оптичному металографічному мікроскопі МИМ-7: x500

Растровий електронний мікроскоп призначений для отримання та фотографування збільшених зображень різних об'єктів. Діапазон збільшення складає від 50 до 100000 при роздільній здатності до 30 нм.

Растровий електронний мікроскоп складається з наступних основних вузлів: електронної гармати, яка емітує електрони, електронно-оптичної системи, що формує електронний зонд та формує його сканування на поверхні зразка, системи, що формує зображення. РЕМ має вакуумну камеру, яка слугує для створення необхідного розрідження ( $\sim 10^{-3}$  Па) в робочому об'ємі електронної гармати та електронно-оптичної системи (рис.1.6).

Принцип растрової електронної мікроскопії (РЕМ) полягає в скануванні ділянки зразка, що досліджується, вузькосфокусованим електронним зондом та детектуванням сигналів, які виникають при цьому. Зображення будується синхронно з розгорткою зонду на зразку таким чином, що кожному положенню пучка на поверхні зразка відповідає точка (піксель) на моніторі мікроскопу. При взаємодії електронів пучка зі зразком відбувається ряд явищ: емісія вторинних, віддзеркалених та Оже-електронів, рентгенівське випромінювання, генерація електронно-диркових пар тощо.



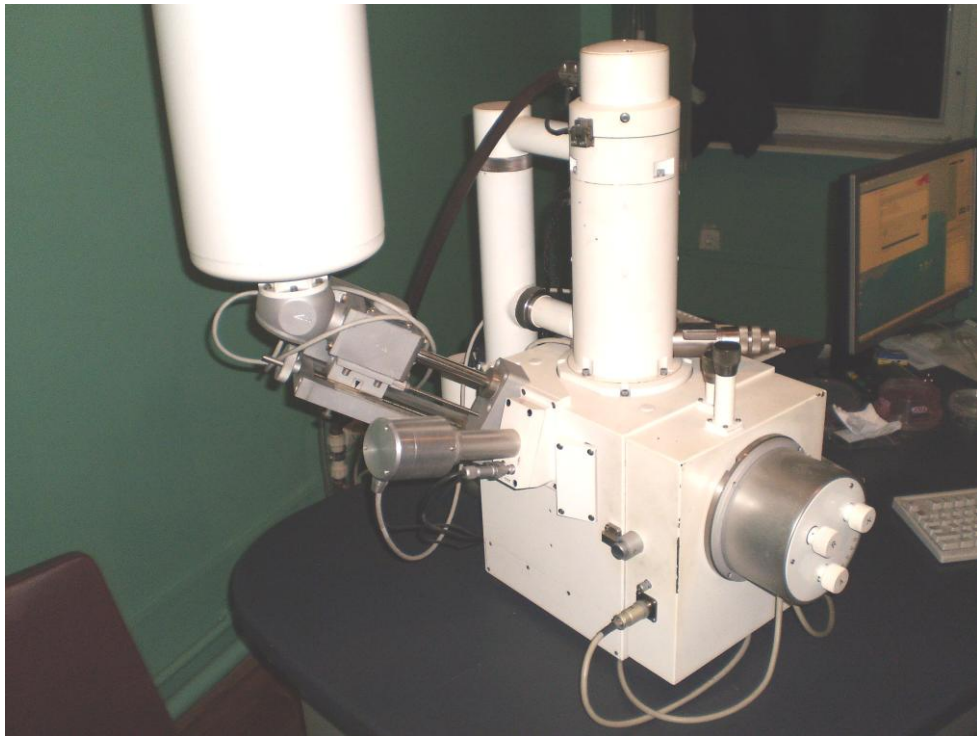
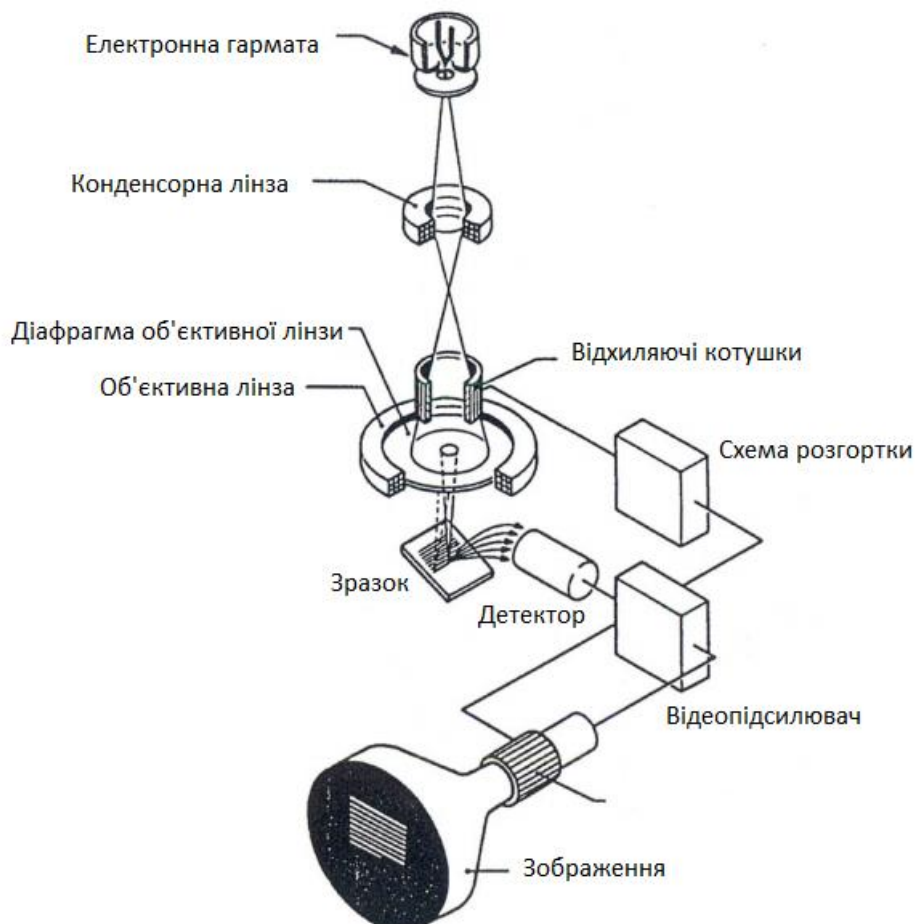


Рисунок 1.6 – Загальний вигляд електронного мікроскопу РЭМ-106И

Електронно-оптична колонна растрового електронного мікроскопу складається з електронної гармати, декількох електромагнітних фокуруючих лінз, відхиляючої системи та набору діафрагм (рис.1.7). Електронна гармата є

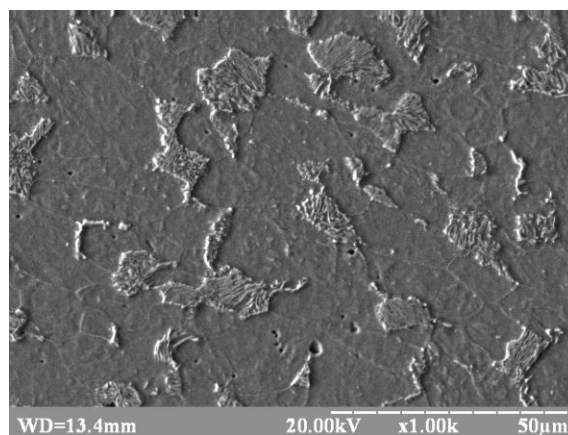
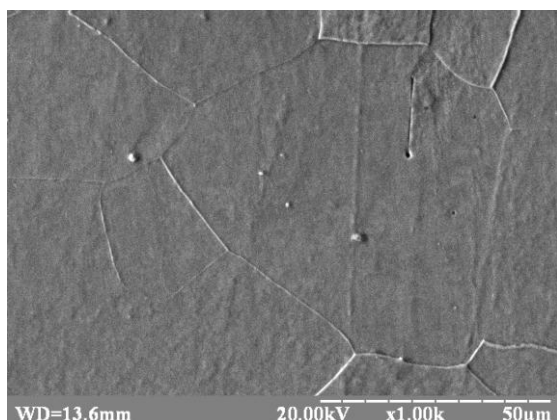


стабільним джерелом електронів, а система лінз використовується для формування вузькофокусованого електронного пучка. На виході з катоду електрони являють собою електронну хмару, яка концентрується біля вістря. Шляхом подачі позитивної напруги на анод, що розташований в області вістря катода, електрони розганяються і перетворюються в направлений пучок електронів.

Рисунок 1.7 – Схема растрового електронного мікроскопу

На даний час розроблено декілька типів катодів, які працюють за принципом термоелектронної або автоелектронної емісії, оскільки подолати роботу виходу електронів з твердого тіла можливо або шляхом розігрівання електронів, або шляхом прикладення сильного електричного поля.

Зображення в РЕМ формується в результаті синхронного розгортання електронного променя в електронно–променевої трубці (моніторі) та переміщення променя первинних електронів на поверхні зразка. Електронний промінь послідовно проходить вибрану ділянку поверхні, а електрони, що емітуються та розсіюються від поверхні, потрапляють в колектор електронів. В результаті взаємодії емітованих електронів з матеріалом сцинтилятора утворюються світлові сполохи, які за допомогою фотоелектронного множника перетворюються в електричний сигнал. Цей сигнал підсилюється підсилювачем, відеоконтрольним пристроєм та поступає на вхід керування яскравістю електронно–променевої трубки. В результаті зміни яскравості поверхні екрану трубки формується зображення поверхні зразка, що сканується (рис.1.8).





а

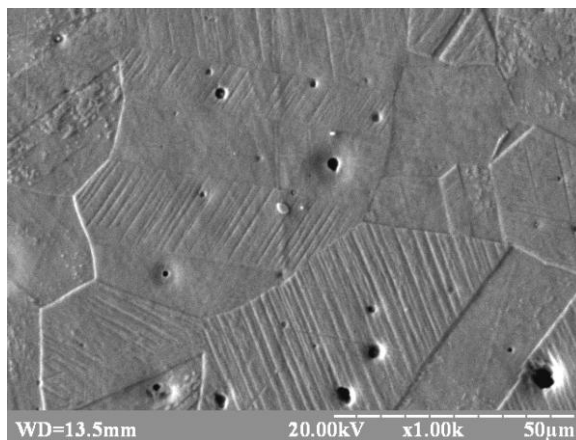
б

в

Рисунок 1.8 – Мікроструктури армко заліза (а), сталі 20 (б) та аустенітної сталі (в) при дослідженні на електронному мікроскопі РЕМ–106И: x1000

Виготовлення шліфів для дослідження на растровому електронному мікроскопі загалом здійснюється також як і для світлооптичного мікроскопа. Розміри зразків визначаються габаритами камери мікроскопа.

Електронний мікроскоп дозволяє досліджувати загальний характер структури всієї поверхні об'єкта при малих збільшеннях та детально вивчити будь-яку ділянку при великих збільшеннях.



### **1.2. Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитись з роботою на металографічному мікроскопі МИМ–7, намалювати його схему.
2. Приготувати мікрошліфи зі сталі або чавуну, дослідити під мікроскопом їх поверхню після різних стадій механічної обробки (грубого і тонкого шліфування, полірування) і замалювати їх.
3. Протравити мікрошліфи у 4–5%-му спиртовому розчині азотної кислоти, дослідити під мікроскопом і замалювати мікроструктуру.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке мікроаналіз? Макроаналіз?
2. Порядок приготування мікрошліфів; макрошліфів.
3. Призначення полірування і травлення шліфів.
4. Принцип дії металографічного світлооптичного мікроскопу.
5. Як визначається збільшення мікроскопу?
6. Що таке об'єктив і окуляр?
7. Принцип дії електронного растрового мікроскопу.

## **Лабораторна робота №2**

## ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ

**Мета роботи** – навчитись визначати твердість металів за методами Брінелля, Роквелла та Віккерса.

### *2.1. Основні положення і зміст роботи*

**Твердістю** називається здатність металу чинити опір пластичній деформації, яка виникає при вдавлюванні у його поверхню іншого твердішого тіла (індентора) з визначеним навантаженням.

Показники твердості дають змогу визначити рівень механічних властивостей та придатність матеріалу для роботи у конструкціях.

Залежно від твердості конкретного металу і розміру зразків або деталей застосовуються різні методи визначення твердості.

### *Твердість за Брінеллем (НВ, МПа)*

За методом Брінелля твердість металів визначають вдавлюванням у поверхню зразка (або виробу) індентора – сталеві загартованої кульки діаметром  $D$ , мм (10; 5; 2,5) з навантаженням  $F$  (від 30000 до 1875 Н). Після зняття навантаження вимірюють діаметр відбитка  $d$ , що залишається на поверхні зразка (рис.2.1).

Діаметр відбитка заміряють за допомогою ручного мікроскопу МПБ–2. Згідно з таблицею, яка додається до приладу, або за формулою знаходять твердість. Випробування має бути проведено 2-3 рази.

Число твердості НВ – відношення діючого на індентор навантаження  $F$  до площі поверхні  $S$  (мм<sup>2</sup>) отриманого відбитка.

$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{S} = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi \cdot D \left( \frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - d^2} \right)},$$

де  $HB$  – твердість за Брінеллем;

$F$  – навантаження, Н;

$S$  – площа поверхні отриманого відбитка, мм<sup>2</sup>;

0,102 – коефіцієнт (перехід від кгс/мм<sup>2</sup> до Н/мм<sup>2</sup>);

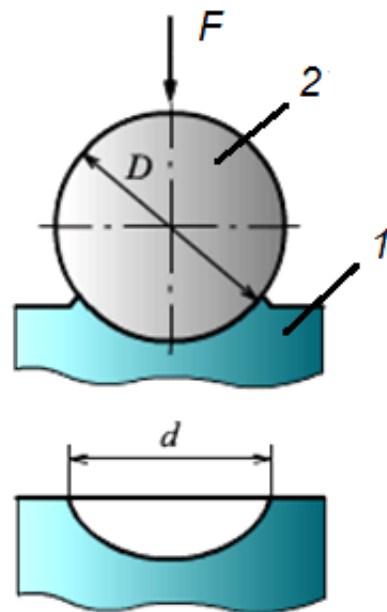
$D$  – діаметр індентора, мм;

$d$  – діаметр відбитка, мм.

Твердість за Брінеллем має розмірність напруження (кгс/мм<sup>2</sup>, Н/мм<sup>2</sup> або МПа).

Рисунок 2.1 – Схема визначення твердості металів за методом Брінелля

1 – зразок; 2 – індентор;  
*F* – навантаження; *D* – діаметр індентора; *d* – діаметр відбитка



Умови випробування твердості за Брінеллем регламентовані: діаметр кульки, навантаження та тривалість витримування під навантаженням вибирають залежно від роду матеріалу (чорні, кольорові), його твердості та товщини зразка (табл.2.1).

Метод Брінелля не є універсальним методом визначення твердості металів. Він не може бути застосованим для випробування металічних матеріалів, які мають твердість більшу, ніж HB 4500, оскільки при їх випробуванні можлива деформація самої сталеві кульки, внаслідок чого можливі спотворення результатів. Цей метод також не можна застосувати для визначення твердості листових зразків товщиною меншою, ніж 0,5–1,0 мм та виробів складної конфігурації, які мають малу жорсткість.

Між твердістю за Брінеллем і межею міцності існують емпіричні залежності:

для кованої і катаної сталі:

$$\sigma_s = 0,36 \cdot HB, \text{ МПа};$$

для сталюого лиття:

$$\sigma_s = \frac{HB - 40}{6}, \text{ МПа};$$

для високоміцних сталей:

$$\sigma_s = (0,33 \div 0,36) \cdot HB, \text{ МПа}.$$

Матеріали	Інтервал твердості HB, МПа	Товщина зразків, мм	Діаметр кульки, D, мм	Навантаження, P, H (кгс)	Тривалість навантаження, с



Чорні метали	1400...4500	6 - 3	10,0	30000 (3000)	10
		4 - 2	5,0	7500 (750)	10
		< 2	2,5	1870 (187,5)	10
	< 1400	> 6	10,0	10000 (1000)	10
			5,0	2500 (250)	10
			2,5	625 (62,5)	10
Кольорові метали	1300	6 - 3	10,0	30000 (3000)	30
		4 - 2	5,0	7500 (750)	30
		< 2	2,5	1870 (187,5)	30
	350...1300	9 - 3	10,0	10000 (1000)	30
		6 - 3	5,0	2500 (250)	30
		< 3	2,5	625 (62,5)	30
	80...350	> 6	10,0	2500 (250)	60
		6 - 3	5,0	625 (62,5)	60
		< 3	2,5	156 (15,6)	60

Таблиця 2.1. – Параметри, що використовуються при визначенні твердості металів на приладі Брінелля (ТШ)

### **Твердість за Роквеллом (HRC, HRA, HRB)**

Твердість за методом Роквелла визначають за глибиною вдавлювання в досліджувану поверхню сталеві кульки діаметром 1,588 мм при навантаженні 1000 Н (**HRB**); алмазного конуса з кутом при вершині  $\alpha=120^\circ$  при навантаженні 1500 Н (**HRC**) або 600 Н (**HRA**).

При дослідженні спочатку прикладають попереднє навантаження  $P_0$ , що дорівнює 100 Н, потім основне  $P$ , що дорівнює 1000 Н, 1500 Н або 600 Н. Різниця глибини проникнення кульки або конуса під навантаженням  $P$  та  $P_0$  дорівнює  $h-h_0$  і характеризує твердість (рис.2.2). Чим ця різниця менша, тим твердіший досліджуваний матеріал, і навпаки – чим різниця більша, тим матеріал м'якший.

Для визначення твердості застосовують твердомір типу ТК.

Числа твердості за Роквеллом обчислюються за формулами:

$$(HRC, HRA) = 100 - \frac{h - h_0}{0,002};$$

$$(HRB) = 130 - \frac{h - h_0}{0,002},$$

де  $h$  – глибина проникнення індентора у зразок;

$0,002$  – ціна поділки шкали індикатора, мм.

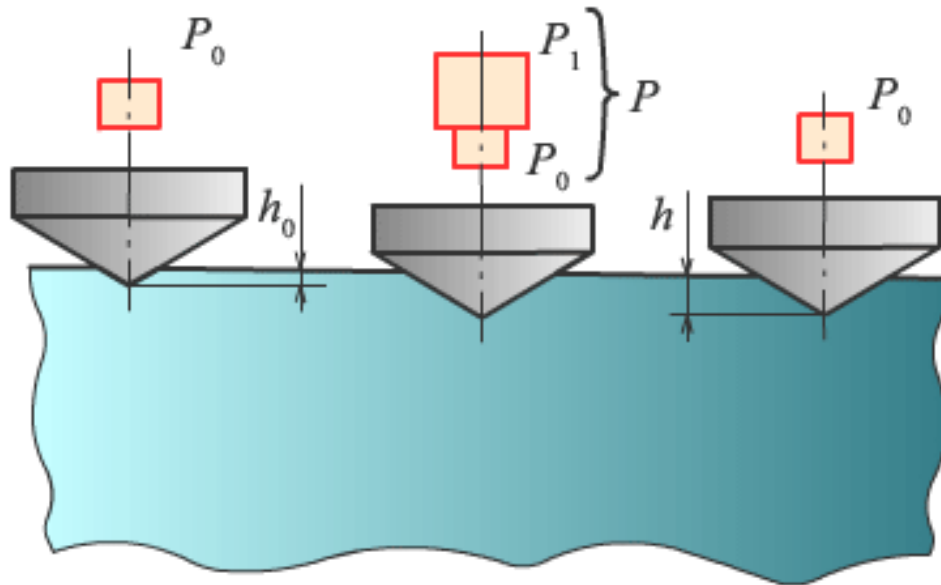


Рисунок 2.2 – Схема визначення твердості металів за методом Роквелла

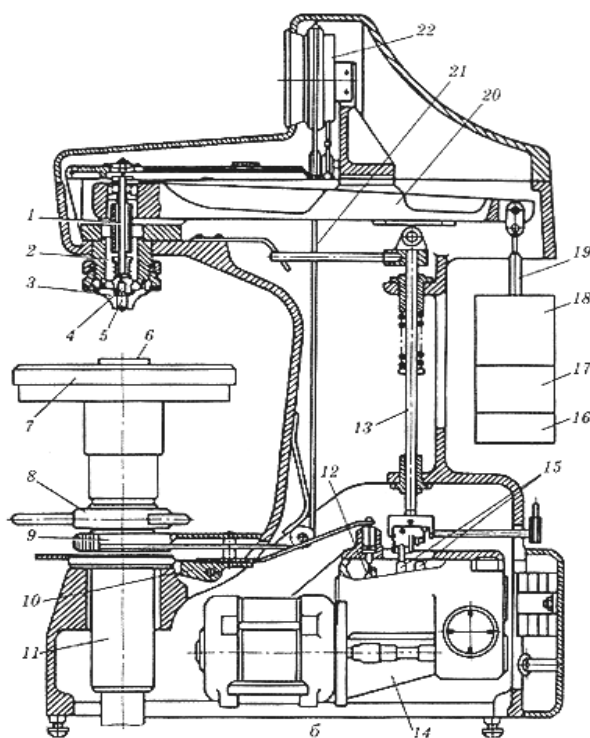


Рисунок 2.3 – Кінематична схема твердо-міра Роквелла (типу ТК)

зразок до індентора.

При подальшому обертанні маховика 8 стискується пружина 2 шпинделя 1, яка створює попереднє навантаження. При цьому маховик обертають доти, доки мала стрілка не дійде червоної точки індикатора, а велика стрілка не займе приблизно вертикальне положення ( $\pm 5$  поділок шкали індикатора).

Основне навантаження на індентор (алмазний конус чи сталеву кульку) здійснюється за допомогою приводу 14 від електродвигуна твердоміра.

Натисканням на клавішу 10 через кронштейн 12 приводять у дію кулачковий блок 15 механізму приводу 14, передача від якого до вантажного важеля 20 здійснюється за допомогою штока 13. При цьому підвіска 19 з вантажами 16, 17, 18 опускається і створює основне навантаження. Після закінчення вимірювання кулачковий блок автоматично вимикається і фіксується у вихідному положенні.

За число твердості приймають середнє арифметичне значення, яке отримують після трикратного випробування. Число твердості за Роквеллом можна перевести в число твердості за Бринелем (Додаток Б).

За методом HRC вимірюють твердість загартованої або низьковідпущеної сталі (з твердістю понад 4500 HB, МПа, або матеріалів середньої твердості (понад 2300 HB). За методом HRA вимірюють твердість надтвердих матеріалів або тонких шарів (листів). За методом HRB вимірюється твердість сталі після відпалу або після високого відпуску (табл.2.2).

Таблиця 2.2. – Параметри, що використовуються при визначенні твердості металів на приладі Роквелла (ТК)

№ п/п	Стан матеріалу	Приблизна твердість за Бринелем (HB, МПа)	Індентор	Шкала	Колір шкали	Навантаження, Н	Позначення
1	Загартована або низьковідпущена сталь	2300–7000	алмазний конус	С	чорний	1500	HRC
2	Надтвердий матеріал або лист	>7000	алмазний конус	А	чорний	600	HRA
3	Сталь після відпалу або високого відпуску	600–2300	загартована сталевий кулька Ø 1,588 мм	В	червоний	1000	HRB

### **Твердість за Віккерсом (HV)**

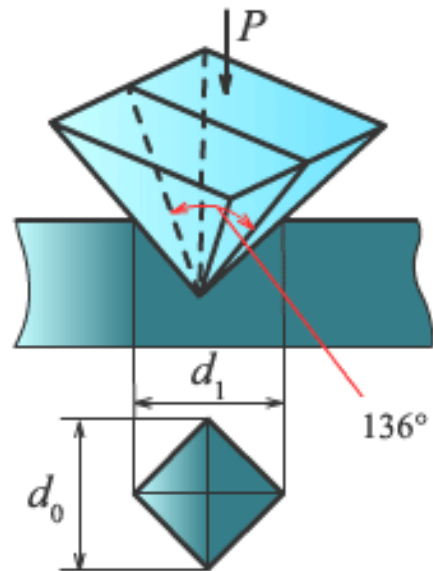
Вимірювання твердості за методом Віккерса проводиться для чорних і кольорових металів і сплавів під час навантаження від 9,807 Н (1 кгс) до 980,7 Н (100 кгс). Вимірювання твердості ґрунтується на вдавлюванні алмазного наконечника у формі правильної чотиригранної піраміди з кутом між протилежними гранями 136° в зразок під дією сили  $P$ , прикладеної протягом певного часу, і вимірюванні діагоналей відбитку  $d_0$ ,  $d_1$ , які залишилися на поверхні зразка після зняття навантаження (рис.2.4).

Твердість за методом Віккерса визначають за формулою:

$$HV = \frac{0,102 \cdot 2P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 0,189 \frac{P}{d^2},$$

де  $P$  – навантаження, Н;  $\alpha$  – кут між протилежними гранями піраміди при вершині, який рівний  $136^\circ$ ;  $d$  – середнє арифметичне значення довжин обох діагоналей відбитку, мм.

Рисунок 2.4 - Схема визначення твердості металів за методом Віккерса



Твердість за Віккерсом за умовами випробування  $P = 294,2$  Н (30 кгс) і часу витримки під навантаженням 10...15 с – позначається цифрами, що характеризують величину твердості і буквами **HV**. За інших умов випробування після букв **HV** вказується навантаження і час витримки. Наприклад, 500 HV – твердість за Віккерсом, отримана під час навантаження  $P = 294,2$  Н (30 кгс) і часі витримки 10...15 с; 220 HV 10/40 – твердість за Віккерсом, отримана при навантаженні  $P = 98,07$  Н (10 кгс) і часі витримки 40 с.

Для вимірювання твердості алмазною пірамідою застосовуються такі навантаження: 9,807 (1); 19,61 (2); 24,52 (2,5); 29,42 (3); 49,03 (5); 98,07 (10); 196,1 (20); 294,2 (30); 490,3 (50); 980,7 (100) Н (кгс).

Для визначення твердості чорних металів і сплавів застосовують навантаження від 49,03 Н (5 кгс) до 980,7 Н (100 кгс); для міді і її сплавів – від 24,52 Н (2,5 кгс) до 490,3 Н (50 кгс); для алюмінієвих сплавів – від 9,807 Н (1 кгс) до 980,7 Н (100 кгс).

Під час вимірювання мінімальна товщина зразка повинна бути для сталевих виробів більше діагоналі відбитка в 1,2 рази, а для виробів з кольорових металів – в 1,5 рази. Відстань між центром відбитка і краєм зразка чи краєм сусіднього відбитка повинно бути не менше 2,5 довжини діагоналі відбитка. Поверхня повинна мати шорсткість не більше 0,16 мкм і бути вільною від окисної плівки і сторонніх речовин.

За методом Віккерса вимірюють твердість тонких шарів (листів).

Обладнання для вимірювання твердості за цим методом відноситься до типу ТВ.

## 2.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з роботою приладів для визначення твердості за методами Брінелля та Роквелла.
2. Ознайомитись з методами визначення твердості та замалювати їх схеми.
3. Заповнити таблиці 2.1 та 2.2.
4. Одержати набір зразків та визначити твердість на твердомірі ТК. Дані визначення твердості за методом Роквелла занести відповідно у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3. – Дані визначення твердості за методом Роквелла

№ п/п	Індентор	Навантаження Р, Н	Твердість			Границя міцності, $\sigma_B$ , МПа
			HRC	HRB	HB, МПа	
1						
2						
3						
4						

## Контрольні запитання

1. Що таке твердість?
2. Як позначається твердість за Брінеллем? Вказати індентор, навантаження, розмірність.
3. Принцип вибору діаметра кульки та навантаження при визначенні твердості за методом Брінелля.
4. Як позначається твердість за Роквеллом? Вказати індентор, навантаження, розмірність.
5. Принцип вибору індентора, шкали, індекса та навантаження при випробуванні за методом Роквелла.
6. В чому суть визначення твердості за методом Віккерса?
7. Яка існує залежність між HB і  $\sigma_B$ ?

## Лабораторна робота №3

### ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ І ТВЕРДОСТІ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

**Мета роботи** – ознайомитись з мікроструктурою і твердістю вуглецевих сталей у рівноважному стані.

#### 3.1. Основні положення і зміст роботи

Рівноважний це такий стан матеріалу, який відповідає мінімальному значенню вільної енергії. Він досягається при дуже малих швидкостях охолодження.

**Сталями** називаються залізовуглецеві сплави при вмісті вуглецю до 2,14%. Технічні сталі мають постійні ( $Mn, Si, P, S$ ) і приховані ( $O, N, H$ ) домішки. На фазовий і структурний стани залізовуглецевих сплавів у рівноважному стані досить точно вказує подвійна діаграма стану залізо-вуглець. Існує дві діаграми стану залізовуглецевих сплавів: стабільна (залізо-графіт) і метастабільна (залізо-цементит).

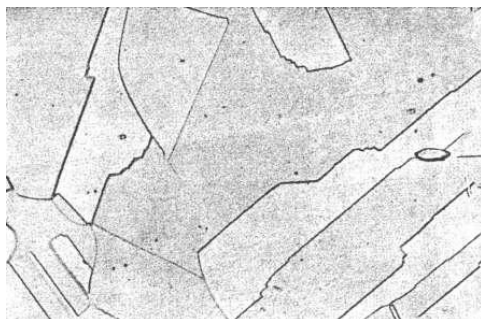
Найбільше значення має метастабільна діаграма залізо-цементит (рис. 3.1). При вивченні діаграми необхідно відрізнити поняття: компоненти, фази і структурні складові.

*Компонентами* називаються речовини, які складають сплав. У даному випадку це залізо і вуглець (цементит). *Фазою* називається однорідна частина системи, яка відокремлена від інших частин поверхнею розподілу, при переході через яку хімічний склад або структура речовини змінюється стрибкоподібно. У даній системі зустрічаються чотири фази: рідина, тверді розчини – ферит і аустеніт та хімічна сполука  $Fe_3C$  – цементит.

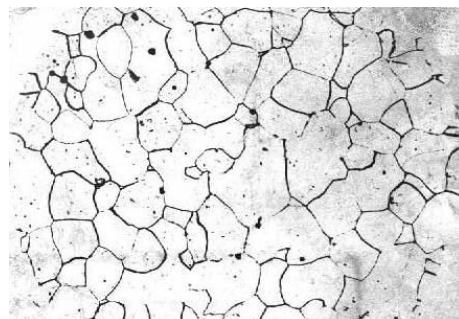
**Аустеніт** (А) – твердий розчин проникнення вуглецю в гама-залізі ( $Fe_\gamma$  або  $\gamma-Fe$ ). Аустеніт має кубічну гранецетровану решітку з координаційним числом 12 (К12).

Гранична розчинність вуглецю в гама-залізі становить 2,14%. Аустеніт немагнітний, пластичний ( $HB \sim 170-200$ ,  $\sigma_b \sim 500-800$  МПа,  $\delta \sim 50\%$ ,  $\psi \sim 60\%$ ).

**Ферит** (Ф) – твердий розчин проникнення вуглецю в альфа-залізі ( $Fe_\alpha$  або  $\alpha-Fe$ ). Ферит має кубічну об'ємноцентровану кристалічну решітку з координаційним числом 8 (К8).



Структура аустеніту x200



Структура фериту x200

Гранична розчинність вуглецю у альфа-залізі становить 0,02%. Ферит до  $768^\circ C$  феромагнітний, м'який, пластичний ( $HB \sim 70$ ,  $\sigma_b \sim 200-250$  МПа,  $\delta \sim 40\%$ ,  $\psi \sim 70\%$ ).

**Цементит** – хімічна сполука заліза з вуглецем – карбід заліза,  $Fe_3C$ , (Ц) містить 6,67% вуглецю, має високу твердість і малу пластичність ( $HB \sim 850-870$ ).

Кожна точка діаграми стану залізо-цементит характеризує рівноважний стан сплаву залежно від температури і концентрації (рис.3.1). Лінія ABCD – лінія *ліквідус*. Вище цієї лінії всі сплави знаходяться в рідкому стані. Лінія АНІЕСФ – лінія *солідус*. Нижче цієї лінії всі сплави знаходяться у твердому

стані. Всі сталі кристалізуються в інтервалі температур і після первинної кристалізації (з рідини) мають аустенітну структуру.

При охолодженні сталей до температури, що відповідає лінії GSE, фазових перетворень не відбувається. Лінія характеризує початок вторинної кристалізації – початок фазових перетворень у сталях в твердому стані. Так, у сталі з 0,8%-м вмістом вуглецю при 727°C (точка S) з аустеніту утворюється механічна суміш фериту і цементиту, яка називається *перлітом*:



Вміст вуглецю в перліті дорівнює 0,8% (рис.3.2, б). Перетворення аустеніту в перліт відбувається при постійній температурі (727°) і

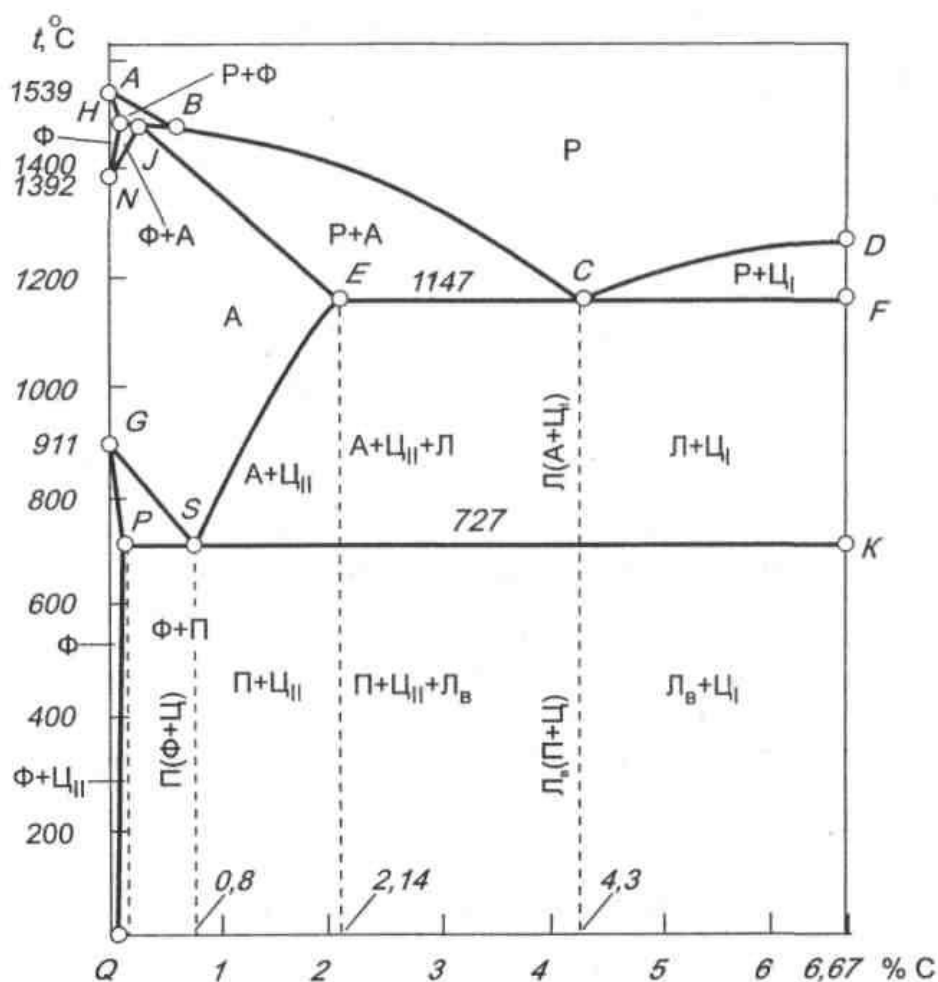


Рисунок 3.1 – Діаграма стану залізо-цементит.

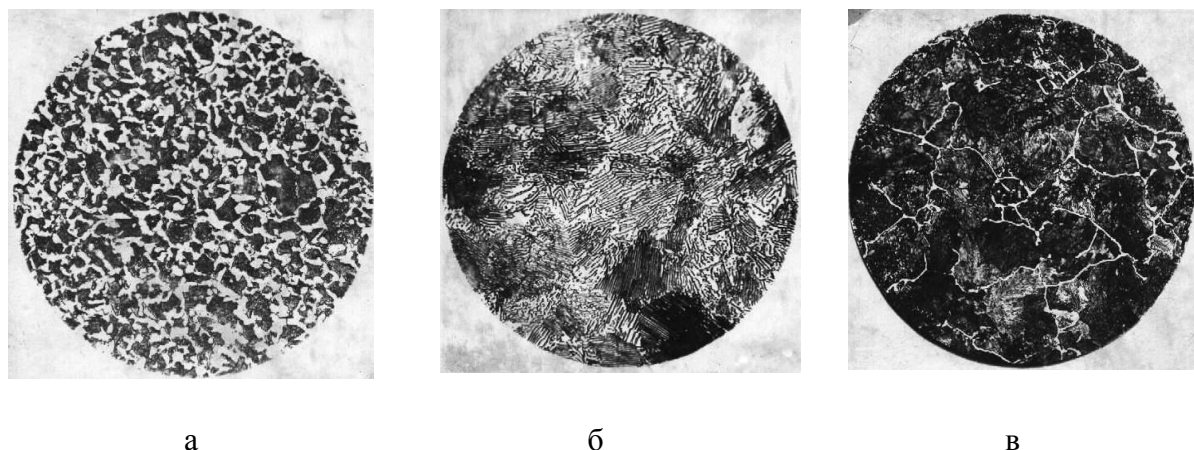
називається *евтектоїдним* перетворенням.

За мікроструктурою в рівноважному стані вуглецеві сталі поділяються: на *доевтектоїдні* (вміст вуглецю 0,02–0,8%), *евтектоїдну* (вміст вуглецю 0,8%) і *заявтектоїдні* (вміст вуглецю від 0,8 до 2,14% ). При охолодженні доевтектоїдних сталей в інтервалі температур між лініями GS і PS з аустеніту утворюється ферит, який вміщує мало вуглецю.

Внаслідок утворення фериту при подальшому охолодженні доевтектоїдних сталей концентрація вуглецю в аустеніті збільшується і при

727°C становить 0,8%. Створюються всі умови для проходження евтектоїдного перетворення, після закінчення якого структура доевтектоїдних сталей складається з фериту і перліту (рис.3.2, а). Кількість перліту в сталі змінюється пропорційно вмісту вуглецю.

Структура евтектоїдної сталі після охолодження складається із зерен перліту (рис.3.2, б).



а

б

в

Рисунок 3.2 – Мікроструктури вуглецевих сталей x200:  
а) доевтектоїдна; б) евтектоїдна; в) заевтектоїдна

Структура заевтектоїдних сталей складається з перліту і вторинного цементиту. При повільному охолодженні вторинний цементит кристалізується по границям зерен аустеніту (внаслідок зменшення розчинності вуглецю в аустеніті – лінія ES), утворюючи тверду й крихку оболонку, яку у вигляді сітки можна побачити під мікроскопом (рис.3.2, в).

#### **Класифікація і маркування вуглецевих сталей за призначенням.**

Залежно від призначення вуглецеву сталь поділяють на конструкційну (містить вуглецю від 0,02 до 0,65%) та інструментальну (містять вуглецю від 0,7 до 1,3%).

Конструкційну сталь поділяють на сталь звичайної якості і якісну.

**Конструкційні вуглецеві сталі звичайної якості** мають літеро-цифрове позначення (ДСТУ 2651–94, ГОСТ 380–94). Виготовляють сталі таких марок: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6. Літери “Ст” означають “сталь”, цифри 0, ..., 6 – умовний номер сталі залежно від її хімічного складу і механічних властивостей. Для позначення ступеня розкислення до марки сталі після її номера можуть додаватися індекси “сп” (“спокійна”), “кп” (“кіпляча”) і “пс” (“напівспокійна”), наприклад, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп. Чим більший номер сталі, тим більший вміст вуглецю, тим вона міцніша, твердіша і менш пластична. Вміст вуглецю в цих сталях 0,23–0,49%, границя міцності  $\sigma_b=300-640$  МПа, відносне видовження  $\delta$  – до 33%, ударна в’язкість  $KCU=22-149$  Дж/см<sup>2</sup>.

Марки, хімічний склад та ступінь розкислення сталей звичайної якості регламентуються ДСТУ 2651–94, механічні властивості гарячекатаних сталей звичайної якості регламентує ГОСТ 535–88.



Усі сталі звичайної якості добре зварюються.

Ці сталі є найдешевшими та найпоширенішими. З них одержують до 70% всього прокату (прутки, кутова сталь, листи, швелери, труби).

Сталі з меншим вмістом вуглецю використовують, головним чином, у металокопункціях у промисловому та житловому будівництві, а також при виготовленні деталей, що працюють при відносно невисоких навантаженнях.

Сталі з підвищеним вмістом вуглецю (Ст5, Ст6), що мають вищі механічні властивості, використовують для виготовлення легких рейок, коліс вагонів, різноманітних валів і шестерень, гаків, кріпильних деталей.

Три марки вуглецевих сталей звичайної якості виготовляють з підвищеним (0,8–1,1%) вмістом марганцю, на що вказує літера “Г”: Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст5Гпс.

Існують також вуглецеві сталі звичайної якості спеціального призначення, що відображається при маркуванні. Наприклад, сталі для будівництва мостів – Ст3–міст, для деталей топків – Ст3Т, котлів – Ст3к, для корпусів суднів – Ст1–с.

**Вуглецеві якісні конструкційні сталі** (ГОСТ 1050–88; ГОСТ 14959–79) відрізняються від сталей звичайної якості меншим вмістом S і P та інших шкідливих домішок, а також більш вузькими інтервалами вмісту вуглецю у кожній марці сталі і підвищеним вмістом Mn і Si (у більшості випадків).

Сталі маркують двозначними числами: 08, 10, 15, 20, ..., 60 (ГОСТ 1050–88), які показують середній вміст вуглецю в сталі в сотих долях відсотка. Наприклад, сталь 08 містить в середньому 0,08% С, сталь 10 – 0,10% С, сталь 60 – 0,60% С і т.д. В кінці марки може бути вказаний ступінь розкислення. Киплячими виробляють сталі 08кп, 10кп, 15кп, 18кп, 20кп; напівспокійними – 08пс, 10пс, 15пс, 20пс. Спокійні сталі маркують без індексу.

ГОСТ 1050–88 гарантує механічні властивості якісних сталей після різних видах термічної обробки.

*Маловуглецеві сталі* (до 0,25% С) мають низьку міцність ( $\sigma_B=330-460$  МПа,  $\sigma_{0,2}=200-280$  МПа) та високу пластичність ( $\delta=23-33\%$ ), тому з них виготовляють вироби переважно холодним штампуванням. Їх використовують в автомобілебудуванні для виготовлення деталей складної форми. Глибоке витягування з листа цих сталей (08кп, 10кп, 15кп, 20кп) використовується під час виготовлення консервних банок, емальованої посуду та інших виробів. Завдяки добрій зварюваності вони широко використовуються також для зварних конструкцій.

Для збільшення поверхневої міцності маловуглецевих сталей марок 15, 20, 25 їх цементують (насичують поверхню вуглецем) та використовують для виготовлення деталей невеликого розміру, наприклад, малонавантажених зубчастих коліс, кулачків тощо, вимогами до яких є тверда, зносостійка поверхня та в'язка серцевина.

*Середньовуглецеві* (0,3–0,5% С) сталі – марок 30, 35, 40, 45, 50 в нормалізованому стані відзначаються підвищеною міцністю ( $\sigma_B=600-700$  МПа,  $\sigma_{0,2}=400$  МПа), але відповідно меншою в'язкістю в порівнянні з

маловуглецевими. Залежно від умов роботи деталей з цих сталей вони підлягають різним видам термічної обробки. З середньовуглецевих сталей виготовляють кріпильні вироби (болти, гайки), вали, зубчасті колеса, шатуни.

*Високовуглецеві* (більше 0,6% С) сталі зазнають різних видів термічної обробки, що надає їм високої міцності, зносостійкості, пружності. З високовуглецевих сталей марок сталь 60 (ГОСТ 1050–88), сталі 65, (ГОСТ 14959-79) виготовляють деталі, що працюють в умовах тертя та вібраційних навантажень: прокатні валки, диски зчеплення, впускні клапани компресорів, ресори, пружини, стрічки, троси.

*Вуглецеві інструментальні сталі* (ДСТУ 3833–98, ГОСТ 1435–99) позначають літерою “У” і цифрою, що показує вміст вуглецю в десятих долях відсотка, наприклад У7, У8, У9, ..., У13, які містять відповідно 0,7% С, 0,8%, 0,9% та 1,3% С. Сталі виготовляють якісними і високоякісними.

Якісні сталі містять не більше 0,028% сірки і 0,030% фосфору, високоякісні – сірки не більше 0,018% і фосфору 0,025%, що позначають літерою А в кінці марки (У7А–У13А).

Деякі вуглецеві інструментальні сталі мають підвищений вміст марганцю (0,17–0,58%): У8Г, У8ГА.

З вуглецевих інструментальних сталей виготовляють різальні інструменти, що працюють в умовах, які не викликають розігріву різальної кромки вище 200°C, тобто при низьких швидкостях різання.

При виборі інструментальної сталі для виготовлення інструментів виходять з умов роботи. Так, для різального інструменту, що працює без ударів (напилки, мітчики), застосовують сталі більш тверді, тобто з більшим вмістом вуглецю – У10, У12. Інструмент, який піддають ударним навантаженням (зубила, молотки), повинен мати деяку в'язкість, тому для його виготовлення застосовують менш тверді, але і менш крихкі сталі з меншим вмістом вуглецю – У7, У8.

### **3.2. Порядок виконання роботи**

1. Накреслити діаграму стану залізо–цементит.
2. Вивчити перетворення, які відбуваються при охолодженні і нагріванні доєвтектоїдних, евтектоїдної та заєвтектоїдних сталей.
3. Дослідити під мікроскопом і замалювати мікроструктуру таких марок сталей: сталь 20, сталь 45, У8, У12.
4. Виміряти твердість названих сталей за Роквеллом і занести до табл.3.1.
5. Побудувати графік впливу вмісту вуглецю на твердість сталі в координатах – %С в сталях – НВ, МПа та пояснити причини зміни твердості.

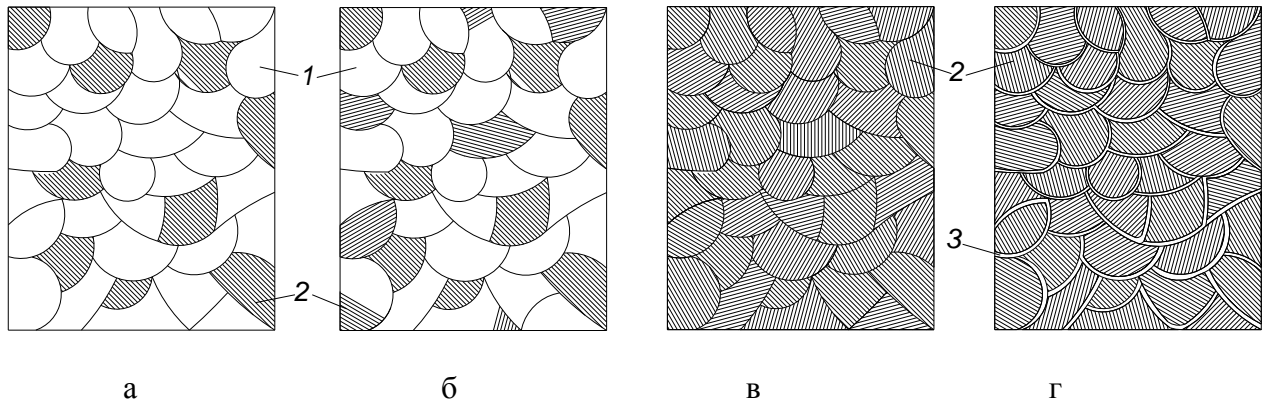


Рисунок 3.3 – Схеми мікроструктур вуглецевих сталей:  
 а, б – доевтектоїдні (сталь 20 та сталь 45) ; в – евтектоїдна (У8); г – заевтектоїдна (У12). Структурні складові: 1 – ферит, 2 – перліт, 3 – цементит (вторинний)

6. Ознайомитись з класифікацією і маркуванням вуглецевих сталей за призначенням.

Таблиця 3.1. – Дані визначення твердості вуглецевих сталей

Номер зразка	Марка сталі	Вміст вуглецю, %	Твердість			Границя міцності, $\sigma_B$ , МПа
			HRC	HRB	HB, МПа	
1	Сталь 20					
2	Сталь 45					
3	У8					
4	У12					

### Контрольні запитання

1. Що таке діаграма стану залізобуглецевих сплавів, компоненти, фаза, структура?
2. Що таке ферит, аустеніт, цементит, перліт?
3. На які класи по рівноважній структурі поділяють сталі?
4. Пояснити перетворення, які відбуваються в сталях при їх нагріванні та охолодженні.
5. Класифікація та маркування вуглецевих сталей.
6. Призначення вуглецевих сталей.

## Лабораторна робота № 4

### ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАВУНІВ

**Мета роботи** – отримати навички визначення за мікроструктурою виду чавуну, оцінити його механічні властивості, встановити орієнтовно марку (крім білого чавуну) та сферу його використання.

#### 4.1. Основні положення і зміст роботи

За хімічним складом чавуни відрізняються від сталей більш високим вмістом вуглецю (більше 2,14 %) і постійних домішок (*S, P, Si, Mn*). Чавун має більш низькі механічні властивості, ніж сталь. Однак його добрі технологічні властивості (ливарні, оброблюваність різанням, зносостійкість, антифрикційні властивості тощо) роблять чавун придатним для виготовлення різноманітних деталей для машин різного технологічного призначення, в тому числі і для сільськогосподарських машин.

Залежно від стану вуглецю чавуни поділяються на дві групи: **білі чавуни**, в яких весь вуглець знаходиться в складі хімічної сполуки  $Fe_3C$  (*цементиту*), і **сірі (графітізовані) чавуни**, в яких весь вуглець або більша його частина знаходиться у вільному стані у вигляді *графіту*.

Структура білих чавунів залежить від вмісту вуглецю і відповідає діаграмі стану залізо–цементит. Діаграма стану залізо–цементит показує стан і перетворення в білих чавунах. Тут відбувається евтектичне перетворення, результатом якого є *ледебурит* – евтектична суміш, яка складається з аустеніту і цементиту і утворюється з рідкої фази при  $1147^{\circ}C$ . Нижче  $727^{\circ}C$  відбувається евтектоїдне перетворення аустеніту в перліт, в результаті чого ледебурит буде мати структуру перліту і цементиту. Вміст вуглецю в ледебуриті дорівнює 4,3%.

За вмістом вуглецю та мікроструктурою білі чавуни поділяються на:

**доевтектичні** (2,14 ... 4,3 % C, на діаграмі стану від точки *E* до точки *C*). Їх структура має три складових – *перліт, ледебурит, вторинний цементит* (рис.4.1, а). Перліт спостерігається під мікроскопом у вигляді темних зерен, частина цементиту вторинного – світлих оболонок навкруги перлітних зерен, а інша частина зливається з цементитом ледебуриту і під мікроскопом як окрема складова не спостерігається; ледебурит має вигляд ділянок з невеликими темними зернами округлої або витягнутої форми перліту, рівномірно розташованих у білій цементитній основі.

**евтектичний чавун** (4,3 % C) складається з *ледебуриту* – механічної суміші перліту з цементитом (рис.4.1, б).

**заевтектичні чавуни** (4,3...6,67 % C) має дві структурні складові – *первинний цементит і ледебурит* (рис.4.1, в).

Білі чавуни надто крихкі та тверді, погано обробляються різальним інструментом і в автомобілебудуванні використовуються дуже рідко (зірочки для очистки литва від пригару, кули млинів), зазвичай вони йдуть на виготовлення ковкого чавуну.

Конструкційними чавунами є сірі (графітізовані) чавуни, які поділяються на чотири види залежно від форми графітних включень у їх структурі: **сірі, ковкі, високоміцні** та чавуни з **вермикулярною формою графіту**. Структура металевої основи в цих чавунах може бути феритною, феритно–перлітною або перлітною.

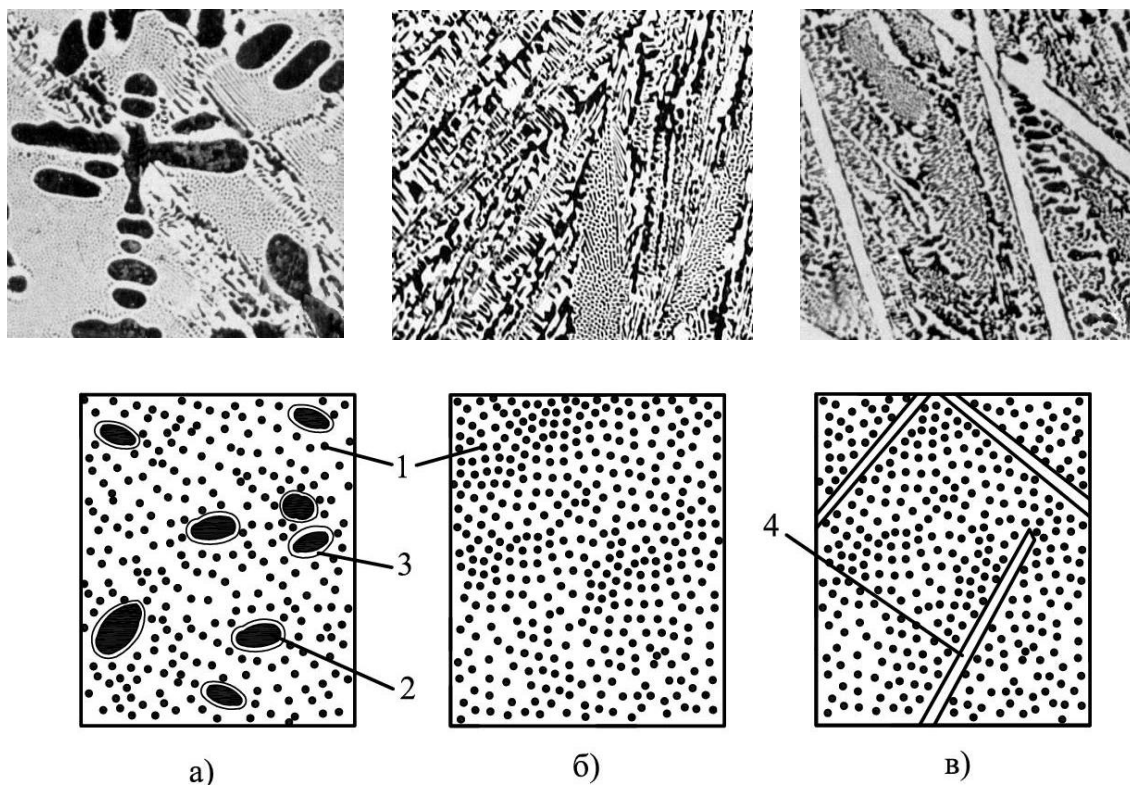


Рисунок 4.1 – Мікроструктури та схеми мікроструктур білих чавунів:  
 а – доевтектичного; б – евтектичного; в – заевтектичного;  
 1 – ледебурит; 2 – перліт; 3 – цементит вторинний; 4 – цементит первинний

В сірих чавунах (*grey cast iron*) графіт має **пластинчасту** форму (рис. 4.2, а), в ковких – компактну **пластівчасту** (хлоп'євидну) (рис.4.2, б), у високоміцних – **кулясту** (рис.4.2, в), у чавунах з **вермикулярною** формою – у вигляді коротких потовщених пластин з округлими кінцями (рис.4.2, г). Цю форму можна розглядати як проміжну між пластинчастою і кулястою.

**Сірий чавун.** Пластинчаста форма графіту в сірому чавуні суттєво знижує механічні властивості чавуну, зокрема міцність, пластичність, ударну в'язкість. В той же час графітні включення полегшують оброблюваність різанням, роблять стружку ламкою, підвищують зносостійкість і здатність поглинати вібрації і резонансні коливання, надають чавуну хороших ливарних властивостей. Отриманню сірих чавунів сприяє повільне охолодження виливків, підвищений вміст кремнію та знижений марганцю, а також такий процес як модифікування рідкого чавуну феросиліцієм або силікокальцієм. Сірий чавун – складний сплав, хімічний склад якого коливається в таких межах: 3,2...3,8 % C; 1,0...3,5 % Si; 0,5...0,8 % Mn; 0,2...0,4% P; до 0,12 % S. Виготовляють такий чавун марок: СЧ10; СЧ15; СЧ20; СЧ25; СЧ30; СЧ35; СЧ40; СЧ45 (С – сірий, Ч – чавун, цифри показують мінімальну міцність чавуну на розтяг в кг/мм<sup>2</sup> або в 10<sup>-1</sup> МПа). Твердість сірого чавуну коливається від НВ 129 до НВ 269 залежно від марки. Пластичність сірого чавуну мала (відносне видовження  $\delta$  не перевищує 0,5%), тому він може застосовуватись для виготовлення деталей, які не зазнають навантажень на розтяг і удар. Це блоки циліндрів, картери,

гільзи, циліндри парових машин, маховики, станини металорізальних верстатів тощо.

**Ковкий чавун.** Ковким називається чавун, в якому графіт має пластівчасту (хлоп'євидну) форму. Така форма графіту утворюється з білого чавуну внаслідок його тривалої витримки (відпалювання) при температурі 950...1000 °С. Назва "ковкий" не означає, що цей чавун можна кувати або піддавати будь-якій іншій обробці тиском. Це суто ливарний матеріал, а назва свідчить тільки про його більшу пластичність порівняно із сірим чавуном. Ковкий чавун поділяється на марки: КЧ30–6; КЧ33–8; КЧ35–10; КЧ37–12; КЧ45–6; КЧ50–4; КЧ56–4; КЧ60–3; КЧ63–2 (К – ковкий, Ч – чавун, перші дві цифри показують міцність у  $\text{кг/мм}^2$ , другі – відносне видовження у відсотках).

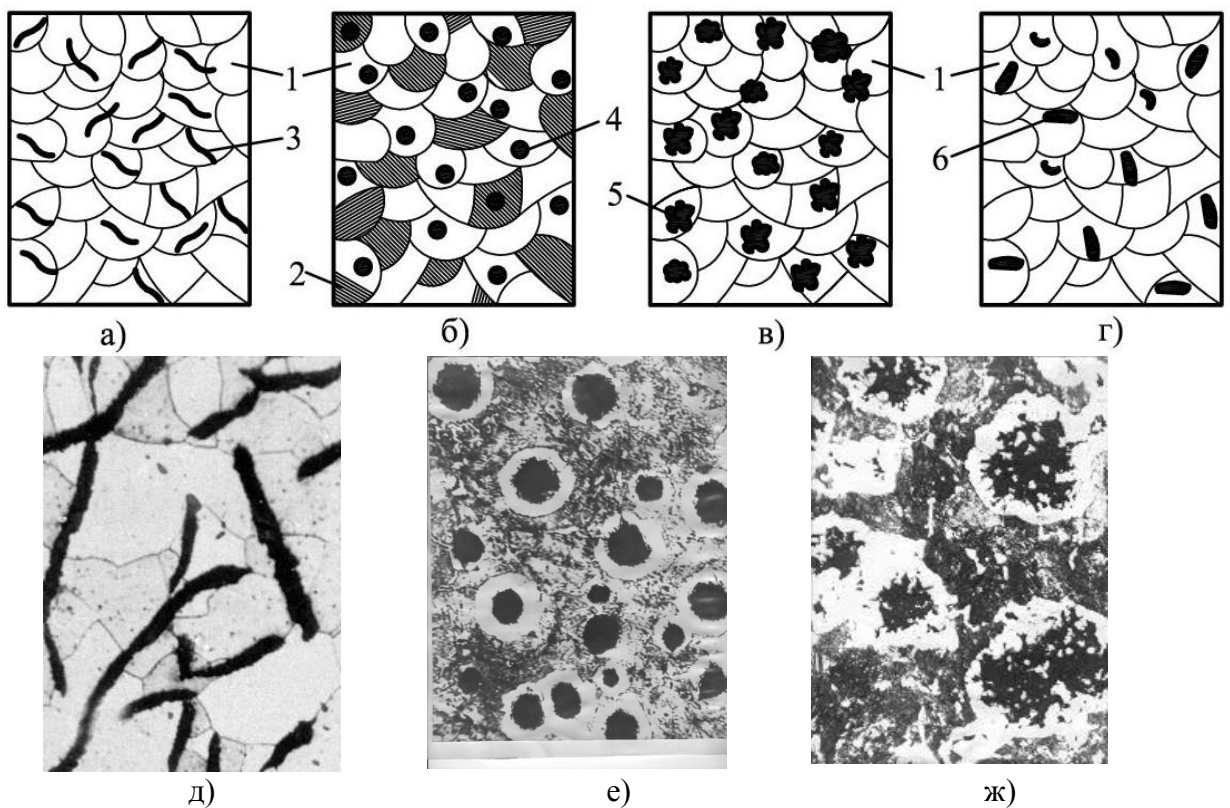


Рисунок 4.2 – Схеми мікроструктур та мікроструктури сірих чавунів: а – сірий феритний, б – високоміцний ферито-перлітний, в – ковкий феритний, г – чавун з вермикулярним графітом феритний; д – сірий феритний; е – високоміцний ферито-перлітний; ж – ковкий ферито-перлітний; 1 – ферит; 2 – перліт; 3 – пластинчастий графіт; 4 – кулястий графіт; 5 – пластівчастий графіт; 6 – вермикулярний графіт

Хімічний склад ковкого чавуну знаходиться в межах: 2,4...2,8 % С; 0,8...1,4 % Si; 0,3...1,0 % Mn; 0,08...0,1 % S; до 0,2 % P. Знижені значення вмісту вуглецю та кремнію і підвищений марганцю потрібні для того, щоб у виливках була структура білого чавуну. З цією ж метою товщина стінок виливків не повинна перевищувати 40...50 мм. При більших розмірах в стінках можливе утворення пластинчастого графіту і чавун стає непридатним для відпалювання.

Ковкі чавуни знайшли застосування в сільськогосподарському, автомобільному, текстильному машинобудуванні. З нього виготовляють деталі високої міцності, що працюють у важких умовах зношування, здатні сприймати ударні та змінні за напрямом навантаження (картери редукторів, гаки, скоби, фланці, маточини коліс, елементи карданних валів, ланцюги та ролики конвеєрів тощо). Добрі ливарні властивості вихідного білого чавуну дають можливість виготовляти виливки складної форми.

**Високоміцний чавун.** Високоміцним називається чавун, в якому графітні включення мають кулясту форму. Така форма графіту утворюється при обробці рідкого чавуну невеликими дозами таких елементів як магній, церій, кальцій, ітрій. Ці елементи називаються **модифікаторами**. Вони практично не змінюють хімічний склад сплавів, зате суттєво впливають на їхню структуру, змінюючи форму графітних включень, розмір зерен, їх розташування тощо. Як модифікатор для виготовлення чавуну з кулястим графітом найчастіше всього використовується магній – найбільш ефективний і дешевий елемент. Остаточний вміст магнію для отримання кулястого графіту становить 0,04...0,06%. За вмістом решти елементів високоміцний чавун не відрізняється від сірого, за винятком сірки, якої у високоміцному чавуні 0,01...0,03%. Таке зменшення вмісту сірки відбувається завдяки тому, що магній при обробці рідкого чавуну активно реагує із сіркою з утворенням нерозчинних у чавуні сульфідів магнію  $Mg_2S$ .

Високоміцний чавун поділяється на марки: ВЧ 350–22; ВЧ 400–15; ВЧ 420–12; ВЧ 450–10; ВЧ 450–5; ВЧ 500–7; ВЧ 600–7; ВЧ 700–2; ВЧ 800–2; ВЧ 900–2; ВЧ 1000–2 (В – високоміцний, Ч – чавун, перше число вказує межу міцності на розтяг в МПа, друге число через дефіс – значення межі відносного видовження у відсотках).

Високоміцний чавун використовується для виготовлення середньо- та важконавантажених деталей відповідального призначення: прокатного, ковальсько-пресового обладнання, корпусів парових турбін, колінчастих валів для автомобілів, тракторів та комбайнів, поршнів, кронштейнів та інших деталей.

**Чавун із вермикулярним графітом.** Високоміцний чавун із кулястим графітом поряд із його позитивними якостями (високі механічні та експлуатаційні характеристики) має і суттєві недоліки (підвищену об'ємну усадку, понижену теплопровідність, схильність до відбілу). У чавуні з **вермикулярним** графітом ці недоліки відсутні. В ньому поєднуються високі механічні і ливарні властивості, висока теплопровідність, низька собівартість.

Графіт в такому чавуні має вигляд коротких потовщених пластин з закругленими кінцями (рис.4.2, г), форма яких є перехідною між пластинчастим і кулястим графітом. Як конструкційний матеріал чавун із вермикулярним графітом є найбільш молодим типом чавуну.

Перша технологія його виробництва була розроблена лише в 1966 році. Суть цієї технології полягає в тому, що рідкий чавун обробляється модифікаторами в кількості, недостатній для отримання цілковито кулястої

форми графіту. У структурі чавуну утворюється вермикулярний графіт і 20..30% кулястого. Наприклад, при обробці чавуну магнієвими модифікаторами остаточний вміст магнію для забезпечення вермикулярного графіту повинен бути біля 0,02 %.

Зараз існує ДСТУ 3326–99 “Чавун з вермикулярним графітом”, за яким цей чавун поділяється на марки: ЧВГ 300–4; ЧВГ 400–4; ЧВГ 500–1 (Ч – чавун, В – вермикулярний, Г – графіт, перше число вказує межу міцності на розтяг в МПа, друге число через дефіс – значення межі відносного видовження у відсотках).

Чавун з вермикулярним графітом є ефективним матеріалом для деталей машин, які зазнають досить високих статичних, ударних і циклічних навантажень, працюють в умовах тепломіни тощо. В автомобілебудуванні цей чавун застосовується для виготовлення головок блоків циліндрів, випускних колекторів, гальмівних дисків, колінчастих і розподільчих валів, блоків циліндрів, зубчастих коліс, корпусів турбокомпресорів тощо.

#### **4.2. Порядок виконання роботи**

1. Вивчити під мікроскопом мікрошліфи чавунів, визначити структурні складові і за ними визначити вид чавуну (білий, сірий, ковкий, високоміцний).
2. Зарисувати схеми мікроструктур.
3. Записати приблизну марку чавуну, його хімічний склад, властивості, сферу використання.

#### **Контрольні запитання**

1. Які сплави називаються чавунами?
2. Які типи конструкційних чавунів існують?
3. Яка основна структурна відмінність чавунів різних типів?
4. Якою може бути структура металевої основи чавунів?
5. Від чого залежить отримання тієї чи іншої структури металевої основи чавунів?
6. В чому полягає технологія виготовлення ковкого чавуну?
7. В чому полягає технологія виготовлення високоміцного чавуну?
8. Як маркуються чавуни різних типів?

### **Лабораторна робота № 5**

#### **ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ**

**Мета роботи** – вивчити вплив швидкості охолодження на перетворення переохолодженого аустеніту вуглецевої сталі 45.



### 5.1. Основні положення і зміст роботи

**Термічною обробкою** називається сукупність операцій нагрівання до визначеної температури, витримки й охолодження сплавів з певною швидкістю для одержання необхідної структури і властивостей.

Можливість зміцнення сталі за рахунок термічної обробки обумовлена наявністю фазових перетворень після кристалізації: охолоджуючи аустеніт з різними швидкостями і забезпечуючи тим самим різний ступінь переохолодження, одержуємо продукти розпаду, що різко відрізняються за будовою і властивостями.

Режим термічної обробки характеризується такими основними параметрами: швидкістю і температурою нагрівання, тривалістю витримки (для прогрівання деталі по перерізу і завершення фазових перетворень) та швидкістю охолодження.

Якщо нагрівати дуже повільно, то всі фазові перетворення у вуглецевих сталях описує ліва частина діаграми залізо–вуглець. Критичні температури цих перетворень позначають буквою *A* з певними індексами. Зокрема, температуру лінії **PSK** позначають через  $A_1$ , температури лінії **GS** – через  $A_3$ , а температури лінії **SE** – через  $A_{cm}$ . До цих позначень додають індекс *c* в разі нагрівання або індекс *r* – при охолодженні, наприклад:  $A_{c1}$ ,  $A_{cm}$ ,  $A_{r3}$ . Відхилення від рівноважних умов спричинює тепловий гістерезис, тобто розбіжність критичних температур нагрівання та охолодження, тому до критичних температур при нагріванні додають +30...50°C.

На практиці найбільш розповсюдженими є наступні види термічної обробки вуглецевих сталей: відпал, нормалізація, гартування та відпуск. Виробам за допомогою термічної обробки, як правило, надають відповідний комплекс фізико–механічних властивостей. Необхідне сполучення властивостей досягається за рахунок відповідного регулювання структури сталі, яка в свою чергу, формується за рахунок варіювання температури нагрівання та швидкості охолодження при термічній обробці. В залежності від конкретного сполучення останніх розрізняють три основних типи структурного перетворення.

1. При повільному охолодженні із аустенітного стану в температурному інтервалі критичних точок формуються структури рівноважного типу за рахунок фазової перекристалізації.

2. При швидкому охолодженні із аустенітного стану, коли подавляється перетворення аустеніту в перліт по рівновісним реакціям, має місце більш або менш значне переохолодження аустеніту відносно критичної точки  $A_1$  формуються нерівноважні структури. Формування структур відбувається або дифузійним шляхом – структури типу сорбіт та троостит гартування або бездифузійним – мартенситні структури.

3. При нагріванні нерівновісних структур нижче точки  $A_1$  відбуваються зміни, які наближають сталь до рівноважного стану та має місце розпад нерівноважних структур.

Перший тип процесів характерний для відпалу та нормалізації, другий для гартування, третій для відпуску.

Для різних видів термічної обробки оптимальні режими, які гарантують отримання необхідної структури та заданого сполучення властивостей призначають використовуючи діаграму стану залізо–цементит та діаграму ізотермічного перетворення аустеніту. За діаграмою залізо–цементит вибирають температуру нагрівання сталі, за діаграмами ізотермічного перетворення – швидкість охолодження.

Мікроаналіз структурного стану дозволяє визначити режим та оцінити якість термічної обробки.

**Відпал** – термічна операція, яка полягає в нагріванні сталі вище критичної температури, витримці і повільному охолодженні (разом з піччю).

Відпал сталевих виробів проводять для зниження твердості, покращення оброблюваності різанням, підготовки або виправлення структури та зняття внутрішніх напруг.

Для **доевтектоїдних** конструкційних сталей найбільш розповсюдженим режимом відпалу є нагрівання до температури  $A_{c3}+30...50^{\circ}\text{C}$  (вище лінії GS), витримці при цій температурі з наступним повільним охолодженням (зазвичай разом із піччю).

Розглянемо структурні перетворення при такому режимі термічної обробки. При нагріванні вище  $A_{c3}$  сталь переходить в аустенітний стан. В процесі повільного охолодження (лінія  $V_1$ , рис.5.1) по досягненню температури  $A_{c3}$  (точка перетину променя  $V_1$  з лінією «початку виділення фериту») починається виділення фериту. Аустеніт при цьому збагачується вуглецем, концентрація якого підвищується до 0,8%. По досягненню температури  $A_{r1}$  (точка перетину променя  $V_1$  з лінією «початку перетворення») починається розпад аустеніту з утворенням перліту. При неперервному охолодженні цей процес протікає в інтервалі температур і закінчується при температурі нижче точки  $A$  (точка перетину променя  $V_1$  з кривою «кінець перетворення» рис.5.1). Таким чином після відпалу доевтектоїдна сталь отримує структуру феррит + перліт. Слід відмітити, що при малих збільшеннях перліт виглядає як однорідна складова, фактично ж він складається з участків фериту та цементиту пластинчастої форми, які чергуються між собою (рис.5.2, а). Найбільш розповсюдженим для деталей із заевтектоїдних і евтектоїдних інструментальних сталей є наступний режим відпалу: нагрівання вище температури  $A_{c1}+30...50^{\circ}\text{C}$  (вище лінії PSK), витримці при цій температурі та наступного повільного охолодження. Відповідно при нагріванні заевтектоїдна сталь має двофазну структуру аустеніт і цементит вторинний. В процесі охолодження до температури  $A_{r1}$  із аустеніту виділяється цементит за рахунок чого концентрація вуглецю в аустеніті знижується до 0,8%. При температурі  $A_{r1}$  починається розпад аустеніту з утворенням перліту. За рахунок дуже повільного охолодження в області нижче температури  $A_{r1}$  відбувається сфероїдизація цементиту (надлишкового та в складі перліту). В результаті після відпалу заевтектоїдна сталь має структуру зернистий перліт. В цьому структурному стані заевтектоїдна сталь найкраще оброблюється різальним інструментом.

При термічній обробці вуглецевих доєвтектоїдних сталей різновидом відпалу є **нормалізація**, при якій сталь нагрівається до температури  $A_{c3}+30...50^{\circ}\text{C}$ , але після витримки охолоджується на спокійному повітрі. Мета нормалізації – виправлення литої структури, структури перегріву, усунення цементитної сітки і частково для зняття внутрішніх напруг. В результаті нормалізації доєвтектоїдні сталі мають структуру фериту та перліту, але перліт має більш дисперснішу будову ніж після відпалу. Така структура називається **сорбітом** (рис.5.2, б).

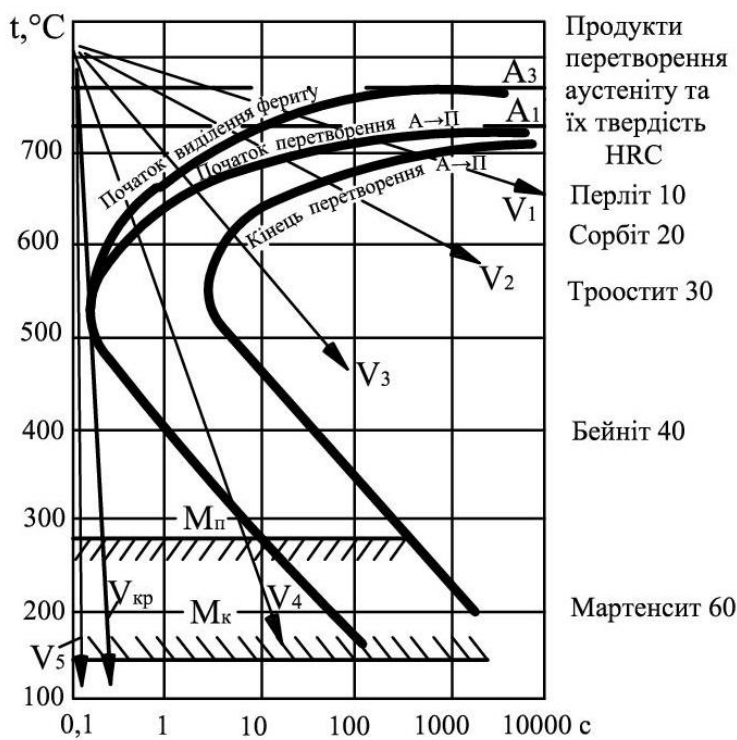


Рисунок 5.1 – Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту для доєвтектоїдної сталі

Заєвтектоїдні сталі для нормалізації нагрівають вище точки  $A_{cm}$  (лінія SE). При цьому при нагріванні сталь отримує однофазну структуру аустеніту. В процесі охолодження при переході через точку  $A_{cm}$  із аустеніту починає виділятися цементит. В умовах підвищеної

швидкості охолодження цементит виділяється у вигляді пластин у тілі зерна, а не у вигляді цементитної сітки по границям зерен, як це має місце при повільному охолодженні.

**Порушення режиму відпалу та нормалізації** приводить до утворення структур, які не забезпечують основної мети цих операції. Нагрівання вище оптимальної температури відпалу, наприклад для доєвтектоїдної сталі на  $100\text{--}200^{\circ}\text{C}$  вище  $A_{c3}$ , а для заєвтектоїдної – вище  $A_{cm}$ , приводить до укрупнення аустенітних зерен з наступним утворенням більш крупних колоній перліту (росте розмір перлітного зерна). Одночасно по границям зерен перліту виділяється в доєвтектоїдній сталі феритна фаза, а в заєвтектоїдній – цементитна.

В тому випадку коли перегрів супроводжується прискореним охолодженням, що особливо характерно для нормалізації, ферит в доєвтектоїдних сталях виділяється у вигляді голок. Такого роду структура називається відманштетовою. Така структура найчастіше утворюється в литих виробках, зварних з'єднаннях, поковках. Сталі, в яких утворилася відманштетова структура, або структура перегріву характеризуються зниженою пластичністю, ударною в'язкістю. Для виправлення такого роду структур виробу повторно піддають відпалу або нормалізації.

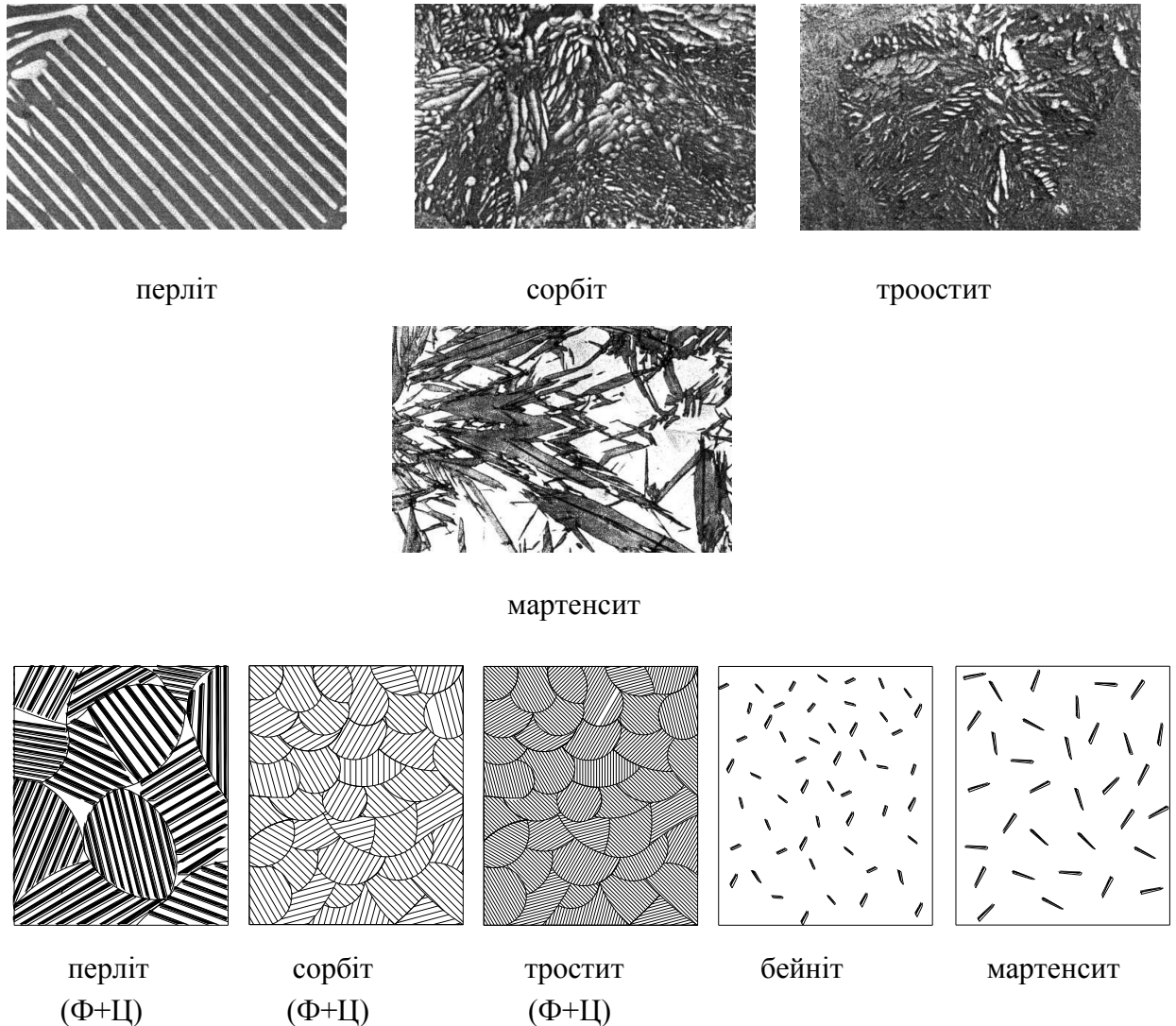


Рисунок 5.2 – Мікроструктури та схеми продуктів перетворення аустеніту, x200

**Гартування** – термічна операція, яка полягає в нагріванні вуглецевої сталі вище критичної температури, витримці й швидкому охолодженні в воді або маслі. Мета гартування – підвищення характеристик міцності, твердості зносостійкості. Найбільш розповсюдженим режимом гартування є: для доевтектоїдних сталей нагрівання до  $A_{c3}+30...50^{\circ}\text{C}$ , евтектоїдних та заевтектоїдних  $A_{c1}+30...50^{\circ}\text{C}$ ).

За діаграмою залізо-цементит видно, що при нагріванні під гартування доевтектоїдна сталь має однофазну аустенітну структуру, а заевтектоїдна – двофазну – аустеніт і цементит вторинний.

При охолодженні доевтектоїдної сталі з аустенітного стану зі швидкістю рівною або більше критичної ( $V_{кр}$  або  $V_5$  рис.5.1) температура сталі знижується настільки швидко, що виділення фериту та утворення перліту шляхом дифузійного розпаду аустеніту не встигає відбутися. В результаті відбувається перебудова кристалічної решітки  $\gamma\text{-Fe}\rightarrow\alpha\text{-Fe}$  по бездифузійному механізму, яке носить зсувний характер і практично реалізується при температурі  $300^{\circ}\text{C}$  та нижче. При цьому вуглець, який

входить до складу переохолодженого аустеніту не виділяється із решітки і утворюється – перенасичений твердий розчин вуглецю в альфа–залізі – **мартенсит гартування**. Таким чином, в пересиченому твердому розчині на основі  $\alpha$ -Fe вуглецю міститься в багато разів більше чим в рівноважному стані. Відповідно кубічна об'ємноцентрована решітка  $\alpha$ -Fe спотворюється – витягується у напрямі одного ребра і приймає форму тетрагональної призми. Відношення довжини витягнутого ребра  $c$  до довжини неспотвореного ребра  $a$  характеризує ступінь тетрагональності ( $c/a$ ) кристалічної решітки. Останній прямо пропорційний концентрації вуглецю. Мартенсит характеризується високою твердістю (50–62 HRC) і міцністю, зниженою пластичністю і підвищеною крихкістю. Будова кристалів мартенситу пластинчаста, а в площі шліфа має вид голок, розміщених під кутами 60 та 120° (рис.5.2, г).

Мартенситне перетворення протікає в інтервалі температур  $M_p$ – $M_k$ , де  $M_p$  – температура початку мартенситного перетворення, а  $M_k$  – температура кінця мартенситного перетворення. Рівень температур  $M_p$  і  $M_k$  знижується із збільшенням вмісту вуглецю в сталі. При концентрації вуглецю у вуглецевій сталі більше 0,6% точка  $M_p$  знижується нижче 0°C. У зв'язку з цим у загартованій сталі при кімнатній температурі зберігається певна кількість так званого *залишкового аустеніту*.

При гартуванні заевтектоїдних сталей, які мають в момент нагрівання структуру аустеніту та цементиту вторинного, в процесі охолодження перетворюється тільки аустеніт. Після гартування заевтектоїдні сталі мають структуру мартенситу та вторинного цементиту і аустеніт залишковий. Голки мартенситу в заевтектоїдних сталях досить дисперсні, це пов'язано з великим вмістом вуглецю.

При охолодженні сталі з аустенітного стану зі швидкостями менше критичної ( $V_2$ ,  $V_3$ ,  $V_4$ , рис.5.1), але вище швидкості, яка забезпечує рівноважний перехід аустеніту в перліт, відбувається перетворення переохолодженого аустеніту з утворенням перлітоутворних структур. Перетворення здійснюється дифузійним шляхом. В результаті перетворення при охолодженні зі швидкостями  $V_2$ ,  $V_3$  має місце утворення нерівноважних ферито-цементитних сумішей. Швидкість  $V_4$  на першому етапі перетворення (до перетину з променя  $V_4$  з лінією  $M_p$ ) забезпечує дифузійне перетворення частки аустеніту в ферито-цементитну суміш. Чим вище швидкість охолодження в області дифузійного перетворення, тим вище дисперсність ферито-цементитної суміші. За ступенем дисперсності в порядку збільшення розрізняють **сорбіт** з міжпластинчастою відстанню  $0,25 \times 10^{-3}$  мм та твердістю 250–300 НВ, і **троостит** з міжпластинчастою відстанню  $0,1 \times 10^{-3}$  мм з твердістю 300–400 НВ. Структуру сорбіт гартування вуглецева сталь частіше отримує і при нормалізації в умовах прискореного переохолодження (на повітрі).

**Відхилення від оптимального режиму гартування** можуть визвати наступні зміни в структурі і властивостях сталі.

Нагрівання доевтектоїдної сталі до температури вище оптимальної (перегрів) супроводжується ростом зерна аустеніту. При охолодженні із

такого стану зі швидкістю більше критичної, формується структура крупногольчатого мартенситу. Сталь, яка має таку структуру характеризується низькою в'язкістю.

Нагрівання при гартуванні до температури нижче оптимальної, наприклад нагрівання доевтектоїдної сталі в діапазоні температур  $A_{c1}-A_{c3}$  приводить до того, що сталь отримує в процесі нагрівання структуру фериту та аустеніту. При цьому в результаті охолодження сталі зі швидкістю більше критичної аустеніт перетворюється в мартенсит, а ферит так і залишається без перетворення. Остаточно сталь отримує структуру мартенситу та фериту. У зв'язку з наявністю в структурі м'яких зерен фериту сталь має знижену твердість.

При оптимальній структурі нагрівання доевтектоїдної сталі, але не достатній швидкості охолодження ( $V_4$  рис.5.1), наприклад у маслі, відбувається часткове перетворення аустеніту в мартенсит, а часткове у ферито-цементитну суміш – троостит. Так як троостит має меншу твердість ніж мартенсит, то і загальна твердість сталі після гартування знижується.

### 5.2. Порядок виконання роботи

1. Одержати один відпалений зразок і п'ять зразків сталі 45 у стані поставки.

2. Визначити параметри термічної обробки: температуру нагрівання  $A_{c3}+30...50^{\circ}\text{C}$ , час витримки і середовище охолодження.

3. Завантажити п'ять зразків в піч з температурою  $A_{c3}+30...50^{\circ}\text{C}$ , витримати й охолодити перший зразок зі швидкістю, яка відповідає нормалізації, другий – гартуванню в маслі та останні три – гартуванню у воді (для проведення на наступному занятті трьох видів відпускання).

4. На всіх термічно оброблених зразках прошліфувати торці (зняти окалину) і визначити твердість на твердомірі ТК-2. Одержані дані занести до табл.5.1.

5. Вивчити і замалювати схеми мікроструктур зразків сталі 45 після термічної обробки.

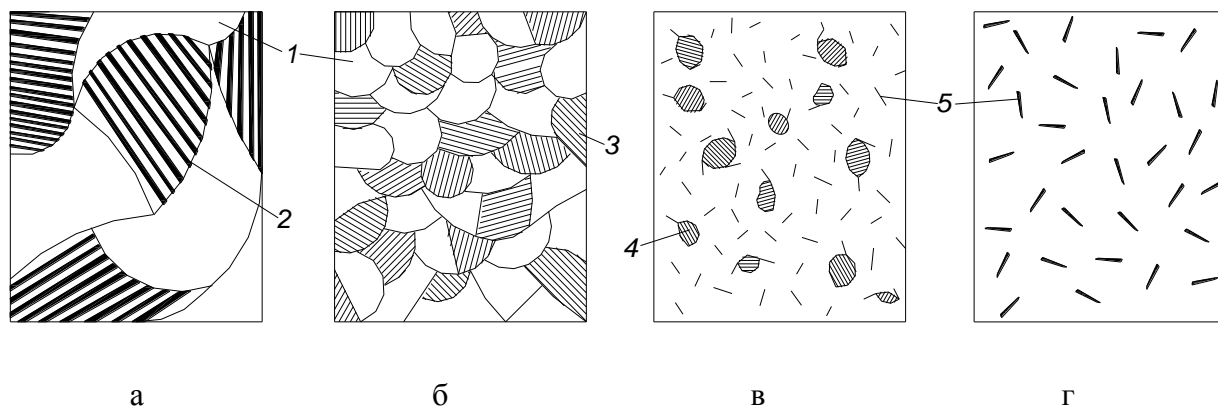


Рисунок 5.3 – Схеми мікроструктур доевтектоїдної сталі 45 після відповідних видів термічної обробки:

а – відпал; б – нормалізація; в – гартування в масло; г – гартування в воду.

1 – ферит; 2 – перліт; 3 – сорбіт; 4 – троостит; 5 – мартенсит

6. Зробити висновки про вплив швидкості охолодження на властивості сталі 45.

Таблиця 5.1. – Дані визначення твердості сталі 45 після відповідних видів термічної обробки

Номер зразка	Вид термічної обробки	Температура нагрівання, °С	Час витримки	Охолоджуюче середовище	Число твердості		
					HRC	HRB	НВ, МПа
1	Відпал			Піч			
2	Нормалізація			Повітря			
3	Гартування			Масло			
4	Гартування			Вода			
5	Гартування			Вода			
6	Гартування			Вода			

### Контрольні запитання

1. Термічна обробка та її параметри.
2. Критичні точки сталей.
3. Визначення структур розпаду аустеніту: перліту, сорбіту, трооститу та мартенситу.
4. Визначення видів термічної обробки (відпалу, нормалізації та гартування) та їх мета.

## Лабораторна робота № 6

### ВІДПУСКАННЯ ЗАГАРТОВАНОЇ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

**Мета роботи** – вивчити вплив температури відпускання на мікроструктуру і властивості загартованої вуглецевої сталі 45.

#### 6.1. Основні положення і зміст роботи

*Відпусканням* називається термічна операція, яка складається з нагрівання **загартованої** сталі до температури нижче критичної точки  $A_{c1}$ , витримки та охолодження.

Сталь після загартування має нестійку нерівноважну напружену структуру мартенситу, що має підвищену крихкість.

Мета відпускання – зняття внутрішніх напруг і надання сталям певних властивостей.

Розрізняють три види відпускання: низько-, середньо- і високотемпературне.

**Низькотемпературне відпускання** для вуглецевих сталей виконується в інтервалі температур 120...200°C. Це відпускання знижує внутрішні напруження в сталі при збереженні високої твердості (58–63 HRC). Після низькотемпературного відпускання загартована на мартенсит сталь має структуру *мартенсит відпускання*. При цьому дифузійні процеси полегшуються, частково вуглець дифундує з кристалічної решітки мартенситу і утворює з залізом метастабільний G-карбід. Ступінь тетрагональності кристалічної решітки мартенситу відпускання значно менший ніж мартенситу гартування.

Низькотемпературне відпускання використовується переважно для інструментів з вуглецевих і низьколегованих сталей, а також для деталей, які підлягають поверхневому гартуванню, цементації і нітроцементації, до яких пред'являють високі вимоги по твердості і зносостійкості.

**Середньотемпературне відпускання** для вуглецевих сталей виконується в інтервалі температур 300–450°C. При цих температурах завершується дифузія вуглецю з кристалічної решітки мартенситу й утворюється ферит та стабільний карбід Fe<sub>3</sub>C. В результаті утворюється структура, яка складається з фериту та дрібних сферичних часток карбідів. Така структура отримала назву *троостит відпускання*. Твердість загартованої сталі при цьому знижується до 40–50 HRC, межа пружності досягає максимальної величини. Середньому відпусканню підлягають ресори, пружини і ударні інструменти.

**Високотемпературне відпускання** для вуглецевих сталей виконується в інтервалі температур 500...650°C. Цей вид відпускання зв'язаний з коагуляцією карбідів. В результаті утворюється ферито-цементитна суміш – *сорбіт відпускання*. Твердість загартованої сталі знижується до 250–350 HB, міцність зменшується в 1,5–2 рази, пластичність і в'язкість збільшуються в декілька разів, внутрішні напруження повністю знімаються. Подвійна обробка типу «гартування + високотемпературне відпускання» називається **поліпшенням**. Поліпшена сталь в порівнянні з відпаленою або нормалізованою має більш високі показники міцності, пластичності і в'язкості. Поліпшенню піддають вироби з конструкційних сталей марок 40, 45, 40X, 40XHM, 40XMФ тощо (напівосі, колінчасті вали, шатуни, поворотні кулаки, важелі, балки передніх осей вантажних автомобілів, а також болти, гайки, гвинти тощо), які сприймають значні ударні та знакозмінні навантаження.

Троостит та сорбіт відпускання за фазовим складом аналогічні структурам гартування та нормалізації, але відрізняються від них тим, що мають зернисту, а не пластинчасту форму.

## **6.2. Порядок виконання роботи**

1. Одержати раніше загартовані три зразки сталі 45.
2. Покласти по одному зразку в термостат з температурою 200°C і муфельні печі з температурою 400 та 600°C для здійснення низько–,



середньо- та високотемпературного відпускання. Час витримки при відпусканні 30 хв.

3. Після відпускання зняти окалину з торців зразків шліфуванням і заміряти твердість по Роквеллу на приладі ТК-2. Одержані результати занести в табл.6.1.

4. За результатами вимірювання твердості побудувати графік впливу температури відпускання на твердість загартованої сталі 45.

5. Зробити висновки про вплив температури відпускання на структуру і властивості загартованої сталі.

Таблиця 6.1. – Дані визначення твердості сталі 45 після відповідних видів відпускання

Номер зразка	Вид відпускання	Температура відпускання, °С	Твердість HRC		мікроструктура
			після гартування	після відпускання	
1	низькотемпературне	200			
2	середньотемпературне	400			
3	високотемпературне	600			

### Контрольні запитання

1. Що таке відпускання? Мета, призначення.
2. Види відпускання. Температура, структура властивості і призначення.
3. Що таке поліпшення?
4. Різниця між ферито-карбідними сумішами, що одержуються при нормалізації та гартуванні і при відпусканні?

## Лабораторна робота № 7

### КЛАСИФІКАЦІЯ, МАРКУВАННЯ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ І СПЕЦІАЛЬНИХ СПЛАВІВ

**Мета роботи** – ознайомитися із класифікацією, маркуванням легованих сталей, вміти розшифрувати марку сталі чи сплаву.

#### 7.1. Основні положення і зміст роботи

Усі сталі можна поділити на *вуглецеві і леговані*.

Вуглецеві сталі різко знижують пластичність і в'язкість із збільшенням вмісту вуглецю, який, однак, підвищує їх твердість.

Загартовані різальні інструменти, виготовлені з вуглецевої інструментальної сталі, не витримують високої швидкості різання, тому що різко втрачають твердість, нагріваючись під час роботи до температури 200 °С. Отже, вуглецева сталь часто не відповідає вимогам відповідального машинобудування та інструментального виробництва. У таких випадках застосовують леговану сталь.

*Легованою* називається сталь, яка містить в собі крім заліза, вуглецю та постійних домішок, легуючі елементи, які змінюють її механічні, фізичні та хімічні властивості. Для легування сталі застосовують хром, нікель, марганець, кремній, вольфрам, молібден, ванадій, кобальт, титан, алюміній,

мідь та інші елементи. Марганець вважається легуючим елементом лише при вмісті його в сталі понад 1 %, а кремній – понад 0,8 %.

Для позначення легуючих елементів узяті такі літери: Х – хром, Н – нікель, Г – марганець, С – кремній, В – вольфрам, М – молібден, Ф – ванадій, К – кобальт, Т – титан, Ю – алюміній, Д – мідь, П – фосфор, Р – бор, Б – ніобій, А – азот, Е – селен, Ц – цирконій, Ч – рідкоземельні метали (лантан та ін.).

Леговані сталі класифікують за такими ознаками:

1. *За основним легуючим елементом:* хромисті; молібденові; нікелеві; хромонікелеві та ін.

2. *За сумарною кількістю легуючих елементів в сталі:* низьколеговані (до 2,5 %); середньолеговані (від 2,5 % до 10 %); високолеговані (понад 10 %).

3. *За структурою після відпалювання:* доевтектоїдні; евтектоїдні; заевтектоїдні; ледебуритні.

4. *За структурою після нормалізації:* перлітного класу; аустенітного класу; мартенситного класу; феритного класу; ледебуритного класу (карбідного).

5. *За призначенням:* конструкційні сталі; інструментальні сталі; сталі з особливими фізико-хімічними властивостями.

Легуючі елементи сталі по-різному взаємодіють із залізом і вуглецем. При цьому, легуючі елементи по-різному впливають на стійкість аустеніту. Одні легуючі елементи роблять аустеніт стійким навіть при кімнатній температурі (такі сталі є аустенітними). Інші, навпаки, можуть зовсім усунути аустенітні перетворення, тому аж до плавлення сталь залишається феритною. Аустенітні і феритні сталі гартування не приймають. Залежно від вмісту легуючих елементів при охолодженні сталі на повітрі може утворитися структура аустеніту, мартенситу, перліту, фериту та ледебуриту. Відповідно до цього сталь поділяють на класи: аустенітний, мартенситний, перлітний, феритний і ледебуритний (карбідний). Наявність карбідного класу характерна для сталі, легованої карбідоутворюючими елементами (наприклад, для виготовлення інструменту).

### **Класифікація та маркування легованої сталі за призначенням**

Залежно від призначення леговані сталі поділяють на *конструкційні, інструментальні і сталі з особливими фізико-хімічними властивостями*.

Конструкційні сталі застосовують для виготовлення деталей машин і будівельних конструкцій. Інструментальні сталі застосовують для виготовлення різальних, вимірювальних, штампових та інших інструментів.

До сталей з особливими властивостями належать нержавіючі, жаростійкі, зносостійкі, з особливими магнітними та електричними властивостями і т.ін.

Конструкційну леговану сталь маркують таким чином: перші дві або три цифри показують вміст вуглецю в сотих долях відсотка, літери – наявність відповідних легуючих елементів; а цифри, що стоять за літерами – процентний вміст цих елементів у сталі. Якщо після якоїсь літери немає цифри, то це означає, що сталь містить даний елемент у кількості до 1 %. Наприклад, марка 40Х означає конструкційну сталь, що містить 0,40 %

вуглецю і до 1 % хрому. Літера Л в кінці будь-якої марки сталі означає, що ця сталь ливарна, тобто деталі з цієї сталі одержують литтям. Якщо сталь високоякісна, то в кінці марки сталі додають літеру А (наприклад, 30ХГСА). Якщо при маркуванні сталі літера А стоїть в середині марки, то це вказує на те, що сталь легована азотом. Треба пам'ятати, що коли літера А стоїть на початку марки сталі (наприклад, А20), це означає, що сталь автоматна. Деталі з цієї вуглецевої сталі виготовляють на верстатах-автоматах і щоб полегшити зняття стружки і виготовити гладку поверхню при обточуванні на верстаті, допускається підвищений вміст фосфору (до 0,15 %) і сірки (до 0,20 %).

Інструментальну леговану сталь маркують таким чином: кількість вуглецю зазначається однією цифрою, що показує вміст вуглецю в десятих частках відсотка (наприклад, 9ХС). Якщо першої цифри немає, то це означає, що сталь містить вуглецю близько 1 % (наприклад, ХВГ). Далі порядок маркування за легуючими елементами такий, як і для легової конструкційної сталі.

Деякі сталі спеціального призначення мають особливе маркування з літер, що ставляться спереду: А – автоматна, Ш – шарикопідшипникова, Р – швидкорізальна, Е – електротехнічна сталь, Є – магнітна.

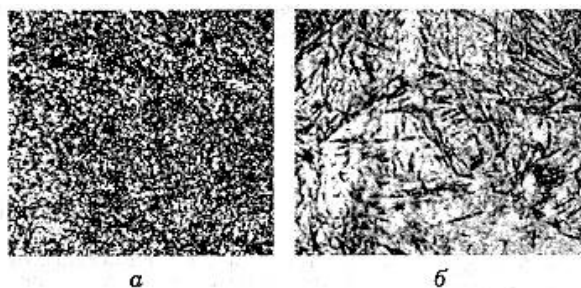


Рисунок 7.1 – Мікроструктура конструкційних сталей:  
а – 60С2А; б – ШХ15СГ

Леговані сталі бувають тільки якісними (вміст шкідливих домішок не перевищує 0,04 % фосфору і 0,04 % сірки) і високоякісними ( $P \leq 0,03 \%$ ,  $S \leq 0,03 \%$ ).

Нестандарті сталі маркують літерами ЕД і ЕП, та номерами. Це означає, що сталь виплавлена на заводі “Електросталь” (літера Е), дослідна (літера Д), або пробна (літера П).

Номер означає черговий номер запису марки сталі у заводському журналі (наприклад, сталь ЕП276 або ЕД269).

Шарикопідшипникові сталі маркують великою літерою Ш, за якою вказують легуючий елемент – хром. Цифра, або цифри за літерою Х означають вміст хрому в десятих частках відсотка, а не в цілих відсотках. Це виняток з правила і це треба пам'ятати (наприклад, ШХ6, ШХ15. Цифри 6 та 15 – це 0,6 % та 1,5 % хрому відповідно).

### Сталі з особливими властивостями

Багато машин мають деталі, до яких ставляться особливі вимоги щодо фізичних та хімічних властивостей: опір корозії і дії хімічних агресивних середовищ – нержавіюча сталь (наприклад, 30Х13), жароміцність (наприклад, 45Х14НІ4В2Н), жаростійкість (наприклад, 40Х9С2), зносостійкість (наприклад, 110Г13Л), особливі магнітні властивості (наприклад, ЕХ3), особливі теплові властивості (наприклад, Н36).

Швидкорізальну сталь маркують літерою Р, за якою йде цифра, чи цифри, які вказують на вміст основного легуючого елемента – вольфраму у цілих

відсотках. Далі порядок маркування за легуючими елементами такий, як і для легованих конструкційних сталей (наприклад, P18K5Ф2 – швидкорізальна, легована інструментальна сталь, яка містить 18 % вольфраму, 5 % кобальту та 2 % ванадію).

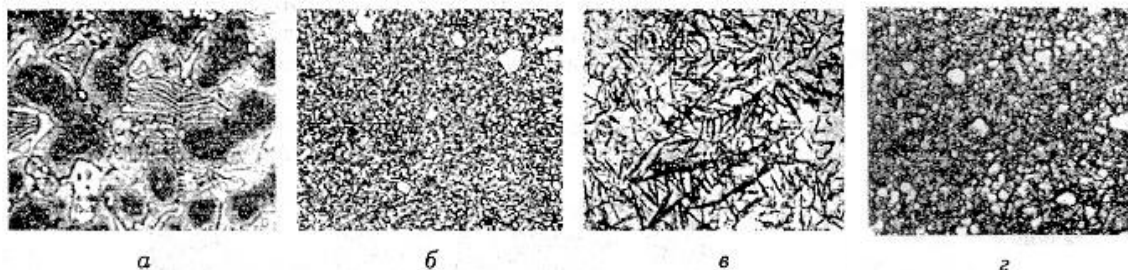


Рисунок 7.2 – Мікроструктура швидкорізальної сталі P18:  
 а – у литому стані; б – після відпалювання; в – після гартування;  
 г – після гартування та трикратного відпускання при 560 °С

### **Тверді інструментальні сплави**

Твердими інструментальними сплавами називають металокерамічні сплави, основною складовою частиною яких є карбіди вольфраму, титану та танталу. Кобальт використовують як сполучний матеріал. Ці сплави застосовують у вигляді пластинок до різального інструменту.

Тверді інструментальні сплави поділяють на 3 групи:

- 1) *карбидовольфрамові* (BK2, BK3, BK6, BK8 та ін.);
- 2) *карбidotитанові* (T5K10, T14K8, T15K6, T30K4 та ін.);
- 3) *карбidotитанотанталові* (TT7K12, TT8K6, TT20K9 та ін.).

Маркують тверді інструментальні сплави таким чином:

BK2 – карбидовольфрамовий твердий сплав, який містить 2 % кобальту, решта (98 %) – карбід вольфраму;

T5K10 – карбidotитановий твердий сплав, який містить 10 % кобальту, 5 % карбідів титану, решта (85 %) – карбід вольфраму;

TT7K12 – карбidotитанотанталовий твердий сплав, який містить 12 % кобальту, 7 % карбідів титану і танталу (разом), решта (81 %) – карбід вольфраму.

#### ***Оснащення робочого місця.***

Металографічний мікроскоп.

Колекція мікрошліфів.

Альбоми та стенди з фотографіями мікроструктур легованих сталей.

Варіанти індивідуальних завдань до лабораторної роботи.

### **7.2. Порядок виконання роботи**

1. Вказати, які літерні позначення легуючих елементів використовуються у маркуванні сталі.

2. Замалювати, розглядаючи під мікроскопом, мікроструктури легованих сталей.

3. Привести основні види конструкційних, інструментальних, нержавіючих, зносостійких сталей і сплавів.

4. Розшифрувати і записати розшифровку марок легованих сталей за індивідуальним варіантом завдання.

5. Привести марки матеріалів, які використовуються для виготовлення основних деталей автомобілів, тракторів і сільськогосподарських машин.

### Контрольні запитання

1. Як класифікують леговані сталі?
2. Як маркують леговані сталі?
3. Галузь застосування легованих сталей.
4. Як класифікують інструментальні сталі і сплави?
5. Що такі тверді інструментальні сплави? Галузь їх застосування.
6. Як маркують сталі та сплави з особливими властивостями?

## Лабораторна робота №8

### СТРУКТУРА, СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТМАС

**Мета роботи** – вивчити структуру, склад, властивості та галузь застосування пластмас.

#### *8.1. Основні положення і зміст роботи*

*Пластмасами* називають неметалеві композиційні матеріали на основі природних або синтетичних високомолекулярних з'єднань (полімерів). Ці полімери називають смолами, молекули яких складаються з великої кількості ланок, зв'язаних у ланцюг. У практиці використовують кілька тисяч пластмас.

Усі пластмаси поділяють на *прості* і *складні*. *Прості* – це полімери без наповнювачів, *складні* – з наповнювачами.

Позитивні властивості пластмас: невелика щільність (0,94–2,3 г/см<sup>3</sup>); високі діелектричні властивості; стійкість проти корозії; низька теплопровідність; гарні антифрикційні і фрикційні властивості; високі технологічні властивості (виготовлення виробів без знімання стружки).

Недоліки пластмас: розм'якшуються і деформуються при нагріванні, при низьких температурах стають крихкими; теплостійкість не перевищує 120°C; мають схильність до набрякання; змінюють властивості під дією атмосферних, температурних і хімічних факторів (старіють).

Велика частина пластмас знаходиться в аморфному стані.

*За хімічним складом* розрізняють пластмаси: фенолформальдегідні, епоксидні, стирольні, поліуретанові, ефірні.

*За складом основної групи* полімери поділяють на 3 групи: органічні, елементоорганічні і неорганічні. Органічні – ланцюг яких має атоми вуглецю, які зв'язані з воднем і киснем (смоли і каучуку). Елементоорганічні – ланцюг, крім атомів вуглецю і водню, має атоми інших елементів

(наприклад, кремнію, титану, алюмінію). Неорганічні – ланцюг не має вуглецю та органічних бічних радикалів. Основою таких полімерів є оксиди кремнію, титану, кальцію (наприклад, силікатне скло, азбест, слюда).

*Наповнювачі* (40–70%) – порошкові, волокнисті, шаруваті, газові. У свою чергу, наповнювачі бувають органічні (дерев'яне борошно, целюлоза) і мінеральні (тальк, цемент, слюдяне борошно, мелений кварц, графіт). Наповнювачі додають для підвищення механічних і одержання спеціальних властивостей, а також для зниження вартості.

*Пластифікатори* (10–20%) – слабо летючі низькомолекулярні речовини (гліцерин, кастрова олія, парафінова олія), що додають для підвищення пластичності (зменшення крихкості) і еластичності.

*Стабілізатори* (декілька %) – речовини, що гальмують руйнування (старіння) полімерів під дією світла, підвищеної температури та інших факторів. До них відносяться сажа, з'єднання олова, свинцю та ін.

*Каталізатори* (отверджувачі) (декілька %) – речовини, що прискорюють або сповільнюють старіння пластмас. Їх уводять тільки в термореактивні пластмаси. Це уротропін, сірка, органічні перекиси.



Рисунок 8.1 – Склад складних пластмас

*Барвники* – охра, крон, сурик.

*Сортамент пластмас.*

На рисунку 8.2 наведений сортамент пластмас.

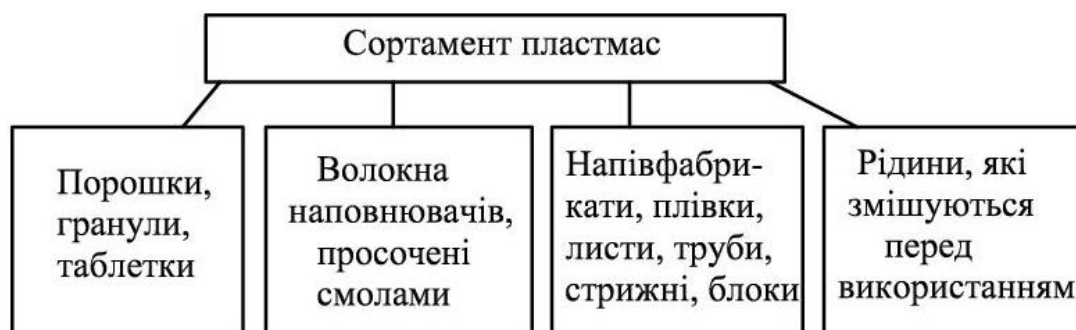


Рисунок 8.2 – Сортамент пластмас

### ***Термопластичні і термореактивні пластмаси***

У залежності від поведінки при нагріванні пластмаси бувають термопластичні і термореактивні. Термопластичні при багаторазовому нагріванні та охолодженні розм'якають, плавляться і знову твердіють. Термореактивні при повторному нагріванні не розплавляються.

#### ***Термопластичні пластмаси***

*Поліетилен* – білий, жирний на дотик, злегка просвічується, легко ріжеться ножом, щільність 0,92–0,96 г/см<sup>3</sup>. теплостійкість 120°C, морозостійкість – до –70°C. виготовляють деталі арматури і сантехніки, труби, стрижні, листи, плівку, водонепроникний одяг, морські канати, ізоляцію кабелів зв'язку, тару (баки).

*Поліпропілен* – (–15°C +140°C). Діелектрик, водо- і хімічностійкий матеріал – деталі автомобілів, корпуси насосів, електроізоляційні деталі, плівки, труби для гарячої води, ємності для збереження агресивних речовин.

*Вініпласт*, інакше, *полівінілхлорид* (поліхлорвініл ПХВ). Аморфний, непрозорий, без пластифікатора, називається вініпласт (0+40°C), із пластифікатором – пластикат (40°C +60°C). Сстійкий до лугів, кислоти, бензину і мастил. Труби, посуд для збереження хімікатів, складні корпусні деталі, штучна шкіра для автопромисловості, ущільнення насосів і компресорів, оболонки електрокабелів.

*Полістирол* – діелектрик, стійкий проти лугів, кислот, спиртів, горючий (0+95°C). Виливки радіо- і телеапаратури, ливарні моделі, бачки.

*Фторопласти*. Фторопласт 3, (+210°C), напівпрозорий, рогоподібний матеріал, хімічностійкий. Деталі насосів, лічильників, арматура, клапани, мембрани, діафрагми, низькочастотні діелектрики. Фторопласт 4 – пухнатий порошок для холодного пресування, не розчиняється в будь-якому розчиннику (не поступається золоту і платині), (–190°C +250°C). Непальний, негігроскопічний, діелектрик; має низький коефіцієнт тертя, невелику твердість. Ущільнюючі прокладки, хімічностійкі труби, крани, електро- і радіотехнічні вироби, мембрани, фільтри, плівки.

*Поліакрилати (органічне скло)*, замітник звичайного силікатного скла, еластичне, більш прозоре і легке, пропускає ультрафіолетові промені. Має високі діелектричні властивості, оливо-, бензо-, водостійке, стійке проти лугів, солей, але розчиняється у вуглеводнях; малотермостійке (+80°C), недостатньо тверде. Скло для літаків, автомашин і вагонів, оптична і годинникова промисловість, посуд, люстри, труби, ємності.

*Полікарбонати* – полімерні ефіри, вуглекислоти і діфеноли (–100°C +130°C). Атмосферно- і водостійкі, стійкі проти кислот, солей, розкислювачів, мастил, вуглеводнів. Руйнуються лугами, бензолом, ацетоном. Шестерні, деталі підшипників, авто- і радіодеталі, деталі електроапаратури.

*Поліамідні смоли* (капрон, енант). Рідкотекучі, здатні кристалізуватися; висока стійкість проти стирання, низький коефіцієнт тертя. Капрон стійкий проти кислот, лугів, розчинників, міцний на розтягування, твердий, еластичний. Деталі вузлів тертя.

### **Термореактивні пластмаси**

*Пластмаси з порошковими наповнювачами.* Як наповнювачі використовують деревне борошно, мелений азбест, кварцове борошно, тальк, мелений шлак, графіт. Пластмаси з порошковими наповнювачами поставляють у вигляді прес-порошків, що легко пресувати в таблетки.

*Пластмаси з волокнистими наповнювачами.* Наповнювачами є бавовняна целюлоза, азбестові і скляні волокна, текстильний дріб'язок або обрізки тканини.

*Волокніт* – фенолформальдегідна основа з наповнювачем з бавовняної целюлози. Удароміцний, крупноволокнистий (кришки, маховики, ручки верстатів і інструментів, різьбові пробки, шківни, шестерні, ролики транспортерів). *Скловолокніт* – наповнювач: скловолокно або скляний дріб'язок. *Склофанера*, хімічностійкі труби і резервуари, залізничні цистерни, електроштити, деталі електро- і радіоапаратури, кузови автомобілів, човнів. *Азбоволокніт* – наповнювач: азбоволокно, мелений кварц та кремнійорганічна смола. Деталі електротехнічного устаткування і приладів.

*Пластмаси із шаруватими наповнювачами.* *Текстоліт* – наповнювач: бавовняна тканина (бязь, батист, шифон, міткаль) + фенолформальдегідна смола (+60°C +155°C) – листи, плити, стрижні, труби, шестірні, вкладиші підшипників, антифрикційні та електроізоляційні матеріали. *Склотекстоліт* – наповнювач: стеклотканина + смоли: фенолформальдегідні, кремнійорганічні, поліефірні, епоксидні – аркуші, плити. *Азботекстоліт* – азбестова тканина, азбокартон + фенолформальдегідна смола – листи, плити товщиною до 60 мм, деталі гальмових пристроїв, фрикційні диски, деталі механізмів зчеплення, прокладки. *Гетинакс* – аркуші паперу + резольна смола, спресовані при температурі 150–160°C і тиску 110–160 кг/см<sup>2</sup> (–50 +70°C) – листи, плити до 50 мм, стрижні і трубки, електропанелі, деталі трансформаторів.

*Деревно-шаруваті пластики (ДСП)* – листи деревного шпону, просочені і склеєні резольними фенолформальдегідними смолами при температурі 150°C і тиску 50 кг/см<sup>2</sup> – листи і плити товщиною до 60 мм, вальці текстильних машин, вкладиші підшипників, деталі високовольтної апаратури, зубчасті колеса в хімічному машинобудуванні.

*Газонаповнені полімерні матеріали.* *Пінопласти* – матеріали з ізольованими порами. *Поропласти* (губки) – матеріали зі сполученими порами. Одержують спінюванням вихідного матеріалу газами, що виділяються при термічному розкладанні спеціальних речовин (порофорів), уведених заздалегідь у композицію. Звукоізоляційний, теплоізоляційний матеріал, для сидінь та спинок м'яких меблів, для плавзасобів.

### **Визначення твердості пластмас**

Твердість вимірюють вдавлюванням сталеві кульки діаметром 5 мм у матеріал, який випробують. Зразок повинен мати форму бруска або пластини товщиною не менше ніж 5 мм та шириною не менше 15 мм, поверхня його має бути гладкою.



Для матеріалів, які мають невелику твердість, значення сили, прикладеної до індентору твердоміра дорівнює 0,49 кН, для твердих пластмас – 2,5 кН. При попередньому навантаженні зразок розмішують на столику твердоміра, обертають штурвал за ходом годинникової стрілки, притискаючи зразок до упору доти, доки не згасне сигнальна лампочка. Після цього прикладають повне навантаження (тривалість витримування зразка під навантаженням – 1 хв). Визначають глибину вдавлювання кульки по індентору твердоміра і знімають попереднє навантаження.

Твердість пластмас визначається за формулою:

$$HB = \frac{P}{\pi Dh},$$

де  $P$  – навантаження, яке прикладається до кульки;

$D$  – діаметр кульки, мм;

$h$  – глибина відбитка кульки, мм.

Для пружних матеріалів, крім твердості, розраховують число пружності  $\Pi$ , яке визначають відношенням пружної деформації до залишкової, %:

$$\Pi = \frac{h - h_0}{h} \cdot 100.$$

Крім глибини відбитка  $h$ , вимірної безпосередньо після зняття навантаження, повторно вимірюють залишкову глибину відбитка  $h_0$  (що зберігається після 2–3 хв).

#### ***Оснащення робочого місця.***

Планшет зі структурами і складом пластмас.

Зразки для випробування пластмас.

Твердомір ХП–50/250.

Штангенциркуль з точністю до 0,05 мм, мікрометр з точністю до 0,01 мм.

### **8.2. Порядок виконання роботи**

1. Дати визначення пластмас, описати позитивні і негативні властивості пластмас.
2. Привести склад пластмас, сортамент.
3. Привести перелік термопластичних і термореактивних пластмас, галузь їх застосування.

#### **Контрольні запитання**

1. Що таке пластмаса? Чим відрізняються прості та складні пластмаси?
2. Що собою являють наповнювачі?
3. Які переваги та недоліки пластмас?
4. Чим відрізняються термопластичні і термореактивні пластмаси?
5. у чому полягає старіння полімерів?
6. Що таке пластифікатори, стабілізатори, каталізатори?
7. Як випробують пластмаси на твердість?

# Лабораторна робота №9

## ПЕРЕРОБКА ПЛАСТМАС У ВИРОБИ

**Мета роботи** – вивчити основні способи перероблення пластмас у вироби у в'язкотекучому, високоеластичному, рідкому та твердому станах.

### 9.1. Основі положення і зміст роботи

Полімери (основа пластмаси) можуть знаходитися в двох агрегатних станах: твердому – аморфному або кристалічному і рідкому – в'язкотекучому. При нагріванні до визначених температур вони розкладаються, минаючи пароподібний стан. З термомеханічної кривої (рис.9.1) видно, що аморфні полімери при температурі  $T_c$  переходять зі скловидного стану у високоеластичний і потім при температурі  $T_T$  – у в'язкотекучий;  $T_x$  – температура початку хімічного розкладання. Виходячи з такої залежності деформації і фізичного стану полімерів від температури, пластмаси переробляють у вироби різними способами у в'язкотекучому, високоеластичному, рідкому і твердому станах, а також зварюють і склеюють.

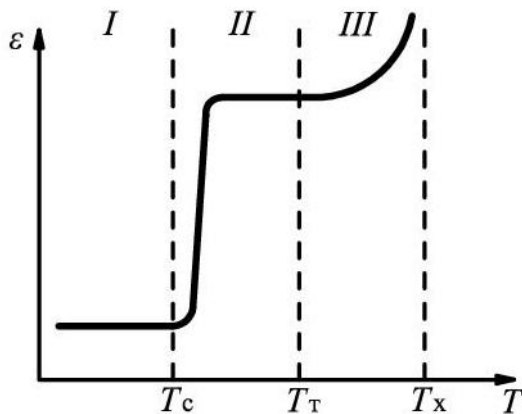


Рисунок 9.1 – Термомеханічна крива аморфного полімера: I–III – зони відповідно скловидного, високо еластичного та вязкотекучого станів

### Перероблення пластмас у в'язко-текучому стані

До основних способів перероблення пластмас у вироби у в'язкотекучому стані відносяться: гаряче пресування, пресування листів і плит, лиття під тиском, видавлювання.

*Гаряче пресування* звичайно застосовують для виготовлення деталей з термореактивних пластмас з порошковими наповнювачами або волокнистими наповнювачами. Гаряче пресування поділяється на пряме та литтєве.

*Пряме пресування* здійснюється звичайно в закритих прес-формах на гідравлічних пресах; тиск на прес-матеріали 2 (рис.9.2, а), розміщені в матриці 1, передається через пуансон 3. При цьому здійснюється власне процес пресування і твердіння пластмаси. Потім пуансон 3 піднімається у вихідне верхнє положення, прес-форма розкривається і готова деталь 4 видаляється за допомогою виштовхувала 5.

*При литтєвому пресуванні* прес-матеріал 4 (рис.9.2, б) завантажують не в матрицю 1 прес-форми, а в завантажувальну камеру 3, що обігривається, де

він переходить у в'язкотекучий стан і потім під тиском пуансона 5 перетікає через пуансон 2 у матрицю 1 прес-форми. Після витримки

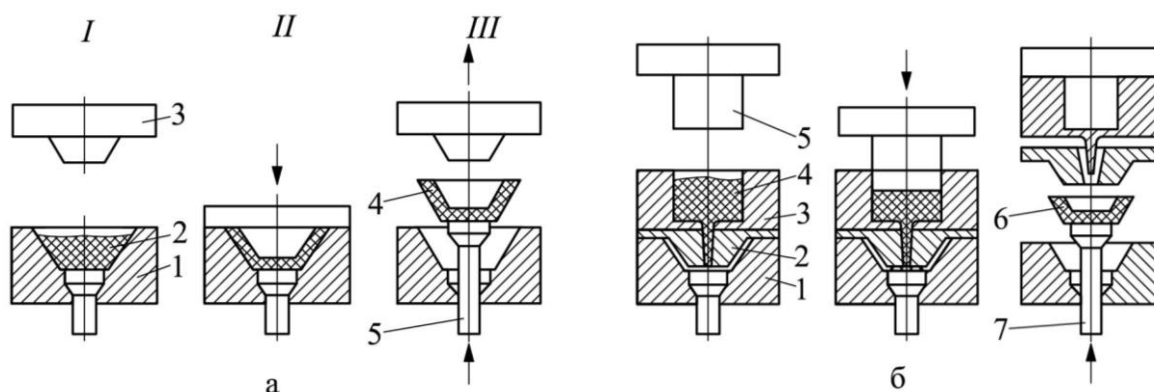


Рисунок 9.2 – Схема прямого (а) і литтєвого (б) пресування:  
I – завантаження прес-матеріалу; II – пресування; III – витягування деталі

протягом часу, необхідного для твердіння прес-матеріалу, прес-форма розкривається при піднятті пуансона 5, завантажувальної камери 3 і пуансон 2 і деталь 6 видаляється з форми за допомогою виштовхувала 7.

Литтєве пресування дозволяє одержувати складні за формою деталі, часто з глибокими отворами і різьбленням, зі складною металевою арматурою.

*Пресування листів і плит* здійснюється на багатоповерхових гідравлічних пресах між плитами, які обігріваються паром та охолоджуються водою. Вихідним матеріалом служать пакети листового наповнювача (паперу, тканини), просоченого фенолформальдегідною смолою. Так одержують гетинакс, текстоліт, азботекстоліт, деревинно-шаруватий пластик, що потім переробляють у деталі обробкою різанням.

*Лиття під тиском* здійснюється на спеціальних автоматичних литтєвих машинах і застосовується, головним чином, для перероблення термопластів: поліетилену, вініпласту, полістиролу, поліамідів. При литті під тиском (рис.9.3) термопласти у вигляді гранул або порошку з бункера 7 подається дозатором 8 у циліндр 5 з електронагрівачем 4. Плунжер 6 переміщає дозу матеріалу в зону нагрівання, матеріал плавиться і через сопло 3 надходить у порожнину 2 прес-форми 1. Після витримання в кілька секунд для твердіння матеріалу (цьому сприяє охолодження прес-форми водою) плунжер 6 повертається у вихідне положення, форма розкривається і виріб за допомогою виштовхувала видаляється.

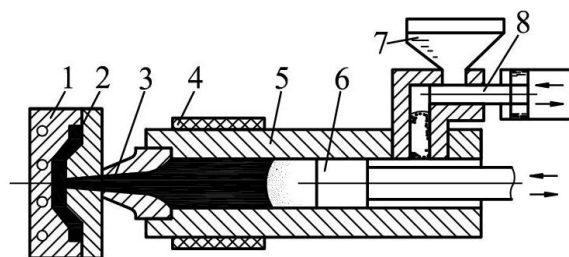


Рисунок 9.3 – Схема лиття під тиском

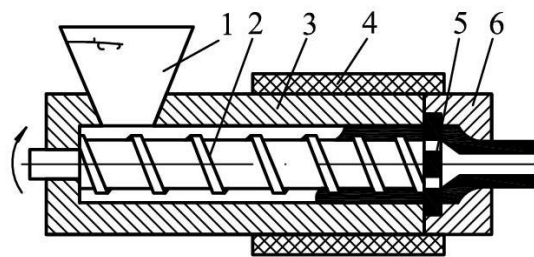


Рисунок 9.4 – Схема безперервного видавлювання

Лиття під тиском характеризується високою продуктивністю: процес одержання виробів триває 5–20 с. Вони мають чисту поверхню, точні розміри і не вимагають додаткової механічної обробки. Литтям під тиском одержують вироби складної форми з різною товщиною стінок, глибокими отворами з різьбленням, ребрами жорсткості масою від декількох грамів до 1 кг.

*Видавлювання, або екструзія*, застосовуються для одержання труб, прутків і профілів різного перетину, плівок, стрічок, нанесення ізоляції на дроти і ін. Видавлювання здійснюється на спеціальних черв'ячних машинах – екструдерах (рис.9.4). Гранульований або порошкоподібний термопласти із бункера 1 надходить у робочий циліндр 3, переміщається черв'яком 2 у зону нагрівача 4, переходить у в'язкотекучий стан і потім безперервно видавлюється через калібрований отвір у голівці 6. Для утворення отвору є оправка 5. Отриманий виріб проходить водяну ванну, потім у залежності від форми і розмірів перетину змотується або розрізається на шматки визначеної довжини.

Різновидом екструзії термопластів є видавлювання листів і плівок. При виробництві плівок екструдюєма труба роздувається стисненим повітрям у рукав визначеного розміру і після обтискання валками намотується у вигляді подвійної плоскої стрічки на барабан. Товщина плівки визначається ступенем роздування і витягування рукава і регулюється швидкістю обертання валків. Цим способом одержують плівку товщиною до 40 мкм.

### **Перероблення пластмас у високоеластичному стані**

У високоеластичному стані переробляють термопласти (целулоїд, оргскло, вініпласт) методом формування з метою одержання великогабаритних виробів.

*Пневматичне формування* являє собою процес, при якому листову заготовку 3 (рис.9.5, а) за допомогою опорного 2 і притисного 4 кілець з гумовими прокладками закріплюють на матриці 1 і нагрівають спеціальним нагрівачем до заданої температури. Потім, опустивши колектор 5, подають у нього стиснуте до 1–2,5 МПа повітря, яке і формує виріб, притискаючи заготовку 3 до поверхні порожнини матриці 1.

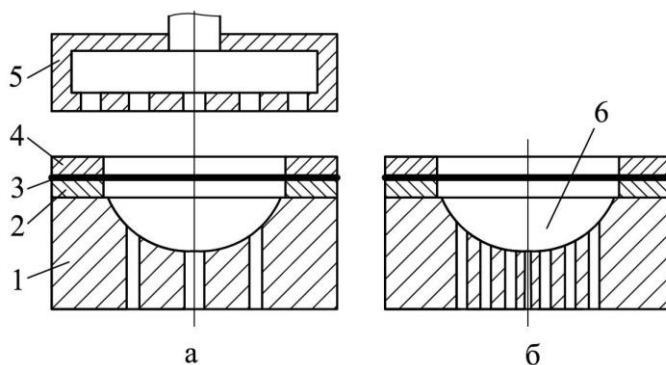


Рисунок 9.5 – Схема пневматичного і вакуумного формування

*Вакуумне формування* застосовують для одержання виробів за формою тіл обертання малої глибини. У цьому процесі (рис.9.5, б) формування виробу здійснюється за рахунок атмосферного тиску в зв'язку з розрідженням, яке утворюється у порожнині між заготовкою 3 і поверхнею матриці 1 при відкачці повітря з порожнини

6. Вакуумне формування відрізняється простотою обладнання і технологічного процесу, однак невеликий перепад тиску обмежує застосування цього способу для одержання простої форми з листової заготовки товщиною до 2 мм.

*Штамування* являє собою формування виробів з нагрітих листових термопластів у формах-штампах при двосторонньому контакті матеріалу з формою, тобто з пуансоном і матрицею. Цей спосіб перероблення пластмас застосовують для одержання неглибоких виробів типу козирків, стекол освітлювальних пристроїв. Тиск при штампуванні листових пластиків звичайно не перевищує 0,05–1 МПа. Тому деталі штампів можуть бути виготовлені як з металів, так і неметалів (текстоліту, деревно-шаруватих пластиків, дерева).

Штамування термопластів може виконуватися в штампах із твердим і еластичним пуансоном і зрозуміле зі схем, приведених на рис.9.6.

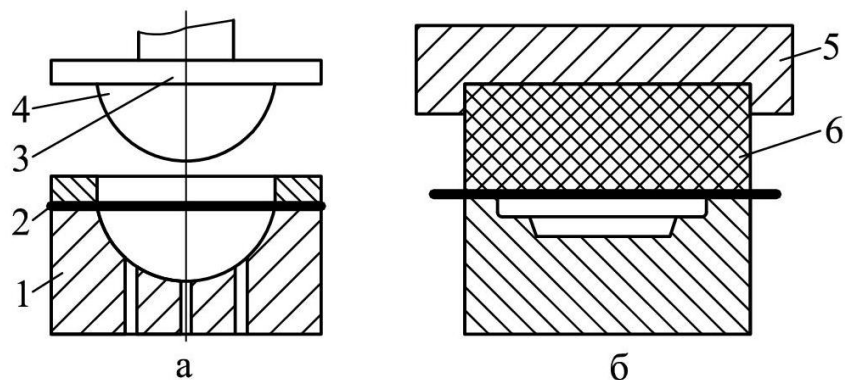


Рисунок 9.6 – Схема штампування твердим (а) і еластичним (б) пуансонами:

- 1 – матриця; 2 – заготовка; 3 – притискне кільце;
- 4 – твердий пуансон; 5 – обойма;
- 6 – еластичний (гумовий) пуансон

### **Виробництво деталей з рідких полімерів**

До основних способів виготовлення деталей зі склопластиків відносяться: контактне формування, вихрове напилювання, відцентрове лиття і лиття без тиску.

*Контактне формування* застосовується для виготовлення зі склопластиків великогабаритних деталей (корпусів човнів і суден, кузовів автомобілів). Формування здійснюють за допомогою дерев'яних, гіпсових, цементних, металевих форм.

Форма для виготовлення великогабаритних деталей зі склопластику звичайно є негативною, тобто її робочі поверхні відповідають зовнішній поверхні деталі. На робочу поверхню форми спочатку наносять розділовий шар (нітролак, полівініловий спирт), а потім шар поліефірної смоли, що згодом утворюють поліровану поверхню виробу. Після деякої витримки на шар укладають і накочують гумовим валиком шар склотканини або скловати. Під тиском ролика смола, що знаходиться під шаром скло наповнювача,

просочується і добре його насичує. Число шарів наповнювача визначається необхідною товщиною готової деталі. Після витримки протягом 10–12 годин при кімнатній температурі деталь твердіє і видаляється з форми.

*Вихрове наплення.* При цьому способі скляне волокно рубається пристроєм і потоком повітря подається по шлангу на поверхню перфорованої форми. Одночасно пульверизатором наносять поліефірну смолу з додаванням отверджувача.

Намотуванням одержують склопластикові труби, намотуючи на оправку просочене смолою скловолокно, скло стрічку або склотканину. Намотування здійснюється на токарних верстатах.

*Відцентровим литтям* одержують порожні деталі у вигляді тіл обертання товщиною до 15 мм, діаметром до 1 м і висотою до 3 м, а також труби з товщиною стінки 5–мм, діаметром 75–120 мм і довжиною до 6 м. для цього в обертову циліндричну форму завантажуються скловолокнистий наповнювач і сполучне. Форма має пристрої, які обігриваються. Деталі і труби, які одержують цим способом, відрізняються доброю щільністю, мають гладкі зовнішні і внутрішні поверхні.

*Лиття без тиску* здійснюється шляхом заливання твердіючих при кімнатній температурі або наступному нагріванні смол у холодні або гарячі форми. Таким способом одержують деталі технологічної оснастки, наприклад, шаблони, пуансони і матриці прес-форм із поліефірних і епоксидних смол.

### **Виготовлення деталей із пластмас у твердому стані**

Велика кількість деталей виготовляється із пластмас у твердому стані: листи, плити, труби, профілі різного перетину. Для цього застосовують розділове штампування та обробку різанням.

*Розділове штампування* включає операції: вирубання, пробивання, обрізання, зачищення. Найбільше застосування з них одержали вирубання та пробивання.

*Обробка різанням.* Пластмаси піддаються усім видам обробки різанням, що виконують на звичайних металорізальних або деревообробних верстатах. Однак особливості будови і фізико-механічні їх властивості вимагають дотримання деяких вимог до технології обробки і конструкції різального інструменту. Його необхідно ретельно заточувати, передні і задні поверхні полірувати, а іноді хромувати й доводити пастами. Через можливе вологовбирання і набрякання при обробці реактопластів із волокнистими і шаруватими наповнювачами охолоджуючі рідини не застосовуються.

Точіння пластмасових деталей здійснюється на звичайних металорізальних верстатах. Для точіння термопластів застосовують різці з інструментальної вуглецевої або швидкорізальної сталі. При точінні термопластів звичайно застосовують охолодження емульсією або водою, при точінні реактопластів (гетинаксу, текстолітів, волокнітів) – стисненим повітрям.

Фрезерування, свердління виконується на металообробних верстатах. Для охолодження інструменту застосовують тиснене повітря (деякі термопласти допускають застосування емульсії).

Свердління отворів, особливо глибоких, у деталях із пластмас викликає певні труднощі. Тому операції свердління бажано виключати, а при необхідності їх виконання – правильно вибирати конструкцію свердла, його матеріал і геометричні параметри, режими обробки, змащення й охолодження зони різання. Охолодження звичайно забезпечується стисненим повітрям, а при свердлінні фенопластів і склопластиків можливе застосування СОР (водний розчин емульсолу).

Шліфування деталей з термопластів проводять сукняними і фланелевими кругами, термореактивні пластмаси – абразивними кругами з м'якою зв'язкою, наждачним папером.

Полірування пластмас виконують на полірувальних верстатах сукняними, бавовняними або байковими кругами.

### **Зварювання і склеювання пластмас**

Зварювання застосовують для одержання нероз'ємних з'єднань деталей з термопластів; склеювати можна пластмаси між собою, а також іншими матеріалами (металами, деревом, тканинами).

*Зварювання пластмас* здійснюють, застосовуючи теплоносії (нагрітий газ або інструмент) або нагріванням СВЧ (струмами високої частоти), ультразвуком, тертям.

Зварювання газовим теплоносієм (рис.9.7) застосовують при виготовленні

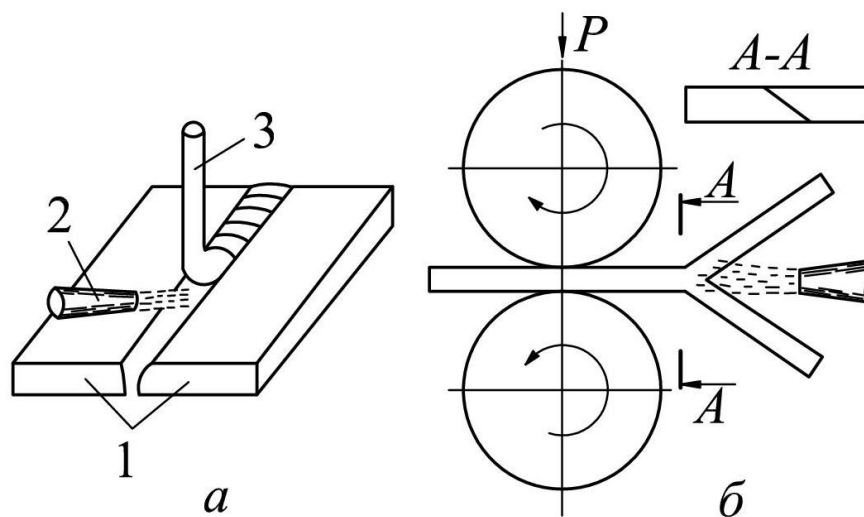


Рисунок 9.7 – Схема зварювання газовим теплоносієм з присадочним (а) і без присадочного (б) матеріалів

труб, корпусів, апаратів, ванн і інших ємностей з листового вініпласту, полістиролу, поліетилену та інших термопластів. Таке зварювання може здійснюватися із застосуванням присадочного матеріалу і без нього. У якості теплоносія використовують повітря, вуглекислий газ, азот. Газ нагрівають у спеціальних зварювальних пістолетах. Зварювання нагрітим інструментом застосовують для з'єднання труб і прутків встик, а також листових і плівкових матеріалів внакладку.

При цьому способі джерелом нагрівання деталей, що зварюються, є нагрітий інструмент (пластина, клин, паяльник), що передає тепло при контакті з матеріалом і розігріває його до в'язкотекучого стану. Після видалення інструменту поверхні деталей, які зварюються стискають, чим і забезпечують їхнє зварювання.

Зварювання тертям пластмас, як і металів, засноване на використанні тепла для розігріву торцевих поверхонь деталей, що зварюються, яке виділяється при їхньому терті. Зварювання труб, прутків здійснюють на спеціальних установках, але можливе застосування для цієї мети і токарних верстатів.

Зварювання з нагріванням СВЧ засноване на використанні тепла, що виділяється за рахунок діелектричних втрат у зоні високочастотного електричного поля. Зварювання з нагріванням СВЧ забезпечує міцність і герметичність швів, високу продуктивність і економічність процесу.

Ультразвукове зварювання пластмас у принципі мало відрізняється від ультразвукового зварювання металів і здійснюється за допомогою магнітострикційного вібратора. При зварюванні ультразвуком матеріал нагрівається тільки в зоні контактуючих поверхонь, що виключає перегрів. Важливою перевагою цього виду зварювання є і те, що його можна здійснювати у важкодоступних місцях.

*Склеювання пластмас.* Технологічний процес склеювання пластмас визначається їхньою хімічною структурою, фізико–механічними властивостями, а також властивостями клеїв. Деталі з термопластів склеюють переважно розчинниками, наприклад, оргскло і вініпласт – діхлоретаном, полістирол – бензолом або розчином цих матеріалів у відповідних розчинниках.

Склеювання поліетилену, поліпропілену, фторопласту ускладнене і вимагає попереднього оброблення поверхонь, що склеюються, розчинами різних реагентів. Після такого оброблення їх склеюють поліуретановими або фенолформальдегідними клеями.

Для склеювання деталей з реактопластів застосовують клеї на основі фенолформальдегідних, поліуретанових, поліефірних, епоксидних і інших смол.

Технологічний процес склеювання деталей складається з підготовки їхніх поверхонь (пригону, очищення) до склеювання і безпосереднього склеювання: нанесення клею, витримування для видалення розчинника, складання деталей і витримування під пресом без нагрівання або з нагріванням.



### **Оснащення робочого місця.**

Планшет з класифікацією основних способів перероблення пластмас у виробі.

Піч лабораторна, прес гідравлічний.

Прес-форма, ковшик мірний.

Порошок чи гранули термопластичної або термореактивної пластмаси.

Секундомір.

### **9.2.Порядок виконання роботи**

1. Навести схему основних способів переробки пластмас у виробі.

2. Визначити повний час витримки  $T$  виробів з поліетилену (або полістиролу) та прес-порошку (наприклад, К-15-2, К-17-2 або К-18-2) у формі за формулою:  $T = \tau \cdot S$ , де  $\tau$  – питомий час витримки у формі, хв./мм. Для полістиролу та поліетилену  $\tau = 1-2$  хв/мм; для прес-порошків –  $1-1,2$  хв/мм.;  $S$  – товщина стінки виробу, мм.

Оптимальні параметри режиму пресування становлять: температура пресування  $t = 140-160^{\circ}\text{C}$  – для поліетилену;  $t = 170-220^{\circ}\text{C}$  – для полістиролу;  $t = 180-200^{\circ}\text{C}$  – для прес-порошків. Тиск пресування  $p = 10-25$  МПа.

3. Розрахувати необхідний манометричний тиск пресування  $p_m$ :

$$p_m = p S_g / S_{nl},$$

де  $S_g$  – площа перерізу виробу, перпендикулярного до напрямку прикладання зусилля пресування,  $\text{м}^2$ ;  $S_{nl}$  – площа поперечного перерізу плунжера преса,  $\text{м}^2$ .

4. Підігріти прес-форму на  $20-25^{\circ}\text{C}$  вище від визначеної температури пресування, засипати необхідну кількість перс-матеріалу, користуючись мірним ковшиком та поставити форму у піч на  $5-7$  хвилин. Провести пресування виробу на пресі, точно витримуючи необхідний манометричний тиск та повний час витримки.

5. Видалити виріб з прес-форми, очистити форму від решток прес-матеріалу. Оцінити якість виробу.

### **Контрольні запитання**

1. Як здійснюють пряме, литтєве пресування та лиття під тиском пластмас?

2. Що таке екструзія?

3. Що являють собою процеси пневматичного та вакуумного формування.

4. Які пластмаси піддають контактному формуванню, вихровому напиленню?

5. Які особливості обробки пластмас у твердому стані?

6. Які існують способи зварювання та склеювання пластмас?

## Лабораторна робота № 10

### ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ

**Мета роботи** – вивчити конструкцію та кінематику токарно-гвинторізного верстату; оволодіти порядком складання паспорта і кінематичних ланцюгів верстату.

#### *10.1. Основні положення і зміст роботи*

##### **Паспорт верстата.**

Паспорт верстата є основним документом у процесі експлуатації та ремонту верстата, при виборі типу верстата для розроблення технологічного процесу, при призначенні режимів оброблення, при проектуванні оснащення і т.ін. Паспорт токарного верстата є документом, у якому наведені основні технічні дані та характеристика верстата. У паспорті наводяться основні параметри супортів, шпинделя, різцевої головки, задньої бабки та інших складальних одиниць (вузлів) верстата. Додатково наводяться відомості з механіки головного приводу і подач, ескізи найважливіших деталей верстата з вказівкою робочого простору та крайніх положень переміщення складальних одиниць (вузлів) і т.п. У паспорті описується комплект пристроїв, приладів та ін., що поставляються разом з верстатом. Наводяться результати випробування токарного верстата на відповідність нормам точності та жорсткості.

Паспорт верстата заповнюється у вигляді таблиці, або послідовними рядками. Заповнення паспорта (основні параметри) вказуються на прикладі токарно-гвинторізного верстата моделі 16К20. Дані наведені курсивом.

Інвентарний номер. Вказується номер верстата за реєстром.

Тип. Вказується різновид верстата: *токарно-гвинторізальний*.

Завод-виробник. Вказується назва заводу та його місце розташування: *"Красный пролетарий", ім. А.І.Єфремова, Москва.*

Модель верстата. Вказується шифр верстата за класифікацією: *16К20.*

Заводський номер. Вказується номер, за яким завод-виробник випустив верстат. Номер списується з верстата: наприклад, *7112577.*

Рік випуску. Вказується рік випуску верстата заводом-виробником: *1989.*

Клас точності. Вказується умовне позначення одного з існуючих класів точності верстатів: Н – нормальної; П – підвищеної; В – високої; А – особливо-високої; С – особливо-точні: *Н.*

Верстат спеціально призначений або пристосований. Вказується спеціалізація верстата: *універсальний токарно-гвинторізальний верстат.*

Маса, кг. Вказується маса верстата, кг: *2310.*

Габарит: довжина, ширина, висота. Вказуються розміри, які вимірюються між крайніми граничними положеннями його рухомих частин. Довжина, мм: *2812*, ширина, мм: *1216*, висота, мм: *1349.*

##### **Основні дані верстату.**

**Основні розміри** (повинні відповідати ГОСТ 18097–88).

Найбільший діаметр виробу, який можна встановити над станиною, мм.  
Зазор між горизонтальною площиною напрямних і діаметром заготовки  $D$ , яку оброблюють, – не більше  $0,04D$  (рис.10.1). Приблизно діаметр  $D$  дорівнює подвійній висоті центрів: 500.

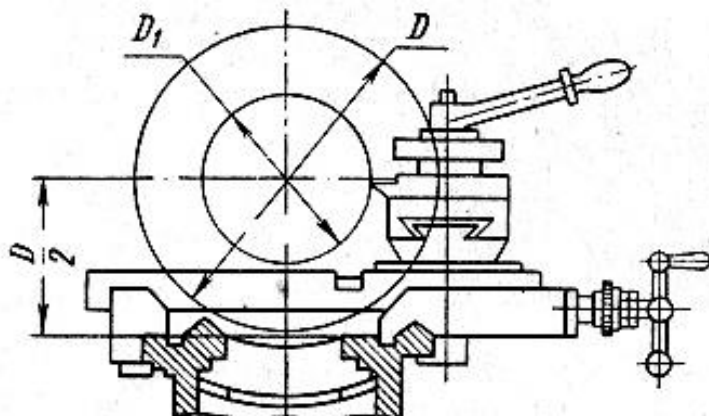


Рисунок 10.1 – Схема визначення висоти центрів токарного верстату

Відстань між центрами, мм. Вимірюється відстань між вістрями центрів при виставленій в крайнє праве положення задній бабці (без провисання напрямних): 1000.

Відстань від лінії центрів до плоскої напрямної станини, мм: 250.

**Розміри виробів, які оброблюються.**

Найбільший діаметр точіння над нижньою частиною супорту.  
Вимірюється згідно рисунку 10.1. Розмір  $D_1$ : 260.

Найбільша довжина обточування, мм. Довжина, яка може бути оброблена при найбільшому ході супорта: 930.

Різьби, які нарізаються:

- метрична – крок у мм: 1 – 192.
- дюймова – кількість ниток на 1": 2 – 24.
- модульна – крок в модулях: 0,5 – 48.
- питчева – в питчах: 1 – 96.

**Супорт:**

Кількість різців у різцетримачі. Вказується максимальна кількість різців у різцетримачі: 4.

Найбільші розміри державки різця, мм. Вказуються найбільші розміри перерізу стандартного стрижня різця, який може бути закріпленим в різцетримачі: 30x30. Найбільш розповсюджені перерізи прямокутних стрижнів наведені в таблиці 10.1.

Таблиця 10.1. – Перерізи прямокутних стрижнів різців

Ширина, мм	В	12	16	20	25	30	40
Висота, мм	Н	20	25	30	40	45	60

Висота від опорної поверхні різця до лінії центрів, мм. Вимірюється по перпендикуляру від лінії центрів до опорної поверхні різцетримача: 30.

Найбільша відстань від лінії центрів до кромки різцетримача, мм.  
 Вимірюється відстань від лінії центрів до кромки різцетримача у крайньому положенні поперечних полозків супорта: 268.

Кількість передніх супортів: 1.

Кількість задніх різцетримачів: 1.

Кількість різцевих головок у супорті: 1.

Найбільше переміщення від руки, по ходовому валу, по ходовому гвинту, мм. Визначається безпосередньо вимірюванням шляху переміщення супорта від однієї крайньої позиції до другої. Механічне переміщення вимикається за 10 мм до кінця можливого ходу. Точність вимірювання 1 мм, із округленням до 0 або 5:

– від руки: повздовжнє 930;

– поперечне 300.

Ціна одного ділення лімба, мм: повздовжнє 1, поперечне 0,05 на діаметр.

Різцеві полозки:

– найбільший кут повороту у градусах. Визначають від нульового положення по шкалі в обидва боки:  $-65^{\circ} \dots +45^{\circ}$ .

– найбільше переміщення у мм: 140.

**Шпиндель:**

Посадочний конус у шпинделі. Звичайно шпинделі верстатів виготовляються з конусом системи Морзе: №6.

Номер конуса Морзе знаходять за таблицею 10.2 на підставі даних вимірювання найбільшого діаметра конічного отвору шпинделя.

Таблиця 10.2.– Розміри отворів для конусів Морзе

№ конуса Морзе	1	2	3	4	5	6
Діаметр отвору, мм	12,239	17,981	24,052	31,544	44,752	53,76

Діаметр отвору, мм. Вказується діаметр отвору шпинделя згідно з рисунком 10.2: 47.

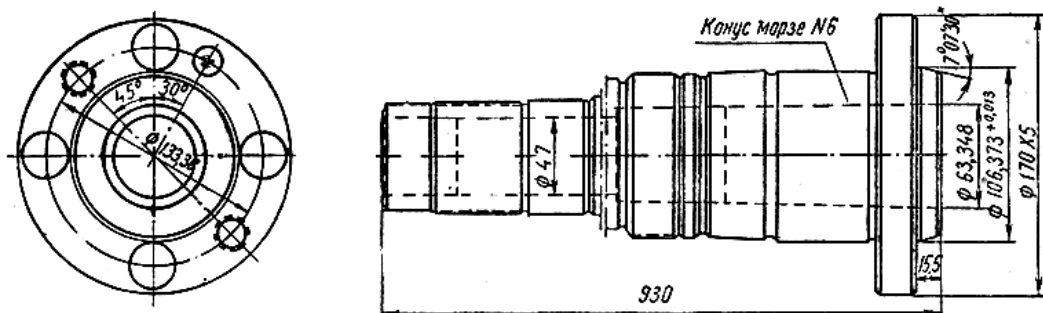


Рисунок 10.2 – Ескіз кінця шпинделя

### **Задня бабка:**

Посадочний конус у пінолі. Знаходять так, як і для шпинделя: *Морзе № 5.*

Найбільше переміщення пінолі, мм. Знаходиться вимірюванням величини переміщення пінолі з одного крайнього положення до другого з встановленим центром: *200.*

### **10.2. Прилади та пристрої до верстату**

Вказуються їх перелік та основні дані, необхідні для використання.

### **10.3. Схема керування верстатом**

Дається схематичний вигляд верстату з боку робочого місця (вклеюється на першій сторінці паспорта). Зображуються всі рукоятки керування верстатом. Кожній рукоятці надається порядковий номер, який виноситься за межі ескізу.

### **10.4. Кінематична схема верстату**

Паспорт верстату повинен обов'язково містити кінематичну схему. Цільове призначення кінематичної схеми – дати повне уявлення про всю механіку верстату, починаючи від електродвигуна та закінчуючи останньою ланкою кожного з наявних у верстаті кінематичних ланцюгів. У відповідності з цим, на схемі показуються електродвигуни, вали, шківні, шестерні, підшипники та інші деталі та механізми, які є частиною кінематичних ланцюгів верстата.

Кінематична схема зображується в одній площині в контурі однієї найбільш показової проекції верстата за загально прийнятими умовними позначеннями.

Якщо при такому умовному зображенні шестерні, що знаходяться дійсно в зачепленні, будуть показані на схемі на відстані одна від другої, то вони повинні бути з'єднані фігурними дужками.

Кінці валів і вали, які розірвані на схемі, з'єднуються між собою пунктирною лінією. При наявності складальних креслень верстату кінематична схема та специфікація до неї складаються на підставі креслень; у протилежному випадку – знімаються з натурі, для чого потрібно часткове розбирання верстата.

Рівняння кінематичного балансу має вигляд:

– для головного руху:

$$n_i = n_{об} \frac{d_1}{d_2} \eta \frac{z_1}{z_2} \dots \frac{z_{n-1}}{z_n}, \text{ хВ}^{-1};$$

– для ланцюга поздовжньої подачі:

$$S_{позд} = 1_{об.ун} \frac{z_1}{z_2} \dots \pi m z_p, \text{ мм/об};$$

– для ланцюга поперечної подачі:

$$S_{поп} = 1_{об.ун} \frac{z_1}{z_2} \dots t, \text{ мм/об},$$

де  $n_i$  – частота обертання шпинделя  $i$ -того ступеня;

- $n_{об}$  – частота обертання вала електродвигуна;
- $d_1$  – діаметр шківів на валу електродвигуна;
- $d_2$  – діаметр шківів на прийомному валу верстата;
- $\eta$  – ккд клинопасової передачі,  $\eta = 0,95 - 0,98$ ;
- $z$  – кількість зубців зубчастих коліс, які входять у кінематичний ланцюг  $i$ -тої ступені;
- $l_{об.шп}$  – один оберт шпинделя;
- $m$  – модуль рейкової шестерні;
- $z_p$  – кількість зубців рейкової шестерні;
- $t$  – крок гвинта поперечної подачі супорта.

### **Оснащення робочого місця.**

Токарно-гвинторізальні верстати моделі 16К20 і 1617.

Вимірювальний інструмент: метр сталевий, рулетка, нутромір, штангенциркуль, різьбомір та ін.

Трьохкулачковий і чотирьохкулачковий патрони, рухомий та нерухомий люнети, планшайба, повідковий патрон, поводок та ін.

Кінематична схема верстата 16К20.

### **10.5. Порядок виконання роботи**

1. Вивчити будову токарно-гвинторізального верстата та ознайомитись із його керуванням.
2. Занести до звіту основні паспортні дані токарного верстату. Виконати необхідні вимірювання на верстаті, занести їх до його паспорту.
3. Ознайомитись з приладдям та пристроями до верстату.
4. Вивчити кінематичну схему верстата. Відкрити коробку швидкостей верстата та ознайомитись з її будовою.
5. Зобразити у коробці швидкостей умовними позначками необхідні вали та зубчасті колеса (за завданням). Проставити кількість зубців на кожному зубчастому колесі.
6. За завданням викладача скласти рівняння кінематичного балансу та розрахувати величини  $i$ -того ступеня головного руху та  $i$ -тої подачі.

### **Контрольні запитання**

1. Які основні частини токарно-гвинторізального верстата та їх призначення?
2. Які операції можна виконувати на токарно-гвинторізальному верстаті?
3. Коли та з якою метою проводиться паспортизація верстатів?
4. Як визначається найбільший діаметр точіння над станиною та висота центрів?
5. Як визначається номер конусу Морзе?
6. Чому станина верстата має дві пари напрямних?
7. Основні пристрої до токарно-гвинторізального верстата.
8. Які передачі застосовуються у верстатах?

9. За допомогою якого механізму змінюється напрям обертання шпинделя?
10. Що є заключною ланкою в кінематичному ланцюзі поздовжньої подачі при точінні та при нарізанні різьби?
11. Як визначається число ступенів коробки швидкостей і коробки подач?
12. Призначення гітари шестерень.
13. Як складаються рівняння кінематичного балансу?

## Лабораторна робота №11

### ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ГЕОМЕТРІЇ БАГАТОЛЕЗОВИХ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

**Мета роботи** – ознайомитися із конструкцією і геометрією осьового різального інструменту, фрези, протяжки; ознайомитися із вимірювальними приладами й методами вимірювання геометричних параметрів різальних інструментів. Виміряти геометричні параметри різальних інструментів за завданням викладача.

#### *11.1. Основні положення і зміст роботи*

Спіральне свердло, як і інші види свердел (перове, свердла для глибокого свердління, центрувальні) призначено для оброблення отворів у суцільному матеріалі, або для розсвердлювання отворів. Досяжна точність при свердлінні: 12–13 квалітет (11 по кондуктору); шорсткість поверхні –  $Ra \leq 10$  мкм.

*Свердло* (рис.11.1, а) складається з таких основних частин: робочої частини –  $l_1$ , різальної частини –  $l_2$ , шийки –  $l_3$ , хвостовика –  $l_4$  та лапки –  $l_5$ .

Свердло має п'ять різальних кромки: два головних різальних леза, кожне з котрих створюється перетином передньої та задньої поверхонь; поперечне різальне лезо, створене перетином обох задніх поверхонь; два допоміжних різальних леза (стрічки), створених перетином передньої поверхні та допоміжної задньої поверхні.

Кут при вершині  $2\varphi$  – кут між головними різальними лезами (рис.11.1, а). Цей кут залежить від властивостей оброблюваного матеріалу. При обробленні сталі, сірого чавуну, твердої бронзи  $2\varphi = 118\text{--}120^\circ$ ; латуні, бронзи, алюмінієвих сплавів  $2\varphi = 105\text{--}115^\circ$ ; пластмас  $2\varphi = 85\text{--}90^\circ$ .

Передній кут  $\gamma$  – кут між дотичною до передньої поверхні в точці, яку розглядають, різального леза та нормаллю в цій же точці до поверхні обертання різального леза навколо осі свердла (рис.11.1, б).

Передній кут розглядається в площині N–N, перпендикулярній до різального леза (рис.11.1, б). По довжині різального леза передній кут  $\gamma$  змінюється: на периферії він більший, до центру свердла він зменшується.

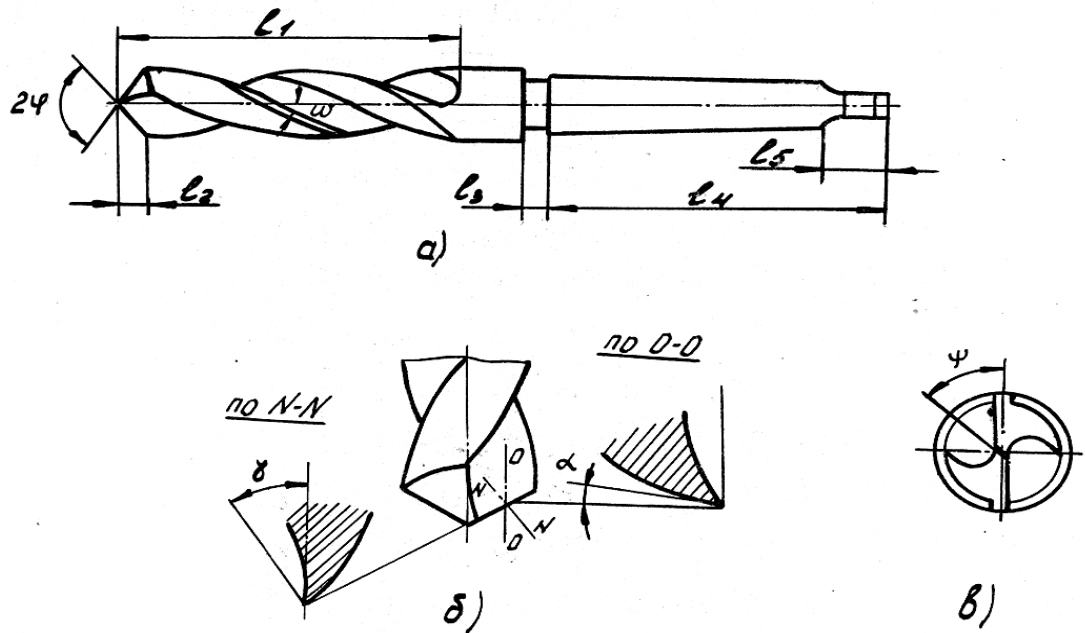


Рисунок 11.1 – Спиральне свердло та елементи його різальної частини

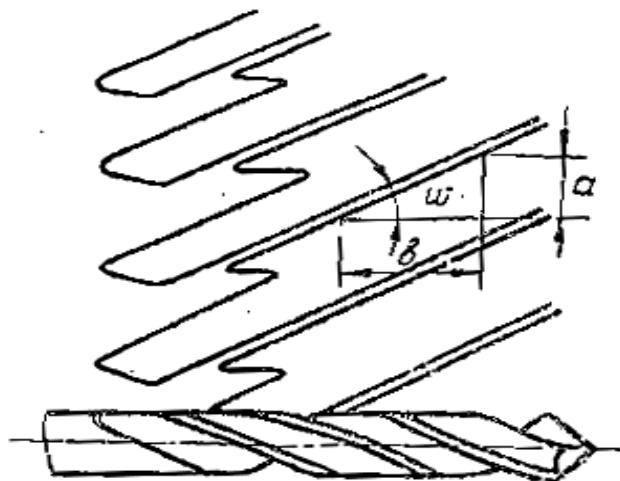


Рисунок 11.2 – Схема розвертки гвинтової стрічки на площину

Задній кут  $\alpha$  – кут між дотичною до задньої поверхні в точці, яку розглядають, різального леза і дотичною в тій же точці до кола його обертання навколо осі свердла (рис.11.1, б). Цей кут розглядається в площині

O–O, дотичній до кола в даній точці та паралельній осі свердла. Він має мінімальне ( $\alpha = 2-6^\circ$ ) значення на периферії і максимальне ( $\alpha = 20-25^\circ$ ) біля поперечного різального леза.



Кут нахилу поперечної різальної кромки  $\psi$  – є гострий кут між проекціями поперечної й головної різальних кромки на площину, перпендикулярну до осі свердла (рис.11.1, в). Звичайно  $\psi = 50\text{--}55^\circ$ .

Кут нахилу гвинтової канавки  $\omega$  – кут між віссю свердла й дотичною до гвинтової лінії по зовнішньому діаметру свердла (рис.11.1, а).

Цей кут береться в межах  $18\text{--}30^\circ$ .

Кут  $\omega$  визначається розверткою гвинтової стрічки на площину. Розвертка отримується шляхом прокатування свердла по паперу через копіювальний папір.

Величина кута вимірюється між лінією, відтиснутою від розвертки гвинтової стрічки та прямою, паралельною осі свердла, за допомогою транспортира або підраховується за формулою:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{a}{b},$$

де  $a$  і  $b$  – катети прямокутного трикутника (рис.11.2).

Зенкери призначені для оброблення отворів, які отримано при литті чи штампуванні заготовок або попередньо просвердлених, з метою надання їм більш високої точності та зменшення шорсткості. Зенкер забезпечує оброблення отворів за 10 і 11 квалітетами та шорсткість поверхні  $R_z = 10\text{--}2,5$  мкм.

Зенкери бувають: суцільні, насадні, трьохперові та чотирьохперові.

Зенкер (рис.11.3, а) складається з таких основних частин: робочої частини –  $l_1$ , різальної частини  $l_2$ , напрямної частини  $l_3$ , шийки  $l_4$ , хвостовика  $l_5$  і лапки  $l_6$ .

Передній  $\gamma$  і задній  $\alpha$  кути зенкера вимірюються в площині, перпендикулярній головній різальній кромці (рис.11.3, б).

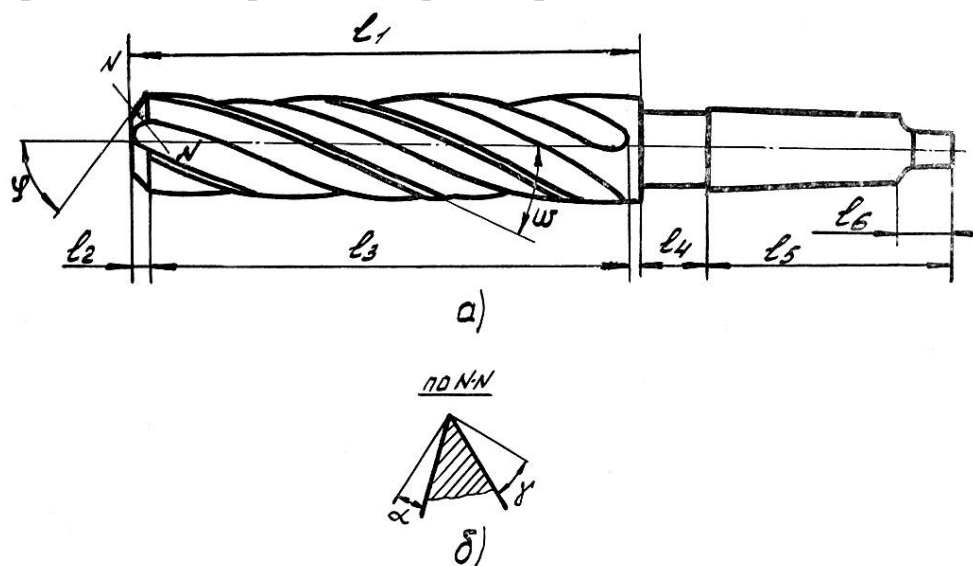


Рисунок 11.3 – Зенкер та елементи його різальної частини

Кути  $\alpha$  і  $\gamma$  залежать від властивостей матеріалу, який оброблюється та матеріалу різальної частини зенкера:

– для зенкерів, виготовлених зі швидкорізальної сталі, при обробленні сталі  $\gamma = 8-15^\circ$ ; при обробленні сірого чавуну  $\gamma = 6-8^\circ$ ; при обробленні кольорових металів  $\gamma = 25-30^\circ$ ;

– для зенкерів, оснащених пластинами твердих сплавів, при обробленні сірого чавуну  $\gamma = 5^\circ$ ; при обробленні сталі  $\gamma = 0-5^\circ$ .

Розвертки застосовують для остаточного оброблення отворів. Розвертки забезпечують оброблення отворів за 7–8 квалітетом і шорсткість поверхні  $Ra = 1,25-0,32$  мкм.

Розвертки поділяються на машинні та ручні. За конструкцією хвостовика – на розвертки з циліндричними та конічними хвостовиками; за формою отвору, що оброблюється – на циліндричні й конічні; за способом кріплення – на хвостові й насадні; за розташуванням зубців – із прямими та гвинтовими (спіральними) зубцями.

Хвостова циліндрична розвертка (рис.11.4, а) складається з робочої частини  $l_1$ , забірною конусу  $l_2$ , різальної частини  $l_3$ , калібрувальної частини  $l_4$ , шийки  $l_5$ , хвостовика  $l_6$ , лапки  $l_7$ .

Передній кут  $\gamma$  у чистових розверток із швидкорізальних сталей  $\gamma = 0^\circ$ ; у чорнових  $\gamma = 5-10^\circ$ ; у твердосплавних  $\gamma = 0-5^\circ$ .

Задній кут на різальній та калібрувальній частинах  $\alpha = 6-10^\circ$  (рис.11.4, а, б).

У ручних розверток кут  $\varphi = 30'-1^\circ30'$ , у машинних – при обробленні сірого чавуну  $\varphi = 3-5^\circ$ .

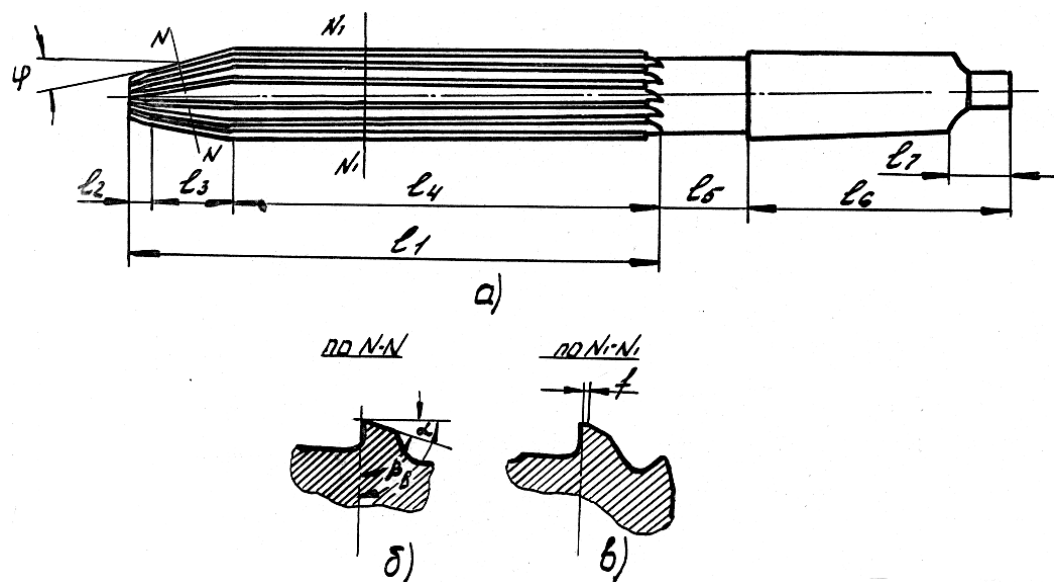


Рисунок 11.4 – Хвостова циліндрична розвертка та елементи її різальної частини

Для твердосплавних розверток  $\varphi = 30 - 45^\circ$ . На калібрувальній частині розвертки виконується циліндрична фаска шириною 0,08–0,5 мм у залежності від діаметру розвертки (рис.11.4, в).

Розвертки зі спіральним зубом використовуються при розвертанні переривчастих поверхонь (наприклад, шлицьових отворів або отворів зі

шпоночними пазами). При розвертанні пластичних матеріалів, аби запобігти огранюванню отвору, використовують розвертки зі змінним окружним кроком зубців.

*Фреза* це різальний інструмент у вигляді тіла обертання. Різальні зубці можуть розташовуватися на поверхні обертання фрези та (або) на торці.

Фрези класифікуються за різними ознаками:

- за способом кріплення: насадні і хвостові;
- за конструкцією фрези – суцільні, збірні;
- за розташуванням зубців відносно фрези: циліндричні, конічні (кутові), торцеві, фасонні;
- за розташуванням різальної кромки відносно осі фрези: з прямим і гвинтовим зубом;
- за конструкцією зуба – затиловані (рис.11.5, а) і незатиловані (рис.11.5, б).

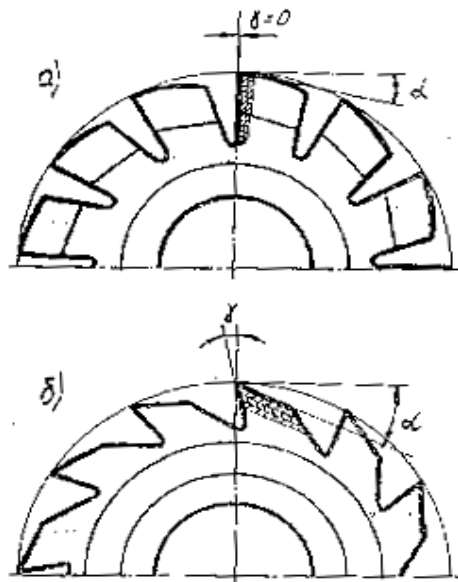


Рисунок 11.5 – Елементи геометрії зубця фрези

Усі фасонні фрези виробляються затилованими. Особливістю їх геометрії є те, що передній кут  $\gamma$  дорівнює нулю, а задня поверхня виконується за архімедовою або логарифмічною спіралями.

Затиловані фрези заточуються по передній поверхні. Ці фрези мають меншу стійкість, вони більш складні у виготовленні, але при їх переточуванні зберігається постійний профіль різальних кромки. Незатиловані фрези заточуються по задній поверхні. При їх виготовленні та заточуванні труднощів не виникає; вони мають високу стійкість.

На рисунку 11.6, а показані основні розміри та елементи, якими характеризується циліндрична насадна фреза: зовнішній діаметр  $D$ , ширина фрези  $L$ , діаметр насадного отвору  $d$ , крок зубців  $t$ , кут нахилу зубів  $\omega$ .

Передній  $\gamma$  і задній  $\alpha$  кути (рис.11.6, б) вимірюються в площині, перпендикулярній зубу фрези.

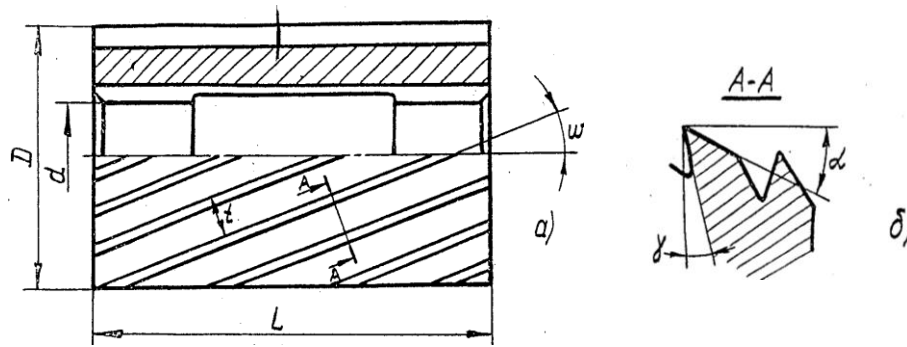


Рисунок 11.6. Циліндрична фреза та елементи її різальної частини

Фрези із гвинтовими зубцями більш плавні в роботі, забезпечують більш якісну поверхню, більш стійкі, однак, у порівнянні з прямозубими, більш складні у виготовленні.

*Протяжка* це багатолезовий інструмент, призначений для обробки зовнішніх та внутрішніх поверхонь. На рисунку 11.7 показані основні частини та елементи циліндричної протяжки:  $l_1$  – замкова частина (хвостовик),  $l_2$  – шийка,  $l_3$  – передня напрямна частина,  $l_4$  – різальна частина,  $l_5$  – калібрувальна частина,  $l_6$  – задня напрямна частина.

Кожний наступний зуб протяжки більший попереднього на величину  $S_z$  – підйому на зуб. Величина  $S_z$  при протягуванні є подачею і вибирається при конструюванні протяжки за довідником у залежності від матеріалу, що оброблюється; має розмірність мм/зуб. Звичайно приймається  $S_z = 0,01 - 15$  мм/зуб.

Середню величину подачі на реальній протяжці можна визначити за формулою:

$$S_z = \frac{d_n - d_k}{2z}, \text{ мм/зуб.}$$

де  $d_n$  – діаметр останнього різального зуба;

$d_k$  – діаметр першого різального зуба;

$z$  – кількість зубців.

Крок зубців у мм (відстань між сусідніми різальними лезами) вимірюється за допомогою штангенциркуля або визначається за формулою:

– різальних зубців  $t_{ріж} = (1,25-1,5) \sqrt{L_{дет}}$ ,

– калібрувальних зубців  $t_{кал} = (0,6-0,8)t_{ріж}$ .

Передній кут  $\gamma$  вибирається в залежності від фізико-механічних властивостей матеріалу, який оброблюється, в межах  $5-20^\circ$ . Зі збільшенням в'язкості матеріалу цей кут збільшується. Передній кут на калібрувальних зубцях  $\gamma = 0-5^\circ$ .

Задній кут  $\alpha$  залежить від умов роботи та від вимог точності оброблення.

Для протяжок, які оброблюють внутрішні поверхні, знаходиться в межах

$2-4^\circ$ , зовнішні – в межах  $5-10^\circ$ .

На калібрувальних зубцях задній кут  $\alpha = 30'-2^\circ$ . На калібрувальних зубцях виконують стрічку шириною  $f = 0,2-1$  мм.

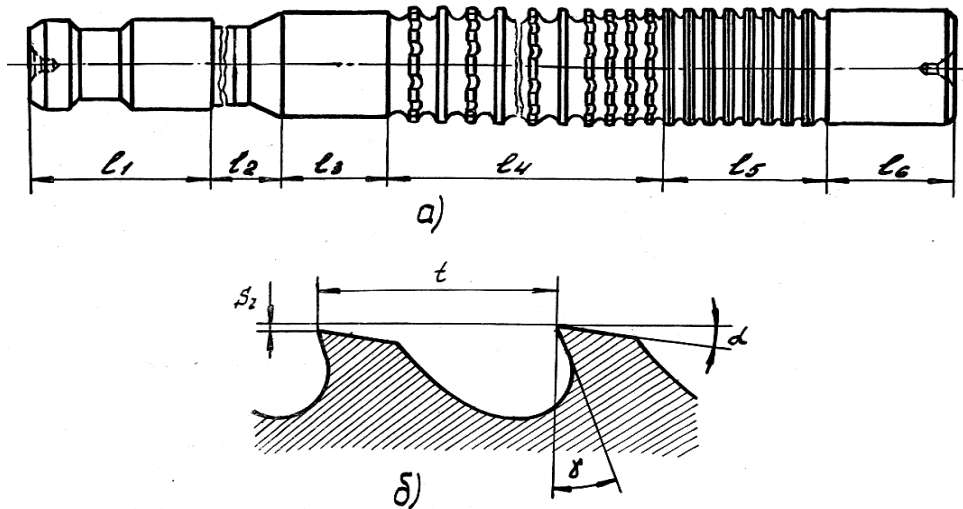


Рисунок 11.7 – Циліндрична протяжка та елементи її різальної частини

### Оснащення робочого місця.

Свердла.

Зенкери.

Розвертки.

Фрези.

Циліндрична протяжка.

Штангенциркуль ШЦ I –125–0,1.

Мікрометр МК 0–25 ГОСТ 6507–78.

Оптичний кутомір.

Кутомір маятниковий.

Мікроскоп БМИ – 1 ГОСТ 5.188–72.

### 11.2. Порядок виконання роботи

1. Вивчити конструкцію спірального свердла, на ескізі позначити його основні частини, провести вимірювання:  $\alpha$ ,  $2\varphi$ ,  $\omega$ .
2. Вивчити конструкцію зенкера, на ескізі позначити його основні частини, провести вимірювання:  $d$ ,  $\varphi$ ,  $\omega$ ,  $\gamma$ ,  $\alpha$ .
3. Вивчити конструкцію циліндричної розвертки, на ескізі позначити її основні частини, провести вимірювання:  $d$ ,  $2\varphi$ ,  $\gamma$ ,  $\alpha$ .
4. Вивчити конструкцію циліндричної фрези з спіральним зубом, на ескізі позначити її основні частини, провести вимірювання:  $D$ ,  $d$ ,  $L$ ,  $t$ ,  $\omega$ ,  $\gamma$ ,  $\alpha$ .
5. Вивчити конструкцію циліндричної протяжки, на ескізі позначити її основні частини, провести вимірювання:  $d_H$ ,  $d_K$ ,  $Sz$ ,  $\alpha_P$ ,  $\alpha_K$ ,  $\gamma$ ,  $t_P$ ,  $t$ .

### Контрольні запитання

1. Які бувають свердла?
2. Як закріплюються свердла при роботі на вертикально-свердлильному верстаті?

3. За рахунок чого зенкер може виправити похибки отвору, одержаного свердлінням?
4. Яке призначення розверток зі спіральним зубом?
5. За якими ознаками класифікуються фрези?
6. По якій поверхні заточується затилована фреза?
7. В чому полягає перевага фрези зі спіральним зубом перед прямозубою фрезою?
8. Як визначити кількість різальних зубців протяжки?
9. Яку конфігурацію та розміри в поперечному перерізі має передня напрямна частина протяжки?

## Лабораторна робота № 12

### ВИВЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТОКАРНОГО РІЗЦЯ

**Мета роботи** – ознайомитися з основними видами різців, вивчити геометричні параметри різців, вивчити методи та засоби вимірювання кутів.

#### *12.1 Основні положення і зміст роботи*

**Класифікують різці** за такими ознаками:

- а) за видом оброблення – прохідні, підрізні, відрізні, упорні, прорізні, розточні, різьбові, галтельні, фасонні;
- б) за перерізом стрижня – прямокутні, квадратні, круглі;
- в) за конструкцією – суцільні, з привареною встик головкою, з припаяною пластинкою, з механічним кріпленням пластинки;
- г) за положенням головної різальної кромки – праві, ліві;
- д) за формою головки – прямі, відігнуті вправо чи вліво, відтягнуті, вигнуті;
- е) за маркою інструментального матеріалу.

**Поверхні при обробленні різцями** (рис.12.1)

*Оброблювальна поверхня 1* – поверхня, з якої знімається стружка.

*Оброблена поверхня 2* – поверхня після проходу різального інструмента.

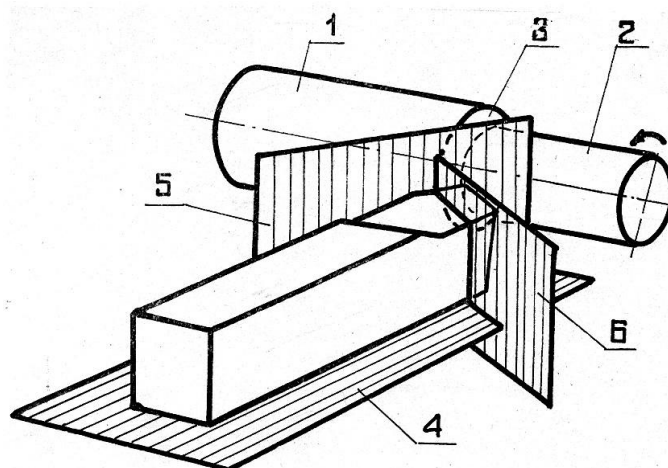


Рисунок 12.1 – Поверхні та площини при різанні

*Поверхня різання 3* – поверхня, яка відтворюється різальною кромкою різця внаслідок сумарного руху – головного руху та руху подачі.

### **Площини при різанні (рис.12.1)**

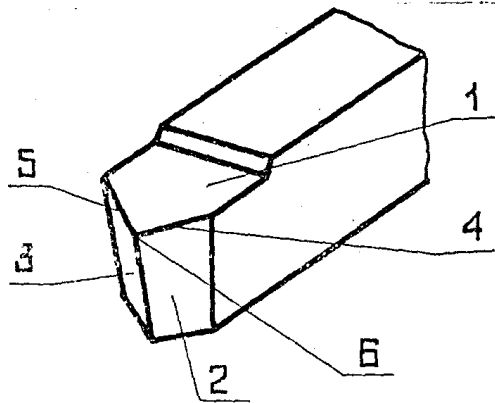
*Основна площина 4* – координатна площина, паралельна поздовжньому й поперечному переміщенням різця під час роботи верстата (для вимірювання кутів різця площина зміщена на нижню площину різця).

*Площина різання 5* – координатна площина, дотична до поверхні різання, проходить через головну різальну кромку.

*Головна січна площина 6* – координатна площина, перпендикулярна лінії перехрещення основної площини та площини різання.

### **Елементи головки різця (робочої частини) (рис.12.2)**

Головка різця утворюється заточкою трьох поверхонь:



– *передня поверхня 1* – поверхня по якій сходять стружка;

– *головна задня поверхня 2* – поверхня, яка звернена до необробленої поверхні заготовки;

– *допоміжна задня поверхня 3* – поверхня, яка звернена до обробленої поверхні заготовки.

*Головна різальна кромка 4* утворюється перетином головної задньої та передньої поверхонь і формує більшу сторону перерізу зрізуваного шару.

*Допоміжна різальна кромка 5* утворюється перетином допоміжної задньої

Рисунок 12.2 – Головка різця та її елементи

та передньої поверхонь і формує меншу сторону перерізу зрізуваного шару.

*Вершина 6* – точка перетину передньої та двох задніх поверхонь або різальних кромки.

### **Геометричні параметри токарного прохідного різця (рис.12.3)**

Кути в головній січній площині:

$\gamma$  – *передній кут* – кут між передньою поверхнею різця та основною площиною, проведеною через точку різальної кромки, яка розглядається. Передній кут знаходиться у діапазоні  $\gamma = 5...20^\circ$  – оброблення конструкційних сталей, бронзи, алюмінієвих сплавів, сірих чавунів,  $\gamma = -3...-5^\circ$  – точіння важкооброблюваних матеріалів і білих та відбілених чавунів;

$\alpha$  – *головний задній кут* – кут між головною задньою поверхнею і площиною різання. Призначення головного заднього кута – зменшення тертя по задній поверхні. Звичайно його приймають у діапазоні  $\alpha = 6 - 12^\circ$ .

$\beta$  – *кут загострення* – кут між передньою й задньою поверхнями різця;

$\delta$  – *кут різання* – кут між передньою поверхнею й площиною різання.

Співвідношення між головними кутами різця такі :

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ ; \quad \alpha + \beta = \delta ; \quad \delta + \gamma = 90^\circ$$

Кути у допоміжній січній площині:

$\alpha_1$  – допоміжний задній кут – кут між допоміжною задньою поверхнею та площиною, проведеною через допоміжну різальну кромку перпендикулярно основній площині. Призначення його таке ж, як і кута  $\alpha$ . Чисельно  $\alpha \approx \alpha_1$ .

Кути в плані:

$\varphi$  – головний кут в плані – кут між площиною різання і напрямом руху подачі. Головний кут у плані  $\varphi$  може приймати значення  $\varphi = 0 - 110^\circ$ .

$\varphi_1$  – допоміжний кут в плані – кут між проекцією допоміжної різальної кромки на основну площину і напрямом, протилежним руху подачі.  $\varphi_1 = 0 - 45^\circ$ , частіше  $\varphi_1 = 12 - 15^\circ$ ;

Переріз по допоміжній січній площині

Переріз по головній січній площині

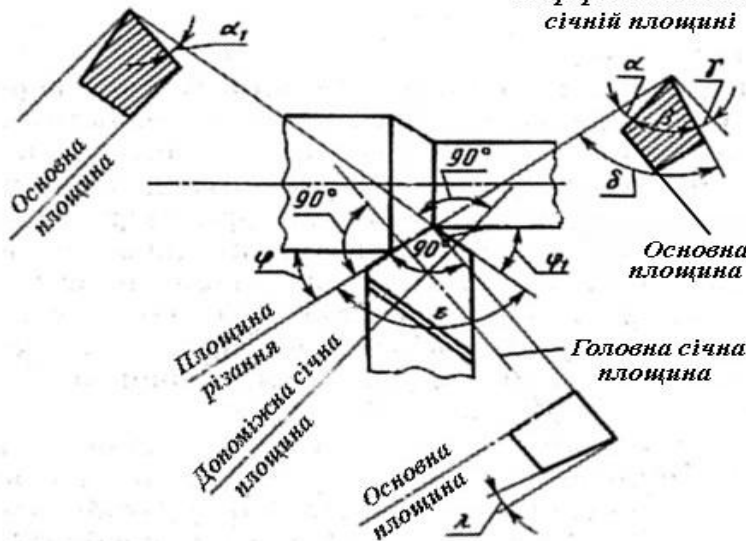


Рисунок 12.3 – Геометрія різця

$\epsilon$  – кут при вершині – кут між проекціями різальних кромки на основну площину. Кути в плані пов'язані залежністю:  $\varphi + \varphi_1 + \epsilon = 180^\circ$ .

$\lambda$  – кут нахилу головної різальної кромки (рис.12.4) – кут у площині різання між головною різальною кромкою та лінією, проведеною через вершину різця паралельно основній площині.

Цей кут може бути додатним і від'ємним. Знак кута визначається так: якщо різальна кромка від вершини різця іде вгору, то кут додатний, вниз – від'ємний, а якщо вона паралельна основній площині, то  $\lambda = 0$ . Кут  $\lambda$  впливає на напрям сходу стружки.

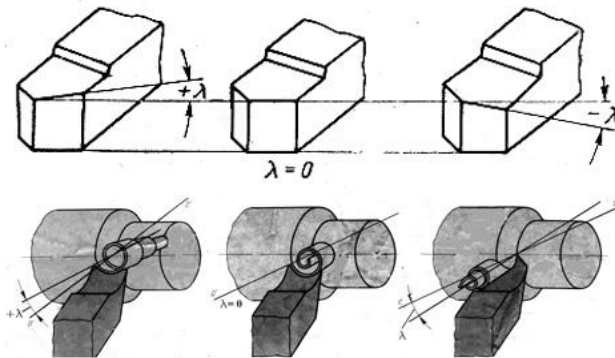


Рисунок 12.4 – Кути нахилу головної різальної кромки та їх вплив на напрям сходу стружки

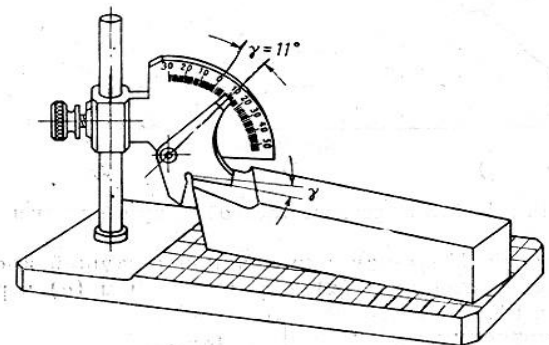


Рисунок 12.5 – Схема вимірювання кутоміром МИЗ



### **Оснащення робочого місця.**

Набір токарних різців.

Плакати зі зображенням поверхонь та площин різання.

Плакати зі зображенням головок різців різних видів.

Макет головки різця.

Переносний тренажер.

Настільний і оптичний кутоміри, великий інструментальний мікроскоп БМИ–І.

### **12.2. Порядок виконання роботи**

1. Для кожного з наявних в наборі різців дати повну класифікацію за всіма приведеними вище ознаками. Для кожного з них визначити поверхні, площини та елементи головки.

2. Вивчити основні координатні поверхні та площини, відносно яких визначаються кути різця. Для одного різця (за завданням викладача) виконати ескіз різця в процесі різання з визначенням усіх необхідних поверхонь, площин і кутів.

3. Вивчити будову універсального, маятникового, оптичного кутомірів і великого інструментального мікроскопа. На різці виконати вимірювання усіх кутів і результати вимірювання занести до протоколу звіту (таблиця 12.1).

Таблиця 12.1. – Кути різця та засоби їх вимірювання

Вимірюваний кут		Вимірювальний інструмент	Засоби вимірювання
Назва	Сим-вол		
1	2	3	4
Передній кут	$\gamma$	Кутомір МИЗ	Кутомір (рис. 11.5) встановлюється в головній січній площині. Різець устанавлюється на основу кутоміра, визначається кут між передньою поверхнею різця та основною площиною.
Головний задній кут	$\alpha$		Установка кутоміра і різця попередня. Визначається кут між головною задньою поверхнею і площиною різання.
Кут загострення	$\beta$	Універсальний кутомір	Кут обчислюється $\beta = 90 - (\alpha + \gamma)$ .
Кут різання	$\delta$		Кут обчислюється $\delta = \alpha + \beta$
Головний кут у плані	$\phi$	Універсальний кутомір, оптичний або БМИ	Кутомір устанавлюється в площині, паралельній основній площині. Визначається кут між проекцією головної різальної кромки на основну площину і рухом подачі

Допоміжний кут у плані	$\varphi_1$		Установка кутоміра попередня. Визначається кут між проекцією допоміжної різальної кромки на основну площину руху подачі
Кут при вершині	$\varepsilon$		Установка кутоміра попередня. Визначається кут між проекціями головної та допоміжної різальної кромки на основну площину
Кут нахилу головної різальної кромки	$\lambda$	Кутомір МИЗ	Кутомір встановлюється в основній площині. Визначається кут між головною різальною кромкою і основною площиною в площині різання
Допоміжний задній кут	$\alpha_1$		Кутомір встановлюється в площині, перпендикулярній до проекції допоміжної різальної кромки на основну площину. Визначається кут між допоміжною задньою поверхнею й площиною, проведеною через допоміжну різальну кромку перпендикулярно основній площині.

### Контрольні запитання

1. З яких частин складається різець?
2. Як класифікуються різці?
3. Назвати поверхні, які утворюють головку різця.
4. Дайте визначення основної площини, площини різання, головної січної площини.
5. В якій площині вимірюються головні кути різця?
6. Знайти всі кути для підрізного, розточного, відрізного та різьбового різців.
7. Як виміряти кут нахилу головної різальної кромки?
8. Як виміряти допоміжний задній кут?

## Лабораторна робота № 13

### РОБОТА З ДІЛИЛЬНОЮ ГОЛОВКОЮ І НАСТРОЮВАННЯ УНІВЕРСАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ НА НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТОГО КОЛЕСА З ГВИНТОВИМ ЗУБОМ

**Мета роботи** – вивчити конструкцію та принцип роботи ділильної головки; практично засвоїти методи безпосереднього, простого і диференційного поділу, а також настроювання ділильної головки при фрезеруванні шестерні з косим зубом.

### 13.1. Основні положення і зміст роботи

В процесі виконання роботи студент за плакатами, макетом, методичними вказівками знайомиться з конструкцією та призначенням окремих частин ділильної головки. Виконує розрахунок, а потім під керівництвом лаборанта виконує налаштування ділильної головки при безпосередньому, простому й диференційному способах поділу.

Для цього необхідно вивчити види фрез, які застосовуються при нарізанні зубчастих коліс.

Ділильна головка (рис.13.1) призначена для періодичного повороту заготовки навколо осі на потрібний кут (фрезерування багатогранників, зубчастих коліс), а також для придання їй безперервного обертання, узгодженого з поздовжньою подачею (фрезерування спіральних канавок, зубчастих косозубих шестерень).

Періодичний поворот деталі, яка оброблюється, на визначений кут виконується способами безпосереднього, простого та диференційного поділу.

*Безпосередній поділ* проводять за лімбом безпосереднього поділу 4. Для цього одноходовий черв'як виводять із зачеплення черв'ячного колеса та рукоятки, тобто фіксатора з лімбу безпосереднього поділу. Тепер можна шпиндель 11 повернути вручну на необхідний кут за градусною шкалою ділильного лімбу 8. Після повороту на необхідний кут шпиндель знову закріплюється фіксатором із відповідним отвором лімбу безпосереднього поділу.

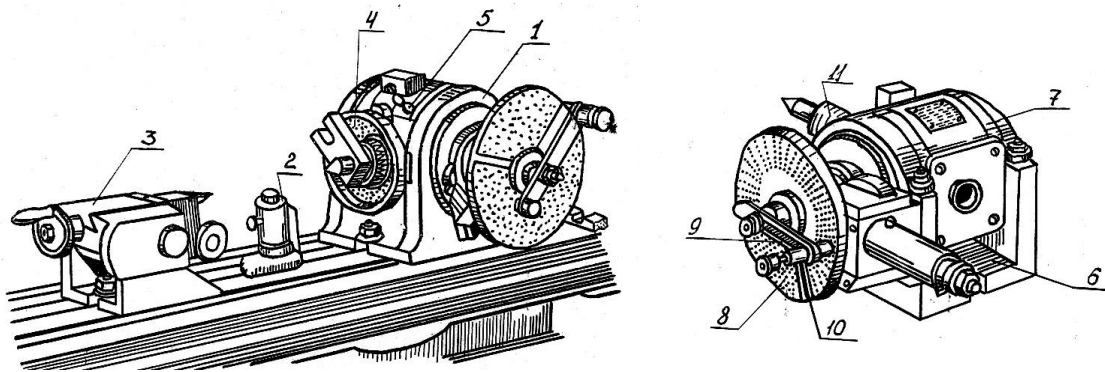


Рисунок 13.1 – Загальний вигляд універсальної ділильної головки  
1– ділильна головка; 2 – лонет; 3 – задня бабка; 4 – ділильний лімб;  
5 – фіксатор ділильного лімбу; 6 – основа; 7 – корпус; 8 – ділильний диск;  
9 – рукоятка; 10 – розсувний сектор; 11 – шпиндель

*Простий поділ* кола на частини виконується (рис.13.2, а) при нерухомому ділильному диску 1, нерухоме положення якого забезпечується фіксатором 3. Величину повороту рукоятки 2 визначають за формулою:

$$n = \frac{N}{Z}, \quad (13.1)$$

де  $N$  – характеристика ділильної головки. Як правило,  $N = 40$ , рідше 60; 80; 100;

$Z$  – кількість частин, на яку треба розділити коло.

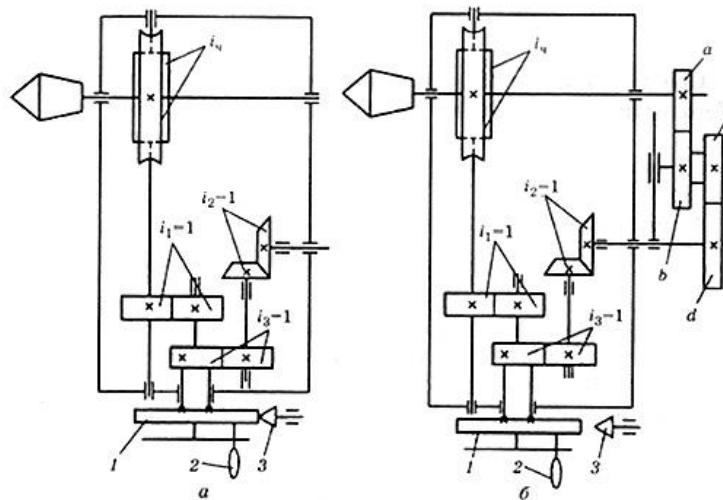


Рисунок 13.2 – Кінематичні схеми настроювання ділильної головки:  
*a* – простий поділ; *б* – складний (диференційний поділ);  
 1 – ділильний диск; 2 – рукоятка; 3 – фіксатор

Після можливих скорочень і відділення цілої частини треба помножити чисельник і знаменник на таке число, щоб в знаменнику вийшло число, рівне кількості отворів на одному з концентричних кіл ділильного диска 1. Тоді ціла частина одержаного дроби покаже кількість повних обертів рукоятки 2, а чисельник – кількість проміжків між отворами, які необхідно відкласти по колу з кількістю отворів, рівною знаменнику.

На ділильному диску 1 з двох сторін є концентричні кола з такою кількістю отворів: 24; 25; 26; 30; 34; 37; 38; 39; 41; 42; 43; 46; 47; 49; 52; 53; 54; 57; 58; 62; 66. Якщо неможливо одержати в знаменнику одне з цих чисел, то необхідно застосувати диференційний поділ.

*Диференційний поділ* застосовують тоді, коли безпосереднім і простим способами не можна поділити коло на задану кількість частин. Проводять його при обертанні ділильного диска (рис.13.2, б).

Для цього відводять фіксатор ділильного диска, а в гітару диференціала ставлять змінні шестерні, передаточне відношення “*i*” яких визначається за формулою:

$$i = \frac{N \cdot (Z_0 - Z)}{Z_0} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d}, \quad (13.2)$$

де  $Z_0$  – найближче до  $Z$  число  $(Z - Z_0) \leq 10$ , вибране таким чином (зручно брати кратним 5), щоб можна було застосувати метод простого поділу за формулою (13.1);

*a, b, c, d* – кількість зубців на змінних шестернях гітари.

В комплекті ділильної головки є змінні шестерні з такою кількістю зубців: 20; 25; 30; 35; 40; 40; 45; 50; 55; 60; 70; 80; 90; 100.

Підібрані шестерні повинні задовольняти умовам зчеплення:

$$a + v \geq c + 15, \quad (13.3)$$

$$c + d \geq v + 15, \quad (13.4)$$

При  $Z_0 > Z$  ділильний диск обертається в один бік із обертанням рукоятки.

При  $Z_0 < Z$  передаточне відношення “і” від’ємне, а диск обертається назустріч рукоятці.

При від’ємному “і” в гітару, яка складається з чотирьох змінних шестерень, ставиться одна проміжна шестерня, а якщо з двох шестерень – дві проміжні шестерні.

При позитивному “і” в гітару із двох шестерень необхідно поставити одну проміжну шестерню.

При виготовленні зубчастих коліс застосовують методи копіювання та обкатування. До методу обкатування відноситься нарізання зубців черв’ячними фрезами, довбачами та гребінками. До методу копіювання – нарізання зубів дисковими і пальцьовими модульними фрезами (рис.13.3) на універсально-фрезерних верстатах з використанням ділильної головки.

Нарізання шестерень з косим зубом дисковими модульними фрезами проводиться на універсально-фрезерних верстатах, які мають поворотний стіл ( $\pm 45^\circ$ ). Стіл при цьому повертають на кут нахилу зубців шестерні  $\beta$ .

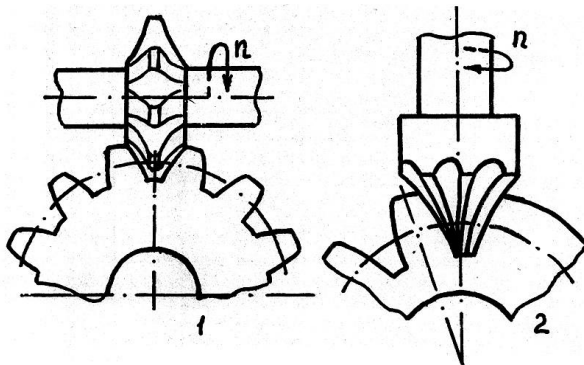


Рисунок 13.3 – Схема фрезерування зубців за методом копіювання:

- 1 – дисковою модульною фрезою;
- 2 – пальцьовою модульною фрезою

Дискова модульна фреза це фасонна фреза з профілем зуба, який відповідає профілю западин зубчастого колеса. Для підвищення точності дискові модульні фрези підрозділяють не тільки за модулями, але й за номерами. Застосовують комплекти з 8, 15 або 26 фрезами.

Для шестерень із модулем  $m \leq 8$  використовують восьмиштучні набори фрез.

Знаючи кількість зубців  $Z$  шестерні, можна підібрати необхідний номер фрези. Підбирання фрези при нарізанні косозубої шестерні проводиться за приведеним числом зубців:

$$Z_{\text{пр}} = \frac{Z}{\cos^3 \beta}. \quad (13.5)$$

При фрезеруванні гвинтових канавок (косих зубців) стіл 3 (рис.13.4)

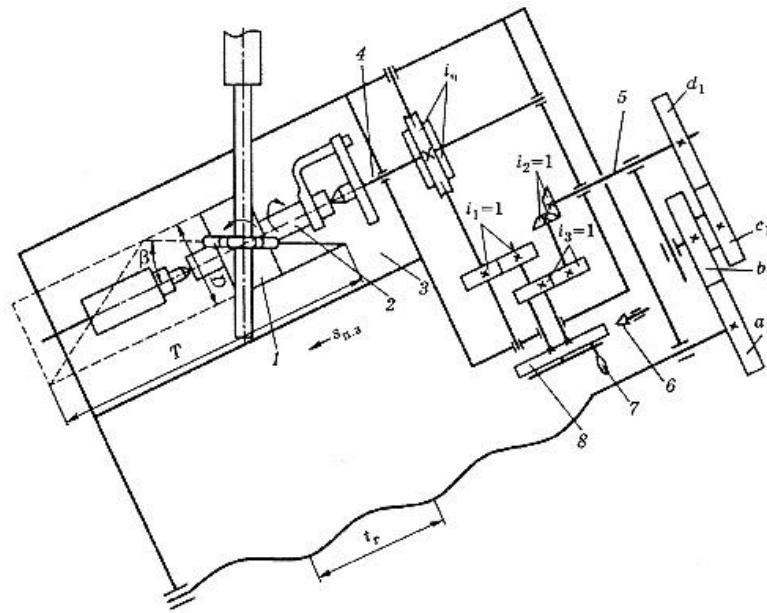


Рисунок 13.4 – Схема настроювання універсально-фрезерного верстата і ділильної головки на фрезерування гвинтових канавок (косих зубів)

верстата із заготовкою повертається в горизонтальній площині на кут  $\beta$ ; правих канавок – проти ходу годинникової стрілки, лівих канавок – за ходом годинникової стрілки, а в гітару змінних зубчастих коліс має бути встановлене додаткове проміжне колесо.

Для фрезерування  $z$  гвинтових канавок (зубців) після оброблення кожної чергової канавки заготовку повертають на  $1/z$  кола рукояткою, використовуючи простий поділ.

При нарізанні косозубої шестерні заготовка повинна виконувати два пов'язані між собою рухи: поступальний і обертальний. З цією метою ходовий гвинт поздовжньої подачі стола з'єднується через змінні шестерні гітари для гвинтових канавок зі шпинделем ділильної головки.

Передаточне відношення гітари змінних шестерень визначається за формулою:

$$i = \frac{N \cdot t_{ГВ}}{T} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}, \quad (13.6)$$

де  $t_{ГВ}$  – крок гвинта поздовжньої подачі стола;  $t_{ГВ} = 6$  мм.

$T$  – крок гвинтової лінії шестерні, мм.

$$T = \frac{\pi \cdot m_H \cdot Z}{\sin \beta}, \quad (13.7)$$

де  $m_H$  – нормальний модуль шестерні, мм.

Підібрані шестерні перевіряють за умовами зчеплення. При фрезеруванні лівохідних шестерень в гітару між змінними шестернями “а” і “в” ставлять проміжну шестерню.

**Оснащення робочого місця.**

Універсально-фрезерний верстат 6Н81.  
Універсально-фрезерний верстат 6М82.  
Універсальна ділильна головка УДГ-135 – 2 шт.  
Штангенциркуль ШЦ I – 125 – 0,1 ГОСТ 166-80.  
Макет, плакати.  
Заготовки шестерні – 2 шт.

### **13.2. Порядок виконання роботи**

1. Провести необхідні розрахунки та настроїти ділильну головку (за завданням викладача) на безпосередній, простий та диференційний поділ. Зобразити у звіті схеми настроювання.
2. Провести необхідні розрахунки та настроїти універсально-фрезерний верстат (за завданням викладача) на фрезерування шестерні з косим зубом. Зобразити у звіті схему настроювання.
3. Вибрати заготовку шестерні та установити її на оправці в ділильній головці. Діаметр заготовки визначається за формулою:  $d_{з\text{аг}} = m \cdot (Z + 2)$ .
4. Установити глибину фрезерування  $h$ , розраховану за формулою:  $h = 2,2 \cdot m$ .
5. Профрезерувати шестерню з косим зубом.

### **Контрольні запитання**

1. Які існують способи поділу?
2. Що називається характеристикою ділильної головки?
3. Коли використовують диференціальний поділ?
4. В яких випадках при диференціальному поділі в гітару змінних шестерень ставлять проміжні шестерні?
5. Які існують методи нарізання зубчастих коліс?
6. Як правильно вибрати дискову модульну фрезу?
7. Чи можливо при нарізанні косозубої шестерні на універсально-фрезерному верстаті здійснювати диференційний поділ?

## **Лабораторна робота №14**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕМЕНТІВ РЕЖИМУ РІЗАННЯ НА ШОРСТКІСТЬ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ТОЧІННІ**

**Мета роботи** – вивчити вплив швидкості різання та подачі на шорсткість зовнішньої поверхні тіл обертання при точінні. Освоїти методику визначення параметра  $R_z$  шорсткості обробленої поверхні за допомогою подвійного мікроскопа МИС-11.

#### **14.1. Основні положення та зміст роботи**

Поверхня, яка обмежує деталь і відокремлює її від навколишнього середовища, називається *реальною поверхнею*. Ця поверхня утворюється у

процесі оброблення та, на відміну від номінальної поверхні, зображеної на кресленнях, має нерівності різних форм та висоти.

*Шорсткістю поверхні* називається сукупність нерівностей із відносно малими кроками, які утворюють рельєф поверхні та розглядаються у межах ділянки, довжина якої вибирається залежно від характеру поверхні та дорівнює базовій довжині.

Шорсткість поверхні після механічного оброблення – це, насамперед, геометричний слід різального інструменту, утворений внаслідок пластичної та пружної деформацій та вібрації технологічної системи, яка супроводжує процес різання.

Згідно з ГОСТ 2789–73 встановлено шість параметрів шорсткості поверхні:

- 1 – середнє арифметичне відхилення профілю  $R_a$ , мкм;
- 2 – висота нерівностей профілю за десятьма точками  $R_z$ , мкм;
- 3 – найбільша висота нерівностей профілю  $R_{max}$ , мкм;
- 4 – середній крок нерівностей профілю  $S_m$ , мм;
- 5 – середній крок місцевих виступів профілю  $S$ , мм;
- 6 – відносна опорна довжина профілю  $t_p$ , %.

Вимоги до шорсткості встановлюють за одним або декількома параметрами шляхом надання їх чисельних значень і значень базової довжини, на якій відбувається визначення параметрів.

Для вимірювання шорсткості поверхні використовуються:

1. Прилади безконтактної дії (оптичні) – подвійний мікроскоп МИС–11, прилад світлового перерізу ПСС–2, прилад тіньового перерізу ПТС–2, мікроінтер-ферометри (МИИ–4, МИИ–5, МИИ–9, МИИ–10, МИИ–15), растровий вимірювальний мікроскоп ОРІМ–1.

2. Прилади контактної дії – профілометри моделей: 283, 253, 240 і профілометри-профілографи моделей 201, 202, 252; пневматичні.

Прилади першої групи призначені, головним чином, для контролю шорсткості поверхні у лабораторіях. У виробничих умовах контроль шорсткості поверхні здійснюється приладами другої групи чи порівнянням поверхні, що контролюється, з поверхнею еталонів шорсткості (неозброєним оком, за допомогою луп або порівняльних мікроскопів).

Метод визначення шорсткості шляхом порівняння з еталонними зразками не дозволяє визначити дійсну висоту нерівностей.

Точне кількісне визначення висоти мікронерівностей здійснюється за допомогою подвійного мікроскопу або профілографа-профілометра.

За допомогою подвійного мікроскопу МИС–11 конструкції академіка В.П.Лінника можна вимірювати шорсткість поверхні за параметрами  $R_z$ ,  $R_{max}$  і  $S$ .

Подвійний мікроскоп (рис.14.1) складається з масивної основи 1 з колоною 2. На колоні гайкою 3 переміщується кронштейн 4, на якому встановлені тубуси проектуючого 5 та спостережного 6 мікроскопів. У нижній частині кожного тубуса розміщені об'єктиви 7, 8. У верхній частині проектуючого мікроскопа знаходиться патрон із лампою 9. У верхній частині



спостережного мікроскопа встановлено окулярний гвинтовий мікрометр 10 для візуальних вимірювань.

Фокусування мікроскопів здійснюється кремальєрою 11 грубого настроювання та мікрометричним механізмом 12. Предметний поворотний столик 13 переміщується мікрогвинтами 14 у двох взаємно перпендикулярних напрямках, обертається навколо вертикальної осі й фіксується стопорним гвинтом 15.

До подвійного мікроскопа МИС–11 додаються чотири пари змінних об'єктивів (таблиця 14.1).

Таблиця 14.1. – Характеристика об'єктивів до подвійного мікроскопа МИС–11

Фокусна відстань F, мм	Збільшення об'єктива	Поле зору, мм	Діапазон вимірювання висоти нерівностей профілю, мкм
25	5,9 x	1,8	6–63
13,89	10,5 x	1,0	3–19
8,16	18,0 x	0,6	1,5–7
4,25	34,5 x	0,3	0,8–3

Принцип дії мікроскопу показано на рисунках 14.2 та 14.3.

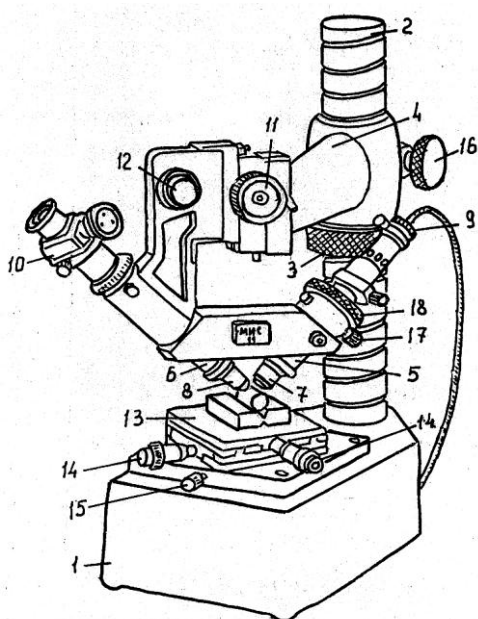


Рисунок 14.1 – Загальний вигляд подвійного мікроскопа МИС–11

- 1 – основа; 2 – колона; 3 – гайка; 4 – кронштейн;  
 5 – проектуючий мікроскоп; 6 – спостережний мікроскоп; 7, 8 – об'єктиви; 9 – освітлювач;  
 10 – окулярний гвинтовий мікрометр;  
 11 – кремальєра; 12 – мікрометричний механізм точного фокусування; 13 – предметний столик;  
 14 – мікрогвинт подачі столика;  
 15, 16 – стопорні гвинти; 17 – регулюючий гвинт  
 18 – гайка

Величина  $v$  зміщення зображення  $S_2''$  відносно  $S_1''$  є мірою висоти сходинки  $h$ .

Виходячи з оптичних та геометричних параметрів подвійного мікроскопа, реальна висота профілю поверхні визначається за формулою:

$$h = \frac{v}{N \cdot \sqrt{2}}, \quad (14.1)$$

де  $N$  – збільшення об'єктива спостережного мікроскопа (таблиця 14.1).

Для вимірювання величини  $\epsilon$ , що відповідає висоті  $h$  вимірюваної нерівності, обертанням барабана окулярного мікрометра горизонтальна нитка послідовно сполучається насамперед з верхнім, потім із нижнім краєм зображення нерівності.

Різниця відліку дає величину  $a = \epsilon\sqrt{2}$ , оскільки нитки переміщуються під кутом  $45^\circ$  до вимірюваного відрізка.

$$\text{Тоді} \quad h = \frac{a}{2N}, \quad (14.2)$$

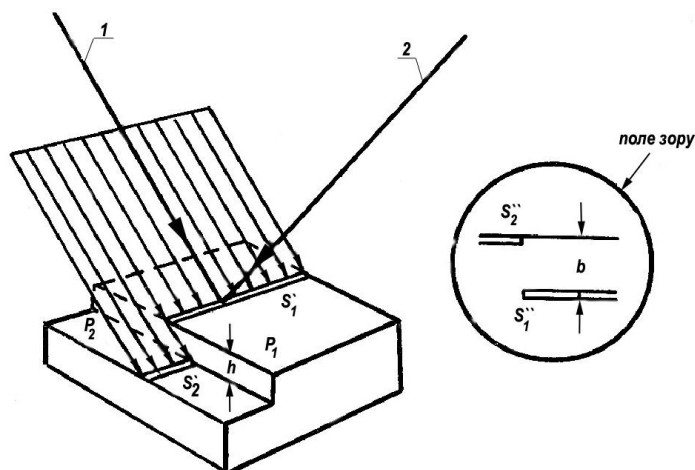


Рисунок 14.2 – Принцип дії подвійного мікроскопу:

$P_1$  – контрольована поверхня;  $P_2$  – поверхня сходинки;  $h$  – висота сходинки;  $S_1, S_1', S_2''$  – зображення щілини;  $b$  – величина зміщення зображення;  $S_2''$  відносно  $S_1''$ ;  
 1 – вісь проектуючого мікроскопа; 2 – вісь спостережного мікроскопа

Перед вимірюванням подвійний мікроскоп настроюють у такій послідовності:

- установити досліджуваний зразок на столик мікроскопу (в призмі) так, щоб сліди від оброблення на контрольній поверхні були паралельні площині, що проходить через осі мікроскопів;
- за допомогою гайки 3 (рис.14.1) встановити кронштейн 4 так, щоб об'єктиви мікроскопів були на відстані 10–15 мм від поверхні деталі та зафіксувати гвинтом 16;
- освітлюючи вимірювальну поверхню, наприклад настільною лампою, кремальєрою 11 і мікрометричним механізмом 12, сфокусувати спостережний мікроскоп таким чином, щоб різко зображена ділянка поверхні опинилася у середині поля зору;

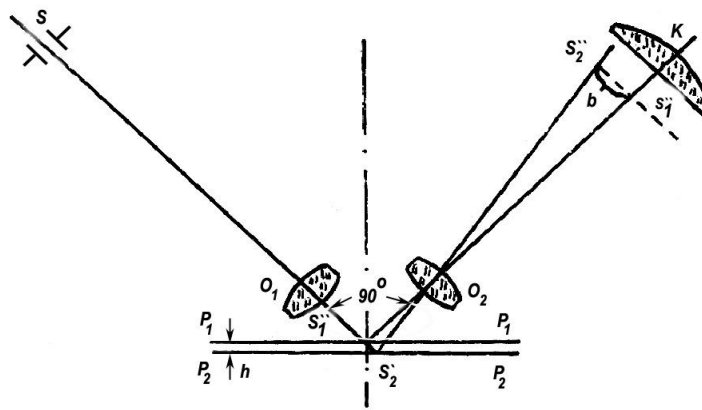


Рисунок 14.3 – Принципова оптична схема подвійного мікроскопу  
 $O_1, O_2$  – об’єктиви мікроскопу;  $K$  – окулярний мікрометр;  
 $S$  – вузька освітлена щілина

– щілина проектуючого мікроскопу 5 освітлюється лампою 9; зображення щілини гвинтом 17 переміщується до центру поля зору спостережного мікроскопа 6 і гайкою 18 фокусується на вимірювальну поверхню; різкий край зображення щілини гвинтом 17 сполучується із ділянкою різкого зображення поверхні; якщо при цьому порушується фокусування мікроскопу на щілину, то вона встановлюється за допомогою гайки 18, після чого знову гвинтом 17 різкий край щілини точно сполучається з ділянкою різкого зображення поверхні;

– гвинтовий окулярний мікрометр 10 повернути, щоб одна з ниток перехрестя була паралельною зображенню щілини.

Потім слід переходити до вимірювання висоти нерівностей.

Вимірюючи висоту гребінців (глибину западин) на подвійному мікроскопі МИС–11 можна визначити параметр  $Rz$ , який визначається як сума середніх арифметичних відхилень точок п’яти найбільших мінімумів і п’яти найбільших максимумів профілю в межах базової довжини (рис. 14.4):

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 |h_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |h_{vi}|}{5} = \frac{\sum_{i=1}^5 h_i}{5}, \quad (14.3)$$

де  $h_i$  – висота гребінця, мкм;

$h_{pi}$  – відстань від вищих точок п’яти найбільших максимумів, мкм;

$h_{vi}$  – відстань від нижчих точок п’яти найбільших мінімумів, мкм.

Таблиця 14.2. – Співвідношення значень параметру  $Rz$  і базової довжини  $l$

$Rz$ , мкм	$l$ , мм
До 0,10	0,08
Понад 0,10 до 1,6	0,25
Понад 1,6 до 12,5	0,8
Понад 12,5 до 50	2,5
Понад 50 до 400	8,0

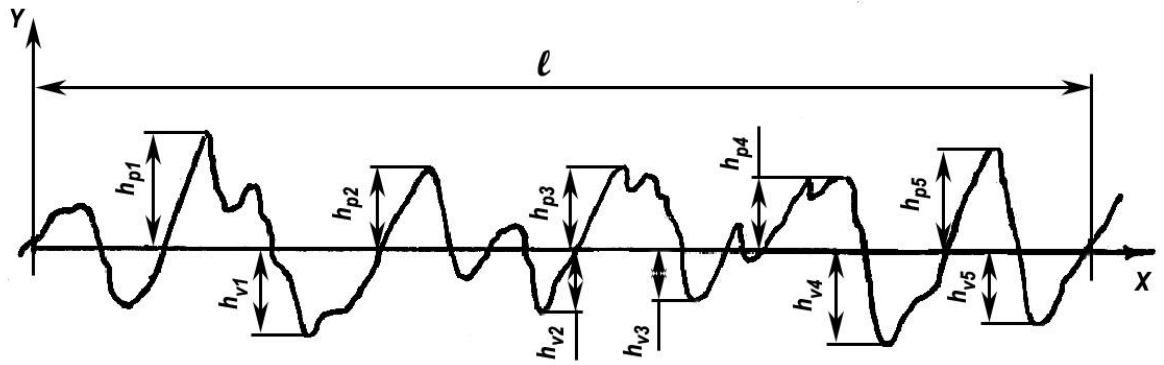


Рисунок 14.4 – Схема визначення параметра  $R_z$   
 $h_{pi}$  – висота  $i$ -го найбільшого виступу профілю;  $h_{vi}$  – глибина  $i$ -ї найбільшої западини профілю;  $l$  – базова довжина

### **Оснащення робочого місця.**

Токарно-гвинторізальний верстат.

Заготовки (2 шт.) – круглий прокат сталь 45 діаметром 40–50 мм довжиною 250–300 мм із прорізаними канавками  $b = 5$  мм через 25 мм.

Різець прохідний із пластинкою твердого сплаву T15K6 і радіусом при вершині  $r = 1,0$  мм (ГОСТ 18878-73).

Подвійний мікроскоп МИС–11.

Штангенциркуль ЩЦІ–125–0,1 (ГОСТ 166–80).

Еталони шорсткості поверхні при точінні.

### **14.2. Порядок виконання роботи**

1 Відповідно до таблиці 14.3 обробити заготовки при різних режимах різання. Глибина різання в усіх експериментах однакова  $t = 0,5$  мм, номер заготовки нанесений на її торці.

2 Порівняти шорсткість оброблених ділянок заготовок із шорсткістю поверхні еталонів і зробити висновки.

3 Визначити параметр  $R_z$  усіх оброблених ділянок заготовок за допомогою подвійного мікроскопа МИС–11. До протоколу вимірювань занести середнє арифметичне п'яти вимірювань.

4 Побудувати графіки залежності шорсткості поверхні від швидкості різання  $R_z = f(v)$  і подачі  $R_z = f(S)$ .

Таблиця 14.3. – Протокол експериментів вимірювань шорсткості поверхні

№ шийки заготовки	Величина подачі, S, мм/об	Швидкість різання, V, м/хв.	Частота обертання, n, об/хв.	Підсумки вимірювання параметра Rz, мкм					$\overline{Rz} = \frac{\sum Rz_i}{5}$
				1	2	3	4	5	
1.1	0,11	10							
1.2	0,11	20							
1.3	0,11	40							
1.4	0,11	80							
1.5	0,11	120							
2.1	0,07	120							
2.2	0,14	120							
2.3	0,28	120							
2.4	0,54	120							
2.5	1,0	120							

### Контрольні запитання

1. Що таке шорсткість поверхні? Якими методами та приладами можна її визначити?
2. Які основні фактори впливають на шорсткість поверхні при обробленні? Поясніть, чому з підвищенням швидкості різання шорсткість поверхні зменшується?
3. Чому в діапазоні швидкості різання 20–30 м/хв шорсткість збільшується?
4. Як пояснити характер зміни шорсткості поверхні зі зміною величини подачі?
5. Як змінюється шорсткість поверхні зі зміною технологічних факторів (v, S, MOP (мастильно–охолоджуючої рідини),  $\sigma_B$ )?

## Лабораторна робота № 15

### ВИЗНАЧЕННЯ УСАДКИ СТРУЖКИ

**Мета роботи** – ознайомитися із пластичною деформацією стружки та її залежністю від швидкості різання, подачі та величини переднього кута.

#### 15.1. Основні положення і зміст роботи

Шар металу, який у процесі різання перетворюється у стружку, зазнає пружної та пластичної деформації, внаслідок чого виникає зміна фізико-механічних властивостей стружки та поверхневого шару оброблюваної деталі (рис.15.1).

Змінювання розмірів стружки в порівнянні з довжиною і товщиною зрізаного шару металу характеризується коефіцієнтом усадки стружки (коефіцієнт потовщення  $K_a$  і укорочення  $K_L$  стружки):

$$K_a = K_L = \frac{L}{L_0} = \frac{a_0}{a}, \quad (15.1)$$

де  $L$  і  $L_0$  – довжина шляху різання та довжина стружки відповідно;  
 $a$  і  $a_0$  – товщина зрізаного шару металу та стружки.

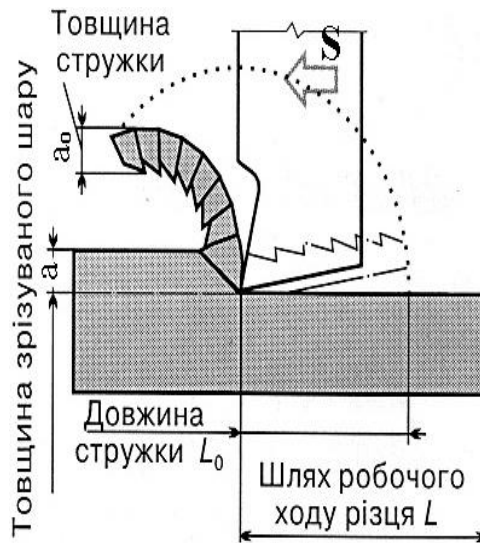


Рисунок 15.1 – Схема процесу різання для визначення коефіцієнтів усадки стружки

Коефіцієнт усадки стружки залежить від властивостей оброблюваного матеріалу. Чим більш пластичний матеріал, тим легше він деформується і тим більше його усадка. Крихі металеві заготовки зазнають невеликої пластичної деформації і стружка одержує малу усадку.

На усадку стружки впливають також швидкість різання, передній кут, товщина зрізаного шару та МОР (мастильно–охолоджувальна рідина).

Зі зменшенням переднього кута  $\gamma$  коефіцієнт усадки стружки збільшується (рис.15.2). Зі збільшенням подачі – зменшується.

Коефіцієнт усадки стружки зі збільшенням швидкості різання змінюється під впливом наросту та зі зміною коефіцієнта тертя (рис.15.4).

Оптимальні значення коефіцієнта усадки стружки  $K$  для різних оброблюваних матеріалів, режимів різання та геометрії інструмента знаходяться в межах 1,8–3,0.

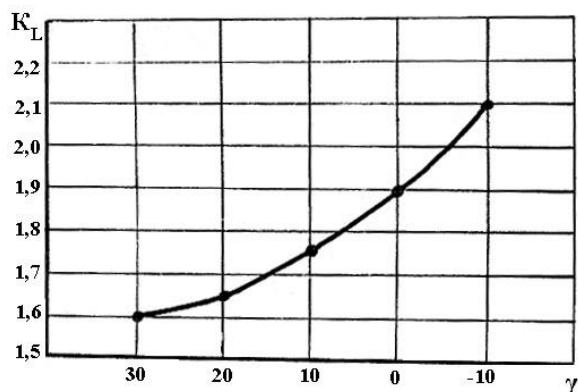


Рисунок 15.2– Вплив переднього кута на коефіцієнт усадки стружки  $K_L$

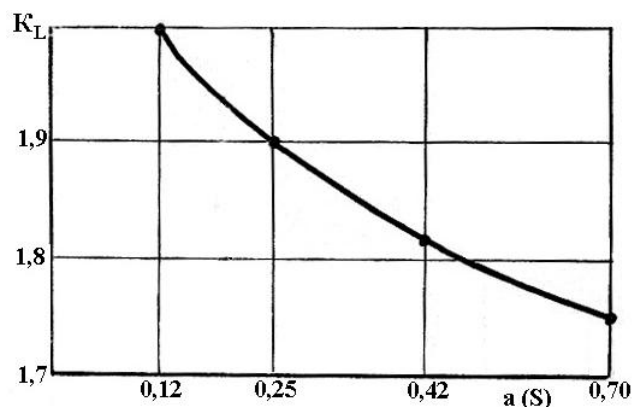


Рисунок 15.3 – Вплив величини подачі (товщини зрізу “а”) на коефіцієнт усадки стружки  $K_L$

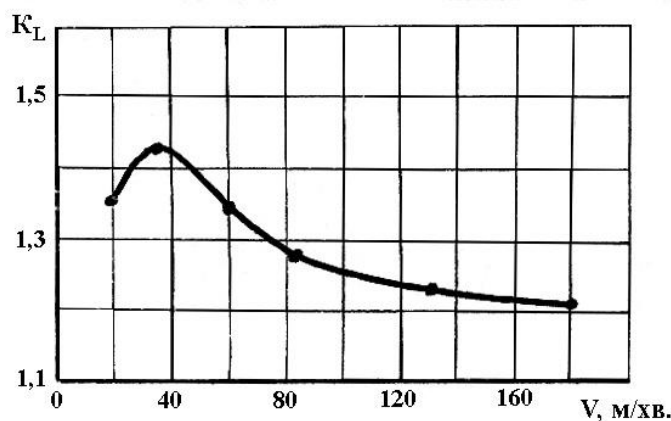


Рисунок 15.4 – Вплив швидкості різання  $v$  на коефіцієнт усадки стружки  $K_L$

### **Оснащення робочого місця.**

Поперечно-стругальний верстат 7Б35.

Прохідні різці Т5К10 ГОСТ 18879–73,  $\gamma = 20^\circ; 10^\circ; 0^\circ; -5^\circ$ .

Заготовка прямокутної форми 100x60x40 мм, матеріал заготовки – сталь 45.

Штангенциркуль ШЦ I–125–0,1 ГОСТ 166–80.

Дріт мідний: діаметр 0,3–0,5 мм, довжина 200 мм.

### **15.2.Порядок виконання роботи**

1. При дослідженнях визначається усадка стружки в залежності від швидкості різання, подачі та переднього кута. Постійними факторами є глибина різання, матеріал і геометричні параметри різця ( $\alpha$ ,  $\phi$ ,  $\phi_1$ ). Визначення усадки проводиться шляхом вимірювання довжини стружки тонким мідним дротом ( $d = 0,3–0,5$  мм) і порівнянням її з довжиною зрізу.

2. Виконується три серії експериментів згідно протоколу (таблиця 15.1).

На кожному режимі різання знімається по п'ять стружок. До розрахунку приймається середнє арифметичне п'яти замірів довжини стружок.

Швидкість різання визначається за формулою:

$$v = \frac{n \cdot L \cdot (m + 1)}{1000}, \text{ м/хв.} \quad (15.2)$$

де  $L$  – довжина ходу повзуна, мм;

$m$  – відношення швидкості робочого ходу повзуна до

$$\text{швидкості холостого ходу: } m = \frac{v_{px}}{v_{xx}} = 0,75.$$

Усадка стружки визначається відношенням довжини зрізу  $L$  до довжини вимірної стружки  $L_0$ :

$$K_L = \frac{L}{L_0}, \quad (15.3)$$

Результати розрахунків заносяться до таблиці 15.1.

За дослідними даними слід побудувати графіки залежності  $K_L = f(v)$ ,  $K_L = f(S)$ ,  $K_L = f(\gamma)$  в прямокутній системі координат і зробити висновки про вплив елементів режиму різання на коефіцієнт поздовжньої усадки стружки та навести приклади їх практичного використання при обробленні деталей на верстатах.

Таблиця 15.1. – Протокол експериментів і результатів вимірювань

Режими різання				Передній кут $\gamma$ , град.	Середня довжина стружки $L_0$ , мм	Коефіцієнт поздовжньої усадки стружки $K_L = L/L_0$
Глибина різання $t$ , мм	Подача $S$ , мм/подв. хід	Число подвійних ходів $n$ , подв. хід/хв.	Швидкість різання $v$ , м/хв.			
1,5	0,6	12,3		+10		
1,5	0,6	25		+10		
1,5	0,6	49		+10		
1,5	0,6	100		+10		
1,5	0,3	49		+10		
1,5	0,6	49		+10		
1,5	0,9	49		+10		
1,5	1,2	49		+10		
1,5	0,6	49		+20		
1,5	0,6	49		+10		
1,5	0,6	49		0		
1,5	0,6	49		-10		

### Контрольні запитання

1. Що таке усадка стружки?
2. Як визначається коефіцієнт поздовжньої й поперечної усадки стружки?
3. Як пояснити залежність усадки стружки від подачі?
4. Як пояснити залежність усадки стружки від швидкості різання?



5. Що таке оброблюваність матеріалів і як вона пов'язана з усадкою стружки?

6. Що таке наріст та його залежність від швидкості різання?

## Лабораторна робота №16

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕМЕНТІВ РЕЖИМУ РІЗАННЯ НА СИЛУ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ

**Мета роботи** – набуття навичок самостійної роботи з дослідження сил різання при точінні. Вивчення впливу елементів режиму різання (глибини різання, подачі, швидкості різання) на складові сили різання.

#### 16.1. Основні положення і зміст роботи

Сили різання є важливими параметрами процесу різання. Від їх величини залежить потужність, необхідна для здійснення різання. Вони впливають на спрацювання інструмента та вібрації, а отже, і на якість обробленої поверхні. Сили різання є вихідними даними при розрахунках на міцність та жорсткість різальних інструментів, елементів оснащення, вузлів деталей металорізальних верстатів.

При практичному вивченні сил різання при поздовжньому точінні рівнодіючу силу  $R$ , яка діє на різальний інструмент, розкладають у трьох напрямках на три складові (рис.16.1):

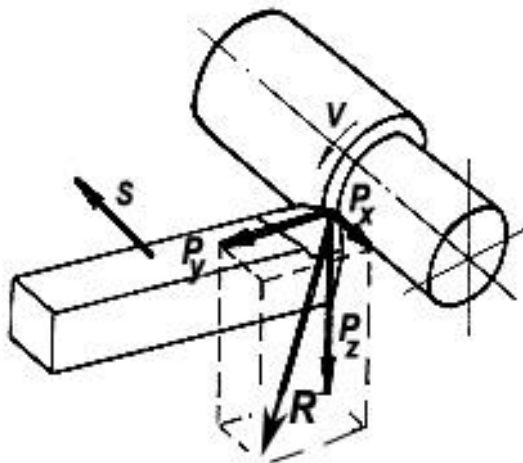


Рисунок 6.1 – Сили різання при точінні

$P_z$  – головна складова сили різання, яка за напрямком збігається зі швидкістю головного руху різання на вершині леза. За цією силою визначається крутний момент та потужність різання.

$P_x$  – осьова складова сили різання, яка паралельна осі головного обертального руху різання. За максимальною величиною цієї сили розраховується механізм поздовжньої подачі верстата;

$P_y$  – радіальна складова сили різання, яка спрямована по радіусу головного обертального руху на вершині леза. Вона спричиняє вигин оброблюваної деталі й виникнення вібрацій, отже має найбільший вплив на точність і

геометричну форму оброблюваної деталі.

Між складовими сили різання існує таке співвідношення:

$$P_z : P_y : P_x = 1 : (0,55-0,45) : (0,45-0,25).$$

Сила різання  $R$  визначається:

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_x^2 + P_y^2}$$

Приблизно  $R = 1,1 \cdot P_z$ .

Для експериментального визначення сил різання застосовують динамометри, як правило швидкодіючі тензометричні. Суть тензометрії полягає в тому, що дротяний тензодатчик, який виготовлено із спеціального сплаву, реагує на пружні деформації об'єкту (в нашому випадку різець), на який цей датчик наклеєно. Під дією пружних деформацій у датчику генерується електрорушійна сила (ЕРС), яку після підсилення в тензостанції можна зафіксувати на шлейфовому осцилографі або моніторі ПЕОМ. Для вимірювання сил різання звичайно застосовуються трьохкомпонентні динамометри УДМ600, УДМ-1000 та ін., де цифри відповідають максимально допустимій силі в кГс.

Динамометри в залежності від кількості вимірюваних складових бувають одно-, дво- і трьох компоненті. Кожен динамометр складається з пристрою для закріплення різця та розкладу сили різання на складові. На відміну від тензометричних, прості механічні динамометри мають в своїй основі плоскі пружини, переміщення яких під дією сил фіксується візуально за допомогою індикатора.

Сила різання залежить від багатьох факторів:

- перерізу шару, який зрізується ( $ax\epsilon$ );
- швидкості різання;
- геометричних параметрів різальної частини інструменту;
- ступеня зносу інструменту;
- марки та механічних властивостей оброблюваного матеріалу;
- структурного стану оброблюваного матеріалу;
- матеріалу різальної частини інструменту;
- виду МОР.

Залежність сили різання від перерізу зрізуваного шару є основною для визначення оптимальних режимів різання, марки верстата, пристроїв та інструментів. Ця залежність описується емпіричною формулою:

$$P_z = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^z, \text{Н} \quad (16.1)$$

де  $C_p$  – коефіцієнт, який враховує марку матеріалу, який оброблюють.

Емпіричне рівняння (16.1) має чотири невідомих величини:  $C_p$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

Для їх визначення проводяться три серії дослідів згідно протоколу (таблиця 16.1). Перша серія дослідів проводиться при  $t, v = \text{const}$ , друга при  $v, S = \text{const}$ , третя при  $t, S = \text{const}$ .

Покажемо, як оброблюються експериментальні дані на прикладі третьої серії дослідів.

Оскільки при  $t, S = \text{const}$  величини  $t^x, S^y$  будуть постійними, їх можна включити до коефіцієнта  $C_p$ :

$$\text{Тоді} \quad P_z' = C_p' \cdot v^z \quad (16.2)$$

Рівняння (16.2) – степеневе, тому на графіку відбивається параболічною кривою. Якщо прологарифмувати це рівняння, то одержимо:

$$\lg P_z = \lg C_p' + z \cdot \lg v, \quad (16.3)$$

Якщо побудувати графік цієї залежності у подвійній логарифмічній системі координат, він матиме вигляд прямої лінії функції  $y = v + ax$ .

Показник ступеню  $z$  чисельно дорівнює тангенсу кута нахилу  $\alpha$  цієї прямої. Для його визначення на графіку довільно виділяється прямокутний трикутник, і за допомогою лінійки вимірюються протилежний катет  $a$  та прилеглий  $b$ . Тоді:

$$z = \operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}, \quad (16.4)$$

Аналогічно визначаються показники ступеню  $x$  і  $y$  в формулі 16.1, як кутові коефіцієнти відповідних графіків.

У нашому випадку показник ступеню  $z$  буде від'ємний (лінія графіка вниз), показники  $x$  і  $y$  – додатні (лінії ідуть вгору) (рис.16.2).

Знайшовши  $x$ ,  $y$ ,  $z$  і використовуючи результати, внесені до протоколу будь-якого дослідження, або графіка, за формулою 16.1, знаходимо числові значення коефіцієнта  $C_p$ :

$$C_p = \frac{P_z}{t^x \cdot S^y \cdot v^z}, \quad (16.5)$$

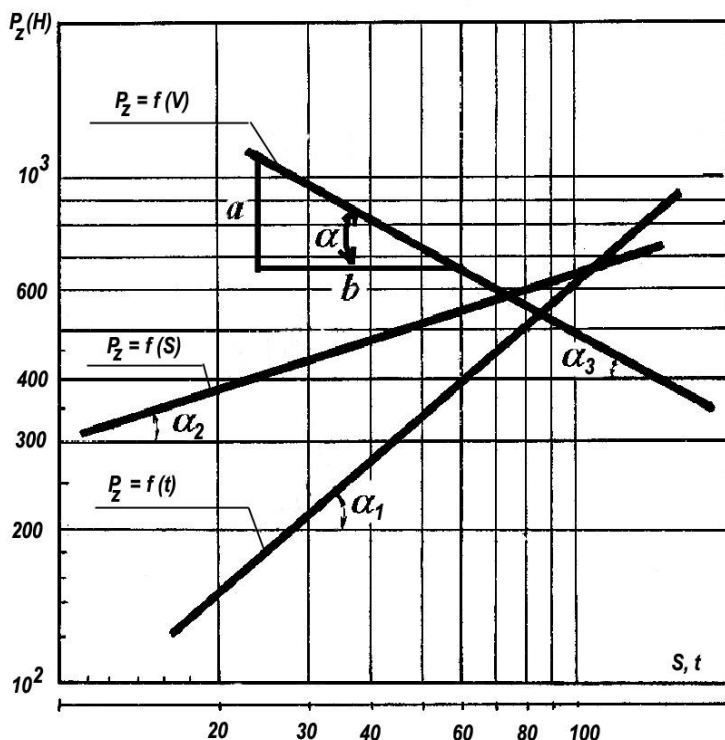


Рисунок 16.2 – Залежність складової сили різання від режимів різання

Аналогічно визначаємо залежності:

$$P_x = C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^z, \quad (16.6)$$

$$P_y = C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^z, \quad (16.7)$$

### Оснащення робочого місця.

Токарно-гвинторізний верстат моделі 16К20.

Заготовка – сталь 45,  $\sigma_B = 750$  МПа.

Прохідний різець Т5К10, 16x25 ( $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 10^\circ$ ,  $\alpha = 8^\circ$ ,  $\gamma = 20^\circ$ ).

Універсальний динамометр УДМ-600 конструкції ВНДІ (всесоюзного науково–дослідного інституту інструменту).

### 16.2.Порядок виконання роботи

1. Установити і закріпити заготовку. Установити динамометр із різцетримачем на верстат, закріпити різець. Увімкнути підсилювач і відрегулювати коефіцієнт підсилення  $m = 2,5$  (рис.16.3).

2. Провести три серії досліджень згідно протоколу (таблиця 16.1)

3. Записати покази динамометра і визначити величини сил різання за формулою і внести їх до протоколу:

$$P_z = \frac{A_z \cdot m_z}{K_z} = \frac{A_z \cdot 25}{0,75} = 3,3 \cdot A_z, \text{ Н} \quad (16.8)$$

$$P_x P_y = \frac{A_{x,y} \cdot m_{x,y}}{K_{x,y}} = \frac{A_{x,y} \cdot 25}{1,45} = 1,7 \cdot A_{x,y} \quad (16.9)$$

де  $A_{x,y,z}$  – свідчення мікроамперметрів при вимірюванні  $P_x, P_y, P_z$  (мА);

$m$  – коефіцієнт підсилення, визначений експериментами;  $m = 2,5$ ;

$K$  – коефіцієнт тарувального графіку;  $K_z = 0,75$ ;  $K_x = K_y = 1,45$ .

4. За результатами експериментів побудувати в подвійних логарифмічних координатах залежності:  $P_z = f(t, S, v)$ ,  $P_x = f(t, S, v)$ ,  $P_y = f(t, S, v)$ .

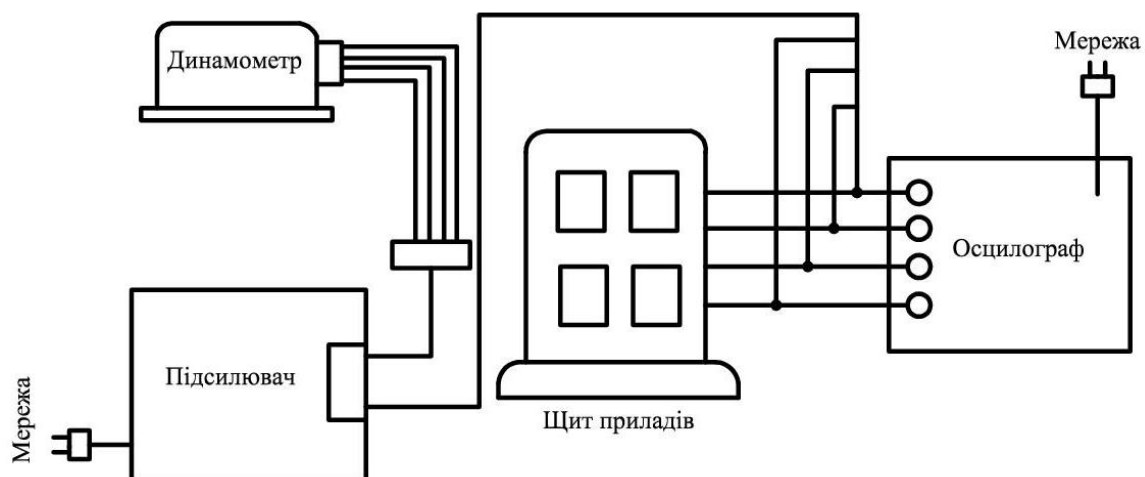


Рисунок 16.3 – Схема з'єднання пристроїв, які входять до комплексу динамометра

Таблиця 16.1. – Протокол експериментів та вимірювань

№	Режим різання				$P_z$		$P_y$		$P_x$	
	t	S	n	V	μA	H	μA	H	μA	H
1	0,50	0,3	400							
2	0,75	0,3	400							
3	1,00	0,3	400							
4	1,25	0,3	400							
5	1,50	0,3	400							
6	1,0	0,11	400							
7	1,0	0,21	400							
8	1,0	0,30	400							
9	1,0	0,47	400							
10	1,0	0,70	400							
11	1,0	0,3	125							
12	1,0	0,3	200							
13	1,0	0,3	315							
14	1,0	0,3	400							
15	1,0	0,3	630							

5. Вивести загальну формулу для визначення складових сили різання в залежності від досліджуваних параметрів.

6. Дати висновки щодо впливу різних факторів на складові сили різання.

### Контрольні запитання

1. Які складові сили різання діють на токарний різець при точінні? Як визначається сила різання?

2. Які існують методи та прилади для експериментального визначення сили різання?

3. Який вплив на силу різання мають елементи режиму різання ( $v$ ,  $t$ ,  $S$ ), геометрія різця, матеріал оброблюваної деталі?

4. Будова і принцип роботи динамометра УДМ–600.

5. Як здійснюється математичне оброблення результатів експериментів при визначенні сили різання?

## Лабораторна робота №17

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕМЕНТІВ РЕЖИМУ РІЗАННЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ РІЗАННЯ

**Мета роботи** – набуття навичок самостійної роботи з дослідження теплових явищ у процесі різання та оброблення експериментальних даних. Вивчення впливу елементів режиму різання (швидкості різання, глибини різання, подачі) на температуру при точінні.

### 17.1. Основні положення і зміст роботи

Одним із головних факторів, які визначають процес різання є теплота, яка утворюється внаслідок роботи різання. Тепло, яке виділяється в зоні різання, нагріває інструмент, який під дією сил різання та високої температури втрачає свої різальні властивості.

Часта зміна інструмента призводить до простою верстатів і до зниження продуктивності. Закони теплоутворення пояснюють ряд явищ, пов'язаних із навантаженням різця, його стійкістю, якістю обробленої поверхні. Знання цих законів дозволяє правильно і раціонально використовувати різальний інструмент.

Джерелом утворення тепла є робота на здійснення пружних  $Q_{пр}$  і пластичних деформацій  $Q_{пл}$  та робота на подолання сили тертя  $Q_{тер}$  на передній і задній поверхнях різця.

Утворене тепло розповсюджується від точок з більш високою до точок з більш низькою температурою. Тепло, утворене внаслідок деформації, надходить в стружку ( $q_{стр}$ ) і частково спрямовується в інструмент ( $q_{інст}$ ), в оброблювану деталь ( $q_{дет}$ ), а також в навколишнє середовище ( $q_{нс}$ ). Тепло, утворене внаслідок тертя на передній поверхні, надходить в стружку ( $q_{стр}$ ) і інструмент ( $q_{інст}$ ). Тепло, утворене внаслідок тертя на задній поверхні, спрямовується в інструмент ( $q_{інст}$ ) і оброблювану деталь ( $q_{дет}$ ).

Таким чином, рівняння теплового балансу може бути записано у вигляді:

$$Q_{заг} = Q_{пр} + Q_{пл} + Q_{тер} = q_{стр} + q_{інст} + q_{дет} + q_{нс}.$$

Кожне джерело теплоти має свою сферу безпосереднього впливу. Отже температура різання це середня температура на поверхні контакту інструмента зі стружкою і поверхнею різання.

Існує декілька методів визначення температури різання: калориметричний, термопар (рис.17.1), метод мікроструктурного аналізу, метод термофарб.

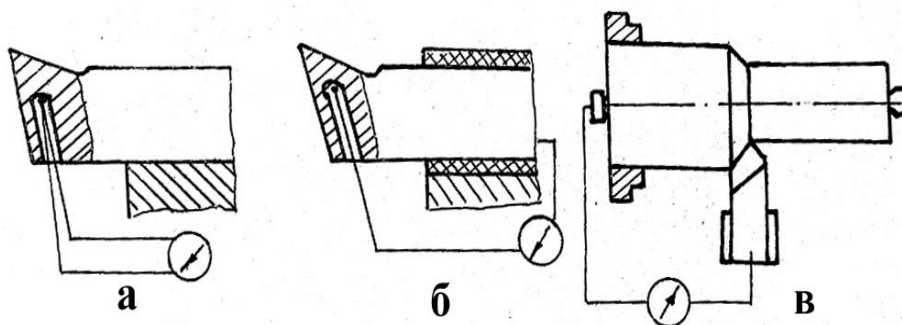


Рисунок 17.1 – Способи замірів температури різання термопарами: а – штучна термопара; б – напівштучна термопара; в – природна термопара

Найбільш розповсюдженим у теперішній час є метод термопар, в основу якого покладено явище термоелектрики, яке полягає в наступному. Якщо нагрівати з'єднання двох різнорідних матеріалів, то у електричному ланцюгу, до якого включені ці матеріали, збуджується ЕРС, яку можна виміряти чи записати. При обробці матеріалів різанням виділене внаслідок явищ тертя та пружно-пластичних деформацій тепло може нагрівати зону стружкоутворення до температур 100–1000°С. Це викличе у парі «оброблюваний матеріал–інструментальний матеріал» термо ЕРС порядку 2–15 мВ. Отже, природна термопара (рис.17.1, в) дозволяє найбільш просто і доступно виміряти дійсну температуру різання. Елементами термопари є інструмент і заготовка, поверхня контакту яких служить місцем спаю. Термо ЕРС, яку реєструє гальванометр, пропорційна температурі різання.

Доведено, що температура різання залежить від механічних властивостей оброблюваного матеріалу, геометрії інструмента, режимів різання та інших факторів. До того ж, для кожного поєднання матеріалів інструмента і заготовки існує оптимальна температура різання, при якій досягається мінімальний знос і найбільша стійкість. Отже, необхідно знати ступінь впливу різних факторів на температуру різання, щоб у кожному конкретному випадку правильно вирішувати питання вибору режимів різання, матеріалу різця та його геометрії для одержання необхідної якості оброблення і високої продуктивності процесу різання.

Формула, якою визначається залежність температури різання від елементів режиму різання, у загальному вигляді може бути представлена так:

$$Q = C_q \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^z, \quad (17.1)$$

де  $C_q$  – коефіцієнт, який залежить від матеріалу заготовки, матеріалу різальної частини різця й умов різання.

Формула є загальною, вона враховує одночасний вплив всіх трьох елементів режиму різання:  $v$ ,  $S$ ,  $t$ . Формули, які визначають залежність температури різання від кожного окремо взятого елемента процесу різання, мають наступний вигляд:

$$Q_1 = C_1 \cdot v^z, \quad (17.2)$$

$$Q_2 = C_2 \cdot t^x, \quad (17.3)$$

$$Q_3 = C_3 \cdot S^y, \quad (17.4)$$

Дослідження значно спрощується, якщо функціональні залежності, визначені рівняннями (17.2, 17.3, 17.4), відобразити в подвійній логарифмічній системі координат. Покажемо математичну методику оброблення експериментальних даних на прикладі рівняння 17.4.

Після логарифмування одержимо:

$$\lg Q_3 = \lg C_3 + y \cdot \lg S, \quad (17.5)$$

Це ступеневе рівняння в подвійній логарифмічній системі координат відображається прямою лінією, розташованою під кутом  $\alpha$  (рис. 17.2).

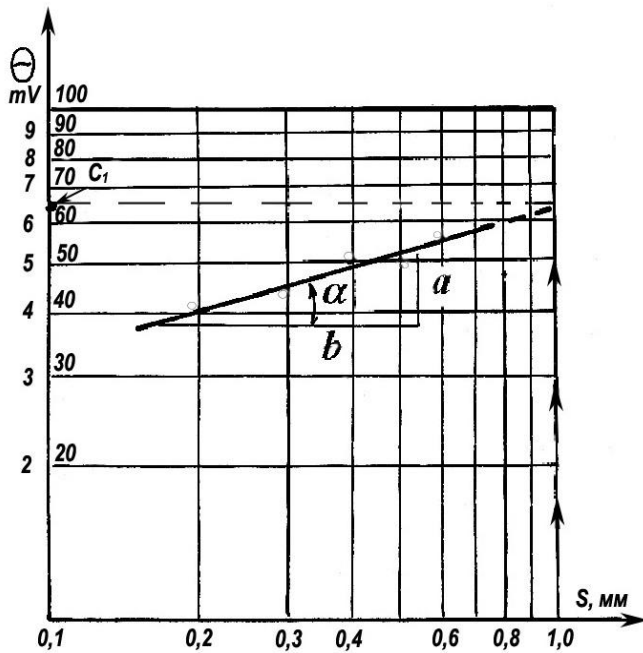


Рисунок 17.2 – Залежність температури різання від подачі в подвійній логарифмічній системі координат

Тангенс кута нахилу  $\alpha$  (рис. 17.2) чисельно дорівнює показнику ступеня  $y$ :

$$y = \operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}$$

Аналогічно оброблюються залежності 17.2 і 17.3 для визначення показників ступенів  $x$  і  $z$ .

Визначивши значення  $x$ ,  $y$ ,  $z$  і використовуючи результати будь-якого із занесених до протоколу експериментів, за формулою (17.1) знаходимо чисельні значення коефіцієнта:

$$C_q = \frac{Q}{t^x \cdot S^y \cdot v^z}, \quad (17.6)$$

Порівняння кількісних значень показників ступенів дозволяє зробити висновок про ступінь впливу окремих елементів режиму різання на температуру різання.

Вочевидь, більший вплив на температуру різання виявляє той фактор, зміна якого викликає більш інтенсивну зміну температури.

На графіку це виявляється у більш крутому розташуванні лінії залежності, а в рівнянні (17.1) – більшим значенням показника ступеню.

#### **Оснащення робочого місця.**

Токарно-гвинторізальний верстат моделі 16К20.

Заготовка – сталь 45,  $\sigma_B = 750$  МПа.

Токарний прохідний різець Р18; 16x25 ( $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 10^\circ$ ,  $\alpha = 8^\circ$ ,  $\gamma = 20^\circ$ ).

Мілівольтметр, набір електродроту.

### **17.2.Порядок виконання роботи**

1. Установити та закріпити заготовку. Установити та закріпити ізолюваний від маси верстата різець, зібрати ланцюг природної терморпари.



2. Провести три серії експериментів згідно протоколу (таблиця 17.1) і записати показники мікрвольтметра.

3. За результатами експериментів у подвійній логарифмічній системі координат побудувати залежності:  $Q_1 = f(v)$ ,  $Q_2 = f(S)$ ,  $Q_3 = f(t)$ .

4. Провести розрахунки для визначення показників ступенів  $x$ ,  $y$ ,  $z$  та коефіцієнту  $C_q$ . Вивести формулу для визначення температури різання в залежності від досліджуваних факторів.

5. Дати висновки про вплив різних факторів на температуру різання.

Таблиця 17.1. – Протокол вимірювання температури різання

n = 125 хв <sup>-1</sup> t = 0,5 мм	S мм/об	0,11	0,15	0,21	0,30	0,43
	Q, mV					
n = 125 хв <sup>-1</sup> S = 0,15 мм/об	t, мм	0,3	0,5	0,7	1,2	1,5
	Q, mV					
S = 0,15 мм/об t = 0,5 мм	n, хв <sup>-1</sup> .	31,5	63	125	250	500
	v, м/хв					
	Q, mV					

### Контрольні запитання

1. Які знаєте джерела утворення тепла при різанні?
2. Куди розповсюджується тепло, утворене при різанні?
3. Які знаєте методи вимірювання температури різання?
4. Які фактори впливають на температуру різання?
5. Які існують методи і прилади для експериментального визначення температури різання?
6. Як ступінь впливу елементів режиму різання на температуру різання?

## Лабораторна робота №18

### ЗАТОЧУВАННЯ І ДОВОДКА РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

**Мета роботи** – вивчити методи відновлення різальної здатності інструмента. Вивчити способи, устаткування, пристрої та інструмент, які застосовуються для заточування інструмента. Освоїти процес заточування різців і фрез на заточувальних верстатах.

#### 18.1. Основні положення і зміст роботи

Відновлення на інструменті заданих геометричних параметрів різальної частини та його різальних властивостей, втрачених у результаті зношування і затуплення, здійснюється шляхом заточування й доводки.

Якісні та своєчасні заточування і доводка інструменту дозволяють відновити його геометричні параметри, сприяють поліпшенню якості поверхні оброблюваних заготовок, підвищенню продуктивності праці, скороченню витрати інструменту.

Отже, основне призначення процесів заточування і доводки різального інструменту

полягає в наступному:

– забезпечити оптимальні задані геометричні параметри різальної частини інструменту, підвищення його стійкості, а також точності і продуктивності оброблення;

– забезпечити шорсткість заточених або доведених поверхонь інструменту в заданих межах, які забезпечують якість обробленої поверхні та зменшення зносу інструменту;

– зберегти різальні властивості інструментального матеріалу, забезпечивши мінімально припустимі зміни у поверхневих шарах останнього, які пов'язані зі структурними перетвореннями, появою залишкових напружень і тріщин.

**Устаткування, інструмент для заточування і доводки різального інструмента. Режими різання.**

Точильно-шліфувальний верстат моделі ЗБ633

Точильно-шліфувальний верстат (рис.18.1) застосовують для ручного заточування різців, ножів фрезерних головок, свердел тощо.

Основний вузол точильно-шліфувального верстата – шпиндельна головка 4 – містить вмонтований електродвигун. На обох кінцях вала шпинделя установлені шліфувальні круги 3. З одного боку – з електрокорунду для заточування інструментів зі швидкорізальної сталі, а з іншої – з карбіду кремнію зеленого – для заточування твердосплавних інструментів.

Інструмент, наприклад різець, укладають на опору 7 і притискають рукою. Необхідні кути нахилу встановлюються за допомогою сегмента 8 і поворотного столика 9.

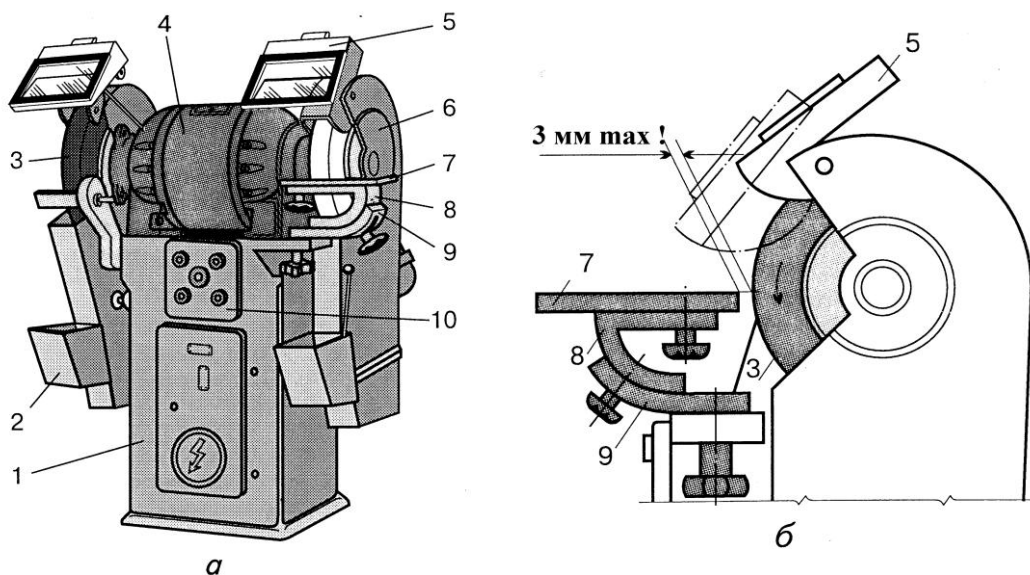


Рисунок 18.1 – Точильно–шліфувальний верстат моделі ЗБ633:

а – загальний вид; б – схема установки підручника;

1 – станина; 2 – резервуар для води; 3 – шліфувальний круг;

4 – шпиндельна головка; 5 – щиток; 6 – захисний кожух;

7 – регульована опора; 8 – поворотний сегмент;

9 – поворотний столик; 10 – пульт керування

### Універсально-заточувальний верстат моделі ЗА64Д

Універсально-заточувальний верстат моделі ЗА64Д (рис.18.2) призначений для заточування і доводки основних видів різальних інструментів з інструментальних сталей і твердих сплавів. Заточування і доводку твердосплавного інструменту слід виконувати алмазними кругами. Заточування здійснюється за допомогою ряду пристроїв, які входять у комплект верстата (рис.18.3) і спеціальних пристроїв.

Усі рухи при заточуванні інструменту і настроюванні верстату виконують вручну.

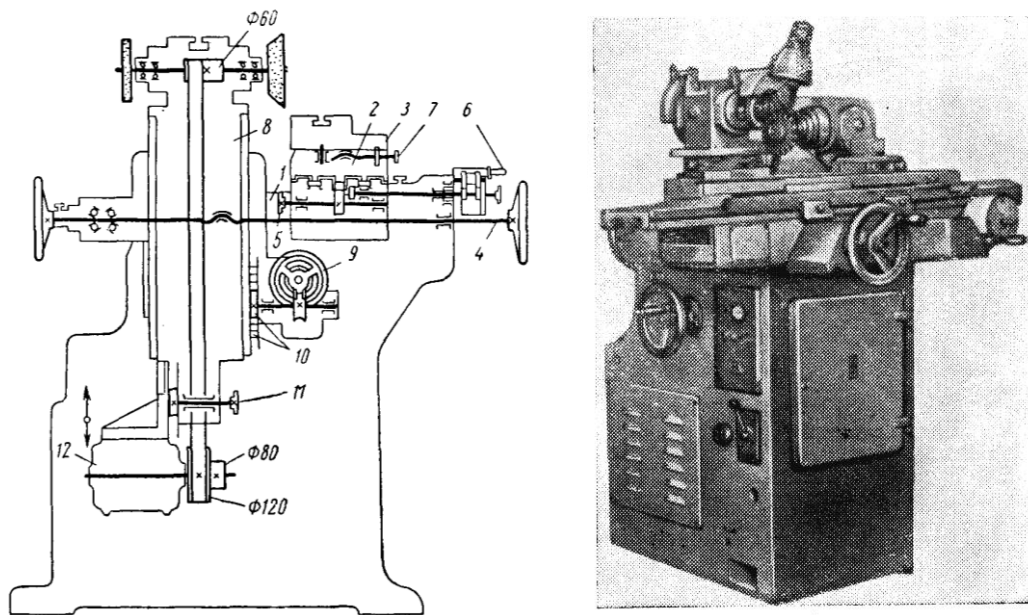


Рисунок 18.2 – Універсально-заточувальний верстат моделі ЗА64Д  
(кінематична схема і загальний вигляд):

1 – нижні полозки; 2 – поздовжній стіл; 3 – поворотний стіл; 4 – гвинт для переміщення нижніх полозків (подачі); 5 і 6 – рукоятки для швидкого й повільного переміщення поздовжнього столу; 7 – рукоятка для кутового зсуву поворотного столу; 8 – колонка шліфувальної головки; 9 – маховичок для вертикального переміщення шліфувальної головки; 10 – рейковий механізм вертикального переміщення шліфувальної головки; 11 – рукоятка для натягу пасу; 12 – електродвигун

Верстат має станину, супортний пристрій і шліфувальну головку. Супортний пристрій складається з нижніх полозків, поздовжнього та поворотного столів. Нижній стіл переміщується по напрямних станини за допомогою гвинта й гайки. Поздовжній стіл переміщується по напрямній нижніх полозків (з роликовою опорою) від руки – швидко або повільно. Поворотний стіл розташовується на верхній опорній поверхні поздовжнього

столу і центрується на ньому цапфою. Відлік кута повороту столу здійснюють за градусною шкалою, яка розташована на поздовжньому столі.

Шліфувальна головка складається з гільзи та колонки, у нижній частині якої встановлено електродвигун приводу шліфувальних кругів. Вертикальне переміщення шліфувальної головки здійснюється маховичком за допомогою черв'ячної пари, рейкового зубчастого колеса та рейки, закріпленої на гільзі. Поворотом колонки в гільзі шліфувальна головка встановлюється на необхідний кут. Відлік кута повороту ведуть за шкалою, розташованою на гільзі.

Шпиндель встановлений у корпусі шліфувальної головки. На кінцях шпинделя передбачено конуси для установки фланців шліфувальних кругів.

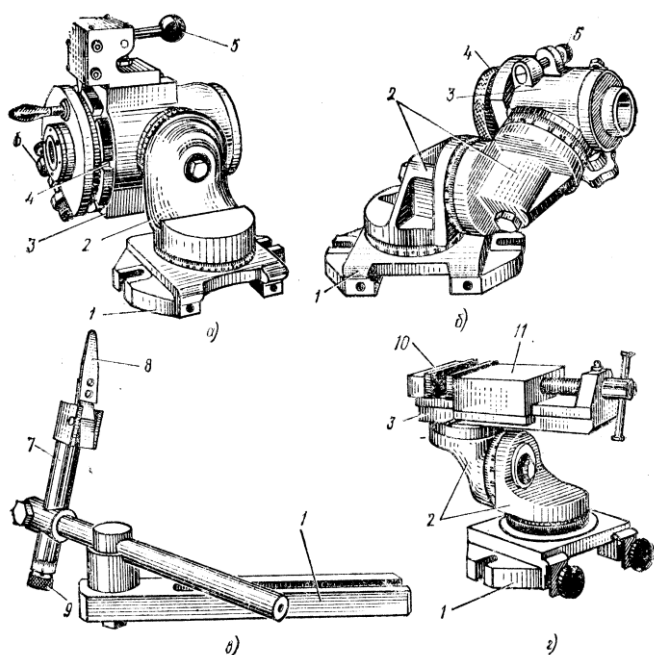


Рисунок 18.3 – Пристосування до універсально-заточувального верстата  
а, б – велика і мала універсальна головки; в – упорка;  
г – трьохповоротні лещата

### Призначення режимів різання

На більшості верстатів для заточування інструментів застосовують круги діаметром 150 або 200 мм при частоті обертання шпинделя 2540 і 3560 хв<sup>-1</sup>. Універсальні верстати мають чотири або п'ять ступенів частоти обертання шпинделя. Розрахункова окружна швидкість круга на верстатах: 17,5; 20; 28; 30; 35 м/с; швидкість поздовжнього переміщення 0,2–3 м/хв.; число подвійних ходів за хвилину 25–50; автоматична подача врізання 0,3–10 мм/хв.; найбільший припуск, що знімається за один цикл напівавтомата, – до 1,5 мм (на деяких верстатах – до 3–4 мм).

Призначення режимів шліфування завжди пов'язано з урахуванням багатьох факторів, які впливають на ефективність і економічність технологічного процесу. Вибір швидкості круга залежить від верстата, розмірів круга, жорсткості технологічної системи, наявності МОР, особливостей інструменту, що заточується.

Для кругів на керамічній зв'язці окружну швидкість призначають у межах 10–20 м/с, щоб забезпечити самозаточування різальної поверхні за рахунок викришування зерен після утворення на них плоских мікроплощадок зносу.

Для алмазних кругів на металевих зв'язках швидкість круга призначають у межах 15–25 м/с, для кругів на органічних зв'язках – 18–35 м/с.

Різальні інструменти зі швидкорізальних сталей заточують кругами з електрокорунду нормального або електрокорунду білого. Зернистість абразиву 25–40, твердість круга СМ1 – СМ2, зв'язка керамічна, структура круга 6–9. Окружна швидкість круга при ручному заточуванні інструмента – 20–25 м/с, при жорсткому закріпленні інструмента – 15–20 м/с. При більш високих вимогах до інструмента його доводять кругами з електрокорунду білого або карбіду кремнію зеленого. Зернистість абразиву 5–10, твердість круга С1 – С2, зв'язка бакелітова. Окружна швидкість круга (жорстке кріплення інструменту) 25–35 м/с.

Різці, оснащені твердими сплавами, заточують алмазними кругами АСб або АС6М зернистістю 80/63 – 160/125 за органічній зв'язці В1–11П при швидкості різання 15–20 м/с з поперечною подачею 0,05–0,06 мм/подв.хід і поздовжньою подачею 2–3 мм/хв.

При заточуванні твердосплавної частини разом зі сталлю державкою при жорсткому кріпленні інструменту слід застосовувати алмазні круги АСб зернистістю 125/100 – 250/200 на керамічній зв'язці КМ1 на режимах: швидкість різання 25–40 м/с; поперечна подача – 0,03–0,05 мм/подв.хід; поздовжня подача – 1,5–2 м/хв.

Інструмент з швидкорізальних сталей заточують з охолодженням. Твердосплавні інструменти можна заточувати і без охолодження, не допускаючи перегрівання різальних пластин.

Як охолоджувальну рідину використовують 2–5%–ний розчин соди у воді або 5–10%–ний розчин емульсолу у воді. Витрата охолоджувальної рідини – 10–12 л/хв.

Приклади маркування абразивних кругів наведені у додатку В.

### **Технологія заточування і доводки різців.**

Варіант технології заточування різців залежить від багатьох умов: типу виробництва, обсягу партії різців, конструктивних особливостей різця, ступеню й характеру зношування контактних поверхонь, наявності заточувального устаткування та ін.

Найбільш характерними є дві схеми заточування різців.

Перша схема заточування передбачає зняття значного (від 0,4 мм і більше) припуску шліфувальними кругами з карбіду кремнію (твердий сплав) або електрокорунду і монокорунду (швидкорізальні сталі) на попередніх операціях, і наступному остаточному заточуванні й доводки робочих поверхонь із застосуванням алмазних, ельборових або дрібнозернистих абразивних кругів на бакелітовій зв'язці.

При зніманні незначних припусків найкращі показники за економічністю можна досягти при використанні другої схеми заточування, що передбачає повне оброблення всіх робочих поверхонь різця з використанням тільки алмазних (для твердого сплаву) або кубонітових (для швидкорізальної сталі) кругів однієї або двох зернистостей.

Повне алмазне заточування при переточуваннях економічно доцільно проводити при припуску 0,5 – 0,3 мм, якщо конструкція різця дозволяє алмазному кругу не торкатися сталевій державці; і при припуску 0,3 мм і менш, якщо заточування необхідно проводити при одночасному шліфуванні сталевій державці та твердосплавної пластинки.

Характер зносу визначає розташування і товщину шару, що знімається при переточуванні інструмента (таблиця 18.1).

Таблиця 18.1. – Характерні види зносу і схеми переточування різців

Характер зношування різця в нормальному перетині	Схема переточування різця	Розмір припуску при переточуванні різця, мм
Зношування по задній поверхні		$h_1 = h_3 \operatorname{tg} \alpha;$ $h_2 = h_1 + (0,1 \dots 0,2)$
Зношування по передній поверхні		$h_4 = h_{\text{л}} + (0,1 \dots 0,2)$
Зношування по передній і задній поверхнях		$h_2 = h_3 \operatorname{tg} \alpha + (0,1 \dots 0,2)$ $h_4 = h_{\text{л}} + (0,1 \dots 0,2)$
Зношування по фасці і задній поверхні		$h_2 = h_3 \operatorname{tg} \alpha + (0,1 \dots 0,2)$ $h_4 = h_{\text{л}} + (0,1 \dots 0,2)$
Зношування по криволінійній передній і задній поверхнях		$h_2 = h_3 \operatorname{tg} \alpha + (0,1 \dots 0,2)$ $h_5 = h_{\text{y}} + h_{\text{к}} + (0,1 \dots 0,2)$

Найбільш характерним при заточуванні й доведенні різців є наступний порядок операцій:

- заточування передньої поверхні;
- заточування задньої головної поверхні по державці;
- заточування задньої допоміжної поверхні по державці;
- заточування фаски по передній поверхні;
- заточування задньої головної поверхні по пластинці;
- заточування задньої допоміжної поверхні по пластинці;
- заточування задньої поверхні по радіусу вершини;
- заточування лунок, канавок або стружколамаючих поріжків;
- доводка фаски по передній поверхні;
- доводка фаски задньої головної поверхні;
- доводка вершини по радіусу.

Цей порядок операцій в основному зберігається при обробленні як твердосплавних, так і швидкорізальних різців.

Сучасні верстати для заточування різців відрізняються різноманітністю моделей, їх конструкцією і ступенем автоматизації робочих циклів.

Широке застосування знаходять точильно-шліфувальні верстати найпростішої конструкції (точила) з опорою або поворотним столом для установки різця. У цих верстатів відсутні будь-які пристрої для автоматизації і заточування робиться вручну.

При використанні кругів прямого профілю заточування передньої поверхні різця робиться бічною поверхнею круга (рис.18.4, а). Різець бічною поверхнею базується на плоскій поверхні опори і переміщується уздовж осі круга для здійснення подачі на врізання (притискання із визначеним навантаженням у напрямку  $S$ ) і уздовж бічної поверхні круга для забезпечення більш рівномірного знімання металу та зношування круга (осцилююча подача  $S_{осц}$ ).

При заточуванні задніх поверхонь опору повертають на величину заднього кута  $\alpha$  або  $\alpha_1$ , а різець базують на плоскій поверхні опори відповідно під кутом  $\varphi$  або  $\varphi_1$  для забезпечення паралельності різальних кромки, які заточують, до периферії круга (рис.18.4, б). На опорі можуть установлюватися додаткові елементи (лінійки, транспортири), які забезпечують установку різця з визначеною точністю, пристрої для закріплення різця та його переміщення під час заточування. На найпростіших точилах різець іноді утримують і переміщують вручну, що знижує точність і якість заточування.

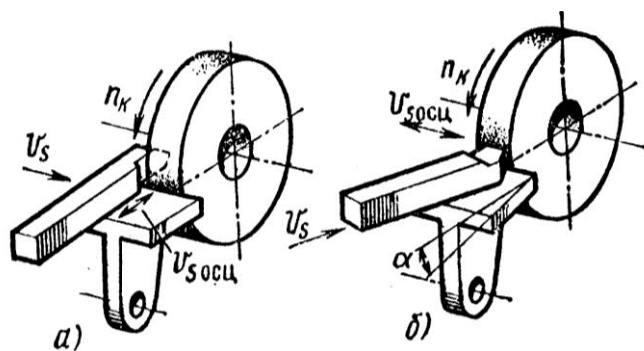


Рисунок 18.4 – Заточування різця на точильно-шліфувальному верстаті:  
а – заточування передньої поверхні;  
б – заточування головної задньої поверхні

Заточування на точильно-шліфувальних верстатах вимагає необхідної кваліфікації заточника, від навичок і досвідченості якого залежить якість заточених інструментів. Надмірне збільшення навантаження при притисканні різця до круга може привести до появи приполів і тріщин у поверхневому шарі різця. Неточне дотримання правил установки різця на опорі приводить до погрешностей кутів, невиконанню вимог однорідності заточених інструментів у партії.

Для забезпечення заданої шорсткості робочих поверхонь частини різця після заточування необхідна доводка, наприклад, на верстаті моделі ЗБ632В або ЗА64Д.

Закріплення різців на підручнику вручну забезпечує малі витрати часу на цю операцію, однак точність заточування звичайно буває недостатньо

високою. Тому для підвищення якості заточування доцільно застосовувати універсально-заточувальні верстати (наприклад, мод. 3А64Д), що мають у комплекті різні пристрої високої точності, що забезпечують досить високу продуктивність заточувальних і доводочних операцій.

### Заточування свердел, зенкерів, розверток.

Формоутворення задніх поверхонь при заточуванні свердел визначається кінематикою відносного руху поверхні шліфувального круга й свердла на заточувальному верстаті. Існують різні схеми формоутворення задніх поверхонь.

Найбільш поширене конічне заточування свердла, при якому задня поверхня виконується у виді конуса. Плоске заточування, при якому задня поверхня виконується у виді площини, застосовують для свердел малих діаметрів, а також твердосплавних свердел, що працюють по чавуну. Схема конічного заточування задньої поверхні свердла показана на рисунку 18.5.

Свердло, закріплене з орієнтуванням щодо шліфувального круга в пристосуванні, одержує обертання разом з ним щодо осі О-О уявлюваного конуса. При заточуванні свердло подають уздовж його осі до шліфувального круга, у результаті чого задня поверхня свердла буде частиною поверхні уявного конуса. Заточування свердла за даним способом вимагає дворазової установки свердла, тому що у свердла є дві задні поверхні. Кут конуса  $13-15^\circ$  і кут між віссю свердла і віссю його обертання  $45^\circ$  забезпечує кут при вершині свердла  $2\varphi = 118-120^\circ$ .

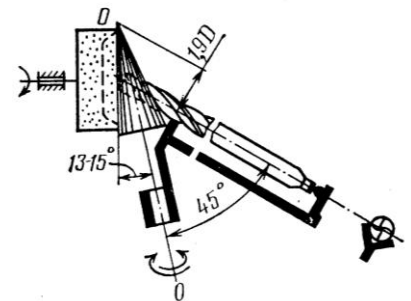


Рисунок 18.5 Схема конічного заточування задньої поверхні свердла

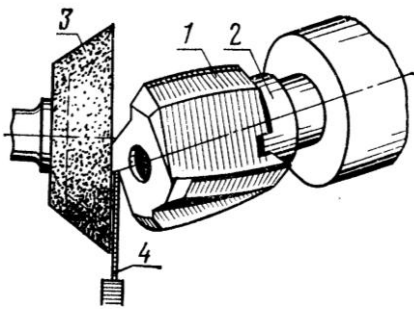


Рисунок 18.6 – Схема заточування зенкера

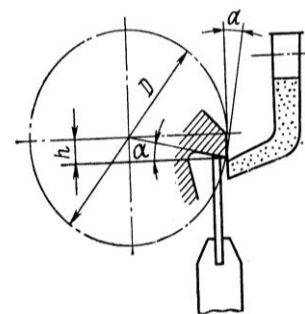


Рисунок 18.7 – Схема заточування розвертки

Зенкери заточують на універсальному або спеціалізованому заточувальному верстатах (переважно по задній поверхні). Зенкери із затилованими зубцями заточують тільки по передній поверхні. Твердосплавні зенкери заточують по передній і задній поверхнях. Установка зенкера на верстаті для заточування задньої поверхні показана на рисунку 18.6. Зенкер 1 закріплений в оправці 2. Заточування ведуть чашковим кругом



3. Зуб зенкера фіксують за допомогою пересувного упора 4, що упирається в передню поверхню біля ріжучої кромки зуба.

У розверток заточують задню і передню поверхні. На рисунку 18.7 надано схему заточування задньої поверхні. Упор для зуба розвертки для збереження заднього кута  $\alpha$  повинен бути на відстані від осі розвертки на величину  $h = 0,5D \sin \alpha$ .

У плані слід площини торця шліфувального круга нахилений до осі розвертки під кутом  $\varphi$  (де  $\varphi$  – половина кута ріжучої частини розвертки). Після заточування розвертки доводять по задній і передній поверхнях.

### Заточування фрез.

Фасонні фрези з затилованими зубцями переточують по передній поверхні кругами тарілчастого типу при установці фрези в центрах або на оправці, зв'язаній зі шпинделем ділильного пристрою. Установка круга відносно фрези залежить від величини переднього кута і робочої поверхні тарілчастого круга (рис.18.8).

У фрез з незатилованими зубами спочатку роблять заточування задніх, а потім – передніх поверхонь. На задній поверхні деяких типів фрез (наприклад, циліндричних) допускається циліндрична стрічка шириною не більш 0,05 мм.

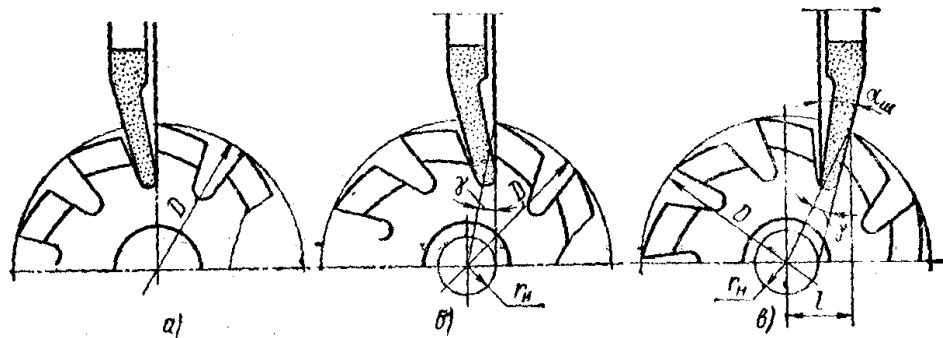


Рисунок 18.8 – Схема установки шліфувальних кругів при заточуванні передньої поверхні фасонних фрез

Задні поверхні звичайно шліфують торцем чашкового круга з невеликим розворотом його осі в горизонтальній площині на кут  $1-2^\circ$ , щоб усунути підрізання зуба і зменшити площу торкання круга з поверхнею, що заточується.

Положення зуба фіксується упором, що забезпечує зсув вершини зуба щодо осьової горизонтальної площини (рис.18.9).

Зсув  $H$  осі фрези, що заточується, визначається з рівнянь:

$$\text{для дискового круга } H = R_{\text{кр}} \sin \alpha ,$$

$$\text{для чашкового круга } H = R_{\text{фр}} \sin \alpha ,$$

де  $R_{\text{кр}}$  – діаметр круга;

$R_{\text{фр}}$  – діаметр фрези;

$\alpha$  – задній кут, що заточується.

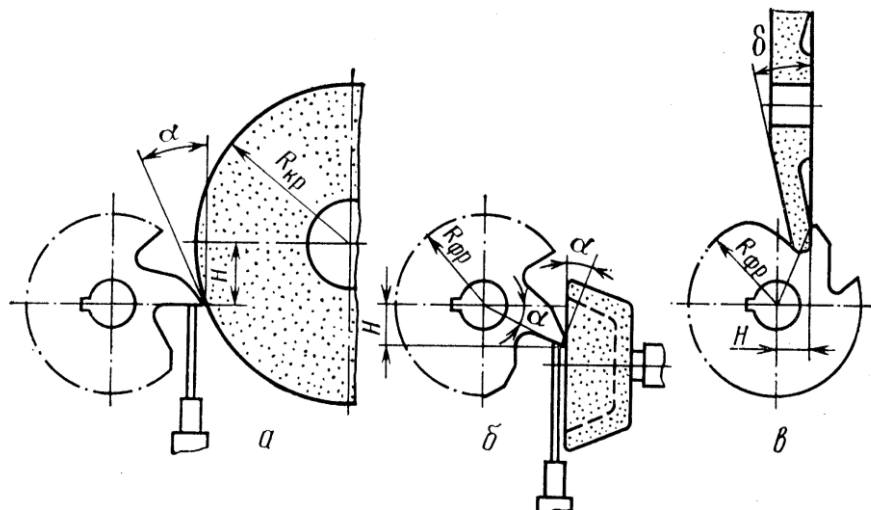


Рисунок 18.9 – Схема заточування фрез з незатилкованими зуб'ями

### **Контроль якості заточування різального інструменту.**

Основними умовами якісного заточування є:

- точність виконання лінійних розмірів і кутів заточування;
- точність виконання розмірів фасок, стружколамаючих лунок і поріжків;
- відсутність на ріжучих кромках тріщин, забоїн, заусенців, завалів, викришувань;
- відсутність на поверхнях, що заточуються, прижогів, сітки поверхневих тріщин, одиночних глибоких поверхневих тріщин;
- шорсткість заточених поверхонь у встановлених межах;
- відсутність биття ріжучих кромки (для свердел і фрез);

Лінійні розміри після заточування перевіряють масштабною лінійкою, штангенциркулем, мікрометром, індикатором годинникового типу або шаблонами. Площинність робочих поверхонь і прямолінійність ріжучих кромки визначають лекальною лінійкою. Для контролю кутових розмірів застосовують універсальні або спеціальні прилади різних конструкцій, зокрема, настільний, універсальний і оптичний кутоміри.

Контроль шорсткості поверхні здійснюють шляхом порівняння зі зразками, атестованими за допомогою щупових або оптичних приладів у вимірювальній лабораторії. У необхідних випадках шорсткість поверхні контролюють безпосередньо профілографом-профілометром.

Контроль на наявність тріщин проводять за допомогою кольорової дефектоскопії.

### **Оснащення робочого місця.**

Верстати моделей ЗБ633, 3А64Д, 3Б632В з комплектом пристроїв.

Макети різців, виготовлені з конструкційної сталі.

Циліндрична фреза з центральною оправкою і повідцем.

Свердла, зенкери, розвертки.

Профілограф-профілометр моделі 201, зразки шорсткості.

Кутоміри (настільний, оптичний, універсальний).

Великий інструментальний мікроскоп БМІ-1, ручний мікроскоп МПБ-2.

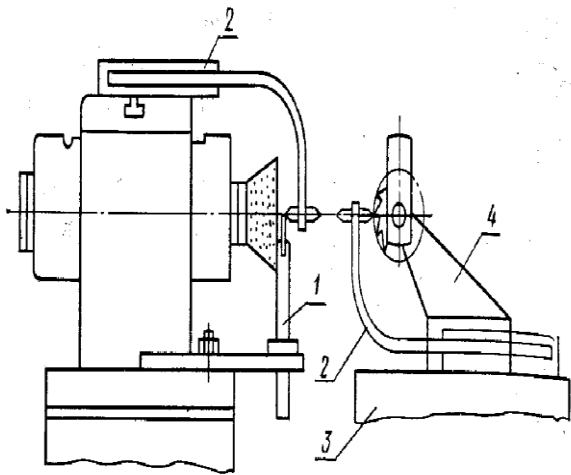
### 18.2. Порядок виконання роботи

1. Заточити токарний різець на верстаті 3Б633. Геометрію різця визначає викладач.

2. Перевірити значення кутів заточування токарного різця настільним і універсальним кутомірами (або шаблонами). Оцінити якість заточування різця використовуючи прилади для вимірювання шорсткості поверхонь і мікроскопи.

3. Зробити доводку на верстаті моделі 3Б632В. Оцінити якість заточування різця, використовуючи прилади для вимірювання шорсткості поверхонь і мікроскопи. Порівняти отримані результати до і після доводки. Зробити висновки.

4. Заточити циліндричну фрезу на універсально-заточувальному верстаті. Налагодити верстат для заточування фрези, для чого необхідно:



**Рисунок 18.10** – Схема встановлення упорів для заточування фрези

– закріпити чашковий шліфувальний круг на правому кінці шпинделя і установити шпиндель під кутом  $89^\circ$  до напрямку поздовжньої подачі столу;

– установити упор 1 перед лівим краєм круга (рис.18.10) по центру шліфувального шпинделя на підставку шліфувальної бабки; для перевірки положення упора по центру шпинделя на верхню площину шліфувальної бабки установити шаблон 2 і вивірити по ньому положення упора, регулюючи його висоту;

– закріпити на столі верстата 3 передню і задню центрові бабки у залежності від довжини оправки, на якій буде встановлена фреза, що заточується. Центрова лінія, що проходить через передній і задній центри бабки, повинна бути на одному рівні з упором, установлюваним на шліфувальній бабці. Для перевірки взаємного розташування столу і шліфувальної бабки на стіл верстата 3 поставити шаблон 2, що центрує, і, переміщуючи шліфувальну бабку у вертикальному напрямку, підвести упор 1 під шаблон, що центрує;

– встановити фрезу 5, яка заточується (рис.18.11), на оправку 6 і закріпити на оправці хомутик 4. Оправку 6 установити на центрах передньої 1 і задньої 7 бабок. Установочний палець 3 хомутика 4 завести в отвір шкали 2, яка служить для установки потрібного значення заднього кута, і закріпити хомутик 4 на оправці 6;

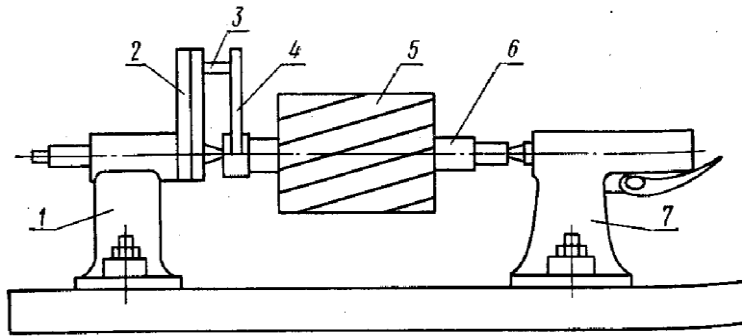


Рисунок 18.11— Схема наладки для заточування фрези

- обертаючи вручну оправку, підвести зуб фрези до торкання з упором. Установити шкалу для виміру заднього кута на нульове ділення;
- притискаючи рукою зуб фрези до упора, опустити шліфувальну бабку доти, поки на шкалі не установиться заданий задній кут; зняти хомутик 4;
- заточити по черзі всі зубці фрези, переміщуючи вручну стіл верстата в поздовжньому напрямку і притискаючи рукою зуб фрези, що заточується, до упора; у разі потреби після заточування всіх зубців фрези з поперечною подачею 0,02 мм процес заточування всіх зубців повторюється;
- оцінити якість заточки циліндричної фрези.

5. Скласти звіт. У звіт необхідно включити: дані про різець, що заточується, і фрези, у тому числі про кути заточування; характеристику кругів для заточування токарного різця і фрези (тип, марка абразиву, зернистість, індекс зернистості, твердість круга, структура, зв'язка, клас круга). Зробити висновки про правильність і якість заточування.

### Контрольні запитання

1. Які геометричні параметри різців, свердел, фрез Ви знаєте?
2. Які форми зносу різального інструмента Ви знаєте?
3. Як заточують різці, свердла, фрези?
4. Які існують устаткування та пристосування для заточування та доводки різального інструмента?
5. Як роблять доводку різального інструмента?
6. Як оцінити якість заточування різального інструменту?

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дмитриченко М.Ф. Основи матеріалознавства: посібник / М.Ф.Дмитриченко, В.М.Ткачук, О.В.Мельник. – Київ: НТУ, 2008. – 162 с.
2. Интегрированные процессы обработки материалов резанием: учебник [для высш. учебн. заведений] /А.М.Грабченко, В.А.Залога, Ю.М.Внуков и др.; под общ. ред. А.И.Грабченко и В.А.Залогои. – Сумы: Университетская книга, 2017. – 451 с.
3. Инструменты из сверхтвердых материалов: производственно-техническое издание / под редакцией Новикова Н.В. и Клименко С.А. – Москва: Машиностроение, 2014. – 608 с.
4. Канарчук В.Е. Прикладное автотракторное материаловедение: учебное пособие / В.Е.Канарчук, В.И.Шевченко. – Киев: УМКВО, 1990. – 164 с.
5. Континуальная и дискретно–континуальная модификация поверхностей деталей: монография / Н.А.Ткачук, С.С.Дяченко, Э.К.Посвятенко и др. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2015. – 260 с.
6. Крижний Г.К. Класифікація та маркування конструкційних металів і сплавів: навчальний посібник / Г.К.Крижний, Л.І.Пупань. Харків: НТУ «ХПИ», 2005. – 84 с.
7. Матеріалознавство: підручник / С.С.Дяченко, І.В.Дощечкіна, А.О.Мовлян, Е.І.Плешаков; за ред. проф. Дяченко С.С. – Харків: ХНАДУ, 2007. – 440 с.
8. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: підручник / А.С.Опальчук, Є.Г.Афтанділянц, Л.Л.Роговський та ін.; за ред. А.С. Опальчука і О.Є.Семеновського. – Ніжин: Видавець Лисенко П.П., 2013. – 752 с.
9. Металлорежущие инструменты: учебник для вузов / Г.Н.Сахаров, О.Б.Арбузов, Ю.Л.Боровой и др. – Москва: Машиностроение, 1989. – 328 с.
10. Механіка комбінованого протягування графітовмісних чавунів: монографія / Е.К.Посвятенко, Я.Б.Немировський, О.В.Чернявський, П.М.Єрьомін; за ред. проф. Посвятенка Е.К. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2017. – 288 с.
11. Основні теорії різання матеріалів: підручник / М.П.Мазур, Ю.М.Внуков, В.Л.Доброскок та ін.; під заг. Ред. М.П.Мазура. – Львів: Новий світ – 2000, – 2010. – 422 с.
12. Повстень В.О. Фізичні основи та джерела живлення зварювальної дуги: навчальний посібник / В.О.Повстень, Е.К.Посвятенко. – Київ: Арістей, 2004. – 168 с.
13. Посвятенко Е.К. Технологія металів. Основи обробки металів: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напрямів «Дизайн» та «Зварювання» / Е.К.Посвятенко, О.В.Сушко, О.В.Мельник. – Київ: НТУ, – 2013. – 116 с.
14. Правила охорони праці на автомобільному транспорті: підручник / С.А.Полянський, Ю.В.Гержод та ін. – Київ: «Основа», – 1997. – 329 с.

15. Сушко О.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: навчальний посібник / О.В.Сушко, С.В.Кюрчев. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010. – 232 с.

16. Технологія конструкційних матеріалів: підручник / М.А.Сологуб, І.О.Рожнецький, О.І.Некоз та ін.; під заг. ред. М.А.Сологуба. – Київ: Вища школа, 2002. – 374 с.

## ДОДАТОК А

### ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ІЗ ДИСЦИПЛІН «ТЕХНОЛОГІЯ МЕТАЛІВ І МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО» ТА «ОСНОВИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ» В ЛАБОРАТОРІЯХ КАФЕДРИ

1. Практична частина лабораторних робіт виконується студентами лише в присутності викладача або лаборанта.

2. Перед проведенням конкретних робіт за вказівкою викладача студенти повинні звернути увагу на небезпечні та шкідливі фактори.

3. При шліфуванні та поліруванні зразків необхідно користуватися окулярами для запобігання травмування очей.

4. Якщо при поліруванні зразок вирвано із рук, негайно відключити верстат від електричної мережі.

5. При травленні зразків у водних або спиртових розчинах лугів, солей, кислот остерігатись їх попадання на відкриту шкіру та очі. Якщо це трапилось, необхідно промити забруднені місця водою.

6. Після закінчення роботи та металографічному мікроскопі МИМ–7 вимкнути мікроскоп із електромережі, закрити чохлами та вимкнути головний рубильник.

7. При виконанні термічної обробки зразків необхідно:

- забезпечити наявність гумового килимка на підлозі;
- використовувати рукавиці при завантаженні та вивантаженні зразків;
- завантажувати та вивантажувати зразки за допомогою кліщів і лише при відключеній від електричної мережі печі;
- дотримуватись правил пожежної безпеки при охолодженні зразків в олії (зразки в олію занурювати повністю; не здійснювати одночасне гартування великої маси зразків; в лабораторії обов'язково повинні бути справні первинні засоби пожежного гасіння).

8. По завершенні практичної частини лабораторної роботи необхідно відключити обладнання від електричної мережі; перевірити, щоб зразки після термічної обробки були охолоджені до кімнатної температури, а заслінки печей були закритими.

9. У випадку загорання в лабораторії вжити заходи по його усуненню за допомогою первинних засобів пожежогасіння. Коли це не можливо, студенти повинні покинути лабораторію, а викладач зобов'язаний сповістити завідувача кафедри та адміністрацію та прийняти міри до ліквідації пожежі.

#### ОСНОВНІ ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ НА ВЕРСТАТАХ

##### *Загальні вимоги*

При виконанні робіт на механічних дільницях, робочих місцях, де розташовані верстати, можуть мати місце такі основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- обертів частини верстатів і деталі, що оброблюються;

- деталі, заготовки та їх осколки, стружка, а також інструмент, які вилітають;
- частини абразивних кругів, які розлітаються;
- різальний інструмент;
- ураження електричним струмом;
- підвищені рівні шуму.

Організація і виконання робіт на механічній дільниці повинні відповідати Правилам техніки безпеки і виробничої санітарії при холодній обробці металів та цим Правилам.

Вимоги безпеки до прогресів обробки різанням повинні бути викладені в технологічних документах і виконуватись протягом усього технологічного процесу.

Верстати, при роботі на яких виділяються шкідливі речовини, повинні працювати з ввімкненою місцевою вентиляцією для їх видалення із зони різання.

Для працюючих, які беруть участь у технологічному процесі різання, повинні бути забезпечені зручні робочі місця, де б ніщо не заважало їх діям під час виконання робіт.

На кожному робочому місці біля верстата на підлозі повинні бути дерев'яні трапи на всю довжину робочої зони і шириною не менше 0,6 м від частин верстата, що виступають.

Верстати повинні приводитися у дію та обслуговуватись тільки тими особами, за якими вони закріплені. Пускати в дію верстати і працювати на них іншим особам забороняється.

Ремонт верстатів повинен виконуватись спеціально призначеним особам.

Перед початком роботи на верстаті необхідно перевірити справність та наявність усіх огорожень і пристроїв, надійність закріплення різального інструменту, а також випробувати верстат на холостому ходу.

Виключення верстата обов'язкове: у разі припинення подання струму; при зміні робочого інструменту, закріплені або установлені деталі, що обробляється, зняті її з верстата, а також при ремонті, чищенні та змащенні верстата, прибиранні ошукрок та стружки.

Для зняття, установлення деталей або заготовок масою більше 20 кг необхідно використовувати підйомно-транспортні механізми, обладнані спеціальними пристроями (захватами).

Вироби, що обробляються на верстатах, повинні міцно і надійно закріплюватися.

При роботі на верстатах повинні застосовуватись передбачені на них засоби колективного захисту.

При відсутності або несправності на верстатах захисних щитків для захисту очей, робітники повинні працювати в захисних окулярах.

Працювати на несправних верстатах, а також на верстатах з несправним або погано закріпленим огороженням забороняється.

Укладання матеріалів та деталей біля робочих місць повинно робитися способом, що забезпечує їх стійкість.



Робоче місце верстатника і приміщення повинні завжди утримуватися в чистоті і не захащуватись виробами та матеріалами.

Видалення стружки з верстата повинно робитися відповідними пристроями (гачками, щітками). Прибирати стружку руками забороняється.

Гачки повинні мати гладкі рукоятки та щиток, що запобігає порізам рук стружкою.

Прибирання стружки з робочих проходів повинно проводитися ретельно, накопичення стружки не допускається. Стружку збирають у спеціальні ящики і в міру їх заповнення видаляють із приміщення.

Мастильно-охолоджувальні рідини, що використовуються для обробки різанням, повинні мати відповідний дозвіл Міністерства охорони здоров'я.

Верстатники при виконанні роботи повинні користуватися засобами індивідуального захисту.

При залишенні робочого місця (навіть короткочасно) верстатник повинен вимкнути верстат.

Біля кожного верстата повинна бути вивішена табличка із зазначенням особи, яка відповідає за його експлуатацію.

#### *Токарні верстати*

Знімаючи (згвинчуючи) патрон або планшайбу, необхідно обертати їх тільки вручну. Забороняється для виконання цієї операції включати шпиндель верстата.

Під час роботи верстата забороняється торкатися обертаючих частин, вводити руку в зону їх руху, класти на верстат деталі та інструменти.

При обробці в'язких матеріалів (сталей) необхідно застосовувати різні зі спеціальною заточкою або пристрої, що забезпечують роздроблення стружки в процесі різання.

При обробці крихких матеріалів і при утворенні роздрібленої на малі частини стружки повинні застосовуватись стружковідвідники.

Обробка металів, що утворюють зливну стружку, повинна проводитися із застосуванням стружколомачів для роздроблення стружки.

Опиловка, поліровка, зачистка абразивним полотном деталей, що обробляється на верстатах, повинна проводитися за допомогою спеціальних пристроїв (інструменту) і методами, що забезпечують безпеку виконання цих операцій.

Прутковий матеріал, що подається для обробки на верстати, не повинен мати кривизни.

При роботі на високих швидкостях з метою безпеки необхідно користуватися обертовими центрами.

Для створення безпечних умов праці при обробці деталей великої довжини повинні застосовуватись люнети.

#### *Свердлильні верстати*

При встановленні свердел та інших різальних інструментів і пристроїв у шпиндель верстата необхідно звертати особливу увагу на міцність їх закріплення і точність центрування.

Видалення стружки із просвердлюваного отвору дозволяється проводити тільки після зупинення верстата і відведення інструменту.

Усі предмети, які призначені для обробки, за виключенням особливо важких, повинні бути встановлені і закріплені на столі або плиті свердлильного верстата нерухомо за допомогою лещат, кондукторів або інших надійних пристроїв.

Для витягання інструменту зі шпинделя верстата повинні застосовуватись спеціальні молотки і вибивачі, зроблені із матеріалу, який виключає відокремлення його частинок при ударі.

Шпиндель з патроном повинен самостійно повертатися у верхнє положення при відпусканні штурвала подачі свердла.

Забороняється:

- застосовувати свердла і патрони із забитим або спрацьованим хвостовиком;

- використовувати при роботі на верстаті рукавиці;

- утримувати виріб під час обробки руками.

Клини, гвинти та інші елементи, що використовуються для закріплення інструмента, не повинні виступати над периферією шпинделя.

*Фрезерні верстати*

При установленні і зміні фрез повинні застосовуватись спеціальні пристрої, що запобігають порізам рук.

Неробочі частини фрез повинні бути огорожені.

Забороняється застосовувати фрези (дискові пилки), що мають тріщини або поламані зуб'я.

Збірні фрези повинні мати пристрої, що запобігають вилітання зубців під час роботи.

*Заточувальні та шліфувальні верстати*

Перед встановленням на верстат абразивний інструмент повинен бути оглянутий. Не дозволяється експлуатація інструменту з тріщинами на поверхні, а також того, який не має відмітки про випробування на механічну міцність або з простроченим терміном зберігання.

Перед встановленням усі абразивні круги повинні бути відбалансовані. При виявленні дисбалансу круга після перевірки або у процесі роботи він повинен бути повторно відбалансований.

При встановленні абразивного круга необхідно між фланцями і кругом установлювати прокладки із картону або іншого еластичного матеріалу товщиною 0,5...1,0 мм. Прокладки повинні виступати за фланець по всій окружності не менше як на 1 мм.

Перед початком роботи круг, який встановлено на шліфувальний верстат, повинен бути перевірений на ходу (вхолосту) при робочому числі обертів: круг діаметром до 400 мм – не менше 2 хв. Понад 400 мм – не менше 5 хв.

До роботи можна приступати, тільки переконавшись у тому, що круг не має биття.

Захисний екран заточувального верстата повинен бути заблокованим з пусковим пристроєм, що виключає можливість пуску верстата при піднятому (відведеному) екрані.

Випробування, встановлення і правка абразивних кругів проводиться спеціально призначеними і підготовленими робітниками.

Правку шліфувальних кругів дозволяється проводити тільки спеціально призначеним для цієї мети інструментом (алмазним олівцем, металевими роликками, металокерамічними дисками тощо). При правці обов'язково користуватись захисними окулярами.

Забороняється:

- приймати круги без відмітки про їх випробування;
- проводити правку кругів не призначеним для цього інструментом;
- при обробці виробів шліфувальним кругом застосовувати важелі для збільшення натиску на круг;
- працювати без захисного кожуха;
- виконувати роботу боковими (торцевими) поверхнями кругів, які спеціально не призначені для такого виду робіт.

При зменшенні діаметра круга внаслідок його спрацювання число обертів круга може бути збільшене, але так, щоб не перевищувати колову швидкість, допустиму для даного круга.

Для утримання виробів, що подаються до заточувального (шліфувального) круга вручну, повинні застосовуватись підручники або замінюючи їх пристрої. Підручники повинні бути пересувними, що дозволяє встановлювати їх в необхідному положенні в міру спрацювання круга.

Зазор між краєм підручника і робочої поверхні круга повинен бути менше половини товщини оброблюваного виробу, але не більше 3 мм, причому край підручника з боку круга не повинен мати вибоїн, сколів та інших дефектів.

Підручники встановлюють так, щоб дотик виробу до круга відбувався вище горизонтальної площини, що проходить через центр круга, але не більше як на 10 мм.

Заточувальні (шліфувальні) верстати при роботі без охолодження повинні бути оснащені пиловідсмоктуючими пристроями.

*Правила охорони праці і безпечних прийомів роботи.*

- 1) Працюйте тільки справним інструментом.
- 2) Не торкайтеся до оголених електродів і частин електроустаткування: можете потрапити під наругу.
- 3) Перед пуском верстата перевірте справність пускового пристрою (рубильника, кнопок включення). Переконайтеся, що не відбудеться само включення верстата.
- 4) Правильно встановлюйте круг:
  - ретельно огляньте і перевірте, чи немає в ньому тріщин;
  - круг діаметром 150 мм і більше повинний мати свідоцтво про перевірку його на іспитовому верстаті. Невипробуваним абразивним кругом працювати забороняється;

– зазор між діаметром отвору круга та діаметром шпинделя повинний бути від 0,1 і не більше 1,5 мм;

– встановлюючи круг, ставте прокладки між фланцями і навкруги по обидва боки. Прокладки повинні бути з еластичного матеріалу (щільного паперу, картону, гуми) товщиною 1-3 мм. Діаметр прокладки повинний бути на 6-10 мм більше діаметра затискних фланців;

– правильно підбирайте затискні фланці за розмірами круга; діаметри фланців повинні бути не менше 1/3 діаметра круга, а затискні поверхні на обох фланцях – однаковими. Фланці для кріплення кругів, які встановлюються на перехідних фланцях-втулках, повинні затискати поверхню круга на величину не менше 1/5 радіальної ширини кільцевої поверхні круга;

– після встановлення круга ретельно відбалансуйте його;

– установіть захисний кожух, після чого випробуйте круг вхолосту при робочому числі обертів протягом 5 хв., щоб переконатися в міцності круга й у тім, що він не має биття.

5) Не працюйте без огороження шліфувального круга захисним кожухом. Підбирайте кожух за діаметром і висотою круга. Міцно і правильно встановлюйте кожух.

6) Застосовуйте запобіжний пересувний козирок і, в міру спрацьовування круга, опускайте його.

7) Зазор між опорою і кругом не повинний перевищувати 3 мм. По мірі зношування круга робіть регулювання положення опори.

8) При роботі без охолодження користуйтеся захисним окуляром або захисним екраном.

9) Предмет, який обробляється, встановлюйте правильно і надійно, щоб під час роботи верстата була зовсім виключена можливість його вильоту.

10) Не тримайте на верстаті готових виробів, інструмента, заготовок, ганчірок.

11) Не торкайтеся до шліфувального круга та до оброблюваної деталі до повної їхньої зупинки.

12) Шліфувальний круг до оброблюваної деталі або деталь до круга підводьте плавно; не піддавайте круг ударам, натиску та поштовхам.

13) Бічною поверхнею круга працювати забороняється, якщо круг не призначений спеціально для даної роботи.

14) Перед зупинкою верстата виключіть подачу і відведіть шліфувальний круг від деталі або деталь від круга.

## ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Визначення твердості за Брінеллем та співвідношення чисел  
твердості, визначених за різними методами

Твердість за Брінеллем, НВ				Твердість за Роквеллом		Твердість за Брінеллем, НВ, МПа	Твердість за Віккерсом, НV	Границя міцності, $\sigma_B$ , МПа
Діаметр відбитку, мм	D = 10мм, D = 5 мм			HRC	HRB			
	P=3000, Н	P=1000, Н	P=750, Н					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2,00	9460	3150	2290	-	-	-	-	-
2,05	8930	3000	2170	-	-	-	-	-
2,10	8750	2860	2070	-	-	-	-	-
2,15	8170	2730	1960	-	-	-	-	-
2,20	7820	2610	1870	72	-	-	-	-
2,25	7440	2480	1780	69	-	-	-	-
2,30	7130	2380	1700	67	-	7170	9180	-
2,35	6830	2270	1620	65	-	6860	8590	-
2,40	6520	2180	1560	63	-	6560	7930	-
2,45	6270	2090	1490	61	-	6280	7400	-
2,50	6000	2000	1430	59	-	6000	6940	-
2,55	5780	1930	1370	58	-	5840	6720	-
2,60	5550	1850	1310	56	121,3	5610	6300	-
2,65	5320	1780	1260	54	120,2	5360	5920	-
2,70	5120	1710	1210	52	119,1	5120	5560	1920
2,75	4950	1660	1160	51	118,5	5000	5390	1860
2,80	4770	1590	1110	49	117,4	4760	5080	1730
2,85	4600	1530	1070	48	116,8	4640	4930	1670
2,90	4440	1480	1030	47	116,2	4530	4790	1620
2,95	4300	1440	995	45	115,0	4300	4520	1510
3,00	4150	1380	965	44	114,4	4190	4400	1460
3,05	4650	1340	920	43	113,8	4080	4280	1410
3,10	3870	1290	880	41	112,7	3870	4060	1320
3,15	3750	1250	855	40	112,1	3770	3960	1270
3,20	3640	1210	824	39	111,5	3670	3860	1240
3,25	3510	1170	795	38	110,9	3570	3760	1190
3,30	3400	1140	768	37	110,4	3470	3670	1160
3,35	3320	1110	741	36	109,7	3370	3570	1120
3,40	3210	1070	716	35	109,1	3270	3480	1090
3,45	3110	1040	691	34	108,5	3180	3390	1050
3,50	3020	1010	668	33	107,8	3090	3300	1030
3,55	2930	977	-	31	106,4	2940	3120	980
3,60	2860	950	-	30	105,7	2860	3040	960
3,65	2770	920	-	29	105,0	2790	2960	930
3,70	2690	897	-	28	104,3	2720	2880	910
3,75	2620	872	-	27	103,7	2650	2810	890

## Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,80	2550	850	-	26	102,9	2590	2740	860
3,85	2480	830	-	25	102,2	2530	2670	840
3,90	2410	804	-	24	101,5	2470	2610	830
3,95	2350	783	-	23	100,8	2410	2550	810
4,00	2280	763	-	22	100,2	2350	2500	790
4,05	2230	743	-	21	99,5	2300	2450	770
4,10	2170	724	-	20	98,9	2250	2400	750
4,15	2120	706	-	19	98,1	2200	2350	730
4,20	2070	688	-	18	97,5	2150	2310	720
4,25	2010	671	-	17	96,9	2100	2270	710
4,30	1970	655	-	16	96,2	2060	2230	700
4,35	1920	639	-	15	95,5	2010	2190	700
4,40	1870	624	-	14	94,9	1970	2150	680
4,45	1830	609	-	13	94,1	1930	2110	670
4,50	1530	595	-	12	93,4	1900	2070	650
4,55	1790	581	-	11	92,6	1860	2030	640
4,60	1700	568	-	10	91,8	1830	1990	630
4,65	1670	555	-	9	91,2	1800	1960	630
4,70	1630	543	-	8	90,3	1770	1920	620
4,75	1590	531	-	7	89,7	1740	1890	610
4,80	1560	519	-	6	89	1710	1860	600
4,85	1520	507	-	5	88,3	1680	1830	590
4,90	1490	496	-	4	87,5	1650	1790	580
4,95	1460	487	-	3	87	1620	1770	580
5,00	1430	475	-	2	86	1600	1730	570
5,05	1400	465	-	1	85,5	1580	1710	560
5,10	1370	455	-	0	84,5	1540	1670	550
5,15	1340	445	-	-	83,2	1500	1620	530
5,20	1310	437	-	-	82	1450	1570	520
5,25	1280	428	-	-	80,5	1400	1530	510
5,30	1260	419	-	-	79	1360	1490	490
5,35	1230	410	-	-	77,5	1310	1430	480
5,40	1210	402	-	-	76	1270	1390	460
5,45	1180	394	-	-	74	1220	1350	450
5,50	1160	386	-	-	72	1170	1290	430
5,55	1140	379	-	-	70	1130	1250	420
5,60	1110	371	-	-	68	1080	1200	410
5,65	1090	364	-	-	66	1040	1160	390
5,70	1070	357	-	-	64	1000	1120	380
5,75	1050	350	-	-	61	960	1080	370
5,80	1030	343	-	-	58	920	1040	350
5,85	1010	337	-	-	55	870	990	340
5,90	992	331	-	-	51	830	950	320
5,95	973	324	-	-	47	790	910	310
6,00	955	318	-	-	44	760	880	290

## Додаток В. ПРИКЛАДИ МАРКУВАННЯ АБРАЗИВНИХ КРУГІВ

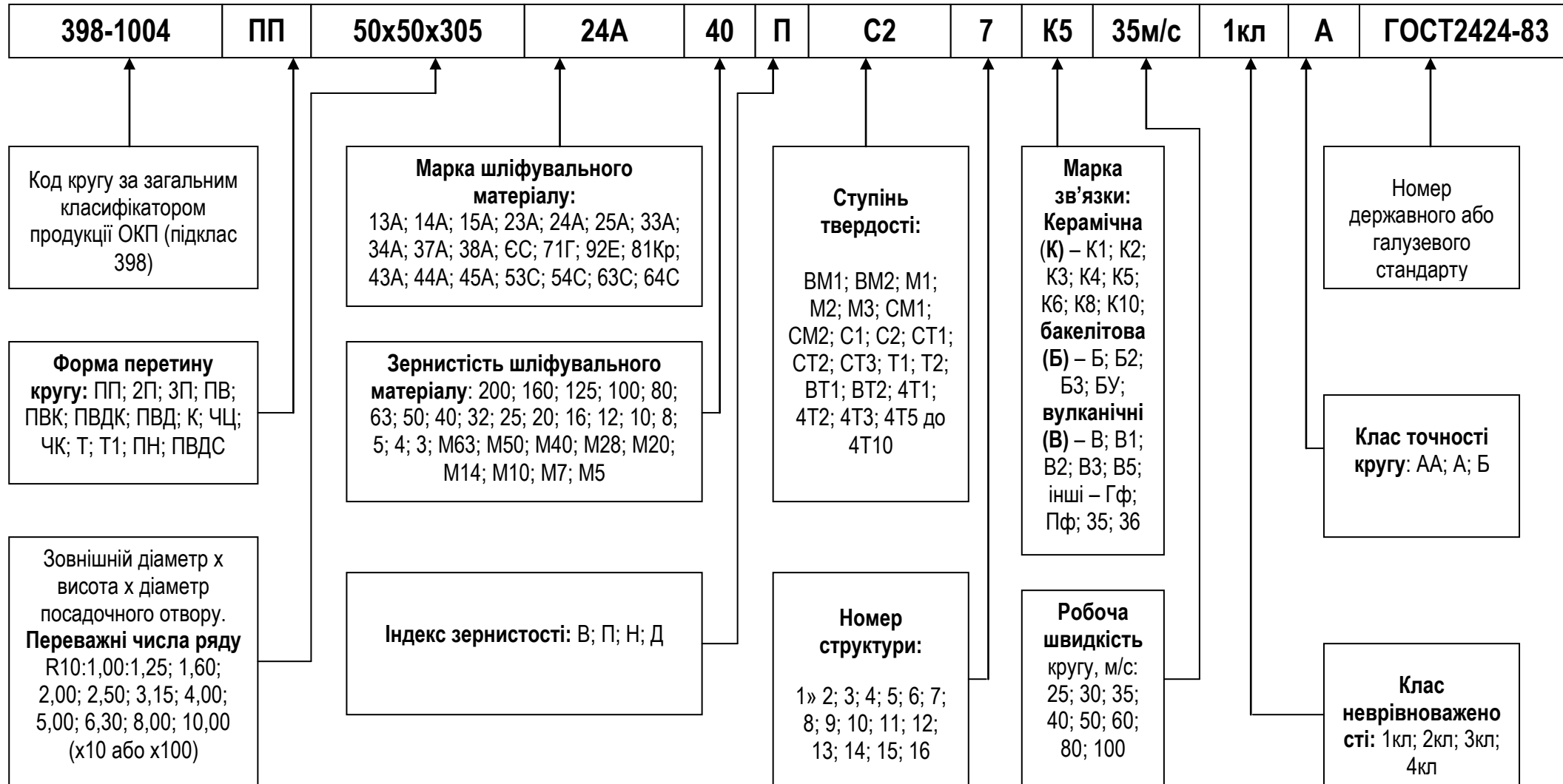


Рисунок В1 – Схема маркування кругів для заточування інструменту

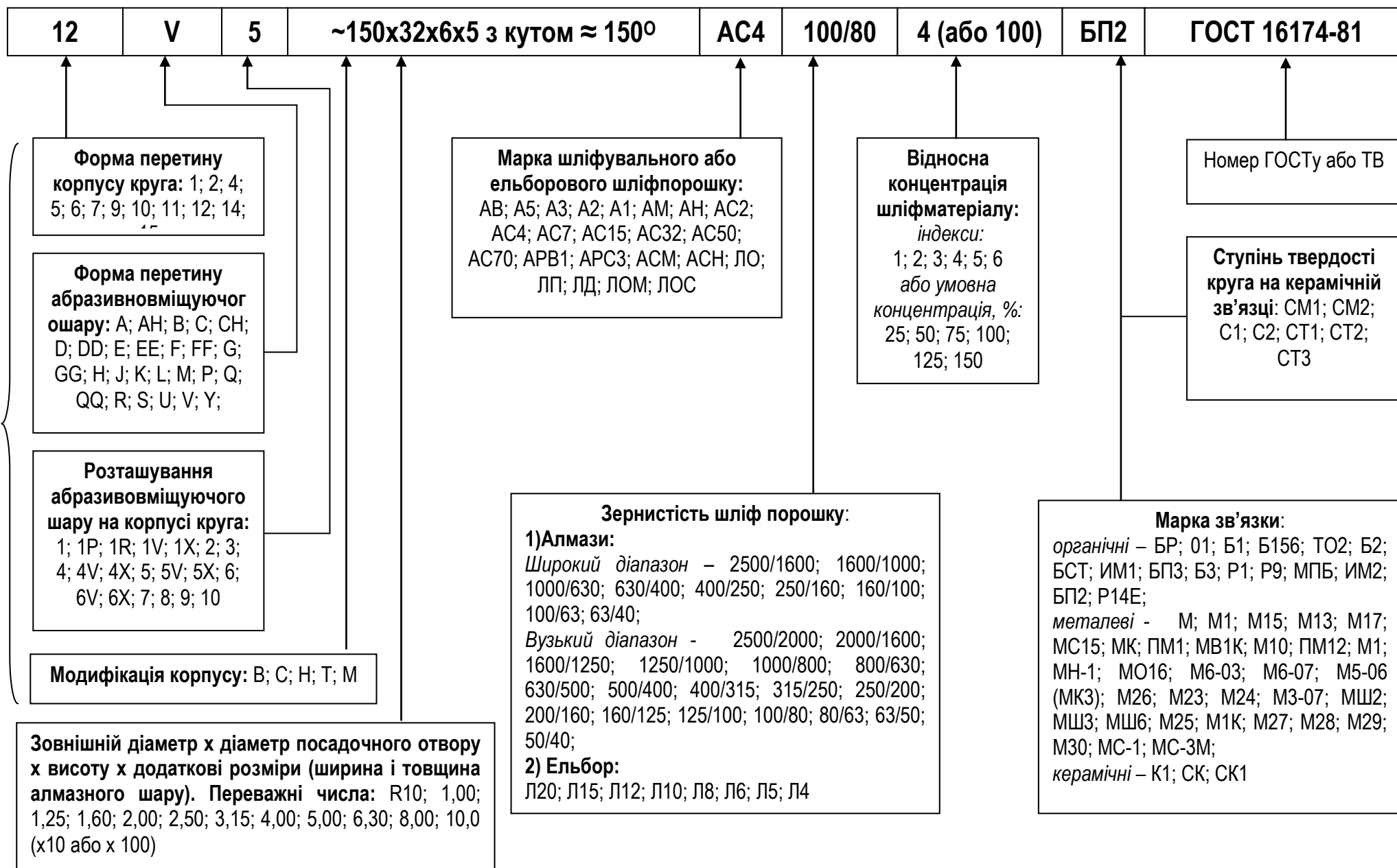


Рисунок В2 – Схема маркування кругів для доводок



