

Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



МЕХАНІКО-МАШИНОБУДВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

В.В. Проців, Н.С. Бохан

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ  
до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни

ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА  
МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО  
для студентів бакалаврату спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Дніпро  
2020

*Затверджено до видання в світ редакційною радою НТУ «Дніпровська політехніка» (протокол № 9 від 14.09.2020) за поданням кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства (протокол № 7 від 03.09.2020).*

Проців В.В. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт бакалаврів спеціальності 132 «Матеріалознавство» / В.В. Проців, Н.С. Бохан ; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 46 с.

Зміст видання відповідає вимогам освітньо-професійним програмам підготовки бакалаврів спеціальностей» 132 «Матеріалознавство»

В методичних рекомендаціях представлені основні етапи виконання лабораторних робіт з дисципліни.

## Зміст

Лабораторна робота №1	
Вимір твердості за Брінеллем і Роквеллом.....	4
Лабораторна робота №2	
Мікроструктурний аналіз металів .....	14
Лабораторна робота №3	
Подвійні сплави.....	21
Лабораторна робота №4	
Діаграма Fe – Fe <sub>3</sub> C.....	30
Лабораторна робота №5	
Вивчення структури і властивостей сталей і чавунів.....	36
Вивчення структури і властивостей легованих сталей. ....	36

## Лабораторна робота № 1

### Вимір твердості за Брінеллем і Роквеллом.

#### Завдання:

1. Вивчити будову приладів і методику визначення твердості методом статичного вдавнення за Брінеллем і Роквеллом.
2. Відповісти на питання для самостійної підготовки.
3. Виміряти твердість заданих зразків і скласти звіт по формою, що додається.

#### Загальні відомості

Під твердістю металу при вдавлюванні розуміється опір проникненню в нього іншого, більш твердого тіла. Випробування твердості є технологічною пробою і завдяки своїй швидкості, простоті і можливості проведення випробувань на готових деталях служить основним контролем якості та обробки матеріалів. Найбільш поширені методи вимірювання твердості за Брінеллем і Роквеллом.

#### А. Вимір твердості за Брінеллем

(ГОСТ 9012 – 59, ІСО 410-82, ІСО 6506-81)

Метод Брінелля застосовується для визначення твердості металів і сплавів з твердістю від 8 до 450 одиниць при температурі  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При вимірі твердості за Брінеллем (рис. 1) сталева кулька діаметром  $D$  вдавлюється в випробовуваний матеріал під дією навантаження  $P$ , прикладеної перпендикулярно поверхні зразка протягом певного часу і, після видалення навантаження, вимірюється діаметр відбитку.

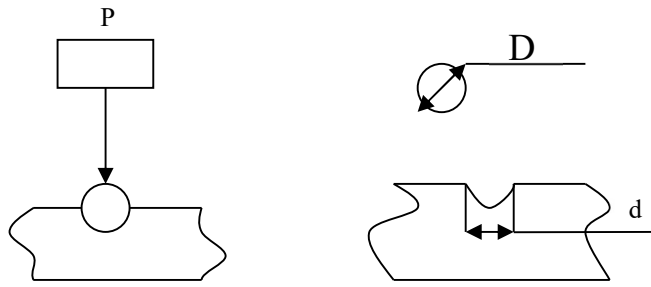


Рисунок 1 – Схема випробування твердості за Брінеллем

Число одиниць твердості за Брінеллем (НВ) визначається за формулою:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \quad (1)$$

де  $P$  – навантаження, Н

$F$  – площа сферичного відбитка,  $\text{мм}^2$

$D$  – діаметр кульки, мм

$d$  – діаметр відбитка, мм.

Під час визначенні твердості НВ зазвичай користуються таблицями, складеними на підставі формули (1).

Випробування твердості за Брінеллем проводиться на приладі типу ТШ, який представляє собою прес з електричним приводом (рис. 2). Навантаження створюється системою важеля з підвішеними до неї змінними вантажами 4.

При виборі діаметра кульки  $D$ , навантаження  $P$ , тривалості витримки під навантаженням і мінімальної товщини випробуваного зразка слід керуватися табл. 1.

При вимірюванні твердості кулькою  $D = 10$  мм під навантаженням  $P = 3000$  кг з витримкою  $t = 10$  с число твердості супроводжується символом НВ, наприклад 300НВ, причому розмірність величини опускається.

За інших умов вимірювання позначення НВ доповнюється індексом, що вказує умови вимірювання в наступному порядку: діаметр кульки,

навантаження і тривалість витримки. Наприклад, HB5 (250) 30 – 200 означає число твердості за Брінеллем 200 кг/мм<sup>2</sup> при випробуванні кулькою D = 5 мм під навантаженням 250 кг, яка додається в перебігу 30 с.

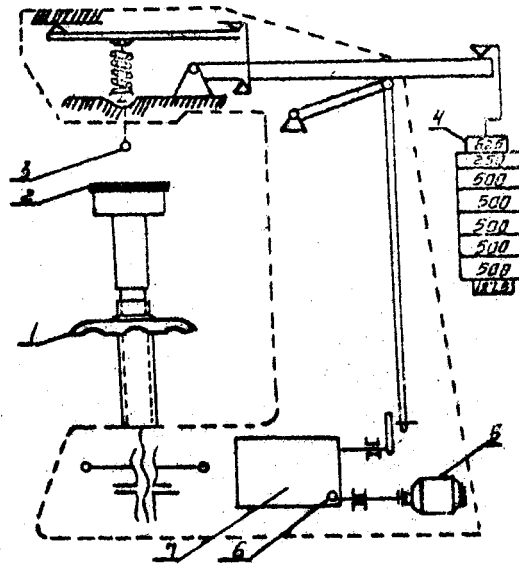


Рисунок 2 – Схема приладу типу ТШ: 1 – маховик; 2 – предметний столик; 3 – кулька; 4 – вантаж; 5 – електродвигун; 6 – кнопка пуску; 7 – редуктор

Між твердістю за Брінеллем і межею міцності при розтягуванні існує наближена залежність:

$$\text{Сталь (HB=125 \div 175)} \dots \sigma_B = 0,343 \text{ HB} \quad (2)$$

$$\text{Сталь (HB > 175)} \dots \sigma_B = 0,362 \text{ HB} \quad (3)$$

$$\text{Сірий чавун} \dots \sigma_B = \frac{\text{HB} - 40}{6} \quad (4)$$

Дюралюмін:

$$\text{відпалений} \dots \sigma_B = 0,36 \text{ HB} \quad (5)$$

$$\text{після загартування і старіння} \dots \sigma_B = 0,35 \text{ HB} \quad (6)$$

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Виміряти товщину зразка штангенциркулем.

## 2. Вибрати умови випробування по таблиці 1.

Таблиця 1 – Залежність діаметра кульки і навантаження від матеріалу і товщини випробуваного зразка

Матеріал	Твердість, НВ	Товщина випробуваного зразка, мм	Співвідношення між Р и Д	Діаметр кульки Д, мм	Навантаження Р, кг	Витримка під навантаженням
Чорні метали	140-450	6-3	$P=30D^2$	10	3000	10
		4-2		5	750	
		<2		2,5	187,5	
	<140	>6	$P=10D^2$	10	1000	10
		6-3		5	250	
		<3		2,5	62,5	
Кольорові метали	<130	6-3	$P=30D^2$	10	3000	30
		4-2		5	750	
		<2		2,5	187,5	
	35-130	9-3	$P=10D^2$	10	1000	30
		6-3		5	250	
		<3		2,5	62,5	
	8-35	>6	$P=2,5D^2$	10	250	60
		6-3		5	62,5	
		<3		2,5	15,6	

## 3. Відповідно до обраних умов випробування:

- а) встановити в шпindelь приладу наконечник з кулькою;
- б) встановити на підвіску приладу вантажі;
- в) встановити час витримки.

4. Встановити випробуваний зразок на предметний столик 2 і обертанням маховика 1 вручну за годинниковою стрілкою притиснути поверхню зразка до кульки 3 до упору в обмежувальну обійму.

5. Натиснути кнопку 6, що включає електродвигун, після чого прес автоматично виробляє випробування: поступове вдавнення кульки, витримка під навантаженням, поступове зняття навантаження і вимкнення апарата.

6. Обертанням маховика проти годинникової стрілки опустити предметний столик, зняти зразок і виміряти відбиток за допомогою відлікового мікроскопа в двох взаємно перпендикулярних напрямках з точністю до 0,05 мм.

7. Випробування виконувати 3 рази, причому відстань між відбитками і до краю зразка має бути не менше  $2d$ .

8. Діаметр відбитка повинен знаходитися в межах  $0,2D < d < 0,6D$ . В іншому випадку умови випробування були вибрані не вірно і випробування вважається недійсним.

9. Визначити число твердості за формулою (1) і табл.2. і, користуючись формулами (2) - (6), розрахувати значення межі міцності на розрив.

### Б. Вимір твердості за Роквеллом (ГОСТ 9013 – 59, ІСО 6508-86)

Метод Роквелла застосовується для вимірювання твердості чорних і кольорових металів і сплавів з твердістю від 60 до 780 НВ, за шкалою А, В і С, при температурі  $20\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ . При вимірюванні твердості металу за Роквеллом наконечник стандартного типу (алмазний конус з кутом при вершині  $120^\circ$  або сталева кулька діаметром 1,58 мм) вдавлюється в випробуваний зразок перпендикулярно його поверхні під дією двох послідовно докладаємих навантажень – попередньої  $P_0$  і загальної  $P$ , яка дорівнює сумі попередньої і загальної навантажень.

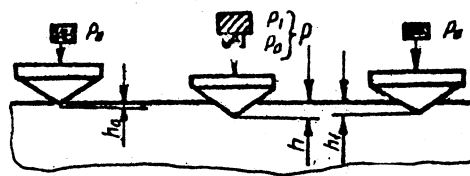


Рисунок 3 – Схема випробування твердості за Роквеллом

Твердість за Роквеллом вимірюється в умовних одиницях. За одиницю твердості прийнята величина, відповідна осьовому переміщенню наконечника на 0,002 мм.

Число твердості за Роквеллом визначається формулою:



$$HR = \frac{k - (h_1 - h_0)}{c} \quad (7)$$

Таблиця 2 – Співвідношення чисел твердості при випробуванні різними методами

За Роквеллом			За Брінеллем		За Виккерсом, HV	За Роквеллом			За Брінеллем		За Виккерсом, HV
HRB	HRC	HRA	Діаметр відбитка, мм	HB		HRB	HRB	HRB	Діаметр відбитка, мм	HB	
-	-	-	2.00	946	-	98	22	62	4.00	229	226
-	-	-	2.05	898	-	97	21	61	4.05	223	221
-	-	-	2.10	857	-	97	20	61	4.10	217	217
-	-	-	2.15	817	-	96	19	60	4.15	212	213
-	72	89	2.20	782	1220	95	18	60	4.20	207	209
-	69	87	2.25	744	1114	94	-	59	4.25	201	201
-	67	85	2.30	713	1021	93	-	58	4.30	197	197
-	65	84	2.35	683	940	92	-	58	4.35	192	190
-	63	83	2.40	652	867	91	-	57	4.40	187	186
-	61	82	2.45	627	803	89	-	56	4.45	183	180
-	59	81	2.50	600	746	88	-	56	4.50	179	177
-	58	80	2.55	578	694	87	-	55	4.55	174	174
-	56	79	2.60	555	649	86	-	55	4.60	170	171
-	54	78	2.65	532	606	85	-	54	4.65	167	165
-	52	77	2.70	512	587	84	-	53	4.70	163	162
-	51	76	2.75	495	551	83	-	53	4.75	159	159
-	49	76	2.80	477	534	82	-	52	4.80	156	154
-	48	75	2.85	460	502	81	-	52	4.85	152	152
-	47	74	2.90	444	474	80	-	51	4.90	149	149
-	45	73	2.95	429	460	78	-	50	4.95	146	147
-	44	73	3.00	415	435	76	-	50	5.00	143	144
-	43	72	3.05	401	423	76	-	-	5.05	140	-
-	41	71	3.10	388	401	75	-	-	5.10	137	-
-	40	71	3.15	375	390	74	-	-	5.15	134	-
-	39	70	3.20	363	380	72	-	-	5.20	131	-
-	38	69	3.25	352	361	71	-	-	5.25	128	-
-	37	69	3.30	341	344	69	-	-	5.30	126	-
-	36	68	3.35	331	335	68	-	-	5.35	123	-
-	36	68	3.40	321	320	67	-	-	5.40	121	-
-	34	67	3.45	311	312	66	-	-	5.45	118	-
-	33	67	3.50	302	305	65	-	-	5.50	116	-
-	31	66	3.55	293	291	64	-	-	5.55	114	-
-	30	66	3.60	285	285	62	-	-	5.60	111	-
-	29	65	3.65	277	278	61	-	-	5.65	109	-
-	28	65	3.70	269	272	59	-	-	5.70	107	-
-	27	64	3.75	262	261	58	-	-	5.75	105	-
-	26	64	3.80	255	255	57	-	-	5.80	103	-
-	25	63	3.85	248	250	56	-	-	5.85	101	-
100	24	63	3.90	241	240	54	-	-	5.90	99	-
99	23	62	3.95	235	235	53	-	-	5.95	97	-

де  $h_0$  – глибина впровадження наконечника в зразок під дією попереднього навантаження  $P_0 = 10\text{кг}$ ;

$h_1$  – глибина впровадження наконечника в зразок під дією загального навантаження  $P$ , виміряна після зняття основного навантаження  $P_1$ ;

$k$  – постійна величина, для кульки дорівнює 0,26; для конуса 0,2 (відповідає максимальній глибині вдавнення наконечника), мм;

$c$  – ціна ділення циферблата індикатора - 0,002 мм.

При позначенні твердості за Роквеллом завжди слід вказувати, за якою шкалою проводилися випробування. Наприклад, твердість зразка, виміряна за шкалою С, яка складає 50 одиниць, позначається HRC50. Умови вимірювання твердості за шкалами приладу наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Умови вимірювання твердості

Матеріал	Приблизна твердість, НВ	Шкала приладу ТК	Вид наконечника	Загальне навантаження, кг	Колір шкали	Позначення твердості	Межі шкали в одиницях твердості HR
Сталі в стані поставки (відпалені, нормалізовані) м'які сплави	60-230	В	Стальна кулька	100	Червоний	HRB	25-100
Загартовані конструкційні і інструментальні сталі	230-700	С	Алмазний конус	150	Чорний	HRC	20-65
Надтверді сплави, тонкі листи	>700	А		60		HRA	>70

Вимірювання твердості за Роквеллом проводиться на приладі типу ТК з електромеханічним приводом. Основне навантаження створюється системою важеля з підвішеними до неї змінними вантажами.

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Користуючись табл. 3, вибрати умови випробування для заданого зразка.

2. Встановити наконечник в шпindel ь приладу (рис. 4).
3. Встановити на підвіску приладу відповідні вантажі 6.
4. Включити прилад тумблером 8.
5. Встановити зразок на столик 2.

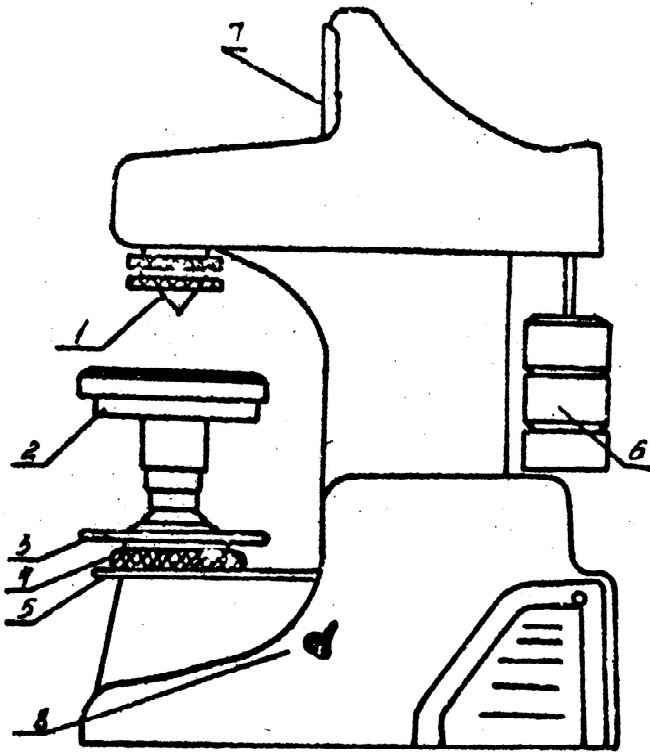


Рисунок 4 – Схема приладу ТК: 1 – наконечник; 2 – предметний столик; 3 – штурвал; 4 – рифлене кільце для установки нуля шкали; 5 – педаль; 6 – вантаж; 7 – індикатор зі шкалами; 8 – тумблер

6. Прикласти попереднє навантаження  $P_0$ . Для цього обережно і без поштовхів обертанням штурвала 3 тільки за годинниковою стрілкою піднімають столик до зіткнення поверхні зразка з наконечником. Продовжують плавний підйом столика до тих пір, поки маленька стрілка не співпаде з червоною крапкою на циферблаті індикатора 7. Велика стрілка повинна при цьому розташуватися вертикально вгору. Це означає, що наконечник під дією пружини, що знаходяться під ним в корпусі приладу, вдавлюється в зразок з попереднім навантаженням 10 кг. Якщо по додатку

попереднього навантаження величина його виходить за межі допуску, що відповідає відхиленню великої стрілки більш ніж на 5 поділок від вертикального положення, то попереднє навантаження повинно бути зняте, а вимір твердості здійснено в іншій точці зразка.

7. Встановити «0» чорної шкали (при роботі з будь-якою шкалою приладу) проти великої стрілки за допомогою кільця 4.

8. Натиснути на педаль 5, що включає електродвигун, після чого автоматично проводиться випробування: поступово докладають основне навантаження, витримка, поступово знімають основне навантаження.

9. Відповідно до положення великої стрілки відраховують на відповідній шкалі число твердості з точністю  $\pm 0,5$  одиниць шкали.

10. Обертанням штурвала 3 проти годинникової стрілки відводять зразок від наконечника.

11. Випробування виконати в 3-х точках зразка, причому відстань між центрами відбитків і від краю зразка має бути не менш 3,0 мм.

12. Перевести число твердості за Роквеллом на число твердості НВ по табл.2 співвідношень чисел твердості.

13. Скласти звіт.

## **Звіт**

### **А. Вимір твердості за Брінеллем**

1. Тип приладу.....
2. Вид наконечників.....
3. Схема випробування твердості.....
4. Формула для визначення твердості.....
5. Обчислити число одиниць твердості зразка якщо:  $\varnothing$  кульки = 10 мм;  
 $\varnothing$  відбитка = 5 мм; навантаження 1 вантажу = 500кг, усього їх 6 штук.
6. Порівняти отриманий результат з табличним і зробити висновки.

## Б. Вимір твердості за Роквеллом

1. Тип приладу.....
2. Вид наконечників.....
3. Схема випробування твердості.....
4. Результати вимірювання твердості зразку:

№ випробування	Матеріал зразка	Шкала приладу ТК	Вид наконечника	Навантаження Р, кг	Число твердості, HRA	Число твердості HB
1						
2						
3						

## Лабораторна робота № 2

### Мікроструктурний аналіз металів

#### Завдання:

1. Вивчити пристрій металографічного мікроскопу і прийоми роботи на ньому.
2. Відповісти на питання для самопідготовки.
3. Розглянути і замалювати мікроструктуру шліфа і скласти звіт.

#### Загальні відомості

Мікроаналіз застосовується для вивчення внутрішньої будови металів і сплавів при збільшенні в 50...1500 разів на оптичному мікроскопі і близько 5000...200000 раз – на електричному.

Металографічний мікроскоп – оптичний прилад для спостереження і фотографування структури металів і сплавів, в якому використовується світло, відбите від поверхні непрозорого об'єкта-шліфа. Приготування мікрошліфів складається з шліфування, полірування і травлення поверхні зразка реактивом (розчином кислот або лугів у воді або спирті). Вибір реактиву визначається хімічним складом шліфа. Внаслідок травлення на поверхні шліфа утворюється мікрорельєф - виступи і западини, що характеризують мікроструктуру сплаву. Спостерігаючи її під мікроскопом, ми можемо судити про величину і форму зерен металу (кристалів), про наявність не металевих включень (оксидів, сульфідів, фосфідів і ін.), А також про характер обробки металу (лиття, оброблений тиском, термооброблений).

Металографічний мікроскоп складається з оптичної та механічної систем і освітлювального пристрою (рис. 1, 2).

Освітлювальний пристрій мікроскопа складається з джерела світла 1, колектора 2 і ілюмінатора 4. При візуальному спостереженні рекомендується застосовувати світлофільтри.

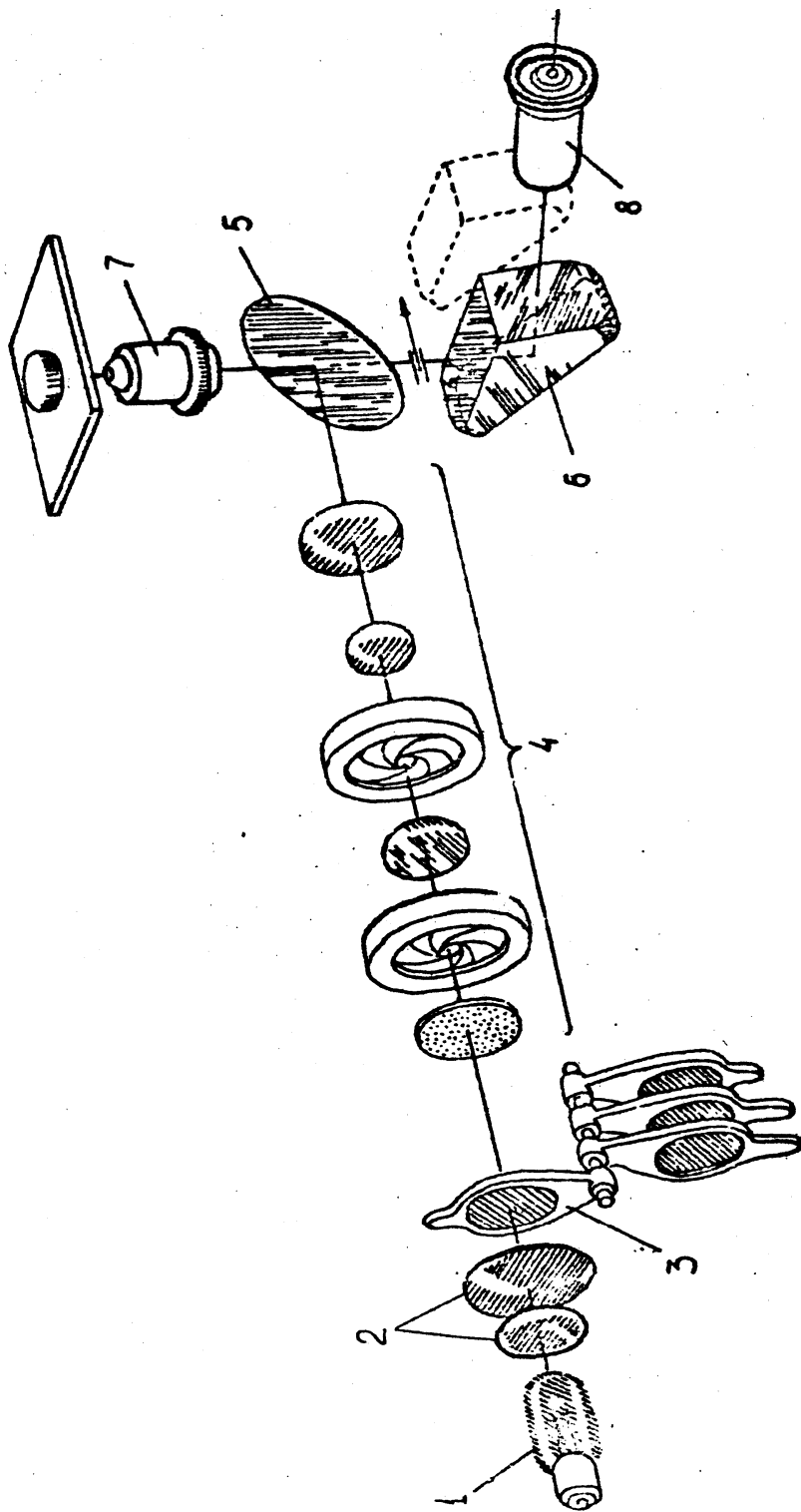


Рисунок 1 – Оптична схема мікроскопу

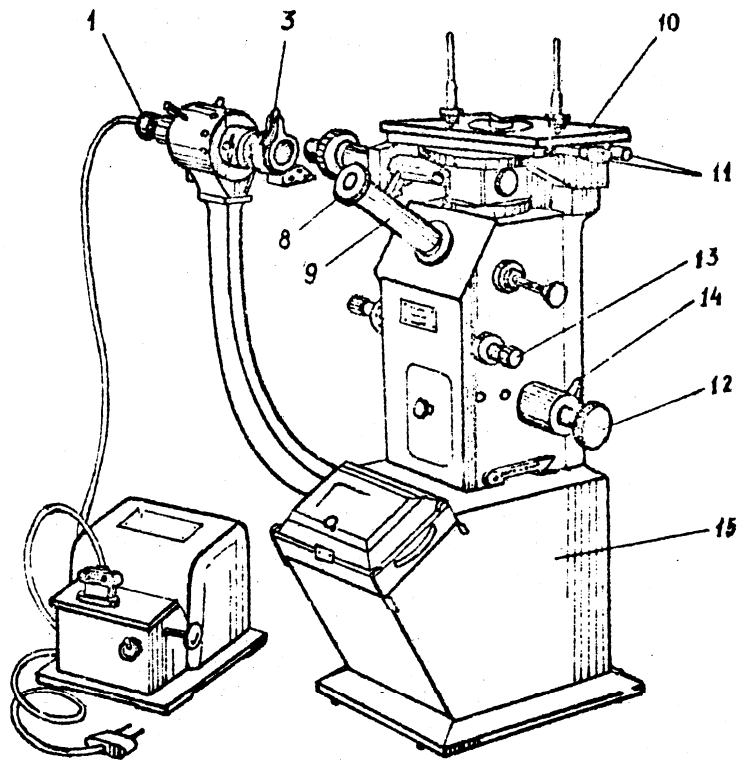


Рисунок 2 – Загальний вид мікроскопу

У оптичну систему мікроскопа входять об'єктив 7, окуляр 8, плоскопаралельна пластина 5, призма 6. Об'єктив являє собою систему лінз, розміщених в одній оправі і звернених до даного об'єкту. Він дає зворотне збільшене зображення об'єкта, яке є проміжним. Промені світла проходять через освітлювальний пристрій і об'єктив, відбиваються від об'єкта (шліфа), проходять через об'єктив і відхиляються призмою 6 в візуальний тубус 9. Окуляр 8, як лупа, дає збільшення проміжного зображення. В результаті виходить уявне зображення, зворотне, збільшене, яке ми і спостерігаємо. Отже, зображення предмета в мікроскопі збільшується двічі, тому загальне збільшення мікроскопа  $V_m$  визначається збільшенням об'єктива  $V_{об}$  і окуляра  $V_{ок}$  і дорівнює їх множенню:



$$V_{м} = V_{об} V_{ок} \quad (1)$$

Для мікроаналізу шліф кладуть на предметний столик 10 досліджуваною поверхнею вниз. Столик за допомогою гвинтів 11 може переміщатися в горизонтальній площині по двох взаємно перпендикулярним напрямкам, дозволяючи розглянути структуру різних ділянок шліфа.

Грубе фокусування здійснюється макрогвинтом 12, потім проводиться точне фокусування мікрогвинтом 13.

Роздільна здатність світлової оптики, тобто здатність дати чітко розділені зображення двох близьких один до одного точок розглянутого предмета є величиною, зворотною мінімальному розрішаємому відстанню. Воно визначається залежністю:

$$d = \frac{\lambda}{2A} \quad (2)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі світла (для білого світла  $\lambda=6000\text{Å}$ );

$A$  – числова апертура лінзи об'єктива, яка визначається формулою:

$$A = n \sin \varphi \quad (3)$$

де  $n$  – показник заломлення середовища між об'єктивом і предметом; при повітряному середовищі  $n = 1$  об'єктив називається сухим; для отримання великих збільшень застосовують імерсійні об'єктиви, в яких між поверхнею об'єктива і розглядаємым предметом розміщена середа, що має високий коефіцієнт заломлення, наприклад, при кедровому маслі  $n = 1,52$ ;

$\varphi$  – половина кута відтвору об'єктива - кута розкриття світлового пучка ( $\varphi_{\max} = 72^{\circ}$ ). Правильне використання оптики досягається тільки при раціональній комбінації об'єктивів і окулярів. Щоб повністю використовувати

роздільну здатність мікроскопа і не отримати спотвореного зображення предмета, слід знати корисне збільшення мікроскопа  $M$ , тобто збільшення, при якому виявляються деталі розглянутого предмета. Воно визначається за формулою:

$$M = \frac{d_1}{d} \quad (4)$$

де  $d_1$  – відстань, розрішаєма людським оком, дорівнює 0,2...0,3 мм, якщо даний об'єкт віддалений від очей на 250 мм (відстань «найкращого бачення»). Підставляючи у вираз (4) формулу (2), отримуємо для верхньої межі збільшення:

$$M = 1000A \quad (5)$$

Нижня межа збільшення мікроскопа повинна дорівнювати  $500A$ . При збільшенні менше  $500A$  роздільна здатність очей менша, ніж у мікроскопа, і тому не можна розглянути тонкі структури. Збільшення більш  $1000A$  не дасть ефекту, так як можливості оптики вже повністю реалізовані.

Характеристика збільшень об'єтивів і окулярів, що входять в комплект МІМ-5, МІМ-6 і МІМ-7, наведені в табл. 4 і 5.

Таблиця 4 – Збільшення об'єтивів і окулярів МІМ - 5 і МІМ - 6 при візуальному спостереженні

Об'єктиви	Окуляри		
	7 <sup>x</sup>	10 <sup>x</sup>	15 <sup>x</sup>
9 <sup>x</sup> (F=18,2; A=0,20)	63	90	135
21 <sup>x</sup> (F=8,4; A=0,40)	147	210	315
40 <sup>x</sup> (F=4,6; A=0,65)	280	400	600

Таблиця 5 – Збільшення об'єктивів і окулярів МІМ - 7 при візуальному спостереженні

Об'єктиви	Окуляри			
	7 <sup>x</sup>	10 <sup>x</sup>	15 <sup>x</sup>	20 <sup>x</sup>
8,6 <sup>x</sup> (F=23,2; A=0,17)	60	90	130	170
14,4 <sup>x</sup> (F=13,89; A=0,30)	100	140	200	300
24,5 <sup>x</sup> (F=8,16; A=0,37)	170	240	360	500
32,5 <sup>x</sup> (F=6,16; A=0,65)	250	320	500	650
72,2 <sup>x</sup> (F=2,77; A=1,25)	500	720	1080	1440

### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитися з пристроєм мікроскопа.
2. Вибрати об'єктив і окуляр для отримання мінімального із заданих збільшень.
3. Підняти рукоятку макрогвинта 12 предметний столик 10 і встановити об'єктив 7 в ілюмінатор 4.
4. Встановити окуляр 8 в отвір візуального тубуса 9.
5. Помістити досліджуваний шліф на предметний столик полірованою і протравленою поверхнею вниз. При цьому необхідно пам'ятати: ні в якому разі не можна чіпати поверхню шліфу руками і переміщати шліф щодо столика шляхом ковзання.
6. Включити лампу освітлювача 1.
7. Дивлячись в окуляр, обертанням макрогвинта 12 переміщати предметний столик до появи зображення. Закріпити макрогвинт стопорним гвинтом 14. Домогтися різкого фокусування мікрогвинтом 13. При фокусуванні не допускати удару лінзи об поверхню шліфа.
8. Пересуваючи шліф за допомогою гвинтів 11, провести обстеження поверхні шліфа.
9. Вибравши бажане положення шліфа, узгодити його з викладачем і замалювати схематично мікроструктуру шліфа. Намагаючись впіймати і

передати на малюнку лише її характерні особливості (величину, форму і колір зерен). Замальовка структур виконується тільки олівцем.

10. Вибрати об'єктив і окуляр для отримання максимального із заданих збільшень.

11. Не пересуваючи шліф, змінити окуляр і об'єктив для встановлення другого збільшення.

12. Провести фокусування і знову замальовати видиму структуру відповідно до зазначених вище вимог.

13. Виключити лампу освітлювача, прибрати шліф в ексикатор, зняти об'єктив і окуляр і укласти їх в футляри.

14. Скласти звіт.

### **ЗВІТ**

1. Тип мікроскопа .....
2. Формули для визначення: а) загального збільшення мікроскопа  
б) роздільної здатності мікроскопа.
3. Замалюйте мікроструктуру трьох шліфів.

## Лабораторна робота № 3

### Подвійні сплави

#### Завдання:

4. Вивчити діаграми стану подвійних сплавів.
5. Відповісти на питання для самопідготовки.
6. Розглянути і замалювати структуру заданого подвійного сплаву системи Pb-Sb.
7. Визначити хімічний склад сплаву по виду його мікроструктури.
8. Дослідити процес охолодження і властивості сплаву в зв'язку з діаграмою стану.

#### Загальні відомості

Сплав являє собою речовину, що отримується в результаті взаємодії двох або декількох елементів (переважно металів) при їх сплаві.

Самостійні складові сплаву називаються компонентами, продукти взаємодії компонентів в сплаві є фази даної системи. Фазою називається однорідна частина системи, відокремлена від інших частин системи (фаз) поверхнею розділу, перехід через яку супроводжується стрибкоподібними змінами властивостей, хімічного складу, агрегатного стану.

Система – сукупність фаз, що знаходяться в рівновазі.

Стан, при якому з плином часу зберігаються незмінними склад фаз при даних температурних умовах, називається рівновагою.

Фазами в сплаві можуть бути рідкі та тверді розчини, хімічні сполуки, чисті компоненти. *Твердим розчином* називають фазу з кристалічною решіткою одного компонента-розчинника, в якому розміщуються атоми іншого компонента-розчинника. Розрізняють тверді розчини заміщення, коли атоми розчинного розміщуються в вузлах решітки розчинника, тверді розчини

впровадження, якщо атоми розчинного розташовуються в порожнинах решітки розчинника. Тверді розчини є фазами змінного складу.

*Хімічна сполука* має складну кристалічну решітку, відмінну від решіток компонентів. У з'єднанні завжди зберігається просте кратне вагове співвідношення компонентів. Це дозволяє висловити їх склад формулою  $A_nB_m$ , де  $A$  і  $B$  - відповідні компоненти;  $m$  і  $n$  – прості числа. На відміну від твердих розчинів хімічні сполуки зазвичай утворюються між елементами, що мають велику різницю в будові атомів або кристалічних решіток. Властивості хімічних сполук різко відрізняється від властивостей складових його елементів.

Діаграма стану є графічне зображення рівноважного стану сплавів в залежності від температури і концентрації (складу). Діаграма стану подвійної системи являє собою плоску фігуру, основою якої служить горизонтальний відрізок, який є віссю складів. Точки на кінцях відрізка відповідають чистим компонентам, а будь-яка проміжна точка на цій прямій зображує сплав цих двох компонентів, узятих в співвідношенні, зворотному відношенню відстаней від даної точки до кожного з компонентів. На вертикальній осі діаграми стану відкладають температури. Так на ординатах, відповідних чистим компонентам, відзначаються їх точки плавлення або температури поліморфних перетворень. Простір між двома температурними координатами компонентів над горизонтальною віссю складів розділяється лініями на фазові області, властиві даної подвійній системі. Лінія діаграми є геометричне місце точок однойменних перетворень, що відбуваються в сплавах. Побудова діаграми стану якраз і полягає в знаходженні цих ліній. Для побудови діаграми стану використовують експериментальні дані, отримані різними методами фізико-хімічного аналізу.

Діаграма стану може також називатися діаграмою рівноваги, так як вона показує, які за даних умов існують рівноважні фази. Загальні закономірності співіснування стійких фаз, що відповідають теоретичним умов рівноваги,

можуть бути виражені в математичній формі, іменованої правилом фаз або законом Гіббса:

$$c = k - f + 2$$

де  $c$  – число ступенів свободи, тобто число зовнішніх і внутрішніх факторів (температура, тиск і концентрація), яке можна змінювати без зміни фаз системи;

$k$  – число компонентів;

$f$  – число фаз.

Якщо прийняти, що всі перетворення в металі відбуваються при постійному тиску, то число змінних зменшується на одиницю (тиск постійний) і рівняння правила фаз набуде вигляду:

$$c = k - f + 1$$

Побудова діаграми стану здійснюється експериментально, за кривими охолодження. Діаграма стану дозволяє для конкретних сплавів простежити за процесами, що відбуваються в сплаві при його нагріванні і охолодженні, визначити сплави, що володіють хорошими ливарними властивостями, а також сплави, які змінюють механічні властивості шляхом термічної обробки, правильно встановити режим термічної; хіміко-термічної обробки або обробки тиском.

Вид діаграми стану визначається характером взаємодії компонентів в сплаві.

### **Діаграма стану сплавів, компоненти яких не утворюють твердих розчинів і хімічних сполук**

Розглянемо діаграму Pb-Sb (рис.1). Компоненти цієї системи не розчиняються один в іншому в твердому стані і не утворюють хімічних сполук.

Лінія ACB – лінія ліквідус (liquid – рідкий) – геометричне місце точок початку кристалізації сплавів.

Лінія DCE – лінія солідус (solid – твердий) – геометричне місце точок кінця кристалізації. Лінія DCE в даному випадку є також евтектичною лінією, тому що на цій лінії відбувається кристалізації евтектики.

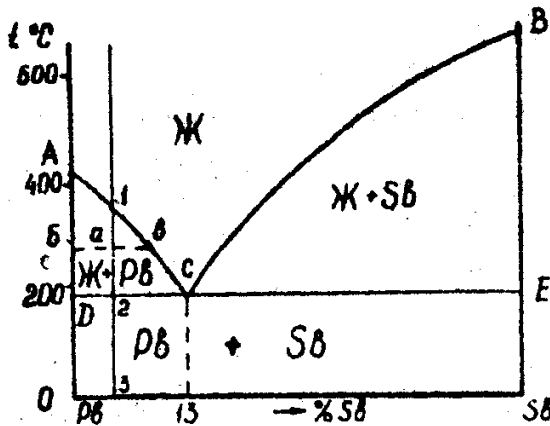


Рисунок 1 – Діаграма (фазова)

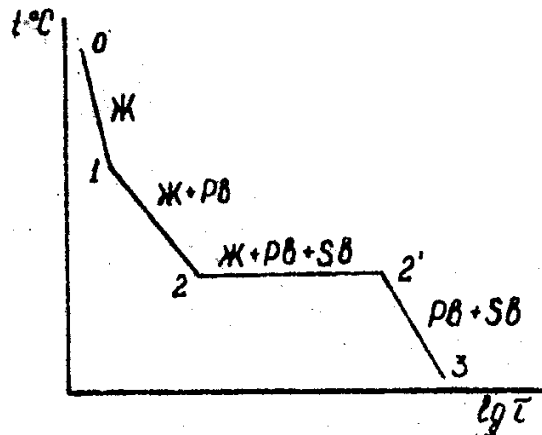


Рисунок 2 – Крива охолодження доевтектичного сплаву I

Евтектика – це особлива механічна суміш, де чергуються кристалики двох або більше фаз, в даному випадку Pb і Sb. Затвердіння евтектики відбувається при постійній температурі. Евтектика має постійний склад (так як утворюється з рідини постійного складу) і найменшу температуру плавлення.

Процес охолодження доевтектичного сплаву 1 описується кривою охолодження (рис. 2), де

Інтервал 0 - 1 відповідає охолодженню рідкого розчину;

Інтервал 1 - 2 кристалізації фаз Pb з рідини. Оскільки утворення кристалів йде з виділенням тепла, процес охолодження сповільнюється, що відповідає зміні нахилу кривої охолодження;



Інтервал 2 - 2' завершення процесу кристалізації сплаву з утворенням евтектики (Pb + Sb) із залишків рідкого розчину. Ділянка 2 - 2' горизонтальна, тому що евтектика кристалізується при  $t = \text{const}$ ;

Інтервал 2' - 3 охолодження сплаву в твердому стані.

На рис. 3. представлена структурна діаграма Pb-Sb, на рис. 4 – схема мікроструктури доевтектичного сплаву 1.

Для того щоб визначити кількість і хімічний склад фаз даного сплаву при температурі в будь-якій двухфазній області, користуються правилом важеля. З цією метою через дану точку *a* (рис.1) проводимо горизонтальну лінію до перетину з лініями, що обмежують дану двофазну область. Хімічний склад рідкої фази визначається точкою *v*, хімічний склад твердої фази Pb - точкою *б*; кількість рідкої фази пропорційне відрізку *ав*; кількість твердої фази Pb пропорційне відрізку *ав*.

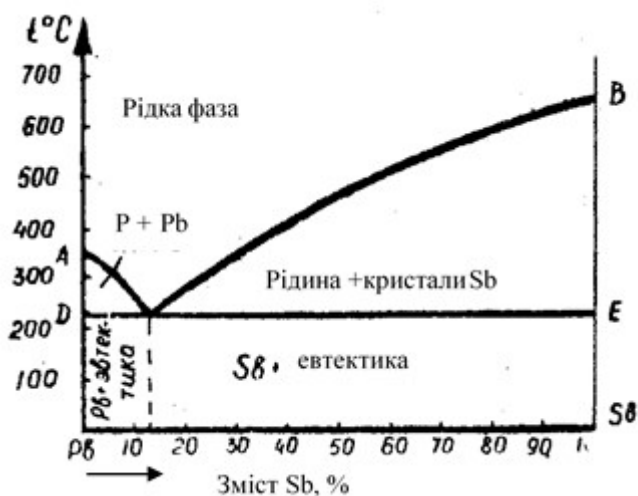


Рисунок 3 – Структурна діаграма Pb - Sb

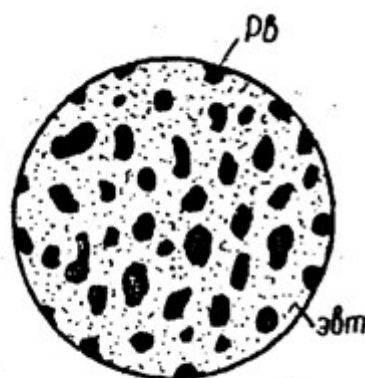


Рисунок 4 – Схема мікроструктури доевтектичного сплаву 1

По виду мікроструктури сплаву можна визначити приблизний хімічний склад сплаву. Так, якщо в полі зору мікроскопа (рис. 4.) маємо 60 % первинних

кристалів Pb і 40% евтектики (визначаємо на око), то можемо записати наступне:

відрізок DC відповідає 100 % евтектики і 13 % Sb;

відрізок D2 відповідає 40 % евтектики X% Sb.

Звідси

$$X = \frac{40 \cdot 13}{100} = 5,2\% \text{Sb}$$

Таким чином, зміст сплаву 5,2 % Sb і 94,8 % Pb.

Відомий хімічний склад сплаву дозволяє судити про властивості даного по діаграмі «склад-властивості», які знаходиться в певній залежності від виду діаграми стану. Ця залежність встановлена Н.С. Курнаковим і називається правилом Курнакова. На рис. 5 представлені діаграми «склад-властивості» для сплавів, компоненти яких утворюють: а) безперервний ряд твердих розчинів; б) не розчиняються в твердому стані і хімічних сполук не утворюють.

Користуючись правилом Курнакова, можна визначити властивості даного сплаву по відомим властивостям чистих компонентів. Наприклад, питома електро-опору компонентів відповідно рівні  $\rho_a$  і  $\rho_b$ , компоненти в твердому стані не розчиняються і хімічних сполук не утворюють. Необхідно знайти питомий опір сплаву складу 30 % A і 70 % B. Згідно рис.5:

$$\rho_{\text{спл}} = \rho_a + \rho_{mn}$$

$$\text{з } \triangle Amn \approx \triangle ABC \text{ маємо } \frac{An}{AC} = \frac{mn}{BC}$$

$$mn = \frac{AnBC}{AC} = \frac{30(\rho_b - \rho_a)}{100}$$

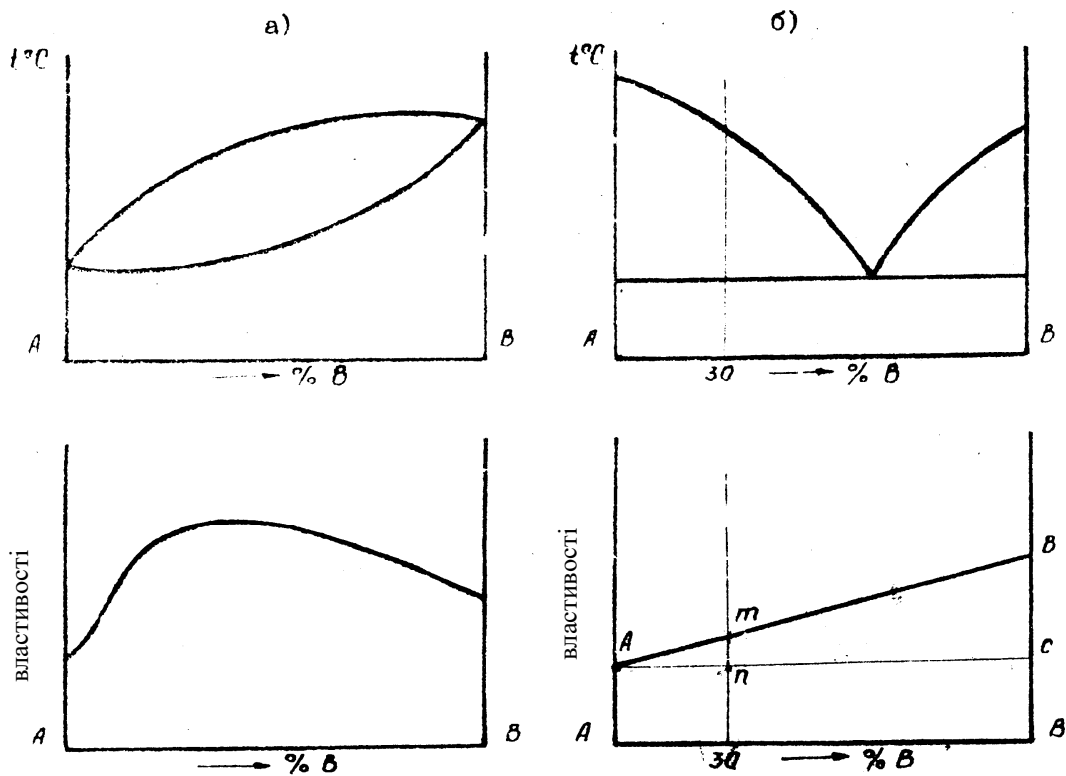


Рисунок 5 – Діаграма «склад-в'ястивості»

## ЗВІТ

1.

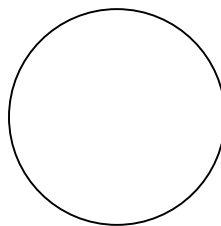


Рисунок 1 – Мікроструктура сплаву

2. Визначення хімічного складу сплаву 1 по виду його мікроструктури;
3. Діаграма складу системи \_\_\_\_\_

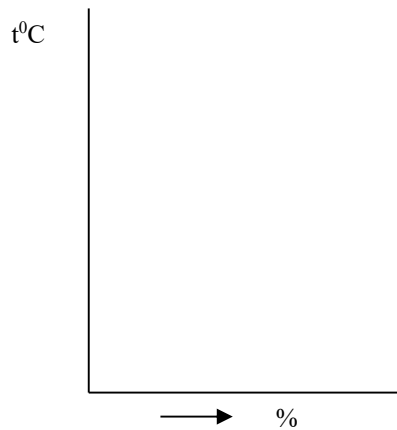


Рисунок 2

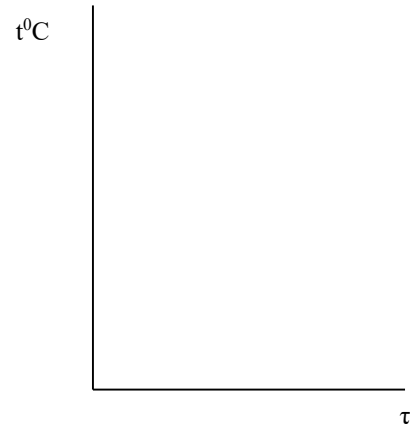


Рисунок 3

4. Окреслити на діаграмі фазовий склад (чорнилом) і структурний склад (олівцем).

5. Лінії діаграми (вказати буквені позначення і найменування)

6. Які фази даної системи:

чисті компоненти \_\_\_\_\_

тверді розчини \_\_\_\_\_

хімічні сполуки \_\_\_\_\_

7. Чи є в системі механічні суміші \_\_\_\_\_

їх фазовий склад \_\_\_\_\_

8. Побудувати (рис. 3) криву охолодження для сплаву 1, позначивши на її ділянці фазовий склад і число ступенів свободи.

9. За допомогою правила важеля (відрізків) визначити хімічний склад і кількість фаз для сплаву 1 при температурі  $a$  (рис.2):

хімічний склад фази \_\_\_\_\_ визначається \_\_\_\_\_

хімічний склад фази \_\_\_\_\_ визначається \_\_\_\_\_

кількість фази \_\_\_\_\_ визначається \_\_\_\_\_

кількість фази \_\_\_\_\_ визначається \_\_\_\_\_

10. За завданням викладача, користуючись правилом Курнакова, побудувати діаграму «склад-властивість» (рис.4) сплаву 1

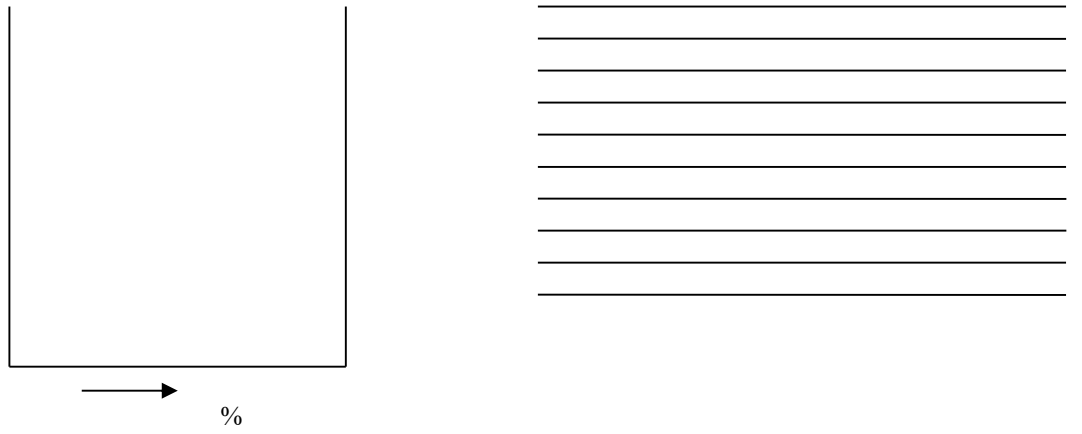


Рисунок 4 – Діаграма «склад-властивість»

## Лабораторна робота № 4

### Діаграма Fe – Fe<sub>3</sub>C

#### Завдання:

1. Вивчити значення ліній і точок діаграми стану Fe-Fe<sub>3</sub>C і усвідомити фазовий і структурний склади в областях діаграми.
2. Відповісти на питання для самопідготовки.
3. Зобразити діаграму стану Fe-Fe<sub>3</sub>C, позначивши точки, фазовий (чорнилом) і структурний (олівцем) склади в областях діаграми.
4. Побудувати з використанням правила фаз криву охолодження для заданого сплаву з вмістом вуглецю .....%.
5. За допомогою правила важеля визначити хімічний склад і кількість фаз для заданого сплаву при температурі .....°C.

#### Загальні відомості

Діаграма залізо-цементит дозволяє усвідомити процеси, що відбуваються при нагріванні і охолодженні сталей і чавунів. При аналізі діаграми Fe-Fe<sub>3</sub>C слід замалювати її перш за все, вивчивши особливості кристалічної будови заліза, вказати на лівій ординаті діаграми температурні точки, відповідні алотропічним перетворенням Fe<sub>α</sub> → Fe<sub>β</sub> (768 °C), Fe<sub>β</sub> → Fe<sub>γ</sub> (точка G – 911 °C), Fe<sub>γ</sub> → Fe<sub>δ</sub> (точка N – 1392 °C), а також температуру плавлення заліза (точка A – 1539°C). Далі слід охарактеризувати продукти взаємодії заліза і вуглецю, тобто фази даної системи, і позначити фазовий склад в однофазних областях діаграми.

У залізовуглецевих сплавах можуть бути присутніми наступні тверді фази:

ферит – Ф – твердий розчин вуглецю в Fe<sub>α</sub> (область QPG);

аустеніт – А – твердий розчин вуглецю в Fe<sub>γ</sub> (область GSEJN або GSEA на спрощеній діаграмі);

цементит – Ц – карбід заліза  $\text{Fe}_3\text{C}$ .

Це хімічна сполука містить 6,67 % С; йому відповідає вертикальна лінія, опущена з точки D ( $1250^\circ\text{C}$  – температура плавлення  $\text{Fe}_3\text{C}$ ) на вісь концентрацій.

Всі інші області діаграми є двофазним, представляючи собою як би перехід від однієї із зазначених фаз до іншої в інтервалі температур і концентрацій. При позначенні на діаграмі структурного складу слід звернути увагу на зменшення розчинності вуглецю в твердих розчинах при їх охолодженні. В результаті цього спостерігається виділення вуглецю з розчину по межах їх зерен у вигляді тонкої сітки цементиту вторинного (з аустеніту - по лінії ES) або цементиту третинного (з фериту - лінії PQ). Цементит не первинний, кристалізується із рідини (лінія CD), являє собою великі стовпчасті кристали. Горизонтальні лінії діаграми виражають стан трифазного рівноваги (ступінь свободи дорівнює нулю, тобто перетворення відбуваються при постійній температурі):

перитектична лінія HJB –  $1499^\circ\text{C}$  -  $\text{Fe}_{0,1\%} + \text{Ж}_{0,5\% \text{ C}} \rightarrow \text{A}_{0,16\% \text{ C}}$ ;

евтектична лінія ECF –  $1147^\circ\text{C}$  –  $\text{Ж}_{4,3\% \text{ C}} \rightarrow \text{A}_{2,1\% \text{ C}} + \text{Ц}_{6,67\% \text{ C}}$  (евтектика-ледебурит);

евтектоїдна лінія PSK –  $727^\circ\text{C}$  –  $\text{A}_{2,14\% \text{ C}} \rightarrow \text{Ф}_{0,02\% \text{ C}} + \text{Ц}_{6,67\% \text{ C}}$  (евтектоїд-перліт).

Сплави з 2,14 – 6,67 % С, що містять у структурі ледебурит, називаються чавунами на відміну від сталей (до 2,14 % С), що не мають евтектики. Структури чавунів в інтервалі температур  $1147 - 727^\circ\text{C}$  наступні:

- доевтектичні чавуни (від 2,14 до 4,3 % С) – дендрити аустеніту, округлені оболонкою цементиту вторинного, і ледебурит;
- евтектичні чавуни (4,3 % С) – ледебурит;
- заевтектичних чавуни ( $> 4,3\% \text{ C}$ ) – великі стовпчасті кристали цементиту первинного і ледебурит.

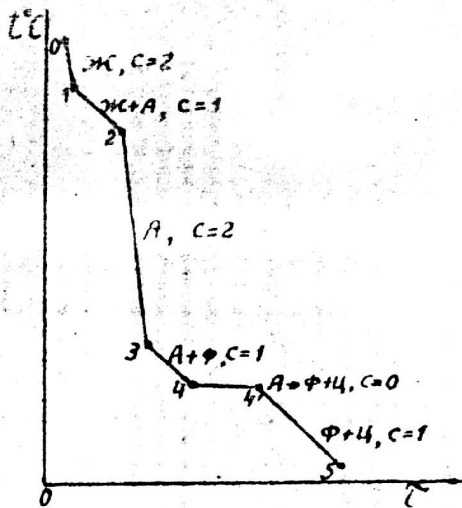


Рисунок 1 – Крива охолодження сплаву з 0,6 % С

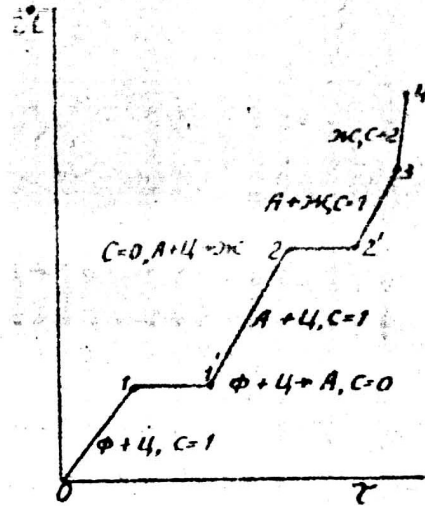


Рисунок 2 – Крива нагрівання сплаву з 5 % С

Евтектоїдне перетворення є результатом складання двох перетворень:

- алотропічного перетворення  $Fe_{\gamma} \rightarrow Fe_{\alpha}$ , початок якого в сплавах виражається лінією GS (виділення фериту з аустеніту і збагачення аустеніту вуглецем до 0,8 %);
- виділення цементиту вторинного з аустеніту в результаті зменшення розчинності вуглецю в ньому при охолодженні до 0,8 % C (лінія ES).

Ці процеси завершуються в сплавах по лінії PSK перетворенням аустеніту концентрації 0,8 %C в евтектоїдну суміш фериту і цементиту вторинного, звану перлитом. Нижче 727 °C розрізняють по структурі:

- доевтектоїдні сталі (понад 0,02 до 0,8 % C) – ферит і перліт;
- евтектоїдні сталі (0,8 % C) – перліт;
- заевтектоїдні сталі (понад 0,8 до 2,14 % C) – перліт і цементит вторинний по межах зерен.

Сплави, що містять <0,02 % C, називаються технічним залізом. Його структура або ферит (до 0,006 % C), або ферит і цементит третинний (понад 0,006 % C).



У білих чавунах нижче лінії PSK аустеніт також перетворюється в перліт. За допомогою фазової діаграми Fe-Fe<sub>3</sub>C і рівняння Гіббса (правило фаз) можна аналізувати процеси, що проходять при охолодженні або нагріванні сплавів. Наприклад, на рис. 1. зображена крива охолодження сплаву, що містить 0,6 % C, а на рис. 2. – крива нагрівання сплаву, що містить 5 % C. Перегини на кривих, позначені арабськими цифрами 1, 2 і т. п., відповідають точкам перетину зазначених сплавів з лініями діаграми. Початкова точка позначена O.

Для визначення хімічного складу (концентрації вуглецю) фаз і їх кількісного співвідношення при заданій температурі використовують правило важеля. Наприклад (рис.3), по фазовій діаграмі відомо, що чавун, що містить 5 % C, при температурі 900 °C складається кристалів аустеніту і цементиту. Проведемо горизонтальну лінію через точку *a* до перетину з лініями, що обмежують дану двофазну область, і отримаємо точку *b* (перетин з лінією ES) і точку *v* (перетин з лінією DFK). Хімічний склад кристалів аустеніту визначається проекцією точки *b* на вісь концентрацій – 1,25 % C, а хімічний склад цементиту - проекцією точки *v* на вісь концентрацій - 6,67 % C.

Кількість кристалів аустеніту визначається як

$$\frac{av}{bv} 100 = \frac{6,67 - 5,0}{6,67 - 1,25} 100 = 30\%$$

Кількість кристалів цементиту становить

$$\frac{ba}{bv} 100 = \frac{5,0 - 1,25}{6,67 - 1,25} 100 = 70\%$$

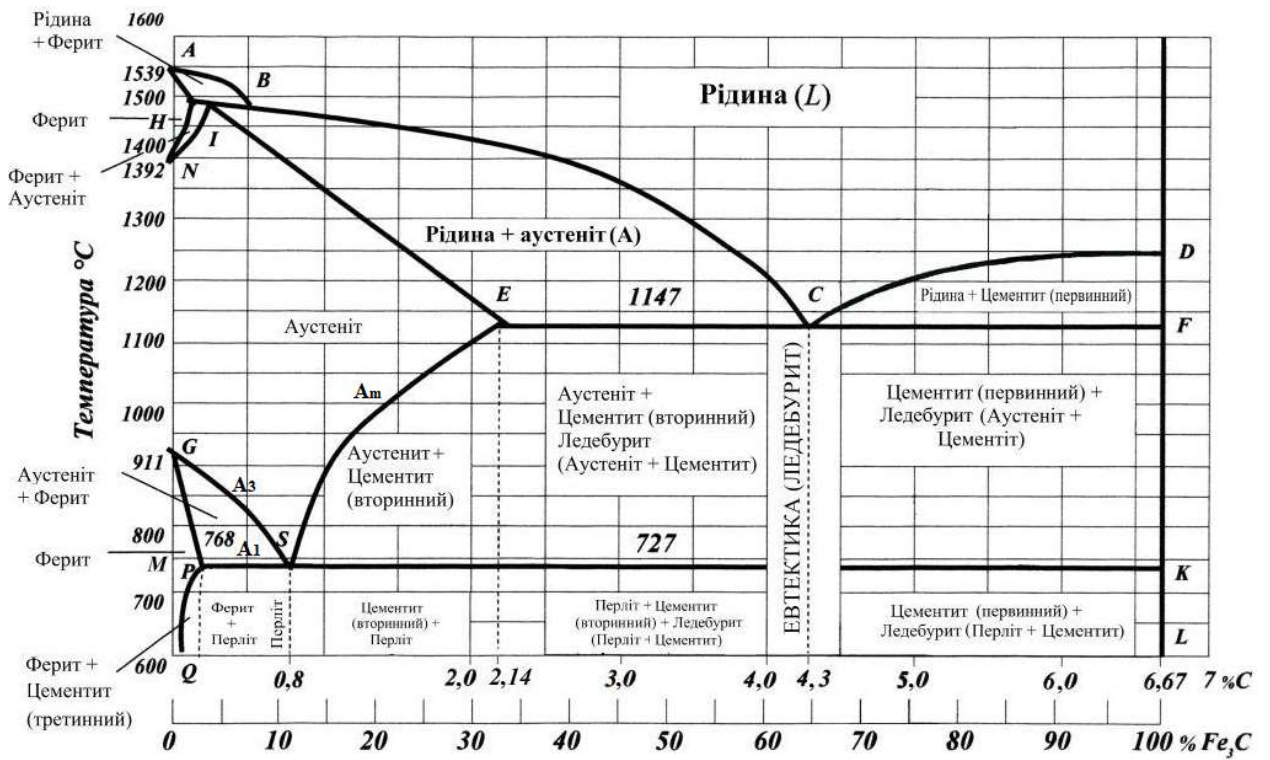
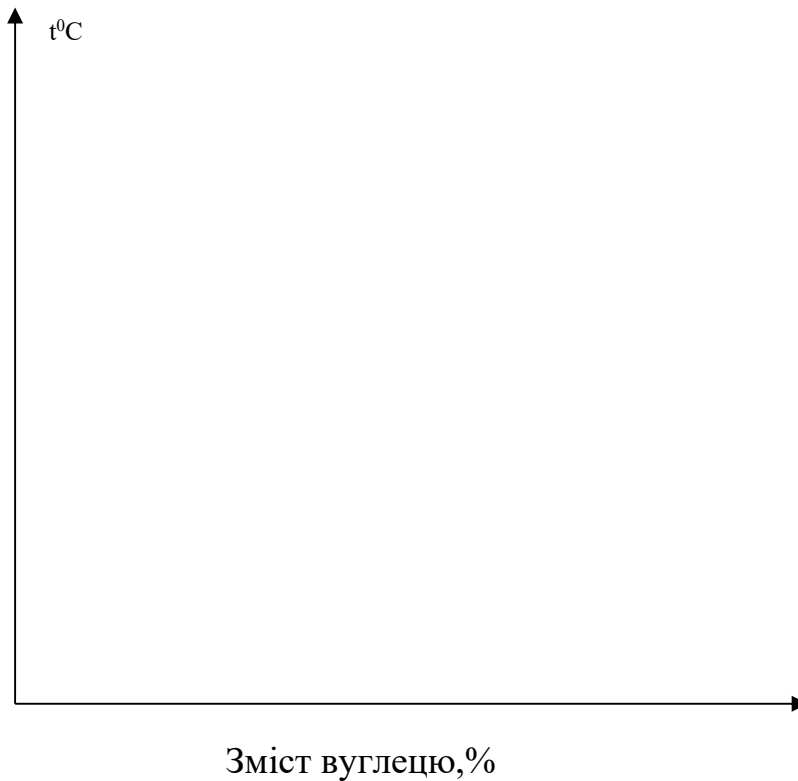


Рисунок 3 – Діаграма стану системи залізо-вуглець

### ЗВІТ

#### Діаграма стану системи залізо-вуглець



Крива охолодження для сплаву з \_\_\_\_% С



Позначення ліній і точок діаграми:

Лінія ABCD \_\_\_\_\_

Лінія AHJESCF \_\_\_\_\_

Лінія ECF \_\_\_\_\_

Лінія ES \_\_\_\_\_

Лінія GS \_\_\_\_\_

Лінія GP \_\_\_\_\_

Лінія PSK \_\_\_\_\_

Лінія PQ \_\_\_\_\_

Лінія С \_\_\_\_\_

Лінія E \_\_\_\_\_

Лінія S \_\_\_\_\_

Лінія P \_\_\_\_\_

При температурі \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$

хімічний склад фази \_\_\_\_\_ визначається \_\_\_\_\_ % С

хімічний склад фази \_\_\_\_\_ визначається \_\_\_\_\_ % С

кількість фази \_\_\_\_\_ визначається \_\_\_\_\_ %

кількість фази \_\_\_\_\_ визначається \_\_\_\_\_ %

## Лабораторна робота № 5

### Вивчення структури і властивостей сталей і чавунів.

### Вивчення структури і властивостей легованих сталей

#### Завдання

1. Ознайомитися з маркуванням і властивостями сталей і чавунів.
2. Усвідомити класифікацію легованих сталей за структурою, складом, мірою легування і призначенням.
3. Засвоїти маркування легованих сталей.

#### А. Загальні відомості

Марки і механічні властивості вуглецевих сталей стандартизовані наступним чином:

ГОСТ 380-71 – сталь вуглецева звичайної якості (цифра в позначенні сталей - умовний порядковий номер);

ГОСТ 1050-74 – сталь вуглецева якісна конструкційна (цифрами в позначенні стали - вміст вуглецю в сотих частках відсотка);

ГОСТ 1435-74 – сталь вуглецева інструментальна (цифрами в позначенні стали – вміст вуглецю в десятих частках відсотка).

#### Склад вуглецевих сталей:

Вуглецевими сталями називають сплави, що містять менше 2,14 % вуглецю.

Домішками – елементи сплавів, присутні в малих дозах і які несуттєво впливають на властивості сплавів.

Компонентами називають елементи, які містяться в кількості, достатній для зміни властивостей сплавів.

#### Класифікація вуглецевих сталей

Вуглецеві сталі класифікують за структурою у зрівноваженому стані, вмістом вуглецю, ступенем розкислення, якістю та призначенням.

За структурою у зрівноваженому стані вуглецеві сталі поділяються на доевтектоїдні, евтектоїдну і заевтектоїдні.

Доевтектоїдними називають сталі, що містять від 0,02 до 0,8 % С і мають у структурі ферит та перліт.

Евтектоїдна – це сталь, яка містить 0,8 % С і має перлітну структуру.

Заевтектоїдними називають сталі, що містять від 0,8 до 2,14 % С і мають у структурі перліт і цементит вторинний.

За вмістом вуглецю сталі підрозділяються на низько – ( $< 0,3\%$  С), середньо- ( $0,3 < C < 0,6\%$ ) та високовуглецеві ( $> 0,6\%$  С).

За якістю сталі класифікують на звичайної якості, якісні та високоякісні. Головним показником якості є вміст сірки та фосфору в сталі. Сталі звичайної якості містять до 0,05-0,06 % S і 0,06-0,07 % P, якісні – до 0,04 % S і 0,035 % P, високоякісні – до 0,025 % S і P.

За ступенем розкислення сталі поділяються на киплячі ( $Si < 0,07\%$ ), напівспокійні ( $0,07 < Si < 0,17\%$ ) та спокійні ( $0,17 < Si < 0,37\%$ ).

За призначенням вуглецеві сталі поділяють на конструкційні та інструментальні.

### **Маркування вуглецевих сталей**

Вуглецеві конструкційні сталі виготовляють якісні та звичайної якості. Сталі звичайної якості випускають у вигляді прокату (прутки, балки, листи, труби тощо) в нормалізованому стані.

Ступінь розкислення позначається додаванням індексів: сп – спокійна сталь, пс – напівспокійна, кп – кипляча. Наприклад, марка Ст 3сп означає, що це конструкційна вуглецева сталь звичайної якості, номер 3, спокійна.

Якісні конструкційні сталі поставляються у вигляді прокату, поковок, профілів різного призначення з гарантованим хімічним складом і механічними властивостями. Маркують ці сталі двозначними числами, які позначають середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Наприклад, сталь 20 містить у середньому 0,20 % С, сталь 70 - 0,70 % С.

До вуглецевих сталей відносять також сталі з підвищеним вмістом марганцю (0,7...1,0 %), наприклад, сталь 70Г, 25Г, які мають підвищену прогартовуваність.

Якісні спокійні сталі маркують без індексу, напівспокійні і киплячі – з індексами відповідно пс і кп.

Низьковуглецеві якісні киплячі сталі (05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп) виготовляють у вигляді тонкого листа і використовують для холодного штампування з глибокою витяжкою.

Спокійні сталі 10, 15, 20 і 25 використовують для виготовлення кріпильних деталей.

Середньовуглецеві сталі 30, 35, 40, 45, 30Г, 40Г, 50Г застосовують для виготовлення невеликих валів, шатунів, зубчастих коліс і деталей, які піддаються циклічним навантаженням.

Середньо- та високовуглецеві сталі 60, 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г в основному застосовують для виготовлення пружин, ресор, високоміцного дроту та інших виробів з високою пружністю і зносостійкістю.

До вуглецевих конструкційних сталей відносяться також автоматні сталі, які мають добру оброблюваність різанням за рахунок підвищеного (до 0,35 %) сумарного вмісту сірки та фосфору. Крім S і P, в автоматні сталі можуть бути введені селен, телур, кальцій, свинець. Маркують автоматні сталі буквою А (автоматна) і цифрами, які показують середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка, наприклад А12, А20 тощо. Якщо автоматна сталь легована свинцем, то позначення марки починається поєднанням букв „АС” (наприклад, АС14).

Вуглецеві інструментальні сталі (ГОСТ 1435-90) поділяються на якісні (У7, У8, ... У13) і високоякісні (У7А, У8А, ... У13А). Буква У в марці означає, що сталь вуглецева, а число вказує середній вміст вуглецю в десятих частках відсотка. Буква А в кінці марки вказує, що сталь високоякісна.

Сталі марок У7, У8, У9, У7А, У8А, У9А застосовують для виготовлення слюсарного, ковальського, пресового та деревооброблювального інструмента.

Заевтектоїдні сталі У10...У13 та У10АВ...У13А використовують для виготовлення вимірювального та різального інструмента і невеликих штампів холодної висадки.

### **Класифікація, маркування і використання чавунів**

Чавун – це сплав заліза з вуглецем та домішками (Si, Mn, S, P, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N), в якому вуглецю більше як 2,14 %.

Чавуни доцільно класифікувати за призначенням на: білі, сірі, ковкі, високоміцні і антифрикційні.

Білі чавуни – це чавуни, в яких вуглець перебуває у зв'язаному стані, у вигляді цементиту (Fe<sub>3</sub>C). Їх можна класифікувати за структурою: до евтектичні (вміст вуглецю від 2,14 до 4,3 %); евтектичні (вміст вуглецю 4,3 %); заевтектичні (вміст вуглецю від 4,3 до 6,67 %).

Білі чавуни в основному використовують для переробки у сталь. В окремих випадках для виготовлення виробів, які не піддаються високим навантаженням.

Сірі чавуни – це чавуни, в яких вуглець перебуває як у зв'язаному стані (Fe<sub>3</sub>C) так і в вільному у вигляді графіту. Сірі чавуни маркуються буквами СЧ з цифрою, яка вказує мінімальну границю міцності на розрив або розтяг.

Згідно ДСТУ є такі марки сірого чавуну: СЧ12, СЧ15, СЧ18, СЧ21, СЧ24, СЧ25, СЧ32, СЧ35, СЧ40, СЧ45. Сірі чавуни використовуються для виготовлення різних відливок для сільськогосподарських машин і побутової техніки. У структуру сірих чавунів обов'язково входить фаза графіт у вигляді пластинок. Це дозволяє в деякій мірі підвищити пластичність у порівнянні з білими чавунами.

Ковкий чавун – умовна назва м'якого і в'язкого чавуну, який одержують з білого чавуну шляхом відливанням з подальшою термічною обробкою. Його не кувають, але він набагато пластичніший за сірий чавун. Ковкий чавун, як і сірий, складається із основи – сталі та містить частину вуглецю у вигляді графіту, проте графітові включення у ковкому чавуні інші по формі (у вигляді

плям, а не пластин). Властивості ковкого чавуну залежать від металевої основи і розміру включень графіту, чим менші включення графіту, тим міцніший ковкий чавун.

Ковкий чавун позначають буквами КЧ і двома числами, з яких перше вказує мінімальну границю міцності на розтяг, друге – мінімальне відносне видовження  $\delta$  (%). Відомі такі марки ковкого чавуну: на феритній основі (3...10 % перліту) КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ35-10, КЧ37-12, на перлітній основі (0-20 % фериту) КЧ45-7, КЧ50-5, КЧ55-4, КЧ60-3, КЧ65-3.

Ковкий чавун широко використовують у сільськогосподарському машинобудуванні, в автомобільній і тракторній промисловості, верстатобудуванні та в інших галузях промисловості.

Високоміцні чавуни. Підвищення міцності і пластичності чавунів досягають модифікуванням під час виплавляння, яке забезпечує одержання глобулярного (сфероїдального) графіту замість пластинчастого. Таку форму графіту одержують при введенні присадок у рідкий чавун магнію або лігатури (20 % Mg + 80 % Ni).

Встановлені такі марки високоміцного чавуну у відливках: ВЧ35, ВЧ40, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100, ВЧ120. Число вказує мінімальну границю міцності на розрив або розтяг.

Міцність чавуну збільшується із збільшенням кількості перліту і дисперсності глобулів графіту.

Високоміцний чавун використовують замість сталі для відливання валів, зубчастих коліс, муфт, задніх мостів автомобілів, картерів та ін.

## **Б. Загальні відомості**

Будь-яка сталь містить залізо і вуглець. Причому зміст останнього може становити 0,02...2,14 % і безпосередньо визначає його властивості і марку. Він підвищує твердість і міцність, але при збільшенні концентрації знижує пластичність. Збільшує ріжучу здатність, електричний опір. Знижує температуру плавлення і щільність. Звичайні вуглецеві сталі, також як й



леговані, можуть містити кремній, марганець, мідь, сірку, хром, фосфор, водень, азот і алюміній, тільки їх кількість значно нижче. При цьому Si та Mn вводяться для поліпшення показників міцності та фізико-хімічних властивостей. Інші речовини потрапляють в розплавлену сталь з шихти або пічних газів і відповідно вважаються домішками. Деякі з них (наприклад, сірка й фосфор) є постійними шкідливими домішками. При виплавленні легованих сталей їх властивості формуються за рахунок цілеспрямованого введення модифікуючих елементів.

### Легуючі добавки

Найбільш поширеними елементами, що використовуються для поліпшення фізичних, хімічних та механічних властивостей сталей є: хром, марганець, нікель, кремній, вольфрам, молібден, ванадій, титан, мідь, кобальт, алюміній, бор, ніобій, цирконій та інші. Але, незважаючи на такий великий список, все ж найбільш використовуються лише кілька з перерахованих вище елементів.

Таблиця 1 – Легуючі добавки

Елемент	Хімічне позначення	Позначення в маркуванні СНГ	Типовий зміст, %	Особливості застосування
Марганець	Mn	Г	0,8 – 13	Аустенітообразуюча речовина, покращує здатність сталі сприймати загартування і збільшує поріг здатності до лиття металу. Підвищує опір стиранню і ударних навантажень.
Кремній	Si	С	0,5–14,0	Ферітообразуючий компонент. Не впливає на в'язкі властивості, при цьому підвищує межу міцності і плинності, магнітну проникність і електропровідність. Покращує пластичність, кислотостійкість і міцність.
Алюміній	Al	Ю	0,02–0,07	Мінімізує процеси старіння. Підвищує пластичність. Зв'язує кисень.
Фосфор	P	П	0,05 – 0,35	Покращує антикорозійні властивості і оброблюваність. В кількості більш 0,03% провокує хладоламкості.
Хром	Cr	Х	0,3 – 30	Ферітообразуючий компонент. Широко використовується як самостійний легуючий

Елемент	Хімічне позначення	Позначення в маркуванні СНГ	Типовий зміст, %	Особливості застосування
				агент, так і в комплексі з іншими речовинами. Його введення сприяє розширенню температурного інтервалу затвердіння, збільшує міцність і твердість без зміни показників пластичності. Зміст 1% покращує механічні властивості. З підвищенням концентрації хрому до 5% збільшується теплостійкість, а кислотостійкі і жароміцні сплави вже містять більш високий відсоток хрому, який може досягати 28%.
Нікель	Ni	Н	0,3 – 25	Аустенітообразуючий компонент. Покращує ударну в'язкість і термоокислювальну стабільність. Підвищує здатність до загартування і стійкість до окалини.
	Mo	М	0,2 – 6,5	Молибден. Значно підвищує показники твердості, міцності й прожарюваності. У найбільшій концентрації міститься в жароміцних та швидкорізальних сталях, а в конструкційних марках його кількість зазвичай не перевищує 0,4%.
Вольфрам	W	В	1,0–18,0	Карбідообразуюча присадка, що підвищує межі міцності і твердості. Вводиться в швидкорізальні інструментальні сплави до 18% і оптимізує термоміцність і опір ударним навантаженням.
Ванадій	V	Ф	0,09–2,0	Карбідообразуючий агент, який збільшує міцність і підвищує в'язкість. Сплави, що містять ванадій демонструють відміну ударну стійкість та інертність до напруги, але дуже дорого коштують.
Титан	Ti	Т	0,03–0,15	Пов'язуючи вуглець в міцні карбіди, подрібнює зерна аустеніту і знижує схильність до міжкристалічної корозії. Підвищує кислотостійкість й, поряд з іншими карбідоутворюючими, сприяє самозагартуванню сталі.
Ніобій	Nb	Б	0,01-1,5	Сильний карбідоутворюючий елемент. В нержавіючі сплави вводиться для мінімізації міжкристалічної корозії, в марганцевисті - для зниження відпускнуї крихкості.
Мідь	Cu	Д	0,03-4,0	Її присадка збільшує межу плинності, пластичність, опір до корозійних процесів. У суднобудуванні дозволяє ефективно вирішити проблему обростання підводної частини корпусу водоростями і мушлями.
Бор	B	Р	0,0008-0,005	Збільшує здатність до загартування. Є кращою альтернативою для заміни дорогого молибдену і нікелю.
Кобальт	Co	К	5,0–30,0	Використовується для жаростійких і швидкорізальних марок. Його присадка

Елемент	Хімічне позначення	Позначення в маркуванні СНГ	Типовий зміст, %	Особливості застосування
				дозволяє ріжучій площині зберігати свої властивості навіть при температурах червоного розжарювання і захищає конструктивні частини теплогенеруючих елементів від окислення при впливі агресивних середовищ і критичних температур.

### Загальна класифікація легованих сталей

Вона ґрунтується на тому, в якій кількості добавка введена до складу сплаву, і визначає основні групи виходячи з хімічної структури, цільового призначення і унікальних властивостей. Таким чином, розрізняють наступні категорії.

Класифікація сталевих сплавів за процентним вмістом всіх легуючих компонентів:

- не більше 2,5% – низьколеговані;
- в інтервалі від 2,5 до 10,0 % – середньолеговані;
- більше 10 % – високолеговані.

Класифікація легованих сталей за призначенням:

- конструкційні. Використовуються для виготовлення металоконструкцій, деталей машин, агрегатів і механізмів;
- інструментальні. Застосовуються при виготовленні високоякісного вимірального і ріжучого інструменту і ударо-штампувального оснащення;
  - з особливими властивостями (жаростійкі, нержавіючі і інші).

У своїй професійній діяльності металурги і інженери часто вдаються до більш широкої номенклатури. Наприклад, професіоналами використовується класифікація таких сплавів по їх мікроструктурі в нормалізованому стані (перлітні, аустенітні, карбідні і мартенситні) або в рівноважному стані (доевтектоїдні, евтектоїдні, заевтектоїдні). Характеристика легованих сталей Фазові перетворення в твердих розчинах заліза визначаються загальними

законами взаємної розчинності і міжатомних взаємодій всіх елементів, включаючи вуглець і легуючі добавки. Тому легована сталь має одночасно схожі і унікальні характеристики:

- хімічні: жаростійкість, кислотостійкість, корозійна стійкість;
- фізичні: теплові, магнітні, електричні;
- спеціальні: зносостійкість, опірність повзучості.

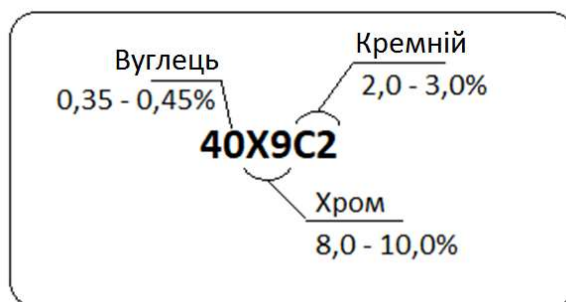
### Маркування легованих сплавів і основні марки

У світовій практиці використовується кілька документів, що регламентують маркування легованих сталей. Але в будь-якому випадку вони всі припускають використання літерно-цифрових позначень.

#### Стандарти країн СНД

При позначенні легованої конструкційної сталі процентна величина масової частки вуглецю маркується першими двома цифрами без використання літерного позначення. Далі в порядку зменшення вказуються легуючі компоненти і їх частка в сплаві в середньому еквіваленті. Літерні позначення хімічних елементів вказані в таблиці 1.

Легуючі присадки, кількість яких менше 1,0% вказуються тільки в розшифрованій номенклатурі, так як позначення тоді б прийняло дуже громіздкий вигляд.



З огляду на великий сортамент, також марка сталі може включати додаткові символи, що більш розширено описують властивості або особливості: А – автоматні, Е – магнітні, Ж – нержавіючі, Р – ріжучі, Х – хромисті, Ш – шаропідшипникові, Е – електротехнічні, Я – хромонікелеві. Також маркування може допускати позначення, виключенні із загальних

правил. Так, в залежності від хімічного складу конструкційні сплави поділяють на якісні та високоякісні. Наприклад, в кінці маркування буква «А» вказує, що сплав є особливо чистим в частині утримання фосфору і сірки, а буква «Ш» відносить їх до високоякісних.

### **Звіт**

Розшифрувати класифікацію, маркування та хімічний склад сталей і чавуну за завданням викладача.

Методичне видання

Проців Володимир Васильович  
Бохан Наталя Сергіївна

**ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА  
МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**  
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ  
для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Видано в світ  
у Національному технічному університету  
«Дніпровська політехніка».  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004  
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19