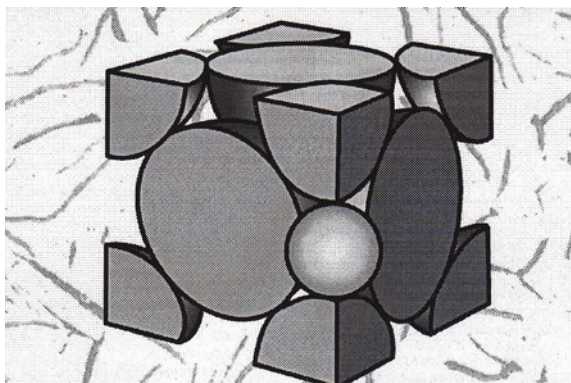




**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З РОЗДІЛУ**  
**“МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**



Міністерство освіти, науки, молоді та спорту України

Національний технічний університет України

<<Київський політехнічний інститут>>



Кафедра лазерної техніки  
та фізико-технічних технологій

НТУУ "КПІ" Механіко-машинобудівний інститут

**Методичні вказівки  
до лабораторних робіт з розділу  
“Матеріалознавство” дисципліни “Матеріалознавство та  
обробка матеріалів”**

**Для студентів спеціальності 6.050502 <<Автоматизація та  
комп’ютерно - інтегровані технології>>**

*Затверджено Методичною радою ІХФ НТУУ<<КПІ>>*

УДК 621(075)

Методичні вказівки до лабораторних робіт з розділу  
“Матеріалознавство” : для бакалаврів напрямку підготовки - 6.050502 –  
автоматизація та комп’ютерно – інтегровані технології - спеціальності -  
7.05052302 – автоматизоване управління технологічними процесами усіх  
форм навчання/ Уклад.: А.М.Лутай, Ю.В.Ключников, А.Т.Сердітов, –  
К.:НТУУ<<КПІ>>, 2012. – 36с.

В методичних вказівках висвітлені зміст, питання організації і проведення  
лабораторних робіт з розділу <<Матеріалознавство>>, надана необхідна  
інформаційна база для підготовки до їхнього виконання, наведені вимоги до  
форми звітності

*Гриф наданий Методичною радою ІХФ НТУУ<<КПІ>>  
(протокол № 3 від 27.02.2012р)*

Цитати на фактичний матеріал перевірено,  
зауваження рецензента враховано

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт  
з розділу «Матеріалознавство», частина 1

Укладачі:

1. Ключников Юрій Валентинович, к.т.н., доц. кафедри ЛТФТ,
2. Лутай Анатолій Миколайович, ст. викладач кафедри ЛТФТ,
3. Сердітов Олександр Тимофійович, к.т.н., доц. кафедри ЛТФТ.

Рецензент: Жученко Анатолій Іванович, д.т.н., проф. кафедри автоматизації  
хімічних виробництв ІХФ НТУУ «КПІ».

Відповідальний редактор

В.В. Романенко, к.т.н., доц

## ЗМІСТ

<b>Лабораторна робота №2. Визначення твердості матеріалів.....</b>	<b>6</b>
<b>Лабораторна робота №3. Визначення кількості фазової ( структурної) складової в сплаві.....</b>	<b>11</b>
<b>Лабораторна робота №4. Гартування та відпускання сталей.....</b>	<b>15</b>
<b>Лабораторна робота №5. Визначення критичних точок сталей методом пробних гартувань.....</b>	<b>18</b>
<b>Лабораторна робота №10. Мікроаналіз залізовуглецевих сплавів у стані рівноваги.....</b>	<b>21</b>
<b>Лабораторна робота №12. Вплив пластичної деформації на твердість металів.....</b>	<b>25</b>
<b>Лабораторна робота №15. Визначення розміру зерна металів.....</b>	<b>28</b>

## **Лабораторна робота № 2**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МАТЕРІАЛІВ**

**Мета роботи:** навчитися самостійно проводити випробування матеріалів на твердість за Роквеллом, Брінеллем та Віккерсом.

### **Теоретичні відомості**

Твердістю називається властивість матеріалу чинити опір пластичній деформації при вдавлюванні в його поверхню більш твердого тіла, яке називають індентором.

Вимірювання твердості дозволяє перевірити правильність проведення термічної обробки, визначає можливість спрацювання деталі, можливість механічної обробки. Між твердістю деяких металів та іншими механічними властивостями (головним чином, міцністю) існує кількісна залежність. Оскільки при вимірюванні твердості в більшості випадків деталі не руйнуються, то ці вимірювання можна застосовувати для суцільного контролю деталей, в той час як визначення характеристик міцності проводять у якості вибіркового контролю. Можливість оцінки зазначених характеристик матеріалу за вимірюванням твердості, поряд з простотою та швидкістю вимірювання, зробили цей метод широко розповсюдженим у заводській практиці та лабораторних дослідженнях.

У залежності від форм індентора (куля, конус, піраміда) та вимірюваної величини (відношення навантаження до площі поверхні отриманого відбитка, глибини вдавлювання) розрізняють три види визначення твердості матеріалу.

## 1. Визначення твердості за Брінеллем (HB)



У плоску поверхню металу на пресах Брінелля вдавлюють під сталим навантаженням  $P$  загартовану кульку діаметром  $D$ . Після зняття навантаження залишається відбиток у вигляді сферичного сегмента (мал. 1) діаметром  $d$ .

Твердість за Брінеллем визначають як відношення прикладеного навантаження до площі поверхні отриманого відбитка  $F$ :

Мал. 1

$$HB = \frac{P, \text{MH}}{F, \text{M}^2} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ МПа} \quad (1)$$

При різній глибині вдавлювання кульки не існує відповідності між прикладеними навантаженнями і діаметром отриманого відбитка для одного і того ж матеріалу, тому для матеріалів з різною твердістю (наприклад, чавун, сплави алюмінію) вимірювання проводять при певних відношеннях  $P/D^2 = \text{const}$ . Діаметри кульок беруть 10, 5 і 2,5 мм. Навантаження визначають виходячи з умов за табл.1.

Таблиця 1

Товщина зразка, мм	Діаметр кульки, мм	Навантаження, Н		
		чавун, сталь $\frac{P}{D^2} = 30$	мідь, латунь бронза $\frac{P}{D^2} = 10$	сплави алюмінія, свинцю, олова $\frac{P}{D^2}$
більше 6	10	30000	10000	2500
від 6 до 3	5	7500	2500	625
менше 3	2,5	1875	625	156

Діаметр відбитка вимірюють за допомогою лупи, на окулярі якої нанесена шкала з поділками у десятих частках міліметра. Вимірювання здійснюють з точністю до 0.05 мм у двох взаємно перпендикулярних

напрямах. Для визначення твердості слід приймати середнє з отриманих величин. За значенням  $d$  за формулою (1) або у відповідній таблиці знаходять число твердості в МПа.

Недоліки методу:

1. Неможливо вимірювати твердість високотвердих матеріалів (НВ 4500) з причини пружної деформації кульки.
2. Неможливо вимірювати твердість тонкого поверхневого шару (товщиною менше 1-2 мм).
3. Не рекомендують вимірювати твердість готових виробів.

Результати вимірювання твердості записати в табл.2.

## **2. Визначення твердості за Роквеллом (HRA, HRB, HRC)**

У якості інденторів використовують алмазний твердосплавний конус та сталюу кульку діаметром  $D=1.588$  мм. Алмазний конус застосовують для матеріалів високої твердості, а кулька - для низької. Твердість визначають за глибиною відбитка.

Індентори вдавлюють послідовними навантаженнями: попереднім  $P_0=100$  Н і основним. Попереднє навантаження здійснюють для того, щоб усунути вплив пружної деформації та різної шорсткості поверхні зразків на результати вимірювання.

Основне навантаження беруть:  $P_1=900$  Н для кульки і відлік твердості проводять за шкалою В;  $P_1=1400$  Н для алмазного конуса – відлік за шкалою С;  $P_1=500$  Н для алмазного конуса при дуже твердих і більш тонких матеріалах - відлік за шкалою А. Твердість за Роквеллом вимірюють в умовних одиницях. Шкали А і С показують значення твердості, які дорівнюють 100-е; шкала В показує значення твердості, як дорівнюють 130-е, де  $e = \frac{h}{0.02}$ , при цьому  $h$  - глибина вдавлювання індентора. Числа HRA

можна перевести на числа HRC за формулою:



$$HRC = 2 HRA - 104.$$

Твердість потрібно вимірювати не менш ніж у трьох точках. Для обчислення приймають середнє значення результатів другого і третього вимірювань.

Результати вимірювання твердості записати в табл.2.

Таблиця 2

Матеріал	Прилад	Тип та хар-ка індентора	Величина навантаження, Н	Шкала	Діаметр відбитка, мм	Товщина зразка, мм	Середнє число твердості
Сталь 20	Роквелл	Алмазний конус	1500	С	—	—	HRC
Сталь 45	Роквелл	Алмазний конус	1500	С	—	—	HRC
Сталь У8	Роквелл	Алмазний конус	1500	С	—	—	HRC
Алюміній	Роквелл	Кулька D=1,588 мм	1000	В	—	—	HRB
Мідь	Роквелл	Кулька D=1,588 мм	1000	В	—	—	HRB
Латунь	Брінелль	Кулька D=10 мм	10000	—	3,5	>6	HB

### 3. Визначення твердості за Віккерсом (HV)

У шліфовану поверхню матеріалу вдавлюють під сталим навантаженням чотиригранну алмазну піраміду з кутами при вершині  $\alpha = 136^\circ$  (мал. 2).

Твердість за Віккерсом визначають як відношення прикладеного навантаження  $P$  до площі поверхні отриманого відбитка  $F$ :

$$\frac{P, \text{MH}}{F, \text{M}^2} = \frac{20P \cdot \sin(\alpha/2)}{d^2} = 18.54 \frac{P}{d^2}, \text{MPa} \quad (2)$$

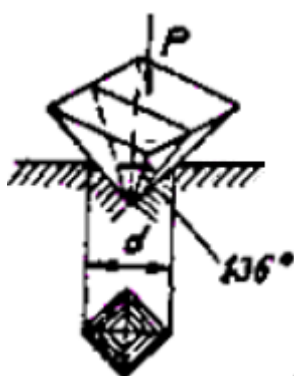
де  $P$  - навантаження на індентор, кг,

$d$  - середнє арифметичне довжини обох діагоналей відбитка після зняття навантаження, мм.

Довжину діагоналі відбитка визначають за допомогою мікроскопа приладу. У приладі застосовують навантаження в 1, 3, 5, 10, 30, 50, 100, 120 кг. Для вимірювання твердості тонких шарів використовують менші навантаження: 5 або 10 кг. Методом Віккерса можна визначити твердість поверхневих шарів товщиною до ( 0.03... 0.05) мм.

Числа твердості за Віккерсом і Брінеллем мають однакову розмірність і для матеріалів з твердістю до HV 4500 практично співпадають.

Результати вимірювання твердості занести до табл.2.



Мал. 2

Звіт по роботі повинен мати: номер, назву та мету роботи; короткий виклад способів вимірювання відбитка та визначення твердості; мал. 1, 2; табл.2 з результатами визначення твердості; графік залежності твердості від вмісту вуглецю.

### **Лабораторна робота №3**

#### **ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ФАЗОВОЇ (СТРУКТУРНОЇ) СКЛАДОВОЇ В СПЛАВІ**

**Мета роботи:** ознайомити студентів з точковим методом визначення та провести конкретне дослідження кількості структурної складової на мікрошліфі доевтектоїдної вуглецевої сталі, склад якої невідомий.

#### **Теоретичні відомості**

Властивості металічних сплавів, поряд з формою та розміром фазових і структурних складових, визначаються також відносною кількістю останніх. Тому для висновків про працездатність сплавів у тих або інших умовах часто потрібно визначати в них об'ємну частку тої або іншої складової. Після такого визначення, якщо фазовий склад невідомий може бути також з'ясований і склад сплава в цілому.

Встановлено, що об'ємна частка фазової (або структурної) складової в сплаві дорівнює відносній площі, яку займає ця фаза в довільному плоскому перерізі зразка. Це дозволяє за мікроструктурою на мікрошліфі визначити кількість будь-яких складових у сплаві.

Оскільки на площі шліфа фазові складові можуть мати самі різні форму та розміри, зрозуміло, що кількісний аналіз складових сплава повинен мати статистичний характер. Найбільш зручним із відомих є

точковий метод, сутність якого полягає в наступному. Якщо якимось чином випадково наносити на поверхню мікрошліфа точки, потрапляння цих точок у будь-яку ділянку шліфа буде рівновірогідним, і при великій кількості нанесених точок вони покриють поверхню шліфа рівномірно. У цьому випадку відношення кількості точок, які потрапили на досліджувану складову, до загальної кількості нанесених точок буде дорівнювати об'ємній частці цієї складової, тобто:

$$P = \frac{V_1}{V} = \frac{S_1}{S} = \frac{n}{N}, \quad (1)$$

$$\text{або у \% } P = \frac{n}{N} \cdot 100,$$

де  $V_1$  і  $S_1$  – об'єм і площа шліфа, які займає складова, що нас цікавить.

Відповідно

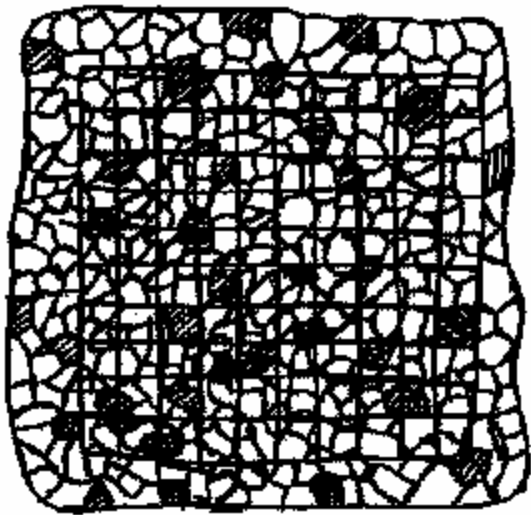
$V$  і  $S$  - об'єм і площа шліфа;

$n$  - кількість точок, які потрапили на складову, що нас цікавить;

$N$  – загальна кількість нанесених точок;

$P$  – відносний об'єм фазової складової.

Експеримент звичайно проводять таким чином. Зображення структури розглядають за допомогою окуляра Гюйгенса, у фокальній площині якого розташована скляна пластинка з нанесеною на неї квадратною сіткою (звичайно у 100 клітинок). У цьому випадку зображення структури суміщують із зображенням сітки, і перехрестя ліній сітки можуть бути точками, які наносять на зображення структури (мал.1)



Мал. 1

Абсолютна похибка визначення кількості фазової складової за формулою (1) може бути врахована за формулою:

$$\sigma = \left[ \frac{P(1-P)}{N} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

де:  $\sigma$  - середньоквадратична похибка визначення;

$P$ - об'ємна частка питомої складової;

$N$  – загальна кількість точок, нанесених на зображення структури.

Відносна похибка визначення буде:

$$\delta = \frac{\sigma}{P} \cdot 100, \% \quad (3)$$

З формул (2) і (3) можна зробити висновок, що відносна похибка визначення зростає зі зменшенням  $N$  і  $P$ .

#### Порядок проведення роботи:

1. Роботу проводять на мікрошліфі доєвтектоїдної вуглецевої сталі, склад якої невідомий.
2. Підбирають збільшення мікроскопа у межах 60-150.
3. Досліджуваний шліф встановлюють на столик мікроскопа. Зображення

структури фокусують на окулярі з сіткою (окуляр Гюйгенса 7).

Наочно визначають приблизний вміст “Р” перліту в сталі.

4. За формулами (2) і (3) визначають кількість точок  $N$ , яку потрібно нанести на зображення шліфа для того, щоб відносна похибка не перевищувала 2%.
5. Суміщення зображення сітки з зображенням структури проводять кілька разів. Кожного разу підраховують кількість точок, які потрапили на перлітне зерно, а потім за формулою (1) визначають процентний вміст перліту в сталі. (Повторні суміщення зображень структури сталі та сітки окуляра проводять переміщенням столика мікроскопа за допомогою мікрогвинтів. У цей час структуру не спостерігають).
6. Враховуючи, що перліт містить у собі 0,8% вуглецю, визначають вміст вуглецю в сталі:  $C(\% \text{ вуглецю в сталі}) = 0,8P$ , де  $P$  – знайдена об'ємна частка перліту в сталі.
7. Похибка визначення вмісту вуглецю буде  $\delta_c = C0,02\%$
8. Визначають марку сталі за стандартом.

#### Підготовка звіту по роботі

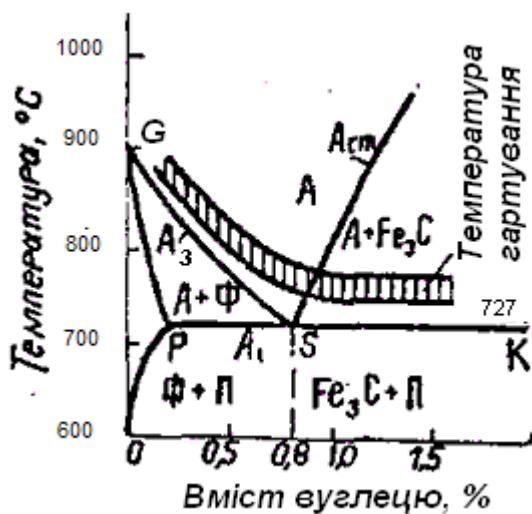
Звіт по роботі повинен мати: номер, назву та мету роботи; короткі теоретичні відомості з мал. 1 та формулами (1), (2) і (3); конкретну практичну частину з визначенням  $P$  та марки сталі.

## Лабораторна робота №4

### ГАРТУВАННЯ І ВІДПУСКАННЯ СТАЛЕЙ

**Мета роботи:** ознайомитися з основним зміцнюючим режимом термічної обробки – гартуванням сталі. Відпускання сталі – як режим термічної обробки, що змінює властивості загартованої сталі.

### Теоретичні відомості



Гартуванням сталі називають операцію термічної обробки, яку проводять з метою отримання мартенситу, який є продуктом гартування аустеніту. Для отримання мартенситу проводять нагрівання до температури вище критичної, після чого

об'єкт швидко охолоджують. Температура нагрівання під гартування визначається складом сплаву і для вуглецевих сталей її можна визначити за діаграмою Fe-Fe<sub>3</sub>C (мал. 1). При нагріванні доевтектоїдних сталей (до 0.8%) до температури вище A<sub>s1</sub> перліт (П) перетворюється в аустеніт (А). Подальше нагрівання призводить до поступового перетворення фериту (Ф) в аустеніт і вище лінії A<sub>s3</sub> сталь переходить в однофазний аустенітний стан. Подальше підвищення температури приводить до зростання зерна аустеніта. Тому для доевтектоїдної сталі температура нагрівання під гартування повинна бути на 30-50° вище точок лінії A<sub>s3</sub>. Нагрівання доевтектоїдної сталі нижче A<sub>s3</sub>, але вище A<sub>s1</sub> небажане, тому що у структурі сталі залишається деяка кількість фериту (А+Ф), який при

наступному охолодженні залишається без змін, що приводить до погіршення механічних властивостей (ферит має низьку твердість та міцність).

Заевтектоїдна сталь (вміст С більше 0.8%) при нагріванні до температури вище лінії  $A_{c1}$  містить у структурі аустеніт і вторинний цементит ( $A+Fe_3C$ ). Присутність вторинного цементиту збільшує твердість і опір спрацюванню гартованої сталі. Нагрівання заевтектоїдної сталі вище лінії  $A_{cm}$  призводить до розчинення вторинного цементиту, збільшення розміру зерна, гартувальних напруг і знеуглецювання сталі з поверхні. Тому температури нагрівання під загартування для заевтектоїдних сталей мають бути на 30-50° вище точок лінії  $A_{c1}$ .

Для отримання потрібної швидкості охолодження використовують інтенсивні охолоджувальні середовища. Такими середовищами для вуглецевих сталей є: вода, мінеральні оливи, розчини солей, кислот, лугів, рухоме та нерухоме повітря.

Відпусканням сталі називають нагрівання загартованої сталі до температур, що не перевищують лінію  $A_{c1}$ , з наступним охолодженням на повітрі. Відпускання проводять для зменшення крихкості, внутрішніх напруг, твердості, збільшення пластичності та ударної в'язкості, для отримання більш стабільного стану. Розрізняють три види відпускання.

1. При низькотемпературному відпусканні загартованої сталі, сталь нагрівають до температур 120-250°C. Після нього зменшується крихкість, дещо зростає міцність і в'язкість сталі, зменшуються внутрішні напруги. Твердість практично не змінюється.

2. При середньотемпературному відпусканні загартовані сталі нагрівають до температур 350-450°C. Це відпускання приводить до зниження твердості, міцності, крихкості. Збільшується пластичність, границя пружності, границя втомлюваності.



3. При високотемпературному відпусканні загартовані сталі нагрівають до температур 500-650°C. Міцність і твердість знижуються, пластичність збільшується, повністю усуваються внутрішні напруги. Високотемпературне відпускання забезпечує найкращі співвідношення міцності і в'язкості сталі при достатній її твердості. Термічну обробку, яка поєднує гартування з високотемпературним відпусканням, називають поліпшенням.

У практичній частині роботи слід виконати термообробку зразків сталі з контролем твердості за Роквеллом відповідно табл. 1.

Таблиця 1

#### Підготовка звіту по роботі

Звіт по роботі повинен мати: номер, назву та тему роботи; короткі теоретичні відомості з мал. 1; табл.1 з результатами досліджень.

Марка сталі	Температура гартування (t° C)	Твердість до гартування (HRC)	Твердість після гартування (HRC)	Твердість після відпускання (HRC)		
				200°	400°	600°
Сталь 45	850					
Сталь У8	750					
Конструкційна сталь	850					

## **Лабораторна робота № 5**

### **ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ТОЧОК СТАЛІ**

### **МЕТОДОМ ПРОБНИХ ГАРТУВАНЬ**

**Мета роботи:** ознайомлення з одним із методів визначення критичних точок сталі.

### **Теоретичні відомості**

В основі більшості різновидів термічної обробки сталі (відпал, нормалізація, гартування та ін.) лежить утворення та розпад аустеніту . Тому для призначення технологічних режимів термічної обробки сталей необхідно знати температури утворення аустеніту при нагріванні сталі , які називають критичними точками і позначають  $A_{c1}$ ,  $A_{c3}$  і  $A_{cm}$ . У випадку чисто вуглецевої сталі критичні точки знаходяться на лініях PSK (точка  $A_{c1}$ ), GS (точка  $A_{c3}$ ) і SE (точка  $A_{cm}$ ) діаграми стану Fe-Fe<sub>3</sub>C (див. лаб. роб. №4, мал. 1). Проте в більшості випадків промислові вуглецеві сталі містять, крім вуглецю, марганець, кремній ,фосфор, сірку, а також невеликі кількості нікелю, хрому, міді та ін. елементи. Тому розташування критичних точок навіть у вуглецевих сталях часто потрібно уточнювати експериментально. Тим більше це необхідно у випадку легованих сталей , які містять у собі значну кількість одного або кількох легуючих елементів.

Для визначення критичних точок використовують методи :

- 1) пробних гартувань;
- 2) дилатометричний;
- 3) диференціальний термічний;
- 4) визначення електроопору.

Самим простим із них є перший, який дає достатню для практики точність.

Сутність методу пробних гартувань полягає ось у чому. З досліджуваної сталі у відпаленому стані виготовляють зразки у вигляді циліндрів діаметром 15-20мм і висотою 10-15мм. Зразки нагрівають у печі в інтервалі прогнозованих критичних температур послідовно через 10-20° ( на кожную температуру 1-2 зразка). Потім після нагрівання і витримування на протязі 15-20 хв. охолоджують у воді. Після зазначеної термічної обробки на зразках визначають твердість за Роквеллом (шкала С). Твердість усіх зразків, що були нагріті нижче критичних точок , має залишатися без змін. Після переходу температури нагрівання вище  $A_{c1}$ , перлітна складова зразків перейде в аустеніт, який при наступному охолодженні у воді перетворюється у мартенсит (загартовується), внаслідок чого твердість цього зразка збільшиться.

У випадку дослідження доевтектоїдних сталей подальше більш високе нагрівання зразків буде призводити до підвищення твердості загартованих зразків за рахунок розчинення в аустеніті надлишкового фериту і збільшення кількості мартенситу в загартованому зразку. Підвищення твердості буде продовжуватись аж до критичної точки  $A_{c3}$  (при досягненні цієї температури сталь буде містити у собі тільки аустеніт без залишків фериту, який знижує твердість загартованої сталі). При нагріванні зразків до вищих температур твердість загартованих зразків буде залишатись сталою.

У випадку дослідження сталі евтектоїдного та заевтектоїдного складу твердість загартованих зразків після переходу через  $A_{c1}$  змінюватись практично не буде. Таким чином, температури перегинів на кривих  $HRC=f(t_{\text{гарт}})$  будуть відповідати критичним точкам  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$  (критична точка  $A_{cm}$  заевтектоїдних сталей методом пробних гартувань не виявляється).

Результати практичних досліджень занести у табл.1. За

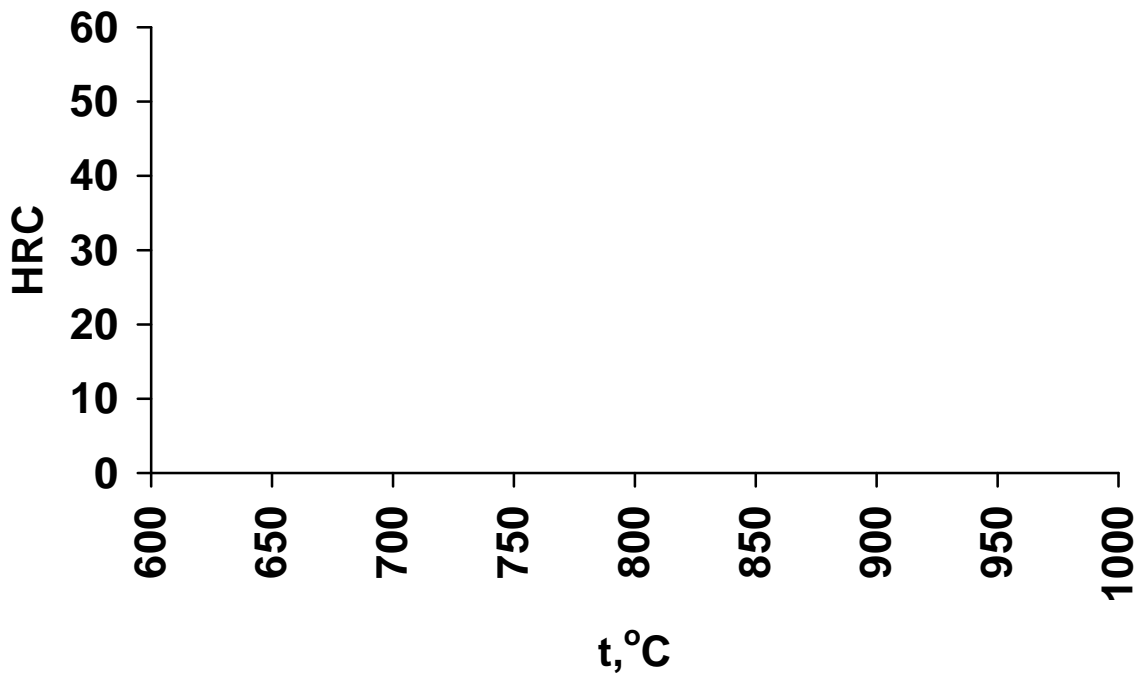
результатами визначення твердості побудувати графіку координатах “температура нагрівання-твердість зразків”. Визначити критичну точку досліджуваної сталі.

Підготовка звіту по роботі

Звіт по роботі повинен мати :номер, назву та мету роботи; короткі теоретичні відомості; табл. 1 з результатами досліджень ; графік (див.вище).

№ зразка	Марка сталі	Твердість після гартування (HRC)				
		600° C	750° C	850° C	900° C	1000° C
1	Сталь 45					
2	— // —					
3	— // —					

Таблиця 1

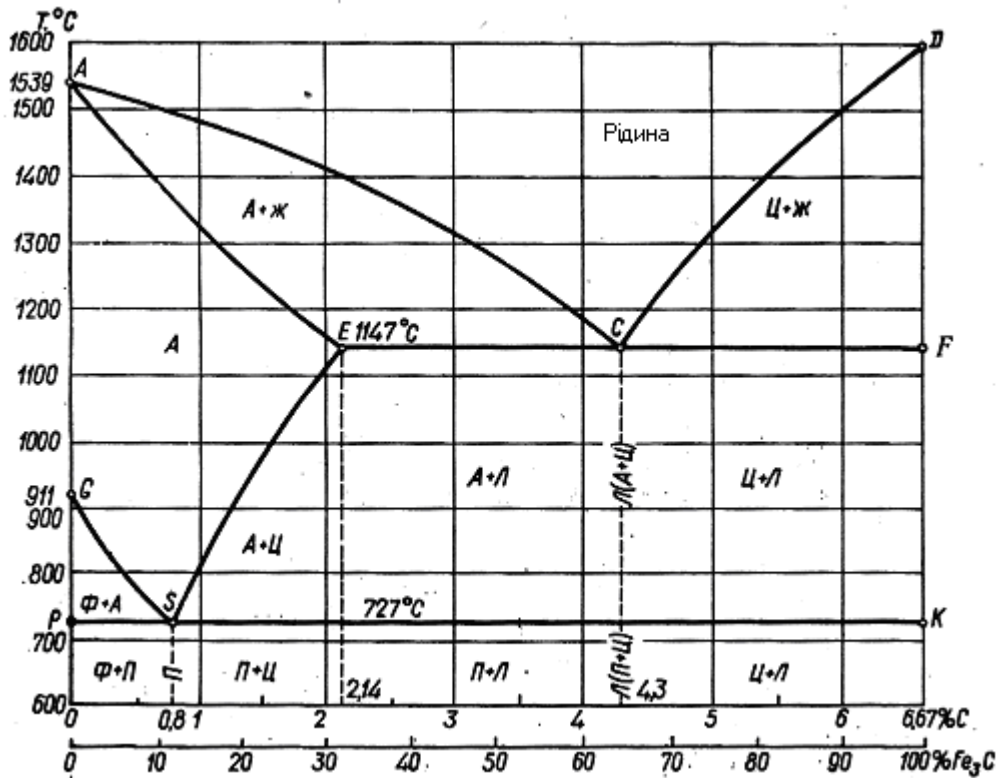


## Лабораторна робота №10

### МІКРОАНАЛІЗ ЗАЛАЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ (СТАЛІ, ЧАВУНИ) У СТАНІ РІВНОВАГИ

**Мета роботи:** навчитись самостійно виконувати мікроаналіз сталей і чавунів у стані рівноваги; вивчити структуру сталей і чавунів у зв'язку з діаграмою стану залізо-цементит; засвоїти порядок визначення вмісту вуглецю в доєвтектоїдній сталі за її мікроструктурою.

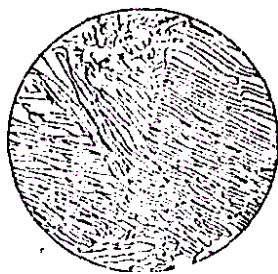
Мікроструктура вуглецевих сталей характеризується нижньою лівою частиною діаграми залізо-цементит (мал. 1)



Мал.1. Діаграма стану залізо - цементит

Сплави з вмістом С 0,02 ...0,8% називають доєвтектоїдними, 0,8...2,14%-заєвтектоїдними сталями. Сплав з вмістом 0,8% С називають евтектоїдною сталлю.

Мікроструктура доевтектоїдної сталі складається з фериту і перліту, евтектоїдної сталі – з одного перліту.



**Мал. 2.**

На мікроструктурі перліту (мал. 2) загальний світлий фон-ферит, темні місця (тіні) - виступаючі пластини цементиту.

У доевтектоїдній сталі після травлення шліфа ферит має вигляд світлих ділянок, а перліт - у вигляді більш темних, ніж ферит ділянок. З підвищенням збільшення мікроскопа чіткіше видно будову перліту у вигляді смуг. При малих збільшеннях перліт має вигляд темних зерен (мал.3)



Кількість перліту і фериту в доевтектоїдній сталі залежить від вмісту вуглецю: з його збільшенням кількість фериту зменшується, а перліту – збільшується .

За мікроструктурою доевтектоїдної сталі можна приблизно визначити вміст вуглецю, для чого за мікроструктурою потрібно орієнтовно знайти площу (процентів), яку займає ферит і перліт на мікро шліфі .

У зв'язку с тим, що у фериті розчинено дуже невелику кількість вуглецю, практично вважають, що в доевтектоїдній сталі весь вуглець знаходиться у перліті.

Тоді вміст вуглецю С у сталі можна визначити за формулою:

$$C = F_n \cdot 0.8 / 100, \quad (1)$$

де  $F_n$  - площа, яку займає перліт, %

Структура заевтектоїдної сталі складається з перліту та вторинного цементиту.

Вторинний цементит виділяється з аустеніту при охолодженні від температур на лінії SE до лінії PSK внаслідок зменшення розчинності вуглецю в аустеніті у зв'язку з температурою (див. мал. 1). Під час повільного охолодження вторинний цементит виділяється у вигляді сітки по границям зерен аустеніту. При температурі на лінії PSK аустеніт перетворюється на перліт. В результаті повільного охолодження заевтектоїдна сталь має структуру перліту, оточеного сіткою цементиту (мал.4). Біла сітка – вторинний цементит, яка оточує зерна пластинчастої будови – перліт.

Залізовуглецеві сплави з вмістом вуглецю більше 2,14% називають чавунами.



У залежності від вмісту вуглецю, зв'язаного в цементиті, розрізняють кілька видів чавуну: білий, половинчатий; перлітний сірий, ферито-перлітний; феритний сірий. У білому чавуні весь вуглець знаходиться у цементиті . Тому він має високу твердість, крихкість і практично не оброблюється різанням, що спричинює його обмежене використання .

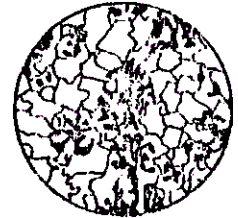


Після травлення шліфів металічна основа у сірих чавунах схожа з мікроструктурою сталей. Таким чином, можливі такі типи структур сірих чавунів: ферит + пластинчастий графіт – феритний сірий (мал. 5); ферит + перліт + пластинчастий графіт – ферито-перлітний сірий; перліт + пластинчастий графіт – перлітний сірий. На величину і розташування включень графіту впливає швидкість охолодження, температура і тривалість витримання розплавленого чавуну перед литтям, хімічний склад чавуну, додавання в чавун деяких домішків (модифікаторів).

Механічні властивості чавуну можна значно покращити, зменшуючи кількість графіту за рахунок зменшення вмісту вуглецю та зміни форми графітних включень з пластинчастої на сферичну. Останню створюють, якщо чавун у рідкому стані обробити магнієм і церієм або їх сплавами. Такий чавун називають високоміцним з кулькоподібним графітом (мал. 6).



Високоміцні чавуни мають ті ж самі типи мікроструктур, що й сірі, але графіт в них кулькоподібний. Проміжну між пластинчастою і кулькоподібною –



пластівчасту форму графіту можна одержати тривалим витриманням білого чавуну при 950... 1050°C.

Такий чавун називають ковким (мал.7). Металічна основа ковкого чавуну може бути такою ж, як і у сірого та високоміцного.

### Методика мікроаналізу

1. Роздивитись та вивчити при збільшеннях 200...600 раз мікроструктуру сталей та чавунів у стані рівноваги.
2. Кожну мікроструктуру схематично намалювати в кругах діаметром 60 мм.
3. Під схематично намальованою мікроструктурою дати підпис, де зазначити найменування сплаву, структури та збільшення.
4. На намальованій мікроструктурі вказати стрілками різні фази і структурні складові та над стрілками написати їх назви .
6. На діаграмі стану залізо - цементит (мал.1) позначити у всіх зонах структурні складові. Провести на ній вертикальні лінії, які відповідають розглянутим сплавам, та пояснити процеси перетворення, які відбуваються в них при охолодженні.



## Підготовка звіту по роботі

Звіт по роботі повинен мати: номер, назву та мету роботи; короткі пояснення з малюнками 1,2,3,4,5,6,7; результати мікроаналізу запропонованих сплавів.

## Лабораторна робота №12

### ВПЛИВ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ НА ТВЕРДІСТЬ МЕТАЛІВ

**Мета роботи:** вивчити вплив пластичної деформації на механічні властивості(твердість) металів.

### Прилади, матеріали та інструменти

Прилади Роквелла і Брінелля для визначення твердості зразків, зразки пластичних кольорових металів або сплавів, деформованих із різним ступенем деформації, штангенциркуль.

### Методика визначення відносних здовження та поперечного звуження

Характеристиками пластичності матеріалу є відносні здовження та звуження. Відносне здовження ( $\delta$ ) це відношення приросту довжини зразка після розтягання до початкової розрахункової довжини:

$$\delta = \frac{(l_1 - l_0)}{l_0} \cdot 100, \% \quad (1)$$

Довжину зразка  $l_0$  до та  $l_1$  після деформування вимірюють за допомогою штангенциркуля з точністю до 0.1 мм.

Відносне звуження  $\Psi$  це відношення зменшення площі поперечного перерізу зразка до початкової площі поперечного перерізу:

$$\Psi = \frac{(f_0 - f_1)}{f_0} \cdot 100, \% \quad (2)$$

де:  $f_0$  і  $f_1$  - площі перерізу зразка відповідно до та після розтягання.

Щоб отримати площу поперечного перерізу, необхідно за допомогою штангенциркуля виміряти діаметр  $D$  поперечного перерізу з точністю до 0.1 мм у двох взаємно перпендикулярних напрямках і по середньому арифметичному обчислити площу:

$$f = \frac{\pi}{4} D^2, \text{ мм}^2 \quad (3)$$

Відносне звуження  $\Psi$  є більш стабільною характеристикою пластичності металу, ніж відносне здовження  $\delta$ .

Для спрощення досліджень зразки будемо деформувати не розтяганням, а стисканням за допомогою преса. При цьому характеристиками пластичності металу будуть: відносні скорочення  $\delta$  та стовщення  $\Psi$ . Таким чином формули (1) та (2) будуть мати такий вигляд:

$$\delta = \frac{(l_0 - l_1)}{l_0} \cdot 100, \% \quad (4)$$

$$\Psi = \frac{(f_1 - f_0)}{f_0} \cdot 100, \% \quad (5)$$

Пластична деформація призводить до значної зміни механічних, фізичних і хімічних властивостей металу, яка характеризується такими явищами: 1) зміною форми зерен і їх здібненням; 2) зміною орієнтування зерен, утворенням волокнистої будови, або текстури; 3) підвищенням опірності деформуванню, збільшенням границі пружності, текучості і міцності, а також твердості, зниженням пластичності; 4) збільшенням залишкових напруг; 5) зміною фізико-хімічних властивостей – електроопору, магнітних властивостей, теплопровідності і опору корозії.

Сукупність явищ, пов'язаних із зміною механічних і фізико-хімічних властивостей металу в процесі пластичної деформації, називається зміцненням, або наклепом.

### **Порядок проведення роботи**

1. Визначити твердість циліндричних зразків до і після холодної деформації(з різними степенями обтискання).
2. Визначити розміри зразків  $l_0, l_1, D_0, D_1$ .
3. Обчислити величини  $f_0, f_1, \delta, \Psi$  за формулами (3), (4), (5).
4. Отримані результати занести у таблицю 1.
5. Побудувати графік залежності твердості зразків від величини пластичної деформації.

Таблиця 1

NN п/п	Матеріал зразка	$l_0$ , мм	$l_1$ , мм	$\delta$ , %	$D_0$ , мм	$D_1$ , мм	$f_0$ , мм <sup>2</sup>	$f_1$ , мм <sup>2</sup>	$\Psi$ , %	Спосіб визначення твердості	Величина навантаження, Н	Тип і характеристи- ка індентора	Величина твердості
1													
2													
3													

### Підготовка звіту по роботі

Звіт по роботі повинен мати: номер, назву та мету роботи; короткі відомості з формулами (1),(2),(3),(4),(5); таблиця 1, заповнена вихідними даними та результатами обчислень; графік залежності твердості зразків від величини пластичної деформації.

## Лабораторна робота №15

### ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРУ ЗЕРНА МЕТАЛІВ

**Мета роботи:** ознайомлення з методикою визначення величини зерна сплавів.

## **Прилади, матеріали та інше.**

1. Мікроскоп МИМ-6.
2. Шліфи досліджуваної марки сталі.
3. Стандартна шкала для оцінки розмірів зерна у сталі.

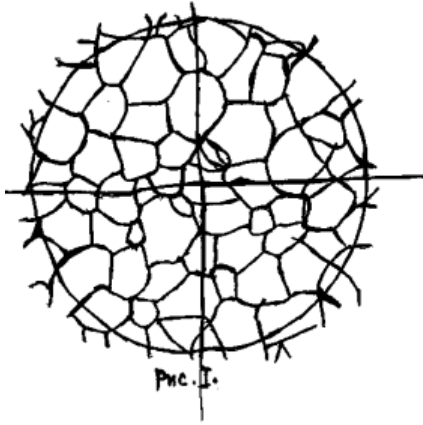
## **Теоретичні відомості**

Розмір зерна металічної основи дуже впливає на фізичні та механічні властивості сплавів. Зі зменшенням розміру зерна зростають міцнісні властивості, збільшується ударна в'язкість, знижується температура переходу металу у крихкий стан (інтервал холодноламкості). Одночасно збільшується електроопір, а у феромагнетиків зростає коерцитивна сила, зменшується магнітна проникність і т. ін. У зв'язку з цим для відповідальних виробів машинобудування розмір зерна регламентують і контролюють.

Розмір зерна можна визначити різними фізичними методами, проте найбільш зручним і широко застосовуваним є металографічний метод. Методика визначення величини зерна металу цим методом регламентується стандартом. У відповідності з цим стандартом розмір зерна оцінюють середньою площею зерен на мікрошліфі, який виготовляють на контрольованому виробі або на контрольному зразку, де будь-яким способом витравлені границі зерен. Розмір зерна можна також оцінювати номером (балом) за спеціальною шкалою.

Для визначення середньої площі зерен звичайно використовують такі способи:

1. Зображення структури фокусують на матовому склі фотокамери мікроскопа у крузі діаметром 80 мм. (Площа такого круга дорівнює  $5000 \text{ мм}^2$ ).



Площа зерна у такому випадку може бути визначена за формулою:

$$A = \frac{S10^6}{M^2 X}, \text{ мкм}^2, \quad (1)$$

де:  $S$  - площа круга на матовому склі в  $\text{мм}^2$ ;

$M$  - збільшення мікроскопа на матовому склі фотокамери;

$X$  - сума кількості зерен, які знаходяться всередині круга, плюс половина кількості зерен, які

**Мал. 1** перетинає коло.

2. Зображення структури фокусують на окуляр з координатними осями (мал. 1).

У цьому випадку:

$$A = \frac{l_1 l_2 10^6}{M^2 XY}, \text{ мкм}^2, \quad (2)$$

де:  $l_2$  та  $l_1$  - відповідно довжина вертикальної та горизонтальної осей (при використанні окуляра  $X7$  довжина осей дорівнює 110 і 100 мм)

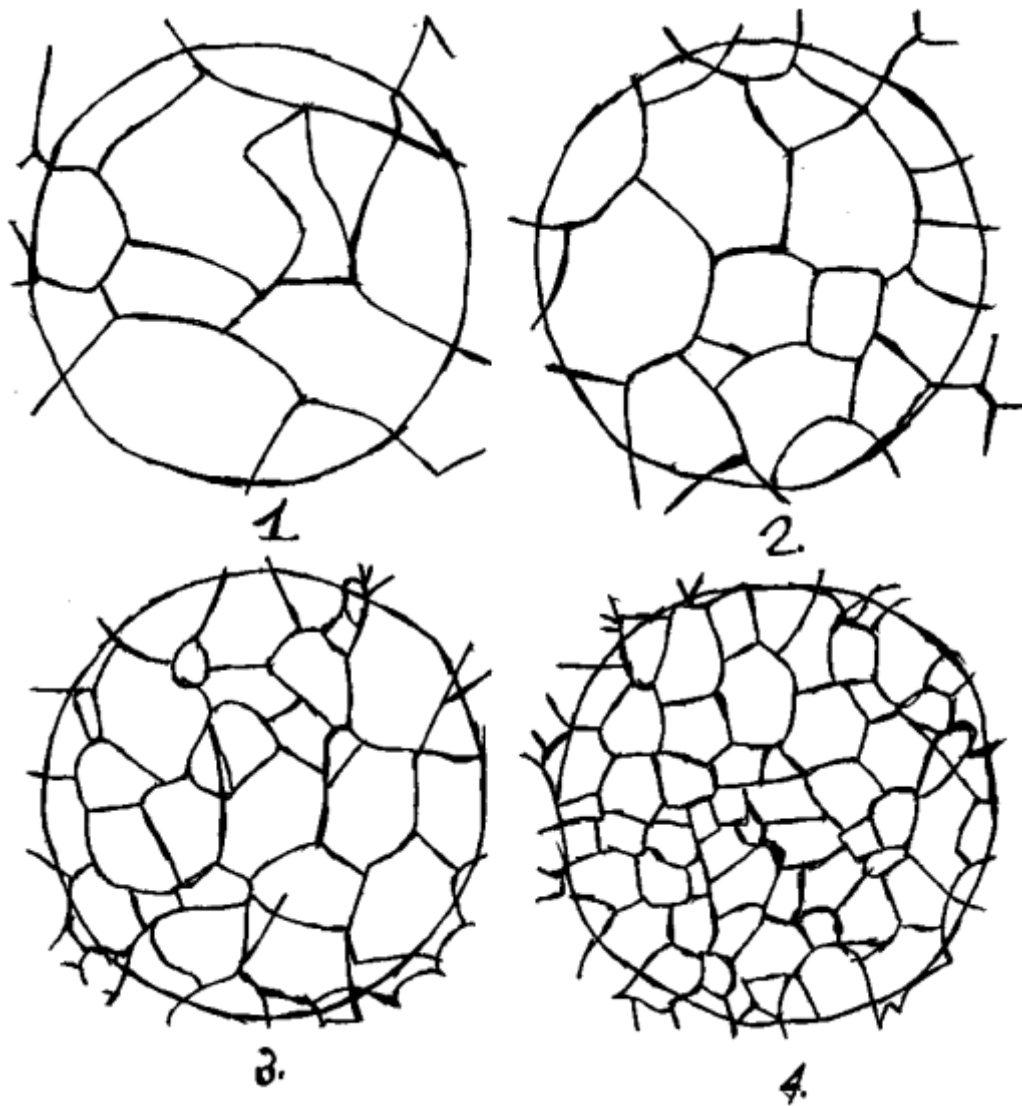
$M$  - збільшення мікроскопа;

$Y$  і  $X$  - відповідно кількість зерен, які перетинаються вертикальною та горизонтальними осями.

З метою підвищення точності визначення в обох випадках рекомендують повторити підрахунки кількості зерен 10-15 раз на нових ділянках мікроструктури. За площу зерна потрібно взяти середнє арифметичне з цих визначень.

Оцінка величини зерна за середньостатистичною площею зерен на мікро шліфі дає відносно високу точність, але вона трудомістка, тому частіше використовується з метою дослідження. У заводській практиці розмір зерна звичайно оцінюють номером (балом) за спеціальною шкалою. Визначення бала проводять у цьому випадку порівнюванням досліджуваної

структури з наведеними у стандарті еталонними мікросвітлинами  
(мал. 2)



Мал. 2

Між середньою площею зерна  $A$  і номером зерна існує залежність:

$$A = 500 \cdot 2^{8-N}, \quad (3)$$

де  $N$  - номер зерна.

### Порядок проведення роботи

1. Сфокусувати зображення мікроструктури даного зразка технічного заліза на окуляр з координатними осями.
2. Рухаючи лінзу для ока в окулярі, сфокусувати зображення координатних осей.
3. Підрахувати кількість зерен, які перетинають координатні осі окуляра і за формулою (2) визначити площу зерна  $A$ .
4. Повторити операцію підрахунку зерен не менше ніж тричі(кожного разу на новій ділянці шліфа). За площу зерна взяти середнє арифметичне значення.(Пересування зображення структури проводять за допомогою мікрогвинтів предметного столика мікроскопа)
5. За формулою (3) визначити номер зерна фериту наданого зразка технічного заліза.

### Підготовка звіту по роботі

Звіт по роботі повинен мати: номер, назву та мету роботи; короткі відомості з формулами (1),(2),(3) та мал. 1 і 2; обчислення величини зерна.









